



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE ECONOMIA E RELAÇÕES INTERNACIONAIS
GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS ECONÔMICAS

FELIPE RIBEIRO BERNARDI

**BRASIL NA ERA DA INDÚSTRIA 4.0: ADOÇÃO DE TECNOLOGIAS DIGITAIS
AVANÇADAS E ESTRATÉGIAS DE INOVAÇÃO NA INDÚSTRIA BRASILEIRA**

Uberlândia - MG

2025

FELIPE RIBEIRO BERNARDI

**BRASIL NA ERA DA INDÚSTRIA 4.0: ADOÇÃO DE TECNOLOGIAS DIGITAIS
AVANÇADAS E ESTRATÉGIAS DE INOVAÇÃO NA INDÚSTRIA BRASILEIRA**

Monografia apresentada ao Instituto de Economia e Relações Internacionais da Universidade Federal de Uberlândia, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Ciências Econômicas.

Orientadora: Prof^a. Dra. Ana Paula Macedo de Avellar

Uberlândia - MG

2025

FELIPE RIBEIRO BERNARDI

**BRASIL NA ERA DA INDÚSTRIA 4.0: ADOÇÃO DE TECNOLOGIAS DIGITAIS
AVANÇADAS E ESTRATÉGIAS DE INOVAÇÃO NA INDÚSTRIA BRASILEIRA**

Monografia apresentada ao Instituto de Economia e
Relações Internacionais da Universidade Federal de
Uberlândia, como requisito parcial à obtenção do
título de Bacharel em Ciências Econômicas.

Uberlândia - MG, 09 de maio de 2025.

Banca Examinadora:

Prof.^a Dra. Ana Paula Macedo de Avellar, IERI – UFU/MG (Orientadora)

Prof. Dr. Germano Mendes de Paula, IERI – UFU/MG

Prof.^a Dra. Marisa dos Reis Azevedo Botelho, IERI – UFU/MG

AGRADECIMENTOS

Esta monografia representa a conclusão de uma jornada transformadora em minha vida. Pude aprender sobre economia de forma intensa, tive experiências no ambiente profissional e atuei na Liga de Mercado Financeiro. Finalizo a graduação em Ciências Econômicas pela Universidade Federal de Uberlândia com o sentimento de gratidão e satisfação por todas as etapas que percorri e pelos aprendizados que obtive ao longo desse percurso. Esses aprendizados perpassaram o conhecimento técnico, permitindo-me amadurecer e me preparar para as adversidades da vida que virão pela frente.

Agradeço aos meus pais pelo apoio incondicional e pela estrutura que me proporcionaram ao longo de toda essa jornada. Sem o suporte e o incentivo de vocês, nada disso teria sido possível. Estendo meus agradecimentos ao meu irmão, aos meus avós, tios, tias e amigos, que estiveram ao meu lado em todos os momentos, oferecendo apoio, transmitindo confiança nos momentos mais desafiadores e celebrando comigo cada conquista alcançada.

Agradeço à Prof.^a Dra. Ana Paula por sua excelente orientação ao longo da elaboração desta monografia. Mais do que orientadora, foi uma professora que demonstrou, desde as aulas de Economia Industrial I até as disciplinas optativas de Economia da Tecnologia e Teoria dos Jogos, a capacidade que alguns docentes têm de despertar o interesse dos alunos por determinadas áreas do conhecimento.

Agradeço ao Prof. Dr. Germano e à Prof.^a Dra. Marisa, que compõem a minha banca de avaliação, pela disponibilidade, pelos ensinamentos transmitidos ao longo da minha formação e pelos conselhos que contribuíram para o meu desenvolvimento acadêmico e pessoal, e que serão fundamentais em minha jornada profissional.

RESUMO

Este trabalho analisa o processo de inovação industrial no contexto da Indústria 4.0, destacando sua importância para o fortalecimento da competitividade e para a promoção do desenvolvimento econômico em uma revolução tecnológica em curso. Parte-se da discussão das teorias que sustentam a inovação como elemento central do dinamismo do sistema capitalista, enfatizando o papel da destruição criadora e das mudanças nos paradigmas tecno-econômicos. Com base nessa fundamentação teórica, argumenta-se que a interação entre agentes públicos e privados é essencial para estimular a adoção e a difusão de tecnologias digitais avançadas no setor industrial. A pesquisa adota como referencial as estratégias implementadas por países pioneiros na Indústria 4.0, cujas experiências ilustram a importância de políticas públicas articuladas com a capacidade inovativa das empresas. No caso brasileiro, a utilização dos dados da PINTEC Semestral 2022, combinada à análise das políticas industriais recentes no contexto da Indústria 4.0, possibilita traçar um panorama da economia nacional e avaliar os rumos tomados para o seu desenvolvimento tecnológico e industrial.

Palavras-chave: indústria 4.0; inovação; PINTEC Semestral 2022; desenvolvimento tecnológico; política industrial.

ABSTRACT

This study analyzes the process of industrial innovation within the context of Industry 4.0, highlighting its importance for strengthening competitiveness and promoting economic development amid an ongoing technological revolution. It begins with a discussion of theories that support innovation as a central element of the dynamism of the capitalist system, emphasizing the role of creative destruction and changes in techno-economic paradigms. Based on this theoretical foundation, it is argued that the interaction between public and private agents is essential to stimulate the adoption and diffusion of advanced digital technologies in the industrial sector. The research uses the strategies implemented by pioneering countries in Industry 4.0 as a reference for the analysis, illustrating the importance of public policies aligned with firms' innovative capabilities. In the Brazilian case, the use of data from the PINTEC Semestral 2022, combined with the analysis of recent industrial policies in the context of Industry 4.0, allows for an overview of the national economy and an assessment of the directions taken for its technological and industrial development.

Keywords: industry 4.0; innovation; PINTEC Semestral 2022; technological development; industrial policy.

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Quantidade de Robôs industriais instalados na China, com a divisão entre fornecedores estrangeiros e fornecedores internos (2014-2023) (1.000 unidades).....	31
Gráfico 2: Modelos de <i>Machine Learning</i> desenvolvidos pela China e pelos Estados Unidos e comparação dos modelos desenvolvidos pela Indústria, Academia e Outros* (2014-2023)	33
Gráfico 3: Valor privado investido pela China e pelos Estados Unidos em Inteligência Artificial (2014-2023) (bilhões de US\$)	34
Gráfico 4: Adoção da Computação em Nuvem por setor industrial (2022)	51
Gráfico 5: Adoção da Internet das Coisas por setor industrial (2022).....	52
Gráfico 6: Adoção de Robôs por setor industrial (2022).....	53
Gráfico 7: Adoção da Análise de <i>Big Data</i> por setor industrial (2022).....	54
Gráfico 8: Adoção da Manufatura Aditiva por setor industrial (2022).....	55
Gráfico 9: Adoção da Inteligência Artificial por setor industrial (2022).....	56
Gráfico 10: Quantidade de tecnologias adotadas pelas 8.134 empresas que utilizaram tecnologias digitais avançadas e percentual de adoção (2022) (%).....	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Utilização da Computação em Nuvem na indústria dos Estados Unidos (%) (2022) ...	35
Tabela 2: Indicadores para a manufatura de 2020 e 2025	39
Tabela 3: Institutos em funcionamento por ministério: <i>Manufacturing USA (2017)</i>	45
Tabela 4: Adoção das tecnologias digitais avançadas por tipo de tecnologia - Quantidade de empresas e utilização relativa	48
Tabela 5: Adoção de tecnologias digitais avançadas por área/função de negócio em percentual (%) (2022)	49
Tabela 6: Quantidade e percentual de empresas que relataram benefícios com a utilização de tecnologias digitais avançadas (2022) (%)	58
Tabela 7: Quantidade e percentual de empresas que relataram dificuldades para a adoção das tecnologias digitais avançadas (2022) (%)	59
Tabela 8: Descrição, investimentos previstos e investimento relativo – PBIA – entre 2024 e 2028 (em bilhões de R\$) (%).....	66

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ciclo de Vida de uma Revolução Tecnológica	17
Figura 2: Estágios das revoluções industriais e principais marcos (século XVIII-XXI).....	18
Figura 3: Confluência de tecnologias que facilitam o processo de digitalização	20
Figura 4: Elementos formadores da Indústria 4.0	22
Figura 5: Produção e uso de tecnologias avançadas (2019)	29
Figura 6: Participação relativa dos 50 maiores países nas Exportações e Importações de tecnologias avançadas (%) (2014-2016).....	30
Figura 7: Indicadores-chave do 14º Plano Quinquenal (2021-2025)	41
Figura 8: Missões da Nova Indústria Brasil (NIB).....	63

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	11
CAPÍTULO 1 - DESTRUIÇÃO CRIADORA, A QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL E O PAPEL DAS POLÍTICAS DE INOVAÇÃO: UMA BREVE REVISÃO DA LITERATURA	13
1.1. A destruição criadora e a dinâmica dos ciclos tecnológicos e das revoluções industriais	
13	
1.2. Políticas de inovação	24
CAPÍTULO 2 – INDÚSTRIA 4.0: UMA ANÁLISE DAS EXPERIÊNCIAS DA CHINA E DOS ESTADOS UNIDOS.....	28
2.1. Implementação das tecnologias características da Indústria 4.0 na China e nos Estados	
Unidos 29	
2.2. Políticas para o desenvolvimento industrial	36
2.2.1. <i>Made In China 2025</i> e o 14º Plano Quinquenal da China.....	36
2.2.2. <i>The National Network of Manufacturing Innovation</i>	42
CAPÍTULO 3 – UMA ANÁLISE DA INDÚSTRIA BRASILEIRA A PARTIR DA PINTEC SEMESTRAL DE 2022.....	46
3.1. Apresentação da Base de Dados.....	46
3.2. Adoção de Ferramentas Digitais na Indústria Brasileira	48
3.3. Políticas para o desenvolvimento da indústria 4.0 no Brasil.....	60
3.3.1. Nova Indústria Brasil (NIB)	62
3.3.2. Plano Brasileiro de Inteligência Artificial (PBIA) 2024-2028	65
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	68
5. BIBLIOGRAFIA	70

INTRODUÇÃO

A inovação é um fenômeno inerente ao sistema capitalista, em que as novas tecnologias substituem as tecnologias antigas. No contexto da economia global, a inovação desempenha um papel fundamental na competitividade industrial e no desenvolvimento econômico. Desde os estudos pioneiros de Joseph Schumpeter, a inovação é reconhecida como motor do crescimento econômico e da destruição criativa, promovendo a renovação dos setores produtivos e a ascensão de novas indústrias. Entretanto, a forma como os países incorporam essas tecnologias varia significativamente, refletindo suas capacidades institucionais, estratégicas e políticas de fomento à inovação.

Com o aumento da velocidade de compartilhamento das informações e maior interconectividade entre máquinas e seres humanos, propôs-se a chamada “Quarta Revolução Industrial”. O uso crescente de tecnologias nessa nova fase da indústria tem o potencial de transformar os processos produtivos e levar a ganhos de produtividade. Para Schwab (2016), a Quarta Revolução Industrial cria um mundo onde os sistemas físicos e virtuais de fabricação cooperam de forma global e flexível.

Diante desse cenário, o presente trabalho tem como objetivo analisar a importância da inovação para o desenvolvimento industrial, com foco na adoção das tecnologias associadas à Indústria 4.0. Para isso, a pesquisa compara a incorporação dessas tecnologias pelas indústrias da China e dos Estados Unidos, estabelecendo um referencial para o Brasil. Para compreender a realidade industrial brasileira, será utilizada a PINTEC Semestral 2022, que fornece dados sobre a implementação de tecnologias digitais avançadas por empresas industriais com 100 ou mais pessoas ocupadas, sendo essa a pesquisa mais recente com esse recorte temático.

Além disso, serão analisadas as principais políticas de inovação adotadas por China, Estados Unidos e Brasil. Será destacado o papel estratégico do Estado na promoção da inovação, examinando como as políticas públicas podem favorecer a difusão de novas tecnologias no setor produtivo.

A relevância deste estudo se justifica pelo impacto que a inovação tem na competitividade da indústria e na capacidade de um país se posicionar na economia global. A crescente digitalização dos processos produtivos e a emergência de novas tecnologias exigem uma adaptação contínua das empresas e dos formuladores de políticas públicas. Portanto, por se tratar de um tema recente, a compreensão das dinâmicas da Quarta Revolução Industrial e os fatores que influenciam sua disseminação torna-se fundamental para a formulação de estratégias eficazes para o desenvolvimento econômico, especialmente em um contexto em que os dados (da indústria brasileira ou da Indústria 4.0) sobre a indústria brasileira ainda são pouco explorados.

Metodologicamente, o estudo se baseará em análise documental e no exame de bases de dados especializadas sobre inovação e indústria. Além desta introdução e das considerações finais, a estrutura do trabalho compreende três capítulos. No capítulo 1 será apresentada a revisão teórica acerca da relação entre inovação e desenvolvimento industrial, com a fundamentação das bases para a chamada “Quarta Revolução Industrial”. O Capítulo 2 analisa as experiências da China e dos Estados Unidos, discutindo a implementação das tecnologias características da Indústria 4.0 nesses países e examinando as políticas governamentais de incentivo ao desenvolvimento industrial no contexto da Quarta Revolução Industrial. O capítulo 3 discutirá a implementação de tecnologias características da Indústria 4.0 nas empresas industriais brasileiras, a partir da PINTEC Semestral 2022, além de analisar as políticas públicas recentes de fomento à inovação na indústria brasileira.

CAPÍTULO 1 - DESTRUÇÃO CRIADORA, A QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL E O PAPEL DAS POLÍTICAS DE INOVAÇÃO: UMA BREVE REVISÃO DA LITERATURA

Este capítulo tem como objetivo apresentar uma revisão teórica e conceitual sobre as principais discussões relacionadas à teoria schumpeteriana, à Quarta Revolução Industrial e às políticas de inovação. Inicialmente, examina-se o processo de destruição criadora, conforme elucidado por Schumpeter (1961), seguido da abordagem de autores neoschumpeterianos sobre os ciclos econômicos e as taxonomias associadas às revoluções tecnológicas. Na sequência, discute-se o desenvolvimento histórico das revoluções industriais, com ênfase nas transformações dos paradigmas tecno-econômicos. A partir disso, introduzem-se os conceitos e as tecnologias característicos da Quarta Revolução Industrial, conforme Schwab (2016). Por fim, destaca-se o papel das políticas de inovação no estímulo ao desenvolvimento industrial no contexto da Indústria 4.0.

1.1. A destruição criadora e a dinâmica dos ciclos tecnológicos e das revoluções industriais

De início, deve-se considerar que o sistema capitalista consiste em sucessivos processos evolutivos. Sua natureza se opõe à forma estacionária, em que guerras e revoluções levam a transformações na indústria e na atividade econômica. Além disso, há um processo de revolução constante das formas de produção, as quais destroem os elementos antigos e criam mecanismos melhorados. No entanto, esse processo não se deve apenas às alterações intrínsecas ao modo de vida humano e nem ao aumento dos recursos e da população, pois

o impulso fundamental que põe e mantém em funcionamento a máquina capitalista procede dos novos bens de consumo, dos novos métodos de produção ou transporte, dos novos mercados e das novas formas de organização industrial criadas pela empresa capitalista (Schumpeter, 1961, p. 110).

Nesse cenário, destaca-se o processo de destruição criadora, o qual consiste em revoluções do sistema capitalista, marcadas por momentos de

[...] explosões discretas, separadas por períodos de calma relativa. O processo, como um todo, no entanto, jamais para, no sentido de que há sempre uma revolução ou absorção dos resultados da revolução, ambos formando o que é conhecido como ciclos econômicos (Schumpeter, 1961, p. 110).

O processo de destruição criadora deve ser analisado considerando décadas ou até mesmo séculos. Devido a isso, o sistema capitalista não deve ser observado apenas em um ponto específico da história, mas através da compreensão de como ele cria e destrói as estruturas, com base em análises passadas e perspectivas futuras. Nesse sistema, o processo de concorrência leva à criação de novas mercadorias, novas técnicas e novos tipos de organização, perpassando a simples disputa por preços. Isso faz com que determinadas firmas tenham vantagens de custo e de qualidade, além de afetar a existência e as bases organizacionais e produtivas dos agentes inseridos no mercado.

Com base nos ideais de Schumpeter, diversos autores buscaram compreender a influência do processo de inovação nos chamados “ciclos longos” da economia capitalista, além da incorporação da análise do comércio internacional, em específico a difusão internacional da tecnologia. Nesse sentido, considera-se o modelo Freeman-Perez, desenvolvido pelos neoshumpeterianos Christopher Freeman e Carlota Perez. De acordo com ele,

[...] algumas novas tecnologias, após um prolongado período de incubação e cristalização, oferecem tão amplo campo de oportunidades para novos mercados e novos investimentos lucrativos que, quando as condições sociais e institucionais são favoráveis, os empresários têm confiança suficiente para embarcar em uma onda prolongada de investimento expansivo (Freeman, 1988, p. 10 *apud* Conceição 1996, p. 417).

No entanto, com a saturação de determinadas políticas econômicas, evidenciaram-se momentos em que o modelo falhou, como na crise dos anos 1970, marcada por um esgotamento dos padrões de crescimento adotados após a Segunda Guerra Mundial. Nesse sentido, identificou-se o impacto das inovações tecnológicas como parte crucial nas flutuações do sistema capitalista, uma vez que elas podem afetar o nível de investimento. Assim, “há circunstâncias em que a mudança técnica pode exercer o efeito oposto, qual seja, de desestabilizar o investimento, coibindo a confiança frente a perspectivas futuras tanto da firma quanto da indústria ou da economia” (Conceição, 1996, p. 420). Dessa forma, a análise histórica permite a constatação de revoluções no campo tecnológico e industrial, as quais promovem a alteração das estruturas e expectativas vigentes.

