

Unesp  **UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**
“JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
Faculdade de Ciências e Letras
Campus de Araraquara - SP

PEDRO VIANNA DURANTE

INDÚSTRIA 4.0 E MERCADO DE TRABALHO:
ANÁLISE COMPARATIVA DA ESTRUTURA OCUPACIONAL
BRASILEIRA



ARARAQUARA – SP

2022

PEDRO VIANNA DURANTE

**INDÚSTRIA 4.0 E MERCADO DE TRABALHO:
ANÁLISE COMPARATIVA DA ESTRUTURA OCUPACIONAL
BRASILEIRA**

Dissertação de Mestrado para a disciplina de Seminários de Dissertação, da pós-graduação em Economia da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Faculdade de Ciências e Letras.

Linha de pesquisa: Economia Industrial e da Inovação; Economia do Trabalho.

Orientador: Prof. Dr. Leandro Pereira Morais.

ARARAQUARA-SP

2022

D951i Durante, Pedro Vianna
Indústria 4.0 e Mercado de Trabalho : Análise comparativa da estrutura ocupacional brasileira / Pedro Vianna Durante. -- , 2022
165 p. : tabs.

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Araraquara,
Orientadora: Leandro Pereira Morais

1. Indústria 4.0. 2. Mercado de Trabalho. 3. Tecnologia.
4. Ocupações. 5. Habilidades. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Araraquara. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

PEDRO VIANNA DURANTE

**INDÚSTRIA 4.0 E MERCADO DE TRABALHO:
ANÁLISE COMPARATIVA DA ESTRUTURA OCUPACIONAL
BRASILEIRA**

Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Economia da Faculdade de Ciências e Letras – Unesp/Araraquara, como requisito para obtenção do título de Mestre em Economia.

Linha de pesquisa: Economia Industrial e da Inovação; Economia do Trabalho.

Orientador: Leandro Pereira Morais.

Bolsa: Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

Data da Defesa: 16/03/2022

MEMBROS COMPONENTES DA BANCA AVALIADORA

Presidente e Orientador: Dr. Leandro Pereira Morais

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP

Membro Titular: Dr. Rogério Gomes

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP

Membro Titular: Dr. Daniel de Mattos Hofling

Faculdade de Campinas – FACAMP

Local: Universidade Estadual Paulista
Faculdade de Ciências e Letras
UNESP – Campus de Araraquara

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a minha família sem a qual eu não teria chegado onde cheguei e devo tudo a eles. Obrigado pelo apoio, incentivo e carinho.

A todos os meus amigos que me ensinaram tanto e acreditaram em mim mesmo quando eu não fui capaz de fazê-lo. Não sou nada sem vocês.

Aos meus mestres, especialmente ao Prof. Rogério, Prof. Leandro que deram suporte e conselho durante a minha jornada e ensinaram os princípios e valores de um economista cidadão, consciente e preocupado com a construção de um país desenvolvido, justo e equânime.

Ao Grupo de Estudos em Economia Industrial (GEEIN), que foi um dos maiores contribuintes no meu aprendizado, assim como espero ter contribuído como pude durante os 5 anos que fiz parte desse grupo incrível. Vida longa do GEEIN!