Ademais, considera-se que a sustentação dos ciclos longos da economia, em diversos momentos da história, ocorreu pela atuação das instituições públicas no estímulo à produção. A

capacidade do Estado de coordenar investimentos, fomentar setores estratégicos e criar um ambiente propício à inovação tem sido fundamental para impulsionar o desenvolvimento tecnológico e econômico. Porém, essa dinâmica não pode ser reduzida a uma oposição entre o papel do setor público e as capacidades das empresas, uma vez que a inovação emerge de interações mais amplas dentro de um sistema. É nesse sentido que

*[...] which highlights the interdependent relationship between different types of capacities and capabilities within the dimensions of an innovation system. In contrast to a simplistic focus on either public capacities or firm capabilities as the primary drivers of innovation, our framework recognises the importance of systemic capacities and capabilities. These encompass the collective set of resources and competencies that contribute to innovation within the system (Perez, 2002 *apud* Penna; Mazzucato; Santos, 2025, p. 8).*

Cario; Corrêa (2021) argumentam que a revolução tecnológica é uma condição necessária para haver um período de crescimento econômico prolongado, mas que ela deve estar associada a uma estrutura socio-institucional adequada às novas tecnologias. Além disso,

*[...] each of these revolutions is accompanied by a set of 'best-practice' principles, in the form of a techno-economic paradigm, which breaks the existing organizational habits in technology, the economy, management and social institutions (PEREZ, 2002, p. 7 *apud* Cario; Corrêa, 2021).*

Com o objetivo de analisar as mudanças nesses paradigmas tecno-econômicos, Carlota Perez estabeleceu uma taxonomia para classificá-las, sendo elas (Conceição, 1996, p. 425-426):

Inovações incrementais: são as mais comuns e ocorrem, continuamente, em qualquer atividade, seja industrial ou não; podem se dar como resultado de pesquisa e desenvolvimento ou como invenções de engenheiros ou de outras atividades ligadas ao processo de produção;

Inovações radicais: são mais descontínuas no tempo e ocorrem mais raramente; são provenientes de pesquisas de empresas, universidades e/ou governos e geram melhorias substanciais no processo de produção;

Novos sistemas de tecnologia: surgem de mudanças tecnológicas, que afetam ramos inteiros da economia, gerando inclusive novos setores. Baseiam-se na combinação de inovações radicais e incrementais, afetando a organização gerencial das firmas; e

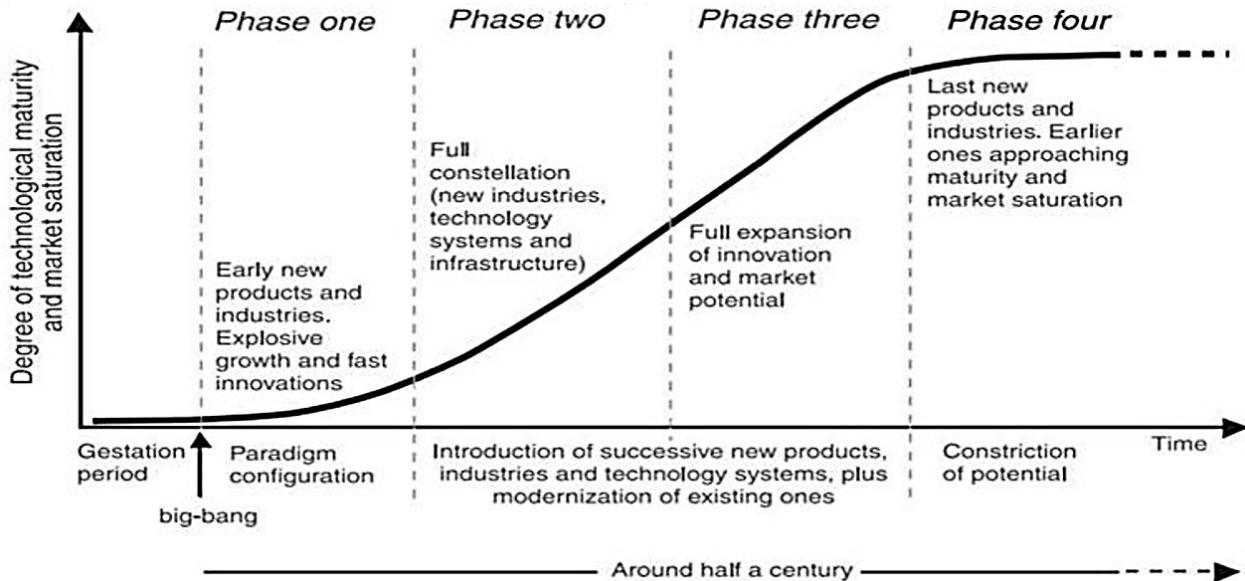
Mudanças no paradigma tecno-econômico: abrange inovações radicais e incrementais, podendo incorporar novos sistemas de tecnologia. “[...] não apenas conduz à emergência de uma nova série de produtos, serviços, sistemas e indústrias em seu próprio conjunto; ele também afeta,

direta ou indiretamente, quase todos os outros ramos da economia [...]” (Freeman, Perez, 1988, p. 47 *apud* Conceição, 1996, p. 426).

Por isso, o processo inovativo apresenta diferentes impactos na estrutura produtiva e organizacional das empresas e instituições. A alteração de um paradigma tecno-econômico é acompanhada de um fator desencadeador, como a utilização do aço no fordismo e os chips na microeletrônica. Outrossim, o processo dá-se em um contexto de predominância do “velho”, quando as vantagens do “novo” nos setores impõem sua dominância.

Segundo Cario; Corrêa (2021), o fenômeno da mudança tecnológica apresenta caráter cíclico, caracterizando-se por revoluções tecnológicas, paradigmas tecno-econômicos e grandes surtos de desenvolvimento que se sucedem. Na Figura 1, é apresentado o ciclo de vida de uma revolução tecnológica. Na Fase 1, o processo de transformação do paradigma é impulsionado por uma espécie de *big bang*, ou seja, “[...] à primeira introdução pública da tecnologia mais emblemática e significante daquela revolução” (Perez, 2011, p. 104), e são desencadeadas profundas alterações nas estruturas produtivas vigentes; a Fase 2 é marcada pela formação de novas indústrias, sistemas tecnológicos e infraestruturas; a Fase 3 é caracterizada pela rápida expansão da inovação e do mercado potencial; e a Fase 4 é marcada pela maturidade da revolução e um ponto de saturação dos mercados, de modo que as inovações tecnológicas não apresentam o mesmo impacto disruptivo das fases anteriores.

Figura 1: Ciclo de Vida de uma Revolução Tecnológica



Fonte: Perez (2011, p. 111).

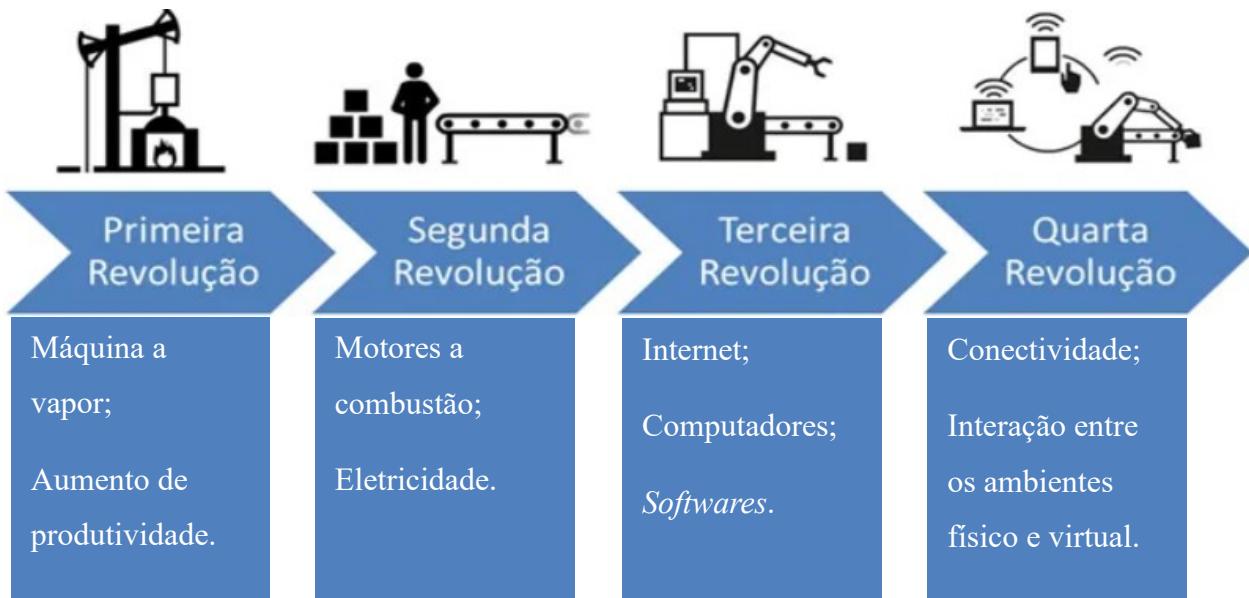
Nesse sentido, ao longo da história, contataram-se momentos de surgimento, maturação e exaustão de paradigmas. Atualmente, emergiu o debate sobre a chamada “Quarta Revolução Industrial” que, ao contrário das anteriores, ainda não passou pelos quatro estágios descritos. Essas revoluções ocorreram em ritmos distintos e a introdução de inovações variou conforme as condições de infraestrutura, disponibilidade de mão de obra qualificada e acesso a recursos produtivos, influenciando a especialização industrial de cada nação e o ciclo de vida das revoluções. Ademais,

[...] cada revolução tecnológica irrompe no espaço moldado pela anterior e precisa confrontar tanto práticas, critérios, hábitos, ideias e rotinas antigos, inseridos profundamente nas mentes e nas vidas das pessoas envolvidas, como uma estrutura institucional em geral, estabelecida para comportar o antigo paradigma (Perez, 2011, p. 112).

Na Primeira Revolução Industrial, iniciada na Inglaterra a partir da segunda metade do século XVIII, grandes avanços produtivos e de modificação nas relações de trabalho culminaram no fortalecimento do sistema capitalista. A produção manufaturada fora substituída por máquinas, ganhando assim, maior produtividade na fabricação dos bens. Durante o processo, a substituição da força humana levou a transformações na configuração das cidades e dos campos, uma vez que “[...] com substituição da energia produzida por pessoas e animais em força mecânica, sob a forma

de caldeiras e máquinas a vapor, o que resultou, entre outros avanços materiais, no impulso dado às indústrias manufatureiras [...]” (Schuh *et al.*, 2015 *apud* Panham, Takayama, 2022, p. 1799).

Figura 2: Estágios das revoluções industriais e principais marcos (século XVIII-XXI)



Fonte: Firmo (2022); Elaboração própria.

No final do século XIX, ocorreu a chegada da eletricidade e dos motores a combustão interna, os quais foram um marco para a Segunda Revolução Industrial. Ademais, a utilização do aço foi ampliada, promovendo a construção de pontes, ferrovias e prédios jamais vistos antes. Nela, as tecnologias da Primeira Revolução Industrial foram aprimoradas, trazendo maior agilidade para os processos produtivos e originando as linhas de produção em massa, uma nova configuração da produção fabril. Teorias relacionadas à otimização da produção, como o fordismo, no qual as funções são divididas entre os trabalhadores ao longo da linha de montagem e o taylorismo, no qual aumenta-se o produto industrial associado à redução do tempo de produção dos bens, foram disseminadas pelas indústrias capitalistas no período.

Já na segunda metade do século XX, deu-se início a Terceira Revolução Industrial, marcada por um grande processo de evolução tecnológica, avanços na eletrônica nas telecomunicações. “Ela costuma ser chamada de revolução digital ou do computador, pois foi

impulsionada pelo desenvolvimento dos semicondutores, da computação em *mainframe* (década de 1960), da computação pessoal (década de 1970 e 1980) e da internet (década de 1990)” (Schwab, 2016, p. 16). O desenvolvimento desses produtos modificou a forma como a indústria capitalista e os agentes econômicos se relacionavam. Sendo assim, “[...] abriu caminho para a automação de processos repetitivos que antes eram executados por pessoas, agora passa a ser executada por máquinas, controladas por chips e computadores [...]” (Panham, Takayama, 2022, p. 1800). Ademais, o aprimoramento das Tecnologias de Informação e Comunicação (TICs), conjunto de recursos tecnológicos para obtenção, processamento e geração de informações por meio de redes de informações, foi fundamental para o desenvolvimento das empresas durante a revolução.

O século XXI é marcado por um amplo processo de interatividade entre as tecnologias por meio de sistemas virtuais. Nessa perspectiva, iniciou-se o debate sobre a Indústria 4.0, termo utilizado pela primeira vez em uma feira na cidade de Hannover, na Alemanha, no ano de 2011. Ela baseia-se na revolução digital, a qual poderá alterar a forma como os países se inserem na cadeia global de valor. Nesse sentido,

[...] a quarta revolução industrial cria um mundo onde os sistemas físicos e virtuais de fabricação cooperam de forma global e flexível. Isso permite a total personalização de produtos e a criação de novos modelos operacionais. A quarta revolução industrial, no entanto, não diz respeito apenas a sistemas e máquinas inteligentes e conectadas. Seu escopo é muito mais amplo. Ondas de novas descobertas ocorrem simultaneamente em áreas que vão desde o sequenciamento genético até a nanotecnologia, das energias renováveis à computação quântica (Schwab, 2016, p. 16).

Ao contrário das revoluções anteriores, a Quarta Revolução Industrial promove a interação entre os ambientes físicos e virtuais, o que possibilita, por exemplo, o monitoramento de fábricas e do processo produtivo virtualmente. Ademais, sua difusão ocorre de maneira mais rápida, uma vez que os países estão inseridos em uma rede global de comércio e suas economias são interconectadas. A constatação dessa nova revolução pode ser explicada por três pontos: velocidade, amplitude e profundidade e impacto sistêmico (Schwab, 2016, p. 13), como será discutido a seguir:

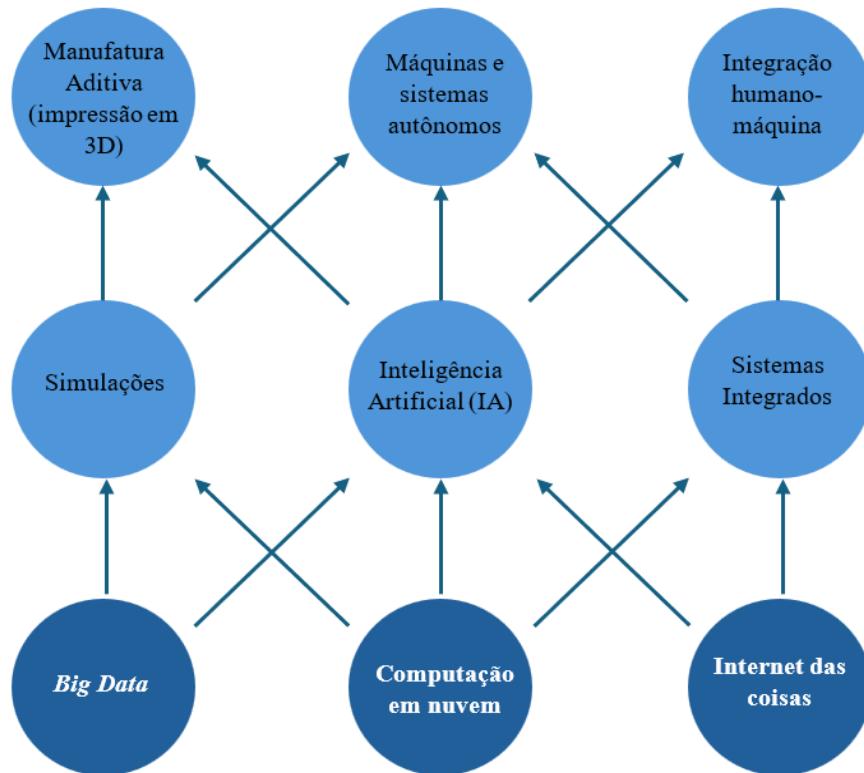
Velocidade: ao contrário das revoluções industriais anteriores, esta evolui em um ritmo exponencial e não linear. Esse é o resultado do mundo multifacetado e profundamente interconectado em que vivemos; além disso, as novas tecnologias geram outras mais novas e cada vez mais qualificadas;

Amplitude e profundidade: ela tem a revolução digital como base e combina várias tecnologias, levando a mudanças de paradigma sem precedentes da economia, dos negócios, da sociedade e dos indivíduos. A revolução não está modificando apenas o “o que” e o “como” fazemos as coisas, mas também “quem” somos; e

Impacto sistêmico: ele envolve a transformação de sistemas inteiros entre países e dentro deles, em empresas, indústrias e em toda sociedade.

Essas características devem-se, entre outros fatores, à alta interação entre as tecnologias típicas da Quarta Revolução Industrial. A Figura 3 apresenta a confluência dessas ferramentas, que permitem o compartilhamento de informações de forma virtual e viabilizam um intenso fluxo de dados entre empresas e agentes. Assim, não há necessidade de presença física dos indivíduos para a execução de ordens de produção ou a geração de relatórios, por exemplo.

Figura 3: Confluência de tecnologias que facilitam o processo de digitalização



Fonte: Adaptado de OCDE (2017).

Visto isso, algumas tecnologias disruptivas integram essa nova revolução, sendo necessária a compreensão delas. São elas:

Análise de *Big Data*: refere-se à necessidade de formas de processamento de grandes quantidades de dados, que chegam de forma mais rápida e exigem maior capacidade de processamento. “São utilizadas técnicas estatísticas e de aprendizagem de máquina para extrair informações relevantes aos negócios, inferências e tendências não possíveis de se obter com uma análise humana” (Portal da Indústria [s.d]).

Computação em Nuvem: refere-se à utilização de ferramentas compartilhadas, como “servidores, armazenamento, bancos de dados, redes, *software*, análises, inteligência – pela Internet, com utilização de memória, capacidade de armazenamento e cálculo de computadores e servidores hospedados em *Datacenter*, proporcionando recursos flexíveis e economia na escala” (Portal da Indústria [s.d]).

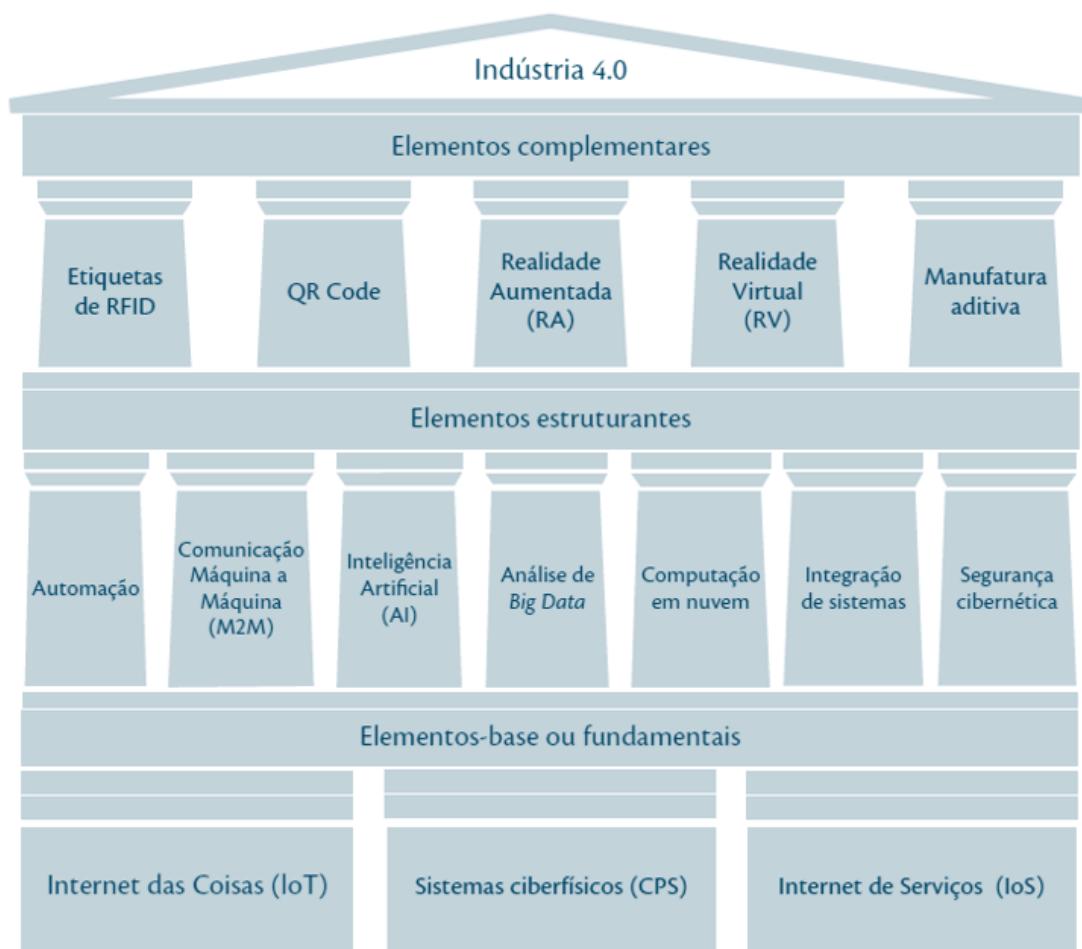
Inteligência Artificial: “aplicação de análise avançada e técnicas baseadas em lógica, incluindo aprendizado de máquina, para interpretar eventos, analisar tendências e comportamentos de sistemas, apoiar e automatizar decisões e realizar ações” (Portal da Indústria [s.d]). Por meio do *Machine Learning*, a Inteligência Artificial é capaz de analisar grandes volumes de dados (*Big Data*), aprender com essas informações e tomar decisões sobre tarefas específicas.

Internet das Coisas: “uma ponte entre as aplicações físicas e digitais. É a relação entre as coisas (produtos, serviços, lugares etc.) e as pessoas que se torna possível por meio de diversas plataformas e tecnologias conectadas” (Schwab, 2016, p. 26). Ela habilita inovações nos demais *clusters*, com a captura e transmissão de dados por meio de infraestruturas de rede, os quais poderão ser analisados com o poder de processamento da Computação em Nuvem. “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” (CGEE, 2022, p. 23).

Manufatura Aditiva: “também chamada de impressão em 3D. Ela baseia-se na criação de um objeto físico por impressão, camada sobre camada, de um modelo ou desenho digital em 3D” (Schwab, 2016, p. 24). Ela amplia a flexibilidade produtiva, favorecendo a personalização em massa e a descentralização da produção, o que pode encurtar cadeias de valor e reduzir custos.