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

RESUMO

O sistema econômico atual vem vivenciando o início de uma nova transformação de grandes proporções em termos produtivos e tecnológicos. A partir de meados da década de 2010 o desenvolvimento de novas tecnologias digitais (*e.g.*, inteligência artificial, *big data*, *IoT*, etc.), gestadas nas décadas de 1970 e 1980 com o surgimento explosivo das tecnologias de informação e comunicação, apresenta um novo panorama para a morfologia econômica vigente. Com as máquinas adquirindo novas competências e expandindo sua performance para habilidades cognitivas, antes exclusivamente humanas, a mudança da demanda por habilidades e ocupações é um fato. Recentemente, a literatura vem discutindo amplamente as potencialidades desse conjunto de inovações para a indústria, nomeada Indústria 4.0, e como elas afetarão o mercado de trabalho. Dado seu caráter contemporâneo ainda em construção, muitas dúvidas e incertezas vêm alarmando as consequências para a classe trabalhadora. Assim, ainda são necessários muitos estudos para que seja possível dimensionar corretamente suas consequências e o que pode, e deve, ser feito para fomentar o desenvolvimento inovativo e fornecer condições mínimas para que os trabalhadores consigam absorver as novas demandas, em termos de habilidades, e garantir emprego. Partindo dessa justificativa, o objetivo deste trabalho é avaliar criticamente a evolução da estrutura ocupacional brasileira entre 2009 e 2019, a luz das novas tendências, em termos de ocupações emergentes e altamente suscetíveis à automação, para o mundo do trabalho. Para tal, será realizada uma análise comparativa com a evolução dos EUA, a fim de dimensionar a distância que o Brasil se encontra de um país na fronteira tecnológica como o norte-americano. A hipótese central é de que, dado os determinantes históricos da estrutura produtiva nacional, o país não apresentará níveis de crescimento satisfatórios, ou mesmo não seguirá a tendência tecnológica e estadunidense, para as ocupações emergentes, dado que não foi capaz de construir adequadamente as capacidades inovativas e produtivas para seu processo de transformação estrutural. Entretanto, as conclusões mostram uma situação diferente. Apesar de o Brasil ter apresentado elevados crescimentos de emprego em ocupações importantes selecionadas e seguir, em sua maioria, as tendências, o patamar total de boa parte delas ainda é extremamente reduzido quando comparado os EUA, sugerindo que as elevações constatadas precisaram ser ainda mais intensas para que a estrutura ocupacional refletisse um processo de modernização digital em andamento.

Palavras-chave: Tecnologia; Indústria 4.0; Mercado de trabalho; Habilidades; Ocupações

ABSTRACT

The current economic system has been experiencing the beginning of a new transformation of great proportions in terms of production and technology. From the mid-2010s, the development of new digital technologies (eg, artificial intelligence, big data, IoT, etc.), created in the 1970s and 1980s with the explosive emergence of information and communication technologies, present a new panorama for the current economic morphology. With machines acquiring new skills and expanding their performance to cognitive abilities, previously exclusively human, the changing demand for skills and occupations is a fact. Recently, the literature has been extensively discussing the potential of this set of innovations for the industry, named Industry 4.0 and how they will affect the labor market. Given its contemporary character still under construction, many doubts and uncertainties have been alarming the consequences for the working class. Thus, many studies are still needed so that it is possible to correctly dimension its consequences and what can, and should, be done to foster innovative development and provide minimum conditions for workers to be able to absorb the new demands, in terms of skills, and guarantee job. Based on this justification, the objective of this work is to critically evaluate the evolution of the Brazilian occupational structure between 2009 and 2019, in the light of new trends, in terms of emerging occupations and highly susceptible to automation, for the world of work. To this end, a comparative analysis will be carried out with the evolution of the USA, in order to measure the distance that Brazil is from a country on the technological frontier like the North American. The central hypothesis is that, given the historical determinants of the national productive structure, the country will not present satisfactory levels of growth, or even will not follow the technological and US trend, for emerging occupations, given that it has not been able to adequately build the innovative and productive capacities for its process of structural transformation. However, the findings show a different situation. Although Brazil has shown high employment growth in selected important occupations and mostly follows trends, the total level of most of them is still extremely low when compared to the US, suggesting that the increases observed needed to be even more intense for the occupational structure to reflect an ongoing digital modernization process.