Robótica: “consiste na utilização de robôs para a realização de atividades anteriormente praticadas por seres humanos, tanto nas indústrias, na agricultura e nas prestações de serviços” (Schwab, 2016, p. 25). Com o avanço tecnológico, os robôs se tornaram mais flexíveis e adaptáveis aos processos produtivos, uma vez que utilizam sensores que ampliam a compreensão e a melhor resposta ao ambiente em que estão inseridos.

Figura 4: Elementos formadores da Indústria 4.0



Fonte: Adaptado de Sacomano *et al.* (2018) *apud* CGEE (2022).

A Figura 4 apresenta outras tecnologias associadas à Indústria 4.0, de modo a representar a estruturação dessa revolução em diferentes níveis de interdependência, distinguindo tecnologias fundamentais, estruturantes e complementares, que juntas formam a base da Quarta Revolução

Industrial. A implementação dessas tecnologias possibilita que as empresas reduzam seus custos marginais, uma vez que há uma menor necessidade de trabalhadores adicionais para realizar as atividades produtivas e as máquinas e equipamentos são mais eficientes. Com essa incorporação, ocorre o processo de substituição do capital humano comum por máquinas e pessoas altamente qualificadas, o que leva a uma alteração na forma como as empresas e agentes econômicos demandam determinados fatores de produção, como a mão de obra, e como destinam, a partir de agora, recursos para a digitalização e a construção de fábricas inteligentes.

A seguir, apresentam-se os conceitos e os instrumentos estatais associados à implementação das políticas de inovação, além da análise da retomada de projetos governamentais de incentivo ao setor industrial após um período de estagnação.

1.2. Políticas de inovação

Inicialmente, considera-se que a política industrial e a política tecnológica se interligam, formando o que se convencionou chamar de política de inovação. Nesse contexto, a política industrial é definida como “incentivos e regulações associadas a ações públicas, que podem afetar a alocação inter e intraindustrial de recursos, influenciando a estrutura produtiva e patrimonial, a conduta e o desempenho dos agentes econômicos em um determinado espaço nacional” (Ferraz; de Paula; Kupfer, 2013, p. 313).

As políticas de inovação são utilizadas como instrumento governamental para o fortalecimento e construção de um ambiente propício para o desenvolvimento tecnológico. O processo inovativo, no entanto, está sujeito a riscos e incertezas, o que gera falhas de mercado. Nesse sentido, “[...] a elevada incerteza dos retornos econômicos e/ou a incerteza inerente ao desenvolvimento tecnológico, fazem com que as firmas invistam menos do que o socialmente desejável nessas atividades” (Bittencourt; Rauen, 2021, p. 521). Porém, embora identifique corretamente os fatores que reduzem as atividades inovativas, as falhas de mercado, apesar de contornáveis, são inerentes ao sistema produtivo. Dessa forma, “o que os economistas ortodoxos chamam de falhas de mercado, na verdade, constituem a força do crescimento e da mudança estrutural do capitalismo, que podem e devem ser induzidas mediante regimes específicos de regulação e incentivos” (Ferraz; de Paula; Kupfer, 2013, p. 318).

A política de inovação na abordagem neoshumpeteriana destaca a importância de um “intenso processo de interação que procura atuar sobre a atividade inovativa propriamente dita, bem como sobre outros elementos da economia nacional que influenciam e importam para a estratégia comercial das firmas” (Bittencourt; Rauen, 2021, p. 522). Desse modo, para que a atividade inovativa se desenvolva, é preciso haver um ambiente em que as leis de propriedade intelectual sejam garantidas e que a tomada de risco seja estimulada por meio da redução de incertezas.

Para a eficiência de uma política de inovação, ela não deve ser implementada de forma descoordenada com as outras políticas governamentais. Nesse sentido,

[...] a dinâmica tecnológica de um país é o resultado da interação entre vários processos diferentes que são influenciados por uma série de políticas, muitas das quais possuem outros objetivos e que não carregam o rótulo de ‘inovação’. Uma política de inovação eficaz, portanto, requer uma estreita coordenação de políticas em vários domínios diferentes, o desenvolvimento de novas formas de governança e o apoio às bases de conhecimento que tornam isso possível (Fagerberg *et al.*, 2015, p. 16 *apud* Bittencourt; Rauen, 2021, p. 522-523).

Ademais, as políticas de inovação podem adotar diferentes abordagens, sendo classificadas como de caráter horizontal ou vertical. No primeiro tipo, o objetivo é estimular a economia como um todo, sem que nenhuma indústria seja privilegiada individualmente. Já nas políticas verticais, determinadas indústrias são favorecidas. Os principais instrumentos estatais para a implementação dessas políticas são (Ferraz; de Paula; Kupfer, 2013, p. 320):

1. Inovação: incentivos aos gastos com pesquisa e desenvolvimento, fomento à difusão de tecnologias e informações;
2. Capital: crédito e financiamento a longo prazo, estímulos às exportações (crédito e seguro de crédito), financiamento às importações;
3. Incentivos fiscais: deduções fiscais em âmbito nacional, estadual ou municipal para promoção de atividades industriais; e
4. Compras de governo: mecanismos preferenciais para produtores locais.

Nos anos 1970 e 1980, a “política industrial como instrumento para se fomentar o desenvolvimento tornou-se alvo crescente de críticas por parte das correntes econômicas *mainstream*” (Diegues; Roselino, 2020, p. 3). Nesse contexto, ondas liberais gestadas pelas medidas dos governos Reagan e Thatcher reduziram o espaço das políticas industriais. Segundo Naudé (2010, *apud* Labrunie; Penna; Kupfer, 2020, p. 4),

in many cases, government action limited itself to determining the ‘rules of the game,’ ‘levelling the playing field,’ and promoting liberalization and privatization policies. These would prioritize non-selective (horizontal) industrial policies, frequently under other names, such as ‘competitiveness policies’ or ‘productivity policies’.

A partir de 1990, houve uma mudança no foco das políticas, que passaram a enfatizar uma visão baseada em sistemas de aprendizado e inovação. “*This period also saw the transformation of industrial policies into innovation policies*” (Soete, 2007; Castro, 2009 *apud* Labrunie; Penna; Kupfer, 2020, p. 4). Recentemente, o debate sobre políticas de inovação retornou às pautas governamentais e aos estudos acadêmicos. Para Labrunie; Penna; Kupfer (2020), a retomada dessa discussão na academia foi impulsionada por fatores como o fracasso das políticas do Consenso de

Washington no desenvolvimento e melhora das condições dos países menos desenvolvidos; a crise financeira global de 2008, que pautou debates acerca do papel do mercado como alocador e regulador autônomo; o avanço econômico chinês, possibilitado por intensos investimentos governamentais no fomento à indústria e na criação de um ambiente propício ao seu desenvolvimento; e a evidência do papel do Estado nos casos de sucesso econômico nos séculos XVIII, XIX e XX.

Labrunie; Penna; Kupfer (2020), destacam que o retorno dessas políticas ocorreu em duas ondas. A primeira, pós-crise de 2008, desenvolveu-se no esforço dos países para recuperarem suas economias, em um cenário de desconfiança da atuação do mercado como regulador da economia. A segunda, mais recente, é vista na publicação de estratégias industriais pelos governos, como “[...] the German ‘New High Tech Strategy’ published in 2014, the Chinese strategy ‘Made in China 2025’ published in 2015, and the British ‘Industrial Strategy’ published in 2017” (Labrunie; Penna; Kupfer, 2020, p. 5).

Diegues; Roselino (2020) observam que o novo paradigma tecno-econômico da Indústria 4.0 surgiu como resposta das economias desenvolvidas à nova forma de produção que emergiu nas décadas finais do século XX. Nesse contexto, a retomada das políticas de inovação não se restringe a um caráter reativo, isto é, de contenção dos efeitos sociais das novas tecnologias, como alterações no mercado de trabalho e a crescente demanda por mão de obra especializada. A atuação do Estado fundamenta-se na compreensão de que “[...] não há caráter de espontaneidade no desenvolvimento de tecnologias associadas à Indústria 4.0, mas que este processo é essencialmente decorrente de estratégias nacionais [...]” (Diegues; Roselino, 2020, p. 9).

Dessa forma, foi visto que as políticas de inovação desempenham um papel essencial no desenvolvimento tecnológico e industrial, sendo fundamentais para criar um ambiente propício ao crescimento econômico. A interação entre essas políticas e outras áreas do governo, assim como a mitigação de incertezas, são elementos chave para o sucesso das atividades inovativas. Uma política bem coordenada pode levar a mudanças estruturais importantes para a competitividade e a transformação econômica.

Em síntese, no Capítulo 1, foi possível analisar a teoria schumpeteriana e sua relação com as revoluções industriais, destacando a inovação como motor da evolução do sistema capitalista. A partir do conceito de destruição criadora, desenvolvido por Schumpeter, observou-se a rejeição do

caráter estacionário do sistema capitalista, no qual guerras e revoluções impulsionam transformações na indústria e na atividade econômica. O modelo Freeman-Perez, por sua vez, enfatizou a importância de condições sociais e econômicas favoráveis para o aumento da confiança e a consequente expansão dos investimentos empresariais. Além disso, a análise da taxonomia proposta por Carlota Perez permitiu compreender como o processo inovativo evoluiu ao longo da trajetória industrial, culminando na constatação de uma Quarta Revolução Industrial, marcada pela crescente interconectividade entre sistemas físicos e virtuais. Essa nova fase, segundo Klaus Schwab, caracteriza-se pela velocidade, amplitude, profundidade e impacto sistêmico das transformações em curso.

Também foram apresentadas as políticas de inovação, com destaque para o papel estratégico do Estado na criação de um ambiente favorável ao desenvolvimento tecnológico. Abordou-se a importância da coordenação entre diferentes políticas públicas, os instrumentos disponíveis para incentivar a atividade inovativa e a distinção entre políticas horizontais e verticais voltadas à transformação da indústria. Ademais, constatou-se que, após um período de estagnação, devido à onda liberal, as políticas de inovação voltaram a ocupar espaço na agenda dos governos, especialmente diante do agravamento da competição internacional e da necessidade de atuação estatal no contexto pós-crise de 2008.

A seguir, no capítulo 2, será investigada a Quarta Revolução Industrial na China e nos Estados Unidos e, posteriormente, no capítulo 3, ela será analisada no Brasil, a partir da PINTEC Semestral 2022. Ademais, a análise das especificidades de cada país, a capacidade de inovação, o nível de maturidade industrial e tecnológica serão fundamentais para a compreensão do nível atual de desenvolvimento em que esses países se encontram.

CAPÍTULO 2 – INDÚSTRIA 4.0: UMA ANÁLISE DAS EXPERIÊNCIAS DA CHINA E DOS ESTADOS UNIDOS

Este capítulo tem como objetivo analisar a implementação das tecnologias características da Indústria 4.0 na China e nos Estados Unidos. A escolha desses países se justifica pelo papel central que ambos desempenham no desenvolvimento, na difusão e na liderança em inovações tecnológicas aplicadas à indústria. Os Estados Unidos, com sua sólida base de inovação e ecossistemas de pesquisa avançados, sustentados pela interação entre universidades, setor privado e políticas públicas de fomento, protagonizam a Quarta Revolução Industrial. O país não apenas lidera o desenvolvimento e a implementação de tecnologias de manufatura avançada, como também exerce forte influência internacional por meio da exportação dessas inovações, consolidando a posição de suas empresas como referências globais em setores estratégicos.

A China, por sua vez, estruturou uma transformação profunda de seu modelo produtivo ao articular políticas industriais de longo prazo com investimentos massivos em digitalização e automação. O processo de migração de uma economia baseada em produção de baixo custo, a chamada "fábrica do mundo", para uma estrutura focada na geração de tecnologias e inovação posicionou a China como um dos principais polos globais da Indústria 4.0. Além disso, “segundo dados da OCDE mensurados a partir da paridade de poder de compra, os gastos de P&D em relação ao PIB chinês evoluíram de 0,89% em 2000 para 2,4% em 2018” (Diegues; Roselino, 202, p. 7).

Diegues; Roselino (2021) destacam que, segundo o ranking *TheGlobal Unicorn Club*, desenvolvido pela plataforma de inteligência de mercado em áreas de alta tecnologia CB Insights, no mês de julho de 2020 havia 476 startups unicórnio (avaliadas em mais de US\$ 1 bilhão) no mundo. Dentre elas, 122 eram chinesas e 229 estadunidenses (73,73% do total de startups unicórnio do mundo). No entanto, o valor de mercado das empresas chinesas era de US\$ 312 bilhões, enquanto as dos Estados Unidos eram avaliadas em US\$ 316 bilhões. Desse modo, serão expostas as políticas governamentais e a adoção de tecnologias que foram fundamentais para a configuração dos países no mercado tecnológico e inovativo atual.

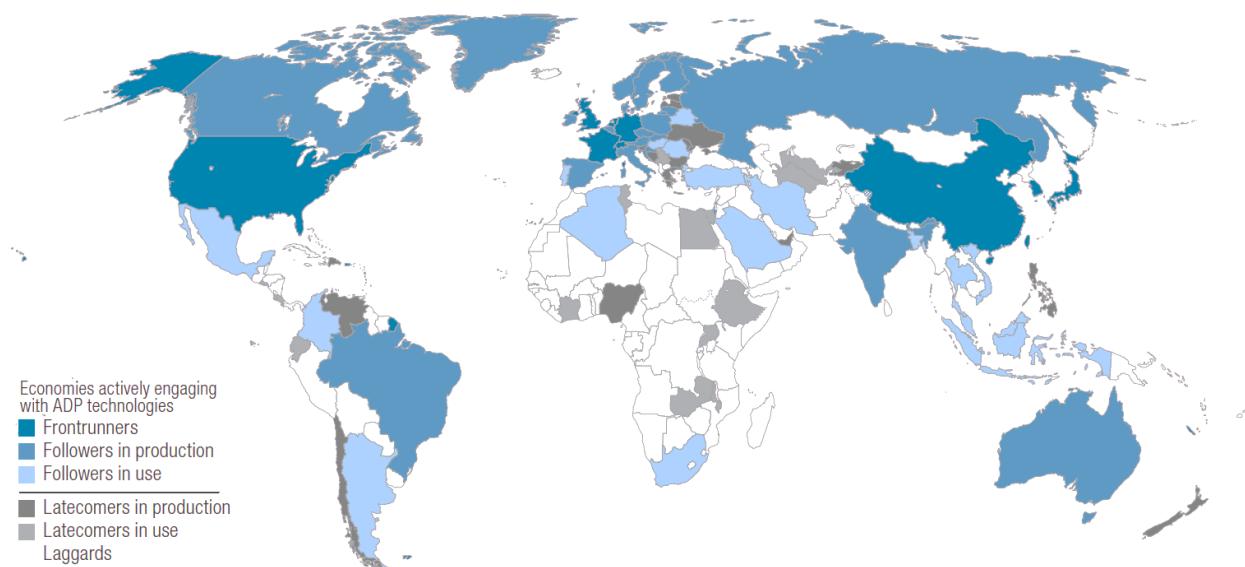
Assim, será discutida a implementação das tecnologias características da Indústria 4.0 nos dois países no tópico 2.1 e as políticas de incentivo ao desenvolvimento tecnológico e industrial no

tópico 2.2. No caso chinês, traz-se o “*Made In China 2025*” e o 14º Plano Quinquenal (2021-2025) da China. Em relação aos Estados Unidos, será apresentada a criação, em 2012, do *National Network of Manufacturing Innovation* (atualmente denominado *Manufacturing USA*).

2.1. Implementação das tecnologias características da Indústria 4.0 na China e nos Estados Unidos

Inicialmente, considera-se que a China e os Estados Unidos são países com estruturas industriais e tecnológicas altamente desenvolvidas. Pela Figura 5, é possível notar o destaque dado aos dois países (cor azul escura), que são os únicos com abrangência continental classificados como *frontrunners*. Isso indica que se destacam na produção e no uso de tecnologias avançadas, o que os coloca como protagonistas globais da transformação digital da indústria. Assim, evidencia-se a centralidade dessas duas economias no cenário internacional da *Advanced Digital Production* (ADP), refletindo seu alto grau de engajamento tecnológico.

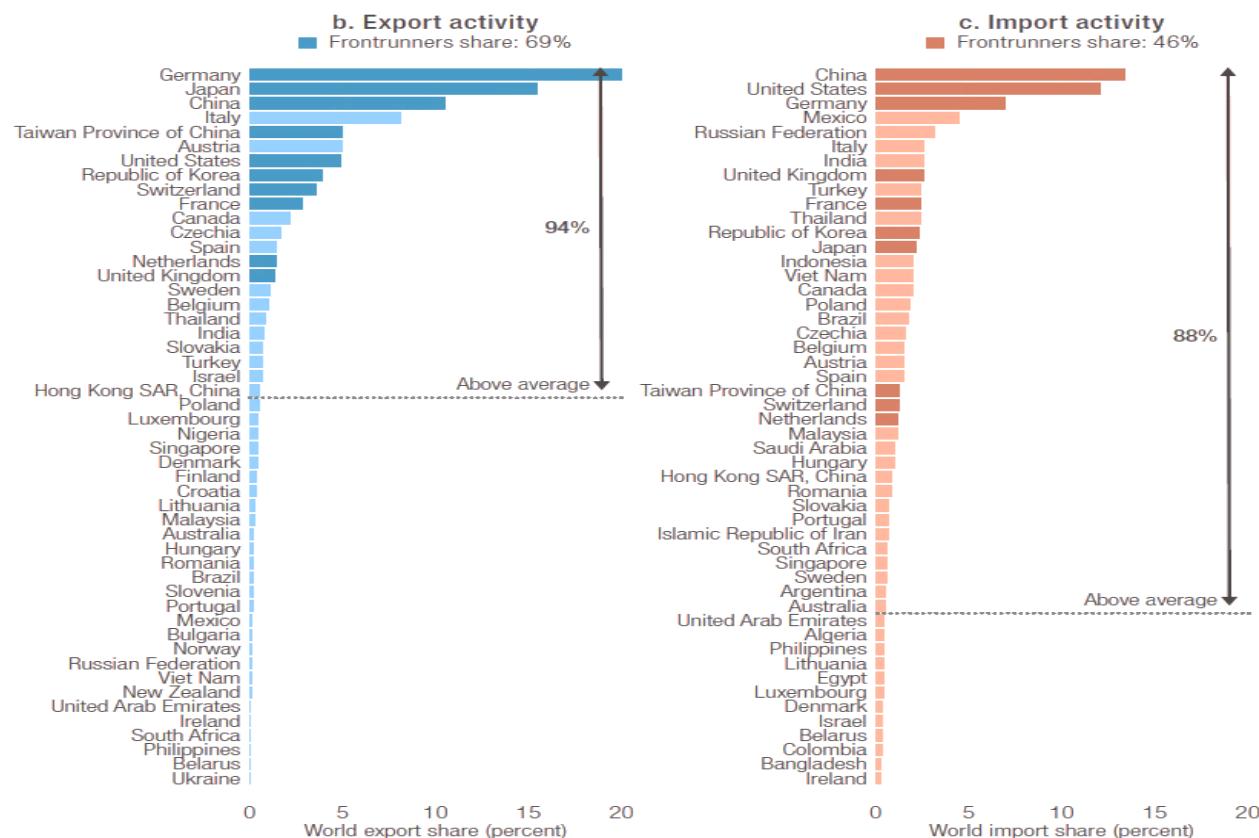
Figura 5: Produção e uso de tecnologias avançadas (2019)



Fonte: Unido (2019).

A Figura 6 apresenta dados sobre as importações e exportações (2014-2016) de tecnologias avançadas pelas 50 economias mais relevantes da amostra considerada. Observa-se que os Estados Unidos ocupam a sétima posição entre os maiores exportadores e a segunda entre os maiores importadores dessas tecnologias. A China, por sua vez, é a terceira maior exportadora e lidera o *ranking* de importações. Além disso, verifica-se que 94% das exportações são concentradas em apenas 23 países, enquanto 38 países respondem por 88% das importações. Destaca-se ainda que os países classificados como *frontrunners* concentram 69% das exportações e 46% das importações de tecnologias avançadas, reforçando seu papel central na dinâmica global dessas transações.

Figura 6: Participação relativa dos 50 maiores países nas Exportações e Importações de tecnologias avançadas (%) (2014-2016)



Fonte: Unido (2019).

Ao longo dos anos, a indústria chinesa passou por profundas transformações, resultando no crescimento da oferta interna de tecnologias e na redução da dependência externa. Sua consolidação como um importante desenvolvedor de robôs pode ser observada no Gráfico 1, que mostra o crescimento na instalação de robôs industriais na China. Em 2023, foram instaladas 277.000 unidades, representando um aumento de 386,00% em relação a 2014, quando foram registradas 57.000 instalações. No entanto, em comparação com 2022, houve uma redução de 13.000 unidades (4,50%). Além disso, embora as importações desses robôs ainda predominem, a partir de 2020 elas diminuíram proporcionalmente em relação ao total instalado. Entre 2020 e 2023, o número de robôs fornecidos por fabricantes chineses aumentou de 53.000 para 131.000 unidades, um crescimento de 147,00%.

Essa tendência de menor dependência de fornecedores estrangeiros é impulsionada por investimentos locais na produção desses equipamentos. Em 2023, os fornecedores chineses representaram quase metade das instalações totais (131.000 de 277.000), enquanto em 2014 eram responsáveis por cerca de 28,00% (16.000 de 57.000).

Gráfico 1: Quantidade de Robôs industriais instalados na China, com a divisão entre fornecedores estrangeiros e fornecedores internos (2014-2023) (1.000 unidades)



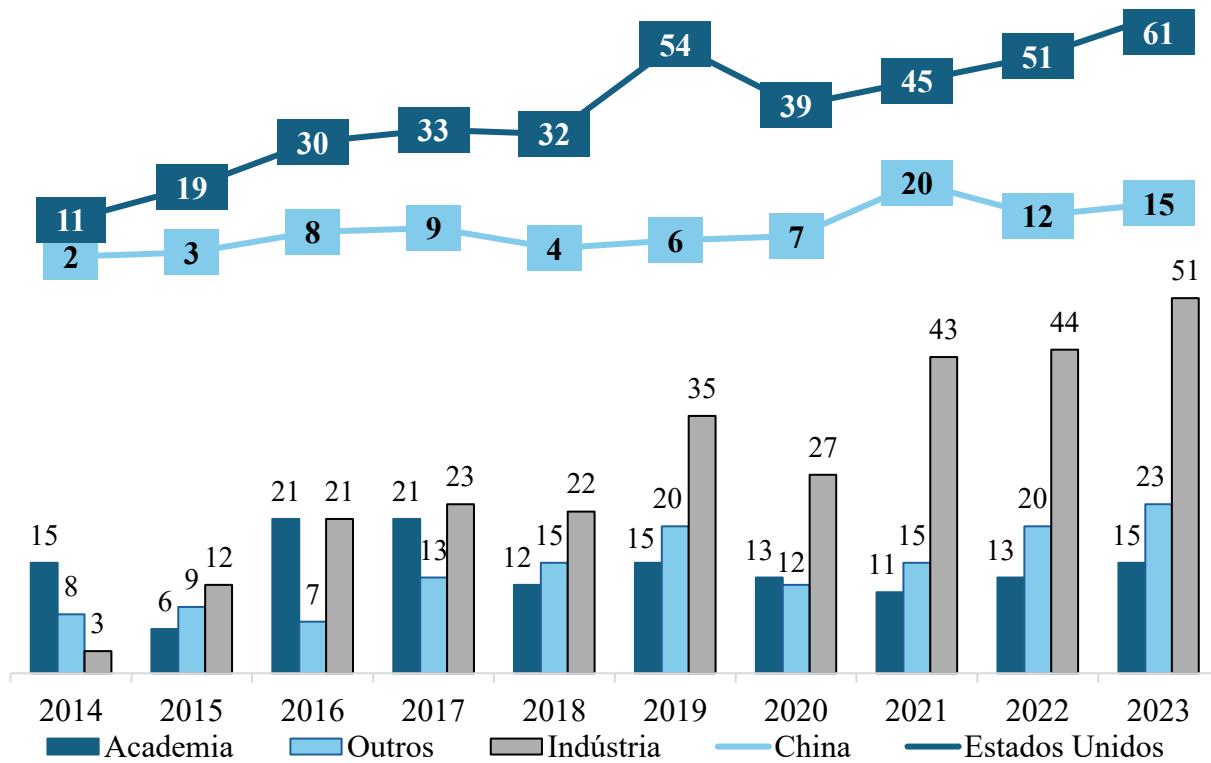
Em seguida, consideram-se os conceitos de *Machine Learning* e Inteligência Artificial,

o *Machine Learning* (ML) é o subconjunto da Inteligência Artificial (IA) que se concentra na construção de sistemas que aprendem, ou melhoram o desempenho, com base nos dados que consomem. A Inteligência Artificial é um termo amplo que se refere a sistemas ou máquinas que imitam a inteligência humana. O *Machine Learning* e a IA são frequentemente abordados juntos, e os termos às vezes são usados de forma intercambiável, mas não significam a mesma coisa. Uma distinção importante é que, embora todo *Machine Learning* seja IA, nem toda IA é *Machine Learning* (Oracle).

O Gráfico 2 apresenta a quantidade de modelos de *Machine Learning* desenvolvidos pela Academia, Indústria e Outros, além de distinguir aqueles produzidos pelos Estados Unidos e pela China. Observa-se que, entre 2019 e 2023, a maioria dos modelos foi desenvolvida pela indústria. Em 2014, entretanto, a academia liderava, com 15 modelos, frente a apenas 3 desenvolvidos pela indústria. Esse cenário se inverteu ao longo do tempo: em 2023, a indústria alcançou 51 modelos (crescimento de 325,00% em relação a 2015), enquanto a academia teve um aumento absoluto de apenas 9 modelos no mesmo período, perdendo participação relativa. Tal mudança evidencia uma migração das atividades de pesquisa para o setor produtivo, impulsionada pela crescente incorporação tecnológica e pela busca por maior eficiência industrial.

No contexto internacional, os Estados Unidos se destacam como os maiores desenvolvedores de modelos de *Machine Learning*, evidenciando consistência no avanço tecnológico. O número de modelos passou de 11 em 2014 para 61 em 2023 (crescimento de 454,54%), reflexo das sinergias entre setor público e iniciativa privada. A China, embora tenha crescido de 2 para 15 modelos no mesmo período (aumento de 650,00%), ainda apresenta produção significativamente menor, mantendo difusão limitada em relação aos Estados Unidos.

Gráfico 2: Modelos de *Machine Learning* desenvolvidos pela China e pelos Estados Unidos e comparação dos modelos desenvolvidos pela Indústria, Academia e Outros* (2014-2023)

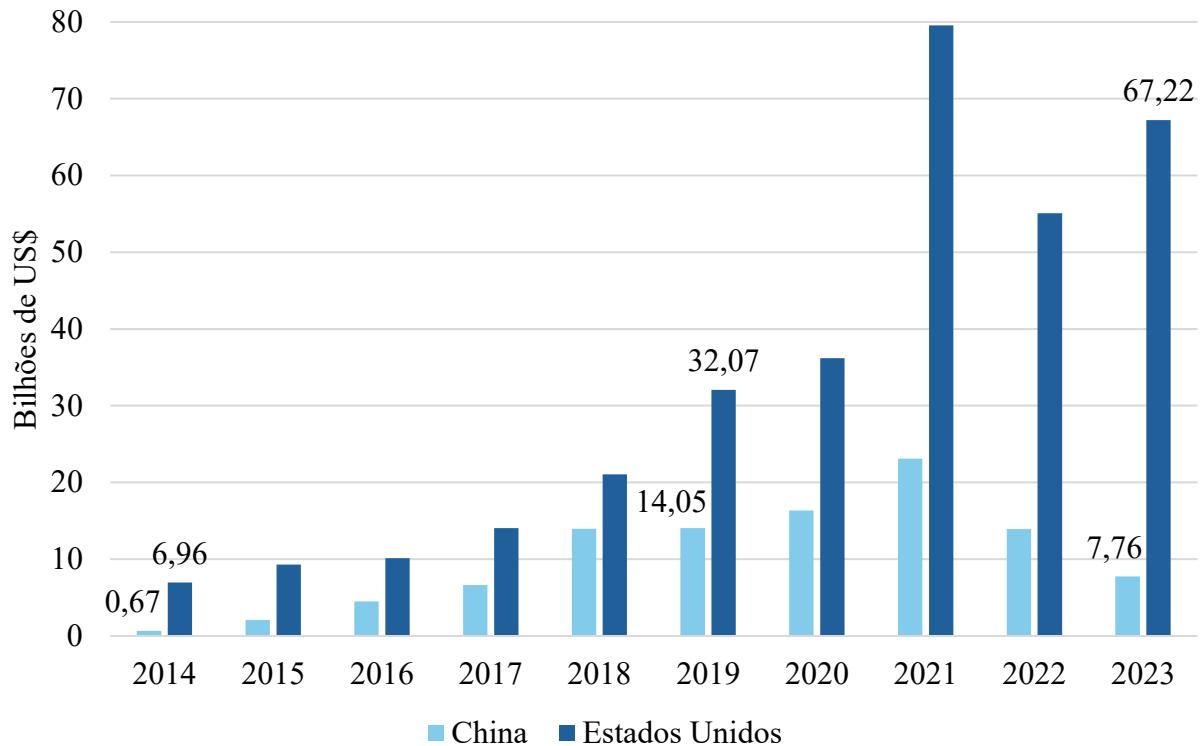


Fonte: *Stanford University*; Elaboração própria.

*Outros: Academia-Governo; Pesquisa Coletiva; Governo; Colaboração Indústria-Academia; Colaboração Indústria-Pesquisa Coletiva.

Como visto no Gráfico 2, os Estados Unidos são os maiores desenvolvedores de modelos de *Machine Learning* do mundo, seguidos pela China. Conforme o Gráfico 3, os investimentos privados do país em Inteligência Artificial atingiram US\$ 67,22 bilhões no ano de 2023, aumento de US\$ 60,26 bilhões (865,80%) em comparação com 2014. Por outro lado, a China, apesar do aumento de investimentos de US\$ 7,09 bilhões (crescimento de 1.058,20% entre 2014 e 2023), ainda apresenta um mercado muito menor do que o dos Estados Unidos, como observado no Gráfico 3. No entanto, apesar do menor investimento de empresas privadas, a China beneficia-se da “existência de uma complexa cadeia de suprimento local e do alto poder de coordenação dos investimentos realizados pelas grandes estatais também podem contribuir para iniciativas de desenvolvimento conjunto entre empresas privadas, estatais e centros de P&D” (Diegues; Roselino, 2021, p. 13).

Gráfico 3: Valor privado investido pela China e pelos Estados Unidos em Inteligência Artificial (2014-2023) (bilhões de US\$)



Fonte: *Stanford University*; Elaboração própria.

Na Tabela 1, é apresentada a taxa de utilização da Computação em Nuvem na indústria dos Estados Unidos. Na Fabricação de alimentos, 47,32% das firmas utilizaram a tecnologia no ano de 2022. Na Fabricação de bens não duráveis, o percentual foi de 48,74%, e na Fabricação de bens duráveis, de 45,88%. Ademais, o estudo constatou uma relação positiva entre a utilização da tecnologia e a introdução de inovações (*any product innovation, new-to-market product innovation, business practice innovation, e marketing innovation*) dentro das empresas, sendo que “*In every industry, the incidence of every type of innovation is higher among cloud computing services users relative to nonusers*” (NCSES, 2022, p. 14).

Tabela 1: Utilização da Computação em Nuvem na indústria dos Estados Unidos (%) (2022)

Indústria	Código NAICS	Computação em Nuvem (%)
Fabricação de alimentos	31	47,32
Fabricação de bens não duráveis	32	48,74
Fabricação de bens duráveis	33	45,88

Fonte: NCSES (2022); Elaboração própria.

*Ao contrário da PINTEC Semestral, que considera empresas com 100 ou mais pessoas empregadas, a pesquisa da NCSES considera empresas de todos os portes.

NAICS: *North American Industry Classification System*.

A posição de destaque desses países é resultado de elevados investimentos, tanto públicos quanto privados, na criação de uma estrutura favorável ao desenvolvimento tecnológico e à fabricação de produtos de alta tecnologia. Nesse contexto, a subseção 2.2 apresentará as políticas de desenvolvimento industrial adotadas pela China, por meio do programa *Made in China 2025* e do 14º Plano Quinquenal, e pelos Estados Unidos, por meio da *National Network of Manufacturing Innovation*, atualmente denominado *Manufacturing USA*.

2.2. Políticas para o desenvolvimento industrial

Como visto, as políticas de inovação são utilizadas como instrumento governamental para o fortalecimento e construção de um ambiente propício para o desenvolvimento tecnológico. A atuação estatal pode ser observada nos diferentes tipos de economia, como na China e nos Estados Unidos, países que apresentam diferenças ideológicas, mas convergem na atuação do agente estatal no estímulo ao desenvolvimento tecnológico industrial. Nesse sentido, serão apresentadas as políticas governamentais implementadas pelos dois países, à luz da Quarta Revolução Industrial. No caso chinês, será abordado o *Made in China 2025* e o 14º Plano Quinquenal e, no caso dos Estados Unidos, o *Manufacturing USA*.

2.2.1. *Made In China 2025* e o 14º Plano Quinquenal da China

Com o avanço tecnológico global, houve um aumento da necessidade de os países desenvolverem tecnologias associadas à Indústria 4.0. A grande quantidade de dados que circula e a rapidez com que eles são processados são fatores que podem levar ao desenvolvimento e liderança de determinadas firmas. Nesse sentido, deve-se considerar que as empresas chinesas enfrentam um grande desafio,

even though many Chinese companies are still operating according to the industry 2.0 model and do not have the capacity to rapidly transition, in some ways China is well positioned to adopt Industry 4.0. This is due to the fact that in Baidu, Alibaba and Tencent, among other companies, China possesses strong and, in some areas, leading capabilities for Digitization and Big Data (European Chamber, 2017, p. 10).

Além disso,

a maioria das fábricas chinesas possui também um nível de automação rudimentar e quase nenhuma digitalização. Segundo os pesquisadores do Merics, em 2015, por exemplo, as empresas chinesas utilizavam uma média de apenas 19 robôs industriais por 10.000 funcionários da indústria. Isso se compara a 531 na Coréia do Sul, 301 na Alemanha e 176 nos Estados Unidos. Na indústria automotiva chinesa, a densidade de robôs industriais foi de 305 em 2014, enquanto a densidade em países-chave de produção automotiva (como Japão, Alemanha, Estados Unidos e Coréia) é superior a 1.000 (IEDI, 2018, p. 9).

Nesse cenário de aumento da competitividade industrial, o Conselho de Estado da China lançou, em maio de 2015, o plano estratégico *Made in China 2025* (MIC 2025). Parcialmente

inspirado na iniciativa da Indústria 4.0 na Alemanha, ele busca permitir a China escapar da “armadilha da renda média” (dificuldade em transitar de uma economia baseada na acumulação de capital para abordagens que incluem inovação e a adoção de tecnologias modernas) e levar ao desenvolvimento da indústria de transformação. Ademais, o plano foi uma resposta a perda de produtividade da indústria chinesa e ao que o Conselho de Estado classificou como “dupla pressão”, relacionada ao avanço dos países em desenvolvimento, com custos de mão de obra igualmente competitivos e países desenvolvidos, que se beneficiam dos ganhos de eficiência devido às inovações tecnológicas.

O plano objetiva transformar o país em uma “Superpotência industrial”, título do estudo elaborado pela Academia Chinesa de Engenharia em 2013. Para isso, haveria o desenvolvimento e incorporação de inovações, o gerenciamento eficiente das cadeias produtivas e a produção sustentável. Outrossim, com vista ao avanço das tecnologias características da nova Revolução Industrial e a possibilidade de ampliar a conectividade dos sistemas físicos e virtuais,

o plano é atualizar a tecnologia de produção em toda a indústria: grandes e pequenas empresas, estatais e privadas. As tarefas importantes são a comercialização de tecnologias de produção inteligentes, a aplicação de fabricação inteligente em empresas-chave, a construção de fábricas inteligentes e o desenvolvimento de fabricação orientada para serviços. Em particular, as máquinas-ferramentas de controle numérico computadorizadas de alta gama, robôs industriais e TI avançada são o foco do plano (IEDI, 2018, p. 12).

Sua estratégia de implementação foi desenvolvida para que, no ano de 2049, a China seja uma potência industrial mundial, principalmente com tecnologias de alto valor agregado. Assim, para alcançar a meta, o plano foi dividido em três etapas (IEDI, 2018, p. 1-2):

1^a: Metas quantitativas deverão ser atingidas até 2020/2025, compreende objetivos tais como: modernizar, de forma abrangente, os setores industriais; fortalecer a posição da China como uma grande nação industrial; promover a produção de qualidade e em tecnologias de manufatura inteligente; melhorar a eficiência de energia, de mão de obra e do consumo material; tornar as empresas chinesas líderes nas cadeias de valor da indústria de transformação; alcançar o domínio das tecnologias-chave nas principais indústrias ao invés de importá-las;

2^a: A segunda etapa, que deve ser alcançada até 2035, representa, por sua vez, um esforço ainda maior no incentivo à inovação autóctone, especialmente em setores-chave; e

3^a: Na terceira e última etapa, a ser atingida até 2049, os objetivos fixados visam tornar a China líder mundial nos principais setores industriais de alta tecnologia, impulsionando as atividades inovadoras desenvolvidas internamente e mantendo vantagens competitivas do país.

O plano tem como foco o desenvolvimento de dez indústrias estratégicas de alta tecnologia, sendo elas: carros elétricos, tecnologia da informação, telecomunicações, inteligência artificial, robótica avançada, tecnologia agrícola, engenharia aeroespacial, engenharia marítima, biomedicina e infraestrutura ferroviária. *“By revolutionizing these industries, China wants to capture the global market share, become an important part of the global supply chain, challenge the United States global technological leadership, and achieve the ‘Fourth Industrial Revolution’”* (ORCA, 2022).

Para o desenvolvimento industrial chinês, os bancos foram orientados a fornecer apoio financeiro às empresas nacionais, aumentando o seguro de crédito à exportação. Além disso, foi determinado que essas firmas receberiam subsídios dos governos locais e do governo central, reduzindo os custos de produção. *“These subsidies, while spread across various industries, have the most support and impact in industries with little to no foreign presence, encouraging companies to buy from domestic firms”* (ORCA, 2022). Além disso, considera-se que

as atividades de inovação chinesas são, segundo os autores, particularmente fortes em campos tecnológicos com alto suporte político: robôs industriais tradicionais, redes de sensores sem fio e sensores inteligentes. Em contrapartida, as atividades de inovação chinesas são mais fracas em computação em nuvem e grandes dados, robôs avançados e segurança da informação. Todavia, mesmo nesses domínios, a capacidade de P&D e inovação na China também estão avançando rapidamente. Esse é o caso, por exemplo, das tecnologias de informação e inovação (ICT, na sigla em inglês), como Internet das coisas (IoT), computação em nuvem e *Big Data* (Wübbeke et al. *apud* IEDI, 2018, p. 5-6).

Além dos planos para o desenvolvimento dos setores destacados, a estratégia do *“Made in China 2025”* visa ao aumento dos gastos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) em relação ao Produto Interno Bruto (PIB) da indústria manufatureira, o que aumentará a capacidade de inovação do país. Ademais, a maior presença da indústria na composição do PIB e a integração de Tecnologias da Informação com o setor são fatores que podem levar ao alcance das metas estabelecidas no plano.

Tabela 2: Indicadores para a manufatura de 2020 e 2025

Indicadores	2015	2020	2025
Capacidade de Inovação			
Custo de P&D da indústria de manufatura (%)	0,95	1,26	1,68
Número de invenções por CNY 100 milhões de receita total	0,44	0,70	1,10
Qualidade e Valor			
Crescimento do Valor Adicionado Industrial (%)	-	2,00	4,00
Crescimento anual da produtividade do trabalho (%)	-	7,50	6,50
Integração de TI e Indústria			
Penetração da banda larga (%)	50,00	70,00	82,00
Utilização de ferramentas de <i>design</i> digital em I&D (penetração %)	58,00	72,00	84,00
Principais processos de produção e utilização de máquinas de controle numérico (penetração %)	33,00	50,00	64,00

Fonte: Adaptado de ORCA (2022).