Keywords: Tecnology; Industry 4.0; Job Market; Skills; Occupations

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Valor adicionado manufatureiro (preços correntes U\$).....	33
Gráfico 2 - Polarização no mercado de trabalho europeu (1993-2010).....	46
Gráfico 3 – Participação do trabalho na renda, economias do G7, 1980-2015.....	50
Gráfico 4 - Evolução da taxa de desemprego no Brasil – índice de base fixa: novembro / 2002 = 100.....	65
Gráfico 5 - Evolução da composição do Produto Interno Bruto no Brasil (%).....	66
Gráfico 6 – Valor adicionado da indústria (% PIB).....	71
Gráfico 7 - Valor adicionado dos serviços (% PIB)	72
Gráfico 8 - Evolução do Índice de Competitividade Produtiva – Brasil e EUA (1995-2019)	73
Gráfico 9 – Parcela de jovens que não trabalham, nem estuam ou treinam (% da população jovem)	75
Gráfico 10 - Matrículas totais no ensino superior por milhão de habitante	76
Gráfico 11 - Matrículas de graduação no ensino superior por 1 milhão de habitantes.....	77
Gráfico 12 - Parcelas das matrículas por áreas do conhecimento - 2016	79
Gráfico 13 - Gastos do governo por nível com educação – Brasil, 2009 a 2017 (% PIB) ..	80
Gráfico 14 - Gastos do governo por nível com educação – EUA, 2009 a 2017 (% PIB)....	80
Gráfico 15 - Escassez ou excesso de habilidades – Brasil (2015).....	82
Gráfico 16 - Escassez ou excesso de habilidades – EUA (2015)	82
Gráfico 17 - Escassez ou excesso de habilidades básicas de conteúdo (2015)	83
Gráfico 18 - Escassez ou excesso de habilidades básicas de processo (2015).....	84
Gráfico 19 - Escassez ou excesso de habilidades sociais (2015)	85
Gráfico 20 - Excesso ou escassez de habilidades técnicas (2015).....	86
Gráfico 21 - Escassez ou excesso de habilidades de sistemas (2015)	87
Gráfico 22 - Escassez ou excesso de habilidades de gerenciamento de recursos (2015)	88

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Top 15 habilidades para 2025	96
Quadro 2 - Síntese das bases de dados utilizadas	103
Quadro 3 - Cargos selecionados para análise a partir dos estudos do WEF (2020, 2020a)	105
Quadro 4 - Correspondência entre os cargos relatados nos estudos do WEF (2020, 2020a) e ocupações da SOC	107
Quadro 5 - Compatibilização entre as Classificações Ocupacionais	109
Quadro 6 - Correspondência entre SOC 2019, SOC 2018, estrutura híbrida e SOC 2000	112
Quadro 7 - Evolução do número de trabalhadores do 1º bloco de ocupações selecionadas (2009-2019)	114
Quadro 8 - Evolução do salário média mensal do 1º bloco de ocupações selecionadas (2009-2019)	116
Quadro 9 - Evolução do número de trabalhadores do 2º bloco de ocupações selecionadas (2009-2019)	117
Quadro 10 - Evolução do salário médio mensal do 2º bloco de ocupações selecionadas (2009-2019)	119
Quadro 11 - Evolução do número de trabalhadores do 3º bloco de ocupações selecionadas (2009-2019)	120
Quadro 12 – Evolução do salário médio mensal do 3º bloco das ocupações selecionadas (2009-2019)	122
Quadro 13 - Síntese sobre as tendências brasileiras de número de trabalhadores das ocupações selecionadas	123
Quadro 14 - Evolução desagregada do número de trabalhadores do 1º bloco das ocupações selecionadas (2009-2019)	125
Quadro 15 – Evolução desagregada do número de trabalhadores do 2º bloco das ocupações selecionadas (2009-2019)	127

LISTA DE FIGURAS

Figura 1– Diferença de produtividade entre as gerações tecnológicas das empresas	24
Figura 2 – Potenciais soluções da Indústria 4.0.....	25
Figura 3 – Tecnologias de produção digital	29
Figura 4 – Potencial de automação das 18 capacidades analisadas no estudo do Instituto McKinsey	99

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABDI – Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial

ABEIN – Associação Brasileira de Economia Industrial e Inovação

BNDES – Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social

BLS – *Bureau Labor Statistics*

B2B – *Business to Business*

B2C – *Business to Customer*

CBO – Classificação Brasileira de Ocupações

CEPAL - *Economic Commission for Latin America and the Caribbean*

CNAE – Classificação Nacional de Atividades Econômicas

CNI – Confederação Nacional da Indústria

CPI – *Consumer Price Index*

CT&I – Ciência, tecnologia e inovação

Embrapii - Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial

EUA – Estados Unidos da América

Finep - Financiadora de Estudos e Projetos

IA – Inteligência Artificial

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IEDI - Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial

IIoT – *Industrial Internet of Things*

ILO – *International Labor Organization*

IoT – *Internet of Things*

IoS – *Internet of Services*

ISCO - *International Standard Classification of Occupations*

ITU - *International Telecommunication Union*

I4.0 – Indústria 4.0

ML – *Machine-learning*

OCDE - Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico

O*NET - *Occupational Information Network*

OWES – *Occupational Employment and Wage Statistics*

PEA – População Economicamente Ativa

PI – Política Industrial

PIB – Produto Interno Bruto

PMEs – Pequenas e Médias Empresas

P&D – Pesquisa e Desenvolvimento

SENAI - Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial

STEM - *Science, Technology, Engineering and Mathematics*

TI – Tecnologias da Informação

TICs – Tecnologias da Informação e Comunicação

UNCTAD - *United Nations Conference on Trade and Development*

UNIDO - *United Nations Industrial Development Organization*

WEF – *World Economic Forum*

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	13
1. INDÚSTRIA 4.0 E O EMPREGO DO FUTURO	17
1.1 Indústria 4.0 e a digitalização: definição e potenciais efeitos.....	19
1.2 Discurso e Continuidade: estamos mesmo diante de uma grande transformação?....	31
1.3 Impactos no mercado de trabalho: dinâmica entre tecnologia e emprego e perspectivas futuras.....	43
1.4 A formação histórica e os determinantes estruturais do mercado de trabalho brasileiro	57
1.5 Um breve panorama sobre as distinções estruturais produtivas, tecnológica e da qualificação entre Brasil e EUA	69
2. HABILIDADES E OCUPAÇÕES EMERGENTES: INTENSIFICAÇÃO DAS EXIGÊNCIAS DE QUALIFICAÇÃO	91
2.1 Metodologia	100
2.1.1 Dados	100
2.1.2 Ocupações selecionadas e passos metodológicos iniciais	103
2.1.3 Compatibilização das classificações ocupacionais	107
3. ANÁLISE COMPARATIVA DAS ESTRUTURAS OCUPACIONAIS DO BRASIL E EUA	113
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	128
REFERÊNCIAS	150

INTRODUÇÃO

O mundo vem vivenciando um conjunto de transformações no âmbito tecnológico que irá modificar de maneira radical o sistema produtivo global. Com os avanços, principalmente, das tecnologias de informação e comunicação (TICs) e da microeletrônica, gestadas no decorrer das décadas de 1970 e 1980 (COUTINHO, 1992), uma nova gama de inovações vem sendo introduzidas nas cadeias produtivas marcadas por um elevado grau de digitalização e automação.

A internet e a conectividade via redes móveis vêm sendo incorporada de maneira ampla e inovadora, possibilitando novas formas de produção, organização e comercialização. Sua utilização como plataforma de intercâmbio de informação é chamada de *IoT (Internet of Things)*. A partir da captação de quantidades gigantescas de dados, realizada por sensores e pela mineração de informações dos consumidores, armazenados nas nuvens digitais (*cloud computing*), permite a comunicação entre o mundo real e virtual em tempo real, além da flexibilização da cadeia produtiva e customização em massa.

Os avanços em nanotecnologia, biotecnologia, novos materiais e robótica vem trazendo novas funcionalidades e aplicações de inteligência artificial e *machine-learning*, ampliando as atividades realizadas pelas máquinas e equipamentos. Com uma alta capacidade adaptativa, estas máquinas comunicam-se entre si de maneira integrada, elevando a produtividade, otimizando as atividades e reduzindo custos. Tais instrumentos gerenciam o tratamento de dados, fornecendo novas soluções de maneira completamente automatizada, sendo que o *machine-learning* torna tais atividades mais eficientes a partir da possibilidade de aprendizado autônoma das próprias máquinas.

A combinação destas tecnologias que permitem o gerenciamento em tempo real da produção, interconectando o mundo real e virtual a partir da robótica avançada e da nova capacidade de captação de dados, é conhecido como sistemas ciber-físicos e formam o próprio conceito da Indústria 4.0¹.

Com esse avanço rápido do progresso técnico, tais máquinas estão se tornando cada vez mais capacitadas para performar atividades antes exclusivamente humanas. Essa nova

¹ Andreoni e Anzolin (2019) ressaltam que papel da conectividade que permite a integração das novas tecnologias com sistemas complexos de produção, flexibilidade e funcionalidades na execução de tarefas produtivas é o principal fator inédito que permite diferenciar a terceira revolução industrial do processo de transformação tecnológico atual.

capacidade de automação traz um caráter novo a essa onde inovativa, sendo assim, McAfee e Brynjolfsson (2014) chamam de “a segunda era das máquinas”, devido ao potencial de automação de tarefas cognitivas e não mais apenas tarefas físicas e manuais realizado pela mecanização a partir dos anos 1990.