Conforme a Tabela 2, a relação P&D/PIB deveria aumentar de 0,95% em 2015 para 1,68% em 2025, correspondendo a um acréscimo de 0,73 pontos percentuais. A produtividade anual do trabalho, por sua vez, teria um crescimento de 7,50% a partir de 2020 e de 6,50% a partir de 2025, refletindo um processo de incorporação de tecnologias que impulsiona o aumento da produção por trabalhador. Além disso, a meta para o crescimento do Valor Adicionado Industrial era de 2,00% ao ano a partir de 2020, acelerando para 4,00% ao ano a partir de 2025.

Outro elemento central nas políticas econômicas chinesas são os Planos Quinquenais. O 14º Plano Quinquenal (2021-2025) da China foi aprovado pelo Congresso Nacional do Povo em 12 de março de 2021. De acordo com as autoridades, ele marca o início de um processo de modernização e estabelece metas específicas que devem ser alcançadas até 2025. Para fortalecer o papel do país como uma superpotência industrial, seu desenvolvimento, no contexto da Indústria 4.0, busca promover a inovação e a conectividade, “priorizando projetos em oito áreas de mídia-

alta e alta tecnologia da indústria de transformação, entre as quais, novos materiais, manufatura avançada, robótica, veículos inteligentes e com nova fonte de energia, dispositivos médicos de última geração e medicamentos inovadores” (IEDI, 2021, p. 2). Dessa forma, ele foi baseado em três dimensões (IEDI, 2021, p. 1):

Novo estágio de desenvolvimento: em razão das mudanças em curso no ambiente interno e externo da China, o modelo de desenvolvimento de alta velocidade está em transição para um modelo de desenvolvimento de alta qualidade;

Nova filosofia de desenvolvimento: caracterizada por inovação, coordenação, proteção ambiental, abertura e compartilhamento;

Nova estratégia de desenvolvimento: tem como pilar à circulação doméstica, com as circulações internacional e doméstica reforçando-se mutuamente.

A partir dessas dimensões estruturantes, foram determinadas as prioridades do plano, que refletem o esforço chinês em articular o crescimento econômico ao desenvolvimento tecnológico, sendo elas (IEDI, 2021, p. 2):

Transformar a China em uma potência tecnológica e industrial autossuficiente;

Promover a digitalização da economia e da sociedade;

Enfatizar a demanda doméstica na estratégia de circulação dual;

Acelerar o desenvolvimento verde em direção a uma economia de baixo carbono;

Elevar a China à posição de liderança na governança econômica regional e mundial.

O plano também apresenta 20 metas quantitativas, sendo 8 delas obrigatórias, distribuídas em 5 categorias: desenvolvimento econômico, inovação, bem-estar das pessoas, desenvolvimento verde e segurança alimentar e energética. Para fomentar o processo inovativo,

the Plan aims to keep the share of manufacturing in GDP stable after a decade of decline. Fiscal incentives, wider access to credit, and more efficient industrial land use are among the tools to support the sector. The digitalization of the economy will continue with the share of the digital economy in GDP set to increase to 10% of GDP by 2025, from 7.8% in 2020. Cloud computing, big data, internet (including internet of things and industrial internet), block chain, artificial intelligence, and virtual and augmented reality will be supported (ADB, 2021, p. 3).

Além disso, no contexto de sua elaboração, havia

a 10-year action plan for basic research and an annual increase in research and development (R&D) spending by at least 7% are at the core of the PRC's initiative to enhance scientific and technological capability. This is expected to unleash indigenous innovation and reduce the country's reliance on foreign inputs, mostly in high-technology manufactured goods. Efforts will focus on aerospace, biotech, neuroscience, artificial intelligence, quantum computing, and semiconductors, where the country expects to become a global leader in the longer term (ADB, 2021, p. 3).

Figura 7: Indicadores-chave do 14º Plano Quinquenal (2021-2025)

Categoria	Indicador	2020	13º Plano (até 2020)	14º Plano (até 2025)	Tipo de indicador
Desenvolvimento Econômico	1. Crescimento do PIB (%)	2,3%	> 6,5% ao ano	Razoavelmente alto, mas dependendo da situação	Indicativo
	2. Crescimento da produtividade do trabalho (%)	2,5%	> 6,6% ao ano	Maior que o crescimento do PIB	Indicativo
	3. Taxa de urbanização da população permanente (%)	60,5%	60%	65%	Indicativo
Inovação	4. Crescimento anual do gasto nacional com P&D (%)	2,4%	2,5%	Maior que 7% ao ano	Indicativo
	5. Número de patentes de alto valor por 10 mil habitantes	6,3	nd	12	Indicativo
	6. Valor adicionado pelos principais setores da economia digital em % do PIB	7,8%	nd	10%	Indicativo
Bem-estar social	7. Crescimento da renda disponível <i>per capita</i> (%)	2,1%	> 6,5%	Em linha com o crescimento do PIB	Indicativo
	8. Taxa de desemprego urbano	5,2%	nd	Menor que 5,5%	Indicativo
	9. Média de anos de escolaridade da população em idade ativa (anos)	10,8	10,8	11,3	Obrigatório
Meio ambiente	10. Número de médicos (assistentes) licenciados por 1000 pessoas	2,9	2,5	3,2	Indicativo
	11. Taxa de participação no seguro de pensão básica (%)	91%	90%	95%	Indicativo
	12. Número de vagas em creches para crianças menores de 3 anos por 1000 pessoas	1,8	nd	4,5	Indicativo
Segurança alimentar e energética	13. Expectativa média de vida (ano)	77,3*	+1 ano	+1 ano	Indicativo
	14. Redução no consumo de energia por unidade do PIB (%)	nd	-15%	-13,5%	Obrigatório
	15. Redução das emissões de dióxido de carbono por unidade do PIB (%)	nd	-18%	-18%	Obrigatório
Segurança alimentar e energética	16. Proporção de dias com boa qualidade do ar em Cidades em nível de Prefeitura ou superior (%)	87%	>80%	87,5%	Obrigatório
	17. Proporção da água de superfície de Classe III ou superior (%)	83,4%	>80%	85%	Obrigatório
	18. Taxa de cobertura florestal (%)	23,2%*	23,04%	24,1%	Obrigatório
Segurança alimentar e energética	19. Capacidade geral de produção de grãos (toneladas)	664 milhões*	nd	Maior que 650 milhões de toneladas ano	Obrigatório
	20. Capacidade geral de produção energética (toneladas de carvão equivalente)	nd	nd	Maior que 4,6 bilhões de toneladas ano	Obrigatório

Fonte: IEDI (2021).

Conforme a Figura 7, o crescimento anual dos gastos com P&D voltados à inovação seria maior do que 7,00% a.a. Além disso, outras metas incluíam o crescimento de 10% do Valor Adicionado pelos principais setores da economia digital em proporção do PIB; redução nas emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE); e diminuição de 13,5% no consumo de energia por unidade do PIB.

Dessa forma, foi visto que a estratégia do *Made in China 2025* representa um esforço coordenado para transformar a China em uma potência industrial de alta tecnologia, combinando inovação, digitalização e políticas de incentivo econômico. Os setores contemplados e a implementação de metas de curto, médio e longo prazo demonstram a ambição do país de reduzir a dependência de tecnologias estrangeiras e consolidar sua posição como líder global na manufatura avançada. Já o 14º Plano Quinquenal (2021-2025) representa a busca do governo chinês do fortalecimento e desenvolvimento de áreas estratégicas por meio da inovação e da implementação de tecnologias associadas à Quarta Revolução Industrial. A seguir, será apresentada a estratégia dos Estados Unidos para o desenvolvimento tecnológico industrial.

2.2.2. The National Network of Manufacturing Innovation

Os Estados Unidos são, historicamente, referência no processo de inovação industrial. Durante a Segunda Revolução Industrial (1870-1945) no país, intensificou-se a utilização do aço para a construção de ferrovias e prédios jamais vistos antes; a criação das lâmpadas incandescentes, por Thomas Edison; e a criação do telefone, por Alexander Graham Bell. Além disso,

ao longo da história estadunidense foi desenvolvida uma infraestrutura institucional que estimula o desenvolvimento de inovações tecnológicas, conjugando o estímulo à Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) com diversas outras medidas, inclusive políticas comerciais, exigência de conteúdo local e compras públicas (BNDES, 2017).

Assim, com o objetivo de garantir que os Estados Unidos se mantivessem como pioneiros na produção tecnológica e do conhecimento, foi divulgada em 2011 pelo *President's Council of Advisors on Science and Technology* (PCAST), uma carta ao Presidente Barack Obama,

although the U.S. has been the leading producer of manufactured goods for more than 100 years, manufacturing has for decades been declining as a share of GDP and employment. Over the past decade, it has become clear that this decline is not limited to low-technology

products, but extends to advanced technologies invented in the U.S., and is not solely due to low-wage competition. Moreover, it is increasingly apparent that technology innovation is closely tied to manufacturing knowledge. We cannot remain the world's engine of innovation without manufacturing activity (PCAST, 2011, p. 4).

O documento defende que o governo dos Estados Unidos deveria promover a inovação industrial. O declínio não só da indústria de produtos de baixa tecnologia, mas dos produtos de tecnologia avançada desenvolvidos no próprio país revela a importância de medidas para o estímulo às atividades inovativas. Ademais, acredita-se que o processo de inovação deveria transformar o país em um ambiente propício para o desenvolvimento tecnológico e favorável para o emprego de trabalhadores qualificados na indústria,

we do not believe that the solution is industrial policy, in which government invests in particular companies or sectors. However, we strongly believe that the Nation requires a coherent innovation policy to ensure U.S. leadership support new technologies and approaches and provide the basis for high-quality jobs for Americans in the manufacturing sector (PCAST, 2011, p. 7).

Ainda de acordo com eles, para que o país atraísse atividades manufatureiras e tivesse a liderança produtiva global, seria necessário que dois pontos fossem seguidos (PCAST, 2011), sendo eles:

1. *Create a fertile environment for innovation so that the United States provides the overall best environment for business. We believe this can be accomplished through tax and business policy, robust support for basic research, and training and education of a high-skilled workforce; and*
2. *Invest to overcome market failures, to ensure that new technologies and design methodologies are developed here, and that technology-based enterprises have the infrastructure to flourish here.*

A importância das recomendações do PCAST é que elas levaram a destinação de US\$ 1 bilhão para a criação, no ano de 2012, pelo governo Obama, da *National Network for Manufacturing Innovation* (NNMI), atualmente denominada *Manufacturing USA*. Ela é uma rede de institutos de pesquisa, inspirada na *Fraunhofer*, associação alemã de institutos de pesquisa, “formada por institutos de pesquisa regionais chamados de *Innovative Manufacturing Institutes* (IMI) e que se propõe a acelerar o desenvolvimento e a adoção de tecnologias de manufatura avançada” (BNDES, 2017). Isso se daria por meio da realização de atividades de P&D, que não seriam feitas por empresas privadas por si só e, também,

com esse programa, o governo americano procura amenizar a perda de ideias, projetos e empresas no chamado “vale da morte” - metáfora que indica a fase de desenvolvimento de inovações em que empresas nascentes morrem por conta das incertezas que envolvem as tecnologias disruptivas - por meio da instalação de estruturas multiusuários de suporte ao amadurecimento, prototipagem, testes e demonstrações de tecnologias (Arbix *et al.*, 2017, p. 37).

A atuação conjunta de empresas privadas e institutos de pesquisa poderia levar a redução dos custos de desenvolvimento e comercialização dessas tecnologias. As parcerias público-privadas contam com universidades, institutos e empresas como a General Electric, Lockheed Martin, Boeing, Airbus, Raytheon, IBM, Honeywell, Alcoa, Ford, John Deere, Toshiba, ABB, DuPont. Em 2012, os Estados Unidos se propuseram, inicialmente, a criação de 15 IMIs, valor que foi triplicado com um plano de implementação para 10 anos. Além disso, o *National Additive Manufacturing Innovation Institute* (NAMII), um instituto-piloto foi criado pela união de cinco agências do governo, as quais se comprometeram a investir os recursos necessários. Ademais, “os departamentos de Defesa, Energia e Comércio, bem como a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) e a *National Science Foundation* (NSF), contribuíram inicialmente com US\$ 30 milhões” (BNDES, 2017). Até o ano de 2017, haviam sido criados 11 institutos, conforme a Tabela 3. Eles incluem temas como Impressão 3D, Sensores, Eletrônica Flexível e Semicondutores.

A atuação colaborativa entre os institutos e os organismos federais possui algumas vantagens (BNDES, 2017), como:

1. Abordam o desenvolvimento estratégico de tecnologias habilitadoras e/ou novos materiais;
2. Têm alguns departamentos federais como parceiros importantes (juntamente com empresas estadunidenses); e
3. Contribuem para a redução futura nos custos de aquisição dos materiais/tecnologias e do consumo energético, entre outros.

Tabela 3: Institutos em funcionamento por ministério: *Manufacturing USA* (2017)

Área	Instituto e ano de criação	Cidade e estado	Tema e tecnologias
Defesa	America Makes (2012)	Youngstown, OH	Impressão 3D e Manufatura Aditiva
	DMDII (2014)	Chicago, IL	<i>Design</i> e Manufatura Digital
	LIFT (2014)	Detroit, MI	Materiais Leves
	AIM Photonics (2015)	Albany, NY	Circuitos Integrados e Fotônica Aplicada
	NetFlex (2015)	San Jose, CA	Eletrônica Flexível
	AFFOA (2016)	Cambridge, MA	Fibras e Tecidos
	ATB-MII (2016)	Manchester, NH	Tecnologia de Tecidos Humanos
Energia	Power America (2014)	Raleigh, NC	Semicondutores de Banda Larga
	IACMI (2015)	Knoxville, TN	Polímeros e Compósitos
	CESMII (2016)	Los Angeles, CA	Sensores e Processos Digitais
Comércio	NIIMBL (2016)	Newark, DE	Biomunufatura

Fonte: Adaptado de Arbix *et al* (2017).

A estratégia norte-americana para a manufatura avançada tem como foco o fortalecimento da inovação tecnológica e a atração de atividades produtivas de alto valor agregado. A criação da *Manufacturing USA* e dos IMI's representa uma abordagem voltada para a superação de desafios no desenvolvimento e na adoção de novas tecnologias. A articulação entre empresas, universidades e órgãos governamentais tem sido um dos mecanismos empregados para viabilizar a implementação dessas iniciativas, com o objetivo de ampliar a capacidade tecnológica e a competitividade da indústria dos Estados Unidos em setores estratégicos.

Após a apresentação do estágio tecnológico e industrial da China e dos Estados Unidos no contexto da Quarta Revolução Industrial, o próximo capítulo abordará a implementação das tecnologias da Indústria 4.0 pelas empresas brasileiras, com base na PINTEC Semestral 2022. Além disso, a análise das políticas de fomento ao desenvolvimento tecnológico industrial permitirá uma melhor compreensão das perspectivas para o país nesse cenário de transformação.

CAPÍTULO 3 – UMA ANÁLISE DA INDÚSTRIA BRASILEIRA A PARTIR DA PINTEC SEMESTRAL DE 2022

O Capítulo 3 tem como objetivo analisar a indústria brasileira a partir da PINTEC Semestral 2022 e apresentar as políticas governamentais de incentivo à inovação tecnológica na indústria. Para isso, serão abordados o processo de desenvolvimento da pesquisa, os principais resultados obtidos (como a adoção das tecnologias, os benefícios identificados e os fatores impeditivos), com foco nas tecnologias digitais avançadas. Por fim, serão discutidos a Nova Indústria Brasil (NIB) e o Plano Brasileiro de Inteligência Artificial (PBIA), além do alinhamento das propostas do Eixo 4 do PBIA com a NIB.

3.1. Apresentação da Base de Dados

A Pesquisa de Inovação Semestral 2022 (PINTEC Semestral 2022) foi desenvolvida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em parceria com a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) e a Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Seu objetivo é apresentar indicadores temáticos para a produção de estatísticas sobre inovação e temas correlatos no setor industrial brasileiro, abrangendo empresas com 100 ou mais pessoas ocupadas nas indústrias extractivas e de transformação. A coleta dos dados ocorreu em 2023, tendo como referência o ano de 2022. A pesquisa investiga o uso de tecnologias digitais avançadas, teletrabalho e cibersegurança nessas empresas, seguindo a Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE 2.0). Com relação às tecnologias digitais avançadas, a pesquisa adotou definições baseadas principalmente na *Community Survey on ICT Usage and E-Commerce in Enterprises*, conduzida pelo Eurostat, que investiga a adoção dessas tecnologias nas empresas, uma vez que não há um manual consolidado para a temática, como no caso do Manual de Oslo, utilizado para analisar a digitalização.

O estudo foi desenvolvido de forma a reduzir custos e tempo de realização, o que resultou em diferenças no planejamento amostral. Entre elas, a inclusão apenas de empresas com 100 ou

mais pessoas ocupadas, em contraste com a pesquisa tradicional. Ademais, “a PINTEC Semestral possui caráter complementar à tradicional Pesquisa de Inovação - PINTEC, realizada trienalmente, da qual se deriva, tanto pela introdução de novos indicadores quanto pela atualização de outros, já produzidos, preenchendo, assim, importantes lacunas” (PINTEC Semestral, 2022, p. 6).

A amostra foi composta por 1.532 empresas, representando uma população de 9.586 empresas das indústrias extractivas e de transformação. O questionário temático da PINTEC Semestral 2022 investiga a adoção de tecnologias digitais avançadas nas empresas industriais brasileiras, com o objetivo de complementar a análise feita no questionário básico da pesquisa de inovação (PINTEC Semestral 2022).

Nesse sentido, no âmbito da pesquisa, as tecnologias digitais avançadas foram definidas como

[...] conjunto de tecnologias digitais emergentes, frequentemente associadas à chamada Indústria 4.0, termo que tem sido empregado para designar uma nova tendência identificada na manufatura, na qual há uma integração de um conjunto de tecnologias aos processos produtivos, as quais, conjuntamente, viabilizam sistemas de produção ‘inteligentes’, autônomos e descentralizados (Stankovic et al., 2017 *apud* PINTEC Semestral de 2022, p. 8). Potencialmente, tecnologias digitais avançadas levam a modelos de negócios flexíveis, integrados, conectados e inteligentes, facilitando a personalização de produtos, diminuição de prazos, aumentando a competitividade das empresas industriais, mudando padrões de concorrência e estruturas de mercado (IEL/CNI, 2018 *apud* PINTEC Semestral 2022, p. 8).

Entre as tecnologias digitais avançadas investigadas, destacam-se Análise de *Big Data*, Computação em Nuvem, Inteligência Artificial, Internet das Coisas, Manufatura Aditiva e Robótica. Além disso, foi realizada a investigação sobre os fatores que impulsionaram, dificultaram ou impediram a adoção delas. Dessa forma, a pesquisa investiga os fatores que influenciam os processos decisórios relacionados à adoção de tecnologias digitais avançadas nas empresas, trazendo indicadores relevantes aos formuladores de políticas públicas, uma vez que aponta para indutores a serem desenvolvidos e obstáculos a serem superados.

A pesquisa considerou cinco áreas/funções de negócios, sendo elas: Desenvolvimento de Projetos (trabalho criativo para gerar novos processos e produtos, como atividades de Pesquisa e Desenvolvimento), Produção (transformação de insumos em bens e serviços), Logística (implantação, planejamento e controle da matéria-prima e insumos, além da distribuição comercial), Administração (planejamento empresarial, parte contábil, Recursos Humanos e

Tecnologia da Informação) e Comercialização (oferta de bens e serviços adequados às necessidades dos consumidores).

A partir disso, a seguir serão apresentados os principais resultados da PINTEC Semestral 2022, seguidos de uma análise sobre as políticas de incentivo à inovação industrial brasileira, como a NIB e o PBIA.

3.2. Adoção de Ferramentas Digitais na Indústria Brasileira

A indústria brasileira apresenta, historicamente, atrasos na adoção de tecnologias características das revoluções industriais. Além disso, devido aos altos custos associados, inovações mais específicas para cada tipo de setor como a utilização de Robôs, Inteligência Artificial, Manufatura Aditiva e Análise de *Big Data* apresentam taxa de adoção inferior quando comparadas com serviços que não dependem de infraestrutura individual para que sejam operados, como a Computação em Nuvem e a Internet das Coisas.

Tabela 4: Adoção das tecnologias digitais avançadas por tipo de tecnologia - Quantidade de empresas e utilização relativa

Tecnologia	Quantidade de empresas	Taxa de utilização*
Computação em Nuvem	7.055	73,60%
Internet das Coisas	4.662	48,63%
Robótica	2.657	27,72%
Análise de <i>Big Data</i>	2.239	23,36%
Manufatura Aditiva	1.843	19,23%
Inteligência Artificial	1.619	16,89%

Fonte: PINTEC Semestral (2022); Elaboração própria.

*Adoção de tecnologias digitais avançadas entre as 9.586 empresas industriais com 100 ou mais pessoas ocupadas, todas as quais relataram utilizar informações em formato digital em ao menos uma de suas áreas de negócio.

Conforme a Tabela 4, a maioria das empresas que adotaram tecnologias digitais avançadas optou pela Computação em Nuvem (7.055 empresas, ou 73,60%), seguida pela Internet das Coisas (4.662 empresas, ou 48,63%). As demais tecnologias apresentaram uma taxa de adoção inferior a 50,00%, sendo elas: Robótica (2.657 empresas, ou 27,72%), Análise de *Big Data* (2.239 empresas, ou 23,36%), Manufatura Aditiva (1.843 empresas, ou 19,23%) e Inteligência Artificial (1.619 empresas, ou 16,89%).

Portanto, tecnologias mais custosas, que requerem maiores gastos com qualificação profissional e adaptação da estrutura produtiva, apresentam taxa de adoção menor quando comparadas com a Computação em Nuvem e a Internet das Coisas, que podem ser contratadas de empresas especializadas, sem a necessidade de grandes investimentos, como os associados à compra de Robôs, por exemplo.

Tabela 5: Adoção de tecnologias digitais avançadas por área/função de negócio em percentual (%) (2022)

Tecnologia	Projetos	Produção	Logística	Administração	Comercialização
Computação em Nuvem	75,40%	70,00%	71,20%	93,50%	79,30%
Internet das Coisas	72,40%	77,10%	71,40%	76,60%	66,90%
Robótica	63,10%	90,40%	34,10%	28,90%	25,80%
Análise de <i>Big Data</i>	77,70%	81,90%	75,40%	87,70%	84,80%
Manufatura Aditiva	90,00%	61,60%	22,20%	29,70%	35,00%
Inteligência Artificial (IA)	65,90%	56,40%	48,40%	73,80%	65,10%

Fonte: PINTEC Semestral (2022); Elaboração própria.

Escala cinza (3 tonalidades): quanto mais escuro, maior a adoção da tecnologia; quanto mais claro, menor a adoção.

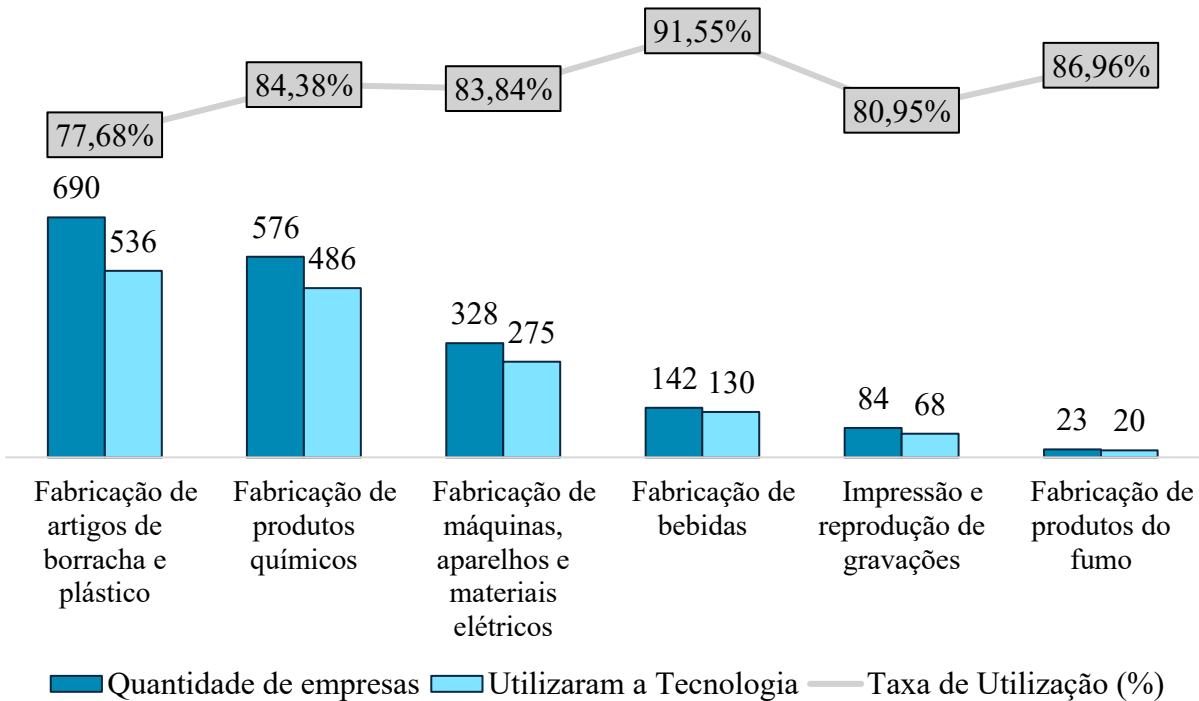
De acordo com a Tabela 5, o setor Administrativo apresenta alta adoção de Computação em Nuvem (93,50%) e Análise de *Big Data* (87,70%), tecnologias relacionadas ao uso de

computadores e ao acesso a dados para a elaboração de relatórios gerenciais. A Computação em Nuvem facilita o armazenamento e o compartilhamento de grandes volumes de dados, enquanto a Análise de *Big Data* permite identificar padrões e tendências para embasar a tomada de decisões. No setor de Projetos, a Manufatura Aditiva se destaca (90,00%), pois a impressão em 3D é empregada na fabricação de peças e outros produtos desenvolvidos na área, permitindo maior flexibilidade na prototipagem e produção. Já na Produção, a Robótica é amplamente utilizada (90,40%), permitindo a automação de tarefas repetitivas na linha de montagem, o que contribui para a redução de custos com trabalhadores e o aumento da produtividade, além de garantir maior precisão e consistência.

A área de Logística adota mais tecnologias como a Análise de *Big Data* (75,40%) e a Internet das Coisas (71,40%), que permitem a verificação e atualização de produtos em estoque, além da otimização das rotas de distribuição, facilitando a gestão eficiente e em tempo real. Por fim, o setor de Comercialização utiliza principalmente a Análise de *Big Data* (84,80%) e a Computação em Nuvem (79,30%), uma vez que a Análise de *Big Data* ajuda a analisar grandes volumes de dados de clientes, melhorando as estratégias de *marketing*, enquanto a Computação em Nuvem garante o acesso rápido a esses dados. Assim, conforme o modelo Freeman-Perez, percebe-se que, para haver uma onda prolongada de investimento expansivo, os empresários necessitam de condições sociais e institucionais favoráveis, de modo que o cenário econômico favoreça a decisão de investimento, como a maior adoção de robôs.

A seguir serão apresentados gráficos que destacam a adoção de cada uma das seis tecnologias digitais avançadas pelas empresas com 100 ou mais pessoas ocupadas, conforme recorte da PINTEC Semestral 2022. O critério utilizado para a seleção dos setores industriais foi a maior proporção de firmas que “Utilizaram” essas tecnologias em relação à “Quantidade de empresas” em cada setor. Desse modo, em cada um dos gráficos, foram selecionados os seis setores que se destacaram. Além disso, serão retomados os dados apresentados na Tabela 4, que indicam a quantidade de empresas que utilizaram cada uma das tecnologias e a taxa de utilização, considerando uma amostra de 9.586 empresas.

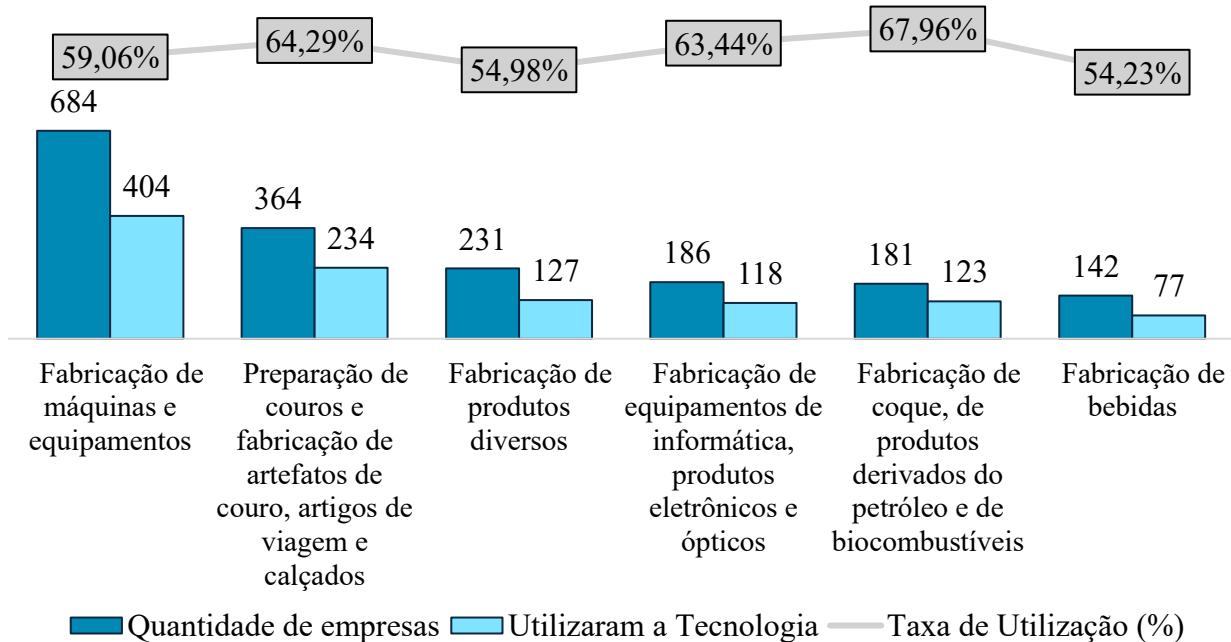
Gráfico 4: Adoção da Computação em Nuvem por setor industrial (2022)



Fonte: PINTEC Semestral (2022); Elaboração própria.

Conforme a Tabela 4, 7.055 empresas (73,60%) afirmaram utilizar Computação em Nuvem. Os setores industriais com maior proporção de empresas que utilizaram a tecnologia foram: Fabricação de bebidas (91,55%); Fabricação de produtos de fumo (86,96%); e Fabricação de produtos químicos (84,38%). O uso da tecnologia foi igual ou superior a 70,00% em todas as áreas ou funções das empresas, conforme a Tabela 5. A elevada utilização justifica-se pelo maior acesso à tecnologia, uma vez que o serviço é caracterizado pelo compartilhamento de recursos computacionais, como servidores, softwares e poder de computação, o que reduz o seu custo relativo de utilização e aumenta a sua possibilidade de adoção pelas empresas.

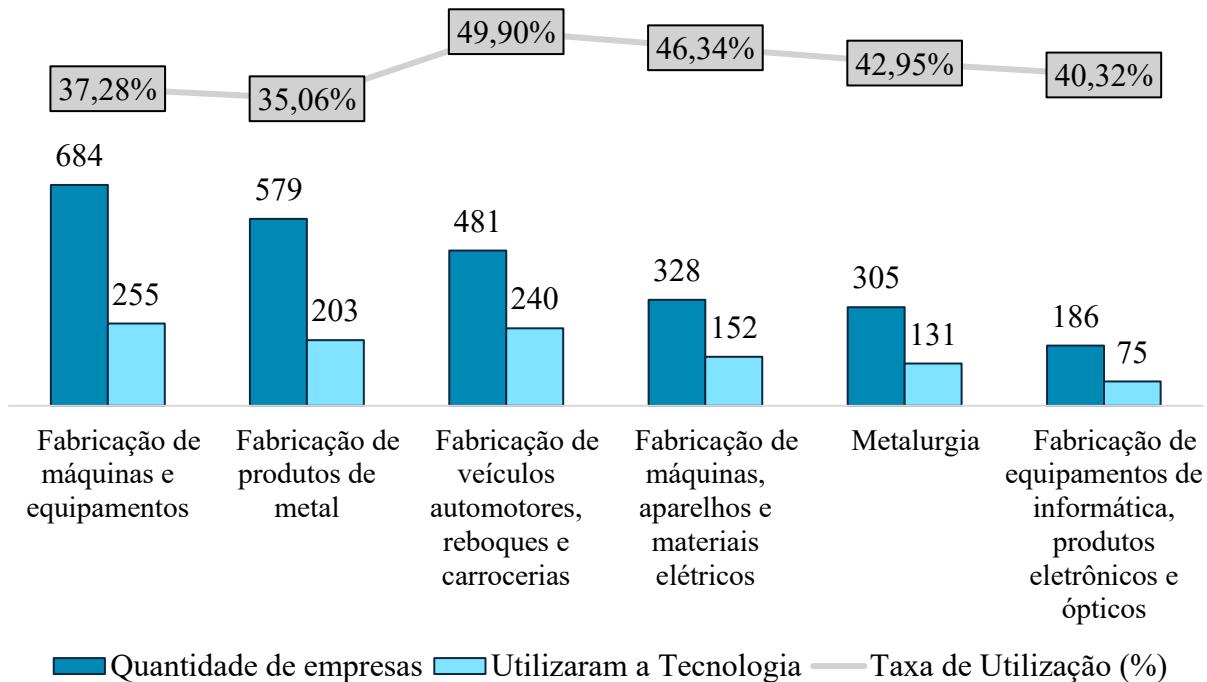
Gráfico 5: Adoção da Internet das Coisas por setor industrial (2022)



Fonte: PINTEC Semestral (2022); Elaboração própria.

Como visto na Tabela 4, 4.662 empresas (48,63%) afirmaram utilizar Internet das Coisas. As maiores proporções de empresas que utilizaram a tecnologia foram observadas nos seguintes setores: Fabricação de coque, de produtos derivados do petróleo e de biocombustíveis (67,96%); Preparação de couros e fabricação de artefatos de couro, artigos de viagem e calçados (64,29%); e Fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos (63,44%). A tecnologia, possibilita o monitoramento, coleta de dados e controle de forma remota, sendo a segunda tecnologia mais adotada pelas empresas no âmbito da pesquisa. Assim como ocorre com a Robótica, a utilização da tecnologia é mais intensa na área de produção, possibilitando a conectividade entre máquinas, equipamentos e os operadores.

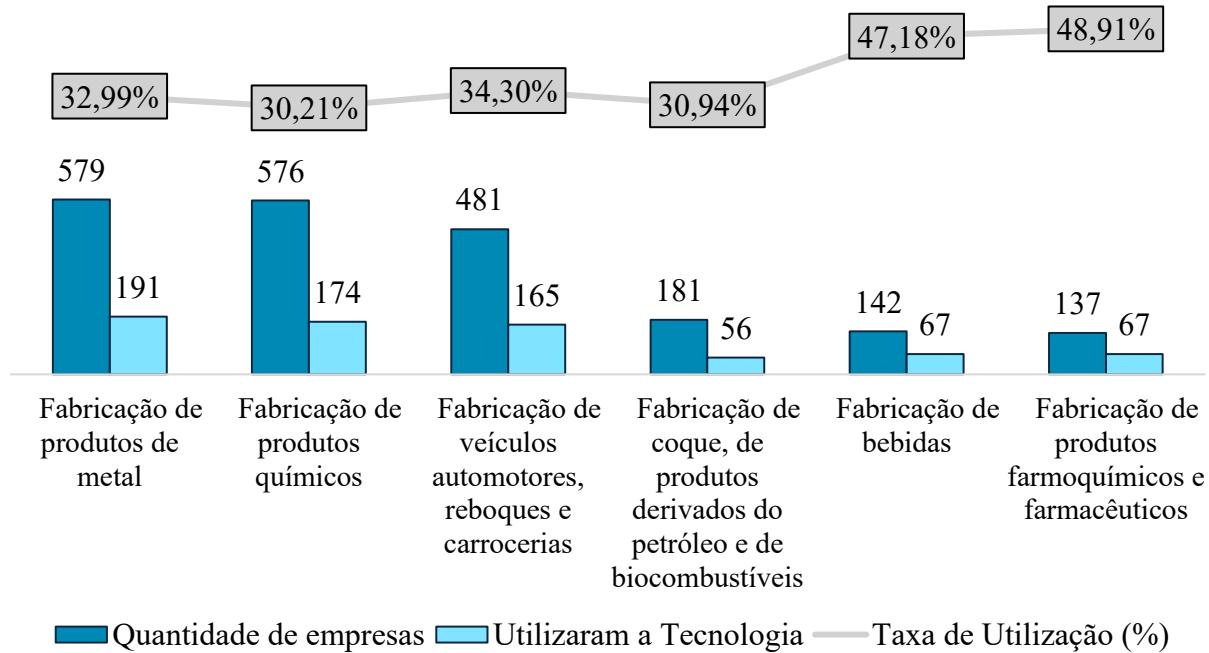
Gráfico 6: Adoção de Robôs por setor industrial (2022)



Fonte: PINTEC Semestral (2022); Elaboração própria.

Pela Tabela 4, 2.657 empresas (27,72%) afirmaram utilizar robôs. Os setores que mais incorporaram a tecnologia, em termos proporcionais, foram: Fabricação de veículos automotores, reboques e carrocerias (49,90%); Fabricação de máquinas, aparelhos e materiais elétricos (46,34%); e Metalurgia (42,95%). A área em que a tecnologia foi mais utilizada é a de produção, com uma taxa de 90,40%. Isso se deve à possibilidade de ganhos de eficiência proporcionados pela tecnologia, seja por meio da substituição ou complementação do trabalho humano em funções repetitivas, além de contribuir para maior segurança no ambiente de trabalho.

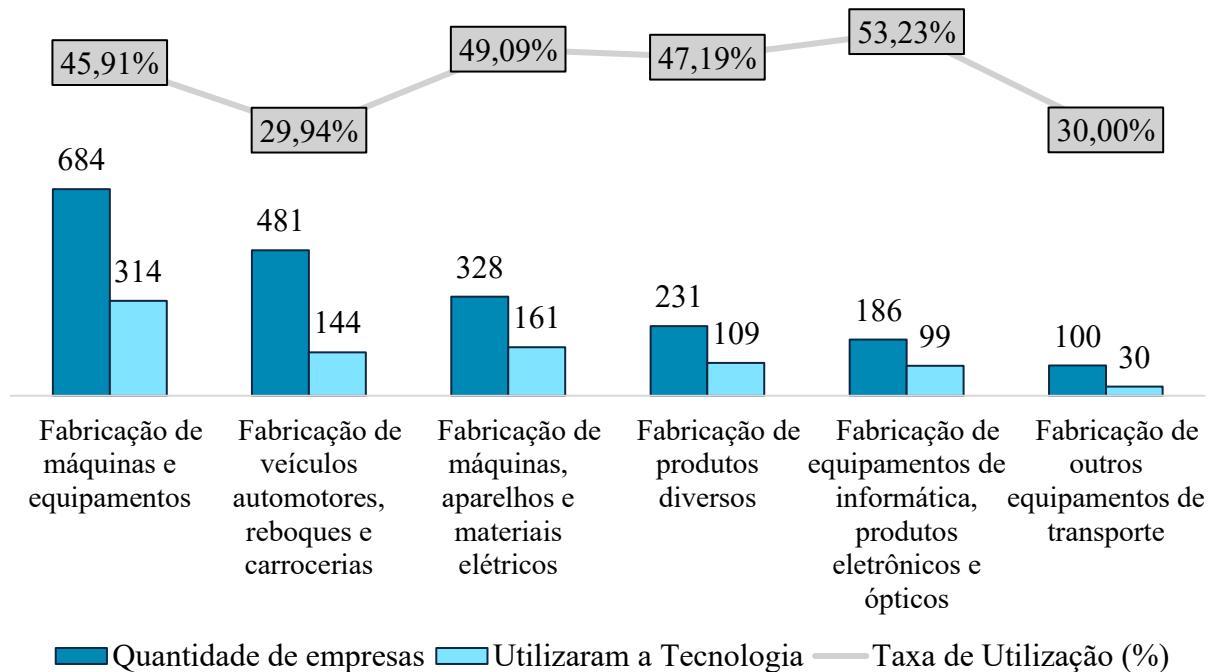
Gráfico 7: Adoção da Análise de *Big Data* por setor industrial (2022)



Fonte: PINTEC Semestral (2022); Elaboração própria.