Diante desse cenário, é esperada uma verdadeira transformação do mercado de trabalho e da estrutura dos empregos do futuro. A partir da possibilidade de automação de uma ampla gama de tarefas manuais e rotineiras, além dos novos avanços rumo a automação de tarefas cognitivas, a literatura vem apontando que um número relevante de atividades e ocupações podem desaparecer, levando a um grave crescimento das taxas de desemprego. Entretanto, também é apontado a grande capacidade de aumento da produtividade e dos seus benefícios para a expansão da renda e do emprego, além do surgimento de novas ocupações a partir da introdução destas tecnologias no âmbito produtivo que demandarão novas atividades.

Todavia, há uma grande dificuldade de prever tais movimentos em um contexto de constantes transformações. Sendo assim, o presente estudo focará não na magnitude do processo de automação, mas sim nas tarefas e ocupações que ganharão destaque nos próximos anos, diante desse novo contexto da Indústria 4.0.

Dessa maneira, a pesquisa tem o objetivo central de analisar a estrutura ocupacional brasileira no intuito de compreender se o mercado de trabalho nacional vem evoluindo rumo a estas ocupações que serão mais demandadas na nova economia digital. Além disso, pretende-se comparar esta estrutura nacional com a dos EUA, um país na fronteira tecnológica, para que seja possível analisar se o Brasil vem acompanhando as tendências internacionais e, principalmente, avaliar a distância que a economia nacional se encontra em relação a estruturas produtivas, tecnológicas e de qualificação de ponta.

Portanto, a pesquisa representa um esforço na tentativa de entender como o mercado de trabalho nacional está preparado para as novas transformações, a partir do momento em que, sem uma mão de obra capacitada para realizar tais tarefas, o país não será capaz de empregar de maneira eficiente tais tecnologias na produção devido a esse déficit de habilidades. Levando sempre em consideração que a evolução da estrutura ocupacional é um reflexo direto da transformação da estrutura produtiva.

Assim, a hipótese central do estudo é que o mercado de trabalho nacional ainda não conta com um estoque amplo de mão de obra capacitada e qualificada nas ocupações selecionadas. Parte-se dessa hipótese devido a nossa estrutura produtiva concentrada em atividades de menor valor agregado. Tais atividades empregam pouca tecnologia e estão

relacionadas a menores níveis de renda e produtividade. Esse cenário, ainda, vem piorando a vários anos, sendo a desindustrialização um dos graves sinais para o desenvolvimento do país. Principalmente, o país apresenta um problema histórico em termos de pesquisa e desenvolvimento inovativo e na formação do mercado de trabalho doméstico, o que limita a evolução para setores de maior valor agregado e que possibilitariam um processo de *catching-up*.

Dessa maneira, a estrutura ocupacional do país tende a estar concentrada em profissões menos qualificadas e de menor produtividade, ou seja, na contramão das ocupações ressaltadas na literatura. Isso pode ser uma grave problema para a inserção do país nesta nova onda inovativa e engessando os ganhos de produtividade, renda e emprego da implementação das novas tecnologias nas cadeias produtivas.

Para tanto, o capítulo 1 construirá o referencial teórico que irá delimitar o que é a Indústria 4.0, destacando suas tecnologias e algumas das suas aplicações, além de alguns dos seus efeitos sobre o processo produtivo global. Posteriormente, será analisado como o progresso técnico afeta o emprego, afim de compreender melhor como as transformações inovativas específicas da Indústria 4.0 irão modificar o mercado de trabalho. Como forma de ampliar e adensar a discussão, o capítulo também apresentará “abordagens alternativas” a respeito da própria definição do que é e do que representa a Indústria 4.0 no contexto atual, avaliando seu caráter inédito e transformativo, assim como a origem das novas tecnologias digitais mediante a uma suposta “4ª Revolução Industrial”.

Ademais, as outras duas seções do capítulo tratarão da formação histórica do mercado de trabalho no Brasil e da relativização de algumas das distinções produtivas, tecnológicas e de qualificação entre os dois