Conforme a Tabela 4, 2.239 empresas (23,36%) afirmaram adotar a Análise de *Big Data*. A tecnologia foi mais adotada, proporcionalmente, nos setores de: Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos (48,91%); Fabricação de bebidas (47,18%); e Fabricação de veículos automotores, reboques e carrocerias (34,30%). Ademais, constatou-se que, entre as empresas que utilizam a Análise de *Big Data*, 75,00% a possuem em todas as áreas/funções de negócios (Desenvolvimento de Projetos, Produção, Logística, Administração e Comercialização).

Gráfico 8: Adoção da Manufatura Aditiva por setor industrial (2022)

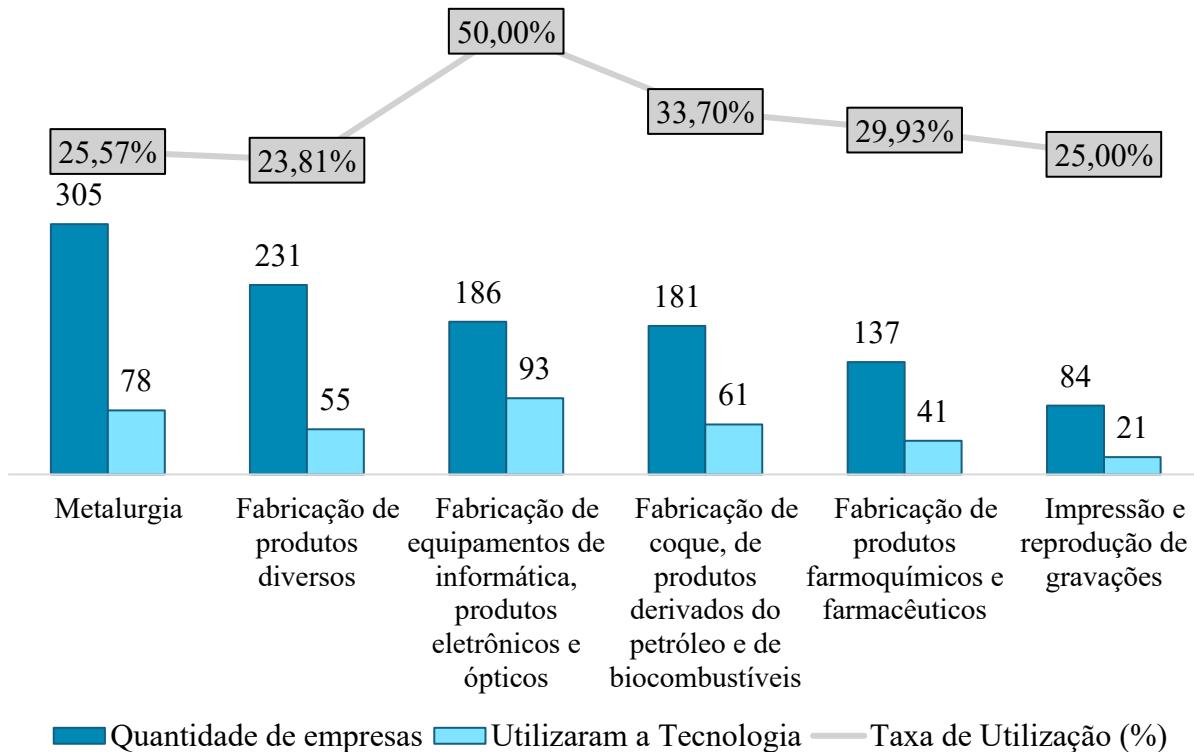


Fonte: PINTEC Semestral (2022); Elaboração própria.

Conforme a Tabela 4, 1.843 empresas (19,23%) afirmaram utilizar Manufatura Aditiva. Os setores industriais com maior proporção de empresas que adotaram a tecnologia foram: Fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos (53,23%); Fabricação de máquinas, aparelhos e materiais elétricos (49,09%); e Fabricação de produtos diversos (47,19%).

Ademais, considera-se que “no setor de Fabricação de produtos diversos, encontram-se muitas empresas de ‘fabricação de instrumentos e materiais para uso médico e odontológico e de artigos ópticos’, atividades em que o uso de prototipagem tende a ser difundido” (PINTEC Semestral, 2022, p. 48). Sua utilização na área de Desenvolvimento de projetos foi de 90,00%, de acordo com a Tabela 5.

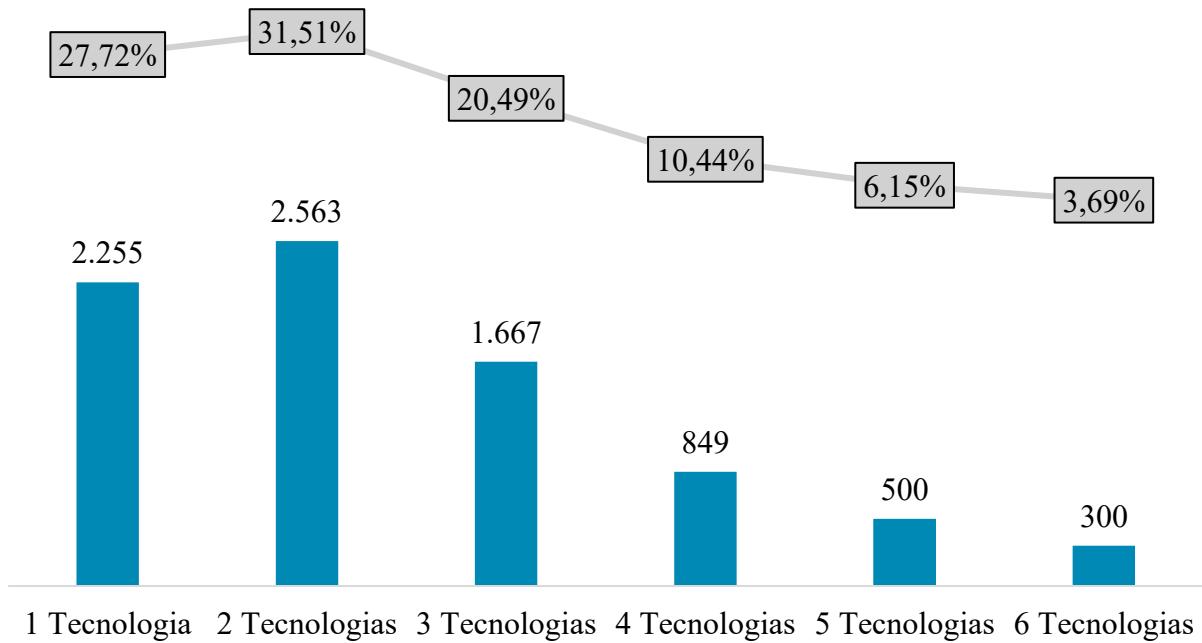
Gráfico 9: Adoção da Inteligência Artificial por setor industrial (2022)



Fonte: PINTEC Semestral (2022); Elaboração própria.

A Inteligência Artificial (IA) foi a tecnologia apurada pela PINTEC Semestral de 2022 com a menor taxa de utilização, pois, no âmbito da realização da pesquisa, o tema ainda era pouco conhecido, de modo que 1.619 empresas (16,89%) a adotaram, conforme a Tabela 4. A tecnologia foi mais adotada, proporcionalmente, nos setores de: Fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos (50,00%); Fabricação de coque, de produtos derivados do petróleo e de biocombustíveis (33,70%); e Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos (29,93%).

Gráfico 10: Quantidade de tecnologias adotadas pelas 8.134 empresas que utilizaram tecnologias digitais avançadas e percentual de adoção (2022) (%)



Fonte: PINTEC Semestral (2022); Elaboração própria.

O Gráfico 10 revela a distribuição das 8.134 empresas que adotaram tecnologias digitais avançadas, segundo a quantidade de tecnologias utilizadas. Dentre elas, 2.255 empresas (27,72%) utilizaram 1 tecnologia; 2.563 (31,51%) adotaram 2 tecnologias; 1.667 (20,49%) utilizaram 3 tecnologias; 849 empresas (10,44%) adotaram 4 tecnologias; 500 (6,15%) utilizaram 5 tecnologias; e apenas 300 empresas (3,69%) empregaram todas as 6 tecnologias analisadas. Esses dados indicam que a maioria das empresas se encontra em estágios iniciais ou intermediários de digitalização, sendo relativamente reduzido o grupo que alcança uma adoção tecnológica mais ampla e integrada.

Segundo Avellar *et. al.* (2024, p. 16), a utilização conjunta das seis tecnologias digitais avançadas está associada a um aumento de aproximadamente 19,73% de probabilidade de a empresa inovar em produto e/ou processo de produção. Ademais, essa combinação de tecnologias leva a um aumento de, aproximadamente, 4,5% de probabilidade de a empresa inovar em produto e processo de produção. Nesse sentido,

[...] o uso combinado de tecnologias digitais pode afetar qualquer fase dos processos de inovação, ao apoiar a aquisição de novas habilidades, possibilitando tanto o aumento da eficiência dos processos de negócios como o desenvolvimento de novos produtos (Avellar *et. al.*, 2024, p. 16-17).

Tabela 6: Quantidade e percentual de empresas que relataram benefícios com a utilização de tecnologias digitais avançadas (2022) (%)

Tipo de benefício	Quantidade de empresas	Percentual (%) *
Maior flexibilidade em processos administrativos, produtivos e organizacionais	7.307	89,83
Aumento da eficiência	7.121	87,55
Melhoria no relacionamento com clientes e/ou fornecedores	6.966	85,64
Maior eficácia no atendimento ao mercado	6.891	84,72
Maior capacidade de desenvolvimento de produtos ou serviços novos ou significativamente aprimorados	6.174	75,90
Redução do impacto ambiental	5.864	72,09
Entrada em novos mercados	3.734	45,91
Outros	87	1,07

Fonte: PINTEC Semestral (2022); Elaboração própria.

*Percentual em relação às 8.134 empresas que adotaram tecnologias digitais avançadas.

A análise da Tabela 6 permite inferir que a maior parte das empresas que adotaram tecnologias digitais avançadas apresentaram algum tipo de benefício. 7.307 empresas perceberam aumento de flexibilidade em processos (administrativos, produtivos e organizacionais), 7.121 obtiveram aumento de eficiência, 5.864 reduziram os impactos ao meio ambiente e 3.734 conseguiram entrar em novos mercados.

Esses dados sugerem que a adoção de tecnologias digitais avançadas tem um impacto positivo abrangente, favorecendo tanto a eficiência e a inovação quanto a sustentabilidade e a competitividade no mercado.

Tabela 7: Quantidade e percentual de empresas que relataram dificuldades para a adoção das tecnologias digitais avançadas (2022) (%)

Fatores	Quantidade de empresas	Percentual (%) *
Altos custos das soluções tecnológicas	6.570	80,77
Falta de pessoal qualificado na empresa	4.441	54,60
Riscos associados a segurança e privacidade	4.026	49,50
Limitada oferta de pessoal qualificado no mercado	3.976	48,88
Dificuldade de integração entre as áreas do negócio	3.850	47,33
Dificuldades relacionadas à interoperabilidade entre diferentes tecnologias digitais	3.716	45,68
Infraestrutura de telecomunicações inadequada	3.348	41,16
Limitado conhecimento sobre as tecnologias digitais disponíveis	3.185	39,16
Ausência e/ou incertezas sobre regulações, padrões ou normas técnicas associadas às novas tecnologias	3.003	36,92
Dificuldade de integração com fornecedores e/ou clientes	2.837	34,88
Outros	88	1,08

Fonte: PINTEC Semestral (2022); Elaboração própria.

*Percentual em relação às 8.134 empresas que adotaram tecnologias digitais avançadas.

Como visto na Tabela 4, Computação em Nuvem (73,60%) e Internet das Coisas (48,63%) foram as tecnologias digitais avançadas mais utilizadas. Já as tecnologias como Robótica (27,72%),

Análise de *Big Data* (23,36%), Manufatura Aditiva (19,23%) e Inteligência Artificial (16,89%) tiveram uma taxa de adoção inferior. A isso, associam-se os resultados da Tabela 7, segundo a qual 6.570 empresas relataram altos custos das soluções tecnológicas, 4.441 não tinham pessoal qualificado e 3.850 encontraram dificuldades de integração entre as áreas do negócio. Assim, é possível notar a relação entre a taxa de adoção das tecnologias e as dificuldades encontradas pelas empresas para essa implementação.

Conforme Bittencourt; Rauen (2021), a elevada incerteza dos retornos econômicos e/ou a incerteza inerente ao desenvolvimento tecnológico, leva as empresas a investirem menos em atividade inovativas do que o nível socialmente desejável. Além disso, percebe-se que o Brasil vivencia uma fase de transição incipiente para um novo paradigma tecno-econômico. A maior difusão de tecnologias de fácil incorporação, como a Computação em Nuvem, indica uma inserção ainda limitada no novo paradigma, sem que as tecnologias estruturantes e mais complexas da Quarta Revolução Industrial, como Inteligência Artificial e Robótica, sejam mais difundidas. Diante disso, a seguir são analisadas políticas públicas voltadas ao incentivo à inovação industrial no Brasil, com destaque para a NIB e o PBIA.

3.3. Políticas para o desenvolvimento da indústria 4.0 no Brasil

Como visto na subseção 3.2, as empresas industriais brasileiras apresentam um baixo índice de implementação de tecnologias avançadas, características da Indústria 4.0. Fatores como os altos custos e falta de pessoal qualificado fazem com que o país apresente um atraso na adoção de técnicas e equipamentos que podem levar a ganhos de produtividade e maior relevância no comércio internacional.

Iniciativas governamentais de estímulo à atividade industrial foram implementadas em governos anteriores, como a Política Industrial, Tecnológica e de Comércio Exterior (PITCE), lançada em 2004 durante o primeiro mandato do governo Lula, que articulava medidas de modernização industrial e investimentos em tecnologias avançadas, como semicondutores, e a Política de Desenvolvimento Produtivo (PDP), que

[...] previa a renúncia fiscal de R\$ 21,4 bilhões até 2011 em incentivos ao investimento, pesquisa e desenvolvimento, apoio às exportações e financiamentos do BNDES no montante de R\$ 210,4 bilhões para ampliação, modernização e inovação na indústria e serviços correlatos (De Toni, 2024, p. 6).

Além disso, o Plano Brasil Maior (PBM), lançado em 2011, foi a terceira política lançada em sequência pelo governo federal. Entre seus objetivos estavam “[...] a formação e a qualificação profissional, a produção sustentável e o reforço aos mecanismos de incentivo ao investimento, entre outros” (De Toni, 2024, p. 9). No entanto, fatores como a crise internacional no ano de 2008, a política de juros e o câmbio valorizado não permitiram a plena operação e desenvolvimento dessas políticas.

Nesse sentido, o governo brasileiro lançou planos como o NIB e o PBIA 2024-2028. Eles apresentam medidas que visam ao fortalecimento da indústria nacional, com investimentos em projetos inovadores. Sendo assim, no item 3.3.1 será apresentada a NIB e no subtópico 3.3.2 será apresentado o PBIA 2024-2028, com foco nas medidas voltadas para a indústria.

3.3.1. Nova Indústria Brasil (NIB)

Conforme Ferraz, de Paula e Kupfer (2013), instrumentos como incentivos aos gastos com P&D, crédito e financiamento de longo prazo, estímulos à exportação e fomento à difusão de tecnologias constituem mecanismos fundamentais para a implementação de políticas de inovação. Nesse sentido, a NIB é uma política de neoindustrialização lançada pelo governo federal em 2024. Ela foi elaborada por meio do diálogo entre grupos do Conselho Nacional de Desenvolvimento Industrial (CNDI) e parte de três premissas (NIB, 2024, p. 5), sendo elas:

1. O fortalecimento da indústria brasileira é chave para o desenvolvimento sustentável do Brasil, dos pontos de vista social, econômico e ambiental;
2. O Brasil passou a enfrentar um processo de desindustrialização precoce e acelerado, a partir dos anos 1980, com primarização da estrutura produtiva e encurtamento e fragilização dos elos das cadeias; e
3. As exportações do país estão concentradas em produtos de baixa complexidade tecnológica, limitando os ganhos de comércio do Brasil.

Ela é uma política sistêmica, com foco no longo prazo (10 anos), que interage com outras políticas do governo, como o PBIA. Além disso, a elaboração da NIB baseou-se em três objetivos (NIB, 2024, p. 5), sendo eles:

1. Estimular o progresso técnico e, consequentemente, a produtividade e competitividade nacionais, gerando empregos de qualidade;
2. Aproveitar melhor as vantagens competitivas do país; e
3. Reposicionar o Brasil no comércio internacional.

Para isso, ela foi fundamentada em seis missões, conforme a Figura 8:

Figura 8: Missões da Nova Indústria Brasil (NIB)



Fonte: NIB (2024).

O financiamento da NIB terá como principal fonte “o Plano Mais Produção (P+P), que é um Plano do Governo Federal que visa a apoiar, de forma perene, o setor industrial brasileiro oferecendo diferentes linhas de crédito, *equity* e recursos não reembolsáveis para alavancar a produção e a inovação industrial” (NIB, 2024, p. 14). Deve-se considerar que “O crédito do P+P não é para setores, mas para investimentos que atendam os princípios das missões do CNDI. É uma política de caráter horizontal” (MDIC, 2024). Serão destinados R\$ 300 bilhões, entre 2023 e 2026, para atender aos quatro eixos do Plano Mais Produção (Mais Inovação, Mais Verde, Mais Exportação, Mais Produtividade).

Visto isso, busca-se analisar a Missão 4 (transformação digital da indústria para ampliar a produtividade), devido ao seu alinhamento com a Indústria 4.0. Sua meta aspiracional para 2033 é de “transformar digitalmente 90% das empresas industriais brasileiras, assegurando que a participação da produção nacional triplique nos segmentos de novas tecnologias” (NIB, 2024, p. 65). Ela foi proposta em um contexto no qual apenas 23,5% das empresas industriais são digitalizadas, o que reforça o atraso brasileiro na implementação de tecnologias, conforme abordado anteriormente. Ademais, determinaram-se três áreas para o desenvolvimento de nichos industriais (Indústria 4.0, Produtos Digitais e Semicondutores). Para isso, estabeleceram-se os seguintes objetivos (NIB, 2024, p. 66):

1. Fortalecer e desenvolver empresas nacionais competitivas em tecnologias digitais disruptivas e emergentes, em segmentos estratégicos para a soberania digital e tecnológica;
2. Aumentar a produtividade da indústria brasileira por meio da incorporação de tecnologias digitais, especialmente as desenvolvidas e produzidas no Brasil;
3. Reduzir a dependência produtiva e tecnológica do país em produtos nano e microeletrônicos e em semicondutores, fortalecendo a cadeia industrial das tecnologias da informação e comunicação;
4. Aumentar a participação de empresas nacionais no segmento de plataformas digitais; e
5. Realizar a atualização tecnológica das regiões industriais maduras.

A seguir, apresenta-se o PBIA que, como será visto, tem o Eixo 4 associado a NIB, o que mostra o alinhamento de políticas do governo brasileiro para o desenvolvimento tecnológico da indústria.

3.3.2. Plano Brasileiro de Inteligência Artificial (PBIA) 2024-2028

O PBIA 2024-2028 foi lançado durante a 5ª Conferência Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação, com um investimento previsto de R\$ 23 bilhões ao longo de quatro anos (2024-2028). O plano “busca desenvolver soluções em IA que melhorem significativamente a qualidade de vida da população, otimizando a entrega de serviços públicos e promovendo a inclusão social” (LNCC, 2024). Para isso, está prevista a criação de um supercomputador, que processará uma grande quantidade de dados e auxiliará no desenvolvimento de algoritmos de IA.

No contexto de elaboração do plano, a Inteligência Artificial foi definida como “sistemas que produzem resultados a partir de um grande volume de dados, permitindo um processo de aprendizagem, que realiza previsões, classificações, recomendações ou gera decisões que possam influenciar ambientes físicos e virtuais” (PBIA, 2024, p. 6). Sendo assim, o objetivo do plano é

promover o desenvolvimento, a disponibilização e o uso da Inteligência Artificial no Brasil, orientada à solução dos grandes desafios nacionais, sociais, econômicos, ambientais e culturais, de forma a garantir a segurança e os direitos individuais e coletivos, a inclusão social, a defesa da democracia, a integridade da informação, a proteção do trabalho e dos trabalhadores, a soberania nacional e o desenvolvimento econômico sustentável da nação (PBIA, 2024, p. 20).

Para isso, foram definidas cinco metas (PBIA, 2024, p. 3), sendo elas:

1. Transformar a vida dos brasileiros por meio de inovações sustentáveis e inclusivas baseadas em Inteligência Artificial;
2. Equipar o Brasil de infraestrutura tecnológica avançada com alta capacidade de processamento, incluindo um dos cinco supercomputadores mais potentes do mundo, alimentado por energias renováveis;
3. Desenvolver modelos avançados de linguagem em português, com dados nacionais que abarcam nossa diversidade cultural, social e linguística, para fortalecer a soberania em IA;
4. Formar, capacitar e requalificar pessoas em IA em grande escala para valorizar o trabalhador e suprir a alta demanda por profissionais qualificados; e
5. Promover o protagonismo global do Brasil em IA por meio do desenvolvimento tecnológico nacional e ações estratégicas de colaboração internacional.

Para o alcance das metas e o cumprimento do objetivo destacado, foi anunciado o investimento de R\$ 23,03 bilhões, conforme a Tabela 8. Esse valor será dividido entre ações de impacto imediato (R\$ 440 milhões, 1,89% do orçamento total), infraestrutura e desenvolvimento de IA (R\$ 5,79 bilhões, 25,14%), difusão, formação e capacitação em IA (R\$ 1,15 bilhão, 4,99%), IA para a melhoria dos serviços públicos (R\$ 1,76 bilhão, 7,64%), IA para inovação empresarial (R\$ 13,79 bilhões, 59,88%) e apoio ao processo regulatório e de governança de IA (R\$ 100 milhões, 0,45%).

Tabela 8: Descrição, investimentos previstos e investimento relativo – PBIA – entre 2024 e 2028 (em bilhões de R\$) (%)

Descrição	Investimentos Previstos	
	Investimento (bilhões de R\$)	Investimento relativo (%)
Ações de Impacto Imediato	0,44	1,89
Infraestrutura e Desenvolvimento de IA	5,79	25,14
Difusão, Formação e Capacitação em IA	1,15	4,99
IA para Melhoria dos Serviços Públicos	1,76	7,64
IA para Inovação Empresarial	13,79	59,88
Apoio ao Processo Regulatório e de Governança de IA	0,10	0,45
Total	23,03	100,00

Fonte: IA para o Bem de Todos (2024); Elaboração própria.

A seguir, será analisada a IA para inovação empresarial, Eixo 4 do PBIA, o qual tem por objetivo “estruturar uma robusta cadeia de valor em IA no Brasil, em apoio direto às missões da NIB, posicionando o país como polo global de desenvolvimento e uso de IA” (PBIA, 2024, p. 68). Suas medidas visam ao desenvolvimento de soluções de IA que promovam o aumento da produtividade da indústria brasileira, por meio do fortalecimento da cadeia produtiva, da qualificação profissional, da consultoria especializada, do fomento e da aceleração de *startups* especializadas em IA, além da incorporação e retenção de pessoal qualificado no mercado brasileiro. Para isso, os R\$ 13,79 bilhões serão divididos entre programa de fomento à cadeia de

valores, com R\$ 4,40 bilhões (31,90%) e programa de IA para desafios da indústria brasileira, com R\$ 9,39 bilhões (68,01%).

Como visto, o Eixo 4 está alinhado com as missões da NIB, sendo destinados R\$ 9,10 bilhões, entre 2024 e 2028, para projetos de IA aplicados à indústria, com foco nas cadeias de aplicação destacadas pela NIB. A meta é financiar, pelo menos, 500 projetos de IA voltados para a indústria.

Diante do exposto, observa-se que tanto a NIB quanto o PBIA estabelecem diretrizes para a modernização do setor industrial no Brasil. As iniciativas preveem investimentos, metas e ações voltadas à adoção de novas tecnologias e ao fortalecimento da indústria nacional. A relação entre as políticas demonstra a articulação de diferentes programas governamentais com foco na transformação digital e no desenvolvimento tecnológico do país.

As políticas de inovação brasileiras têm como ponto de partida o diagnóstico de que o “[...] Brasil passou a enfrentar um processo de desindustrialização precoce e acelerado, a partir dos anos 1980, com primarização da estrutura produtiva e encurtamento e fragilização dos elos das cadeias” (NIB, 2024, p. 5). Diante desse cenário, evidenciou-se a necessidade de formular medidas capazes de estimular o desenvolvimento tecnológico e reverter a perda de dinamismo industrial. Essa preocupação não é exclusiva do Brasil: ela dialoga com experiências internacionais, como a dos Estados Unidos, onde o PCAST, em carta enviada ao Presidente Obama, alertou para o declínio da base manufatureira norte-americana, levando à criação da *National Network for Manufacturing Innovation* (NNMI), em 2012. Da mesma forma, a política *Made in China 2025* foi concebida como resposta à perda de produtividade da indústria chinesa e à chamada “dupla pressão”, a ascensão de países em desenvolvimento com custos de produção competitivos e o avanço tecnológico acelerado das economias desenvolvidas. Já o 14º Plano Quinquenal representa a perspectiva de desenvolvimento econômico, social e industrial no âmbito da Indústria 4.0, com medidas de fortalecimento da posição econômica chinesa e o desenvolvimento de tecnologias avançadas. Essas iniciativas demonstram o papel da inovação como instrumento estratégico para enfrentar os desafios da competitividade industrial em escala global.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho buscou contribuir para a literatura de inovação apresentando as políticas recentes e dados relacionados à implementação de tecnologias digitais avançadas pelo setor industrial brasileiro, no contexto da Indústria 4.0. Os resultados indicam que as empresas brasileiras adotam de maneira incipiente as tecnologias consideradas na PINTEC Semestral 2022. Ademais, tecnologias estruturantes da revolução, que apresentam maior poder disruptivo, apresentam menor adoção.

Partiu-se da análise da teoria da destruição criadora de Schumpeter e da dinâmica dos ciclos tecnológicos, destacando a importância da inovação como motor do desenvolvimento econômico e da transformação dos sistemas produtivos. Constatou-se que a evolução do capitalismo está intrinsecamente ligada à capacidade de inovação tecnológica, a qual depende da existência de condições estruturais e organizacionais favoráveis à sua difusão. A compreensão dos processos de mudança de paradigmas tecno-econômicos mostrou-se essencial para interpretar a atual fase de transição associada à Indústria 4.0.

A constatação da Quarta Revolução Industrial se deve à velocidade, amplitude e profundidade e impacto sistêmico e, ao contrário das revoluções anteriores, ela possibilita a interação entre os ambientes físicos e virtuais, viabilizando a criação de sistemas de produção inteligentes, interconectados e altamente adaptáveis. Embora o tema ainda seja recente e pouco explorado na literatura brasileira, ele desponta como elemento central na formulação de políticas públicas voltadas ao fortalecimento da competitividade industrial em um cenário global cada vez mais dinâmico, interdependente e orientado pela inovação tecnológica. Políticas como o *Made in China 2025* o 14º Plano Quinquenal chinês e o *Manufacturing USA* demonstram como grandes economias têm estruturado estratégias de longo prazo para liderar essa nova etapa de transformações produtivas.

A análise comparativa das políticas públicas e dos dados de adoção tecnológica nos Estados Unidos e na China, com destaque para tecnologias como Computação em Nuvem, Robôs Industriais, Modelos de *Machine Learning* e Inteligência Artificial, permitiu construir um referencial relevante para compreender os desafios e as possibilidades do caso brasileiro. Observou-se que esses países combinam investimentos robustos, articulação institucional e

estratégias coordenadas entre governo, setor produtivo e centros de pesquisa, gerando ecossistemas de inovação mais dinâmicos.

No caso brasileiro, os dados da PINTEC Semestral 2022 indicam um cenário ainda incipiente na adoção de tecnologias digitais avançadas, com uma forte concentração em soluções que demandam menor reestruturação da estrutura produtiva, como a Computação em Nuvem (73,60% de adoção) e a Internet das Coisas (48,63%). Por outro lado, tecnologias mais complexas, como Robótica (27,72%), Análise de *Big Data* (23,36%), Manufatura Aditiva (19,23%) e Inteligência Artificial (16,89%), apresentam baixos níveis de adoção, evidenciando as limitações da estrutura produtiva nacional e a escassez de competências tecnológicas em larga escala. Apesar dos benefícios destacados no âmbito da pesquisa, como maior flexibilidade em processos administrativos, produtivos e organizacionais e aumento de eficiência, fatores como os altos custos das soluções tecnológicas, falta de pessoal qualificado na empresa e dificuldade de integração entre as áreas do negócio dificultaram a adoção dessas tecnologias.

Diante disso, iniciativas como a NIB e o PBIA, abordadas ao longo deste trabalho, representam passos estratégicos importantes. Ao proporem medidas para o fortalecimento da base industrial, a ampliação da capacidade de inovação e o incentivo à difusão de tecnologias digitais avançadas, essas políticas buscam posicionar o Brasil na fronteira tecnológica dessa nova revolução. Sua efetividade dependerá da capacidade de articulação entre diferentes níveis de governo, setor privado e instituições de ciência e tecnologia, bem como da superação de barreiras estruturais que limitam o potencial de transformação tecnológica. Mais do que adotar tecnologias de forma reativa, o desafio brasileiro é o de construir capacidades endógenas que permitam sua atuação como protagonista na nova era da Indústria 4.0.

5. BIBLIOGRAFIA

ADB. Asian Development Bank. The 14th Five-Year Plan and the Pursuit of High-Quality Development: Reshaping China's Growth Paradigm. Manila, 2022. Disponível em: <https://www.adb.org/sites/default/files/publication/705886/14th-five-year-plan-high-quality-development-prc.pdf>.

ARBIX, G. et al. O Brasil e a nova onda de manufatura avançada: o que aprender com Alemanha, China e Estados Unidos. Novos estudos CEBRAP, v. set./no 2017, p. 29-49, 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/nec/a/KvxYTQ5LFs3KZ6NJ8cFTJMq/?format=pdf&lang=pt>.

AVELLAR, A. P. M. de; BRITTO, J. N. de P.; PEIXOTO, F. J. M.; CARVALHO, L. D. G. de; FERRAZ, J. C.; SZAPIRO, M. Efeitos das Tecnologias Digitais no Desempenho Inovador das Empresas: evidências empíricas para o Brasil. Brasília: Ipea, 2024. Disponível em: https://www.anpec.org.br/encontro/2024/submissao/files_I/i9-128f1e8a8fd1d566d57949b9fe8ce4aa.pdf.

BRASIL. Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação. Plano Brasileiro de Inteligência Artificial (PBIA) 2024-2028. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/lncc/pt-br/assuntos/noticias/ultimas-noticias-1/plano-brasileiro-de-inteligencia-artificial-pbia-2024-2028>.

BRASIL. Ministério da Indústria, Comércio e Serviços. Nova Indústria Brasil: Plano de Ação 2024-2026. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/mdic/pt-br/composicao/se/cndi/plano-de-acao/nova-industria-brasil-plano-de-acao-2024-2026-1.pdf>.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços. O que é fato e o que é fake sobre a Nova Indústria Brasil: o programa de política industrial do país. 2024. Disponível

em: <https://www.gov.br/mdic/pt-br/assuntos/noticias/2024/janeiro/o-que-e-fato-e-o-que-e-fake-sobre-a-nova-industria-brasil-o-programa-de-politica-industrial-do-pais>.

CARIO, S.A.F; CORRÊA, L. As transições entre paradigmas tecno-econômicos e as janelas de oportunidade: o emergente caso das energias renováveis. *Revista Pesquisa e Debate*. Campinas, v.33, n.1(59), 2021.

CGEE. Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. Segmentos ou nichos com maior potencial para o desenvolvimento tecnológico nacional. Brasília, DF: Centro de Gestão e Estudos Estratégicos, 2022.

CONCEIÇÃO, O. "Novas" tecnologias, "novo" paradigma tecnológico ou "nova" regulação: a procura do "novo". *Ensaios FEE*. Porto Alegre (17)2: 409-430, 1996.

DAUDT, G; WILLCOX, L. D. Manufatura avançada e política industrial nos EUA. BNDES. 23 de jan. de 2017. Disponível em:

<https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/conhecimento/noticias/noticia/politica-industrial-eua#:~:text=O%20Namii%20foi%20criado%20para,nanomanufatura%3B%20materiais%20avan%C3%A7ados%20e%20rob%C3%BCtica>. Acesso em: 4 de nov. de 2024.

DE TONI, J. O caminho tortuoso da política industrial brasileira no século XXI. Brasília: Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial – ABDI, 2023. Disponível em: <https://www.even3.com.br/anais/viii-enei/923524-o-caminho-tortuoso-da-politica-industrial-brasileira-no-seculo-xxi/>.

DIEGUES, A.C.; ROSELINO, J.E. Política Industrial e Indústria 4.0: a retomada do debate em um cenário de transformações no paradigma tecnoprodutivo. *Revista Brasileira de Inovação*. Campinas, v.19, e0200032, p. 1-18, 2020.

DIEGUES, A. C.; ROSELINO, J. E. Política industrial, tecno-nacionalismo e Indústria 4.0: a guerra tecnológica entre China e EUA. Texto para Discussão n. 401. Campinas: Instituto de Economia da Unicamp, jan. 2021. Disponível em:
<https://www.eco.unicamp.br/images/arquivos/artigos/TD/TD401.pdf>.

European Union Chamber of Commerce in China. *China Manufacturing 2025*. Europa, 2017. Disponível em: <https://www.trade-remedies.service.gov.uk/public/case/TS0009/submission/e689f04d-5b69-411a-997b-2a89f4a42588/document/9153b929-9a91-4d46-a260-323fa9b85ebe/>.

FERRAZ, J. C.; de PAULA, G. M.; KUPFER, D. Política industrial. In: KUPFER, D; HASENCLEVER, L. (Orgs.). *Economia Industrial*. Rio de Janeiro: Elsevier Editora Ltda, 2013. p. 313-323.

FIRMO, A. 5G e a Indústria 4.0. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer.17,406. 02 abr. 2020. Disponível em: <https://medium.com/embedded-ufcg/5g-e-a-ind%C3%BAstria-4-0-2601ddeb27c9>.

IBGE. Pesquisa de Inovação Semestral. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/investigacoes-experimentais/estatisticas-experimentais/35867-pesquisa-de-inovacao-semestral.html?edicao=37966&t=downloads>. Acesso em: 24 mar. 2025.

IEDI – Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial. Indústria 4.0 – A estratégia *Made in China 2025*. Carta IEDI n. 827, 2018. Disponível em: https://www.iedi.org.br/cartas/carta_iedi_n_827.html.

IEDI – Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial. O 14º Plano Quinquenal Chinês: transformando a China em potência industrial e tecnológica. Carta IEDI n. 1094, 2021. Disponível em: https://iedi.org.br/cartas/carta_iedi_n_1094.html.

Indústria 4.0: entenda seus conceitos e fundamentos. Portal da Indústria. Disponível em: <https://www.portaldaindustria.com.br/industria-de-a-z/industria-4-0/#tecnologias>.

LABRUNIE, M.L.; PENNA, C.C.R.; KUPFER, D. The resurgence of industrial policies in the age of advanced manufacturing: an international comparison of industrial policy documents. Revista Brasileira de Inovação. Campinas (SP), v.19, e0200020, p. 1-39, 2020.

NAIR, S. Made in China 2025. Organization for research on China and Asia. 30 de ago. de 2022. Disponível em: <https://orcasia.org/made-in-china-2025>.

National Center for Science and Engineering Statistics (NCSES). *Digitalization, Cloud Computing, and Innovation in U.S. Businesses*. Alexandria, VA: National Science Foundation, 2022. Disponível em: <https://ncses.nsf.gov/pubs/ncses22213>.

OCDE. OECD Digital Economy Outlook 2017. OECD Publishing. Paris, p. 204. Disponível em: <https://doi.org/10.1787/9789264276284-en>.

ORACLE. What is machine learning? Disponível em: <https://www.oracle.com/br/artificial-intelligence/machine-learning/what-is-machine-learning/>.

PENNA, C.C.R; MAZZUCATO, M.; SANTOS, G.O. (2025). Systemic capacities and capabilities for mission-oriented innovation policies: a novel framework and a case study of Brazil's Inova programme. UCL Institute for Innovation and Public Purpose, Working Paper Series (IIPP WP 2025-02). Disponível em: <https://www.ucl.ac.uk/bartlett/public-purpose/wp2025-02>.

PEREZ, C. Grandes ondas de desenvolvimento e formas alternativas de globalização. *Revista de Economia Política*, Campinas, v. 31, n. 5 (125), p. 873–894, 2011.

PINTEC. Pesquisa de Inovação Semestral 2022: indicadores temáticos – tecnologias digitais avançadas, teletrabalho e cibersegurança. Rio de Janeiro: IBGE, 2023. 75 p. (Investigações experimentais. Estatísticas experimentais). Disponível em:
<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101974.pdf>.

PINTEC. Pesquisa de Inovação Tecnológica – 2022. Rio de Janeiro, IBGE, 2023. Disponível em:
<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiZTAxOTM5ODQtMzlmMS00YmM5LTk5YTktNmJkM2RlMjBmM2M3IiwidCI6ImQ3ZGRhNWJiLTQ4MTAtNDY5Yi1hNjgxLTdlMWJjNGI4NGNlOSJ9>.

BITTENCOURT, P. F.; RAUEN, A. T. Políticas de inovação: racionalidade, instrumentos e coordenação. In: RAPINI, Márcia Siqueira et al. (Orgs.). *Economia da ciência, tecnologia e inovação: fundamentos teóricos e a economia global*. Belo Horizonte: Cedeplar/UFMG, 2023. p. 516–541.

SCHUMPETER, J. *Capitalismo, Socialismo e Democracia*. Rio de Janeiro: Ed. Fundo de Cultura, 1961.

SCHWAB, K. A Quarta Revolução Industrial. São Paulo: Edipro, 2016.

STANFORD UNIVERSITY. The AI Index 2024 Annual Report. Stanford, CA, abr. de 2024. Disponível em: <https://hai.stanford.edu/ai-index/2024-ai-index-report>.

TAKAYAMA, A; PANHAN, A. M. Indústria 4.0: desafios e oportunidades para a Indústria brasileira. Revista Ibero - Americana de Humanidades, Ciências e Educação. São Paulo, v.8, n.5, 2022.

THE WHITE HOUSE. Executive Office of the President. President's Council of Advisors on Science and Technology. United States, 2011. Disponível em:
<https://obamawhitehouse.archives.gov/sites/default/files/microsites/ostp/pcast-advanced-manufacturing-june2011.pdf>.

UNIDO. United Nations Industrial Development Organization. Industrial Development Report 2020 – Industrializing in the Digital Age. Viena, 2019. Disponível em:
<https://www.unido.org/sites/default/files/files/2019-2/UNIDO%20IDR20%20main%20report.pdf>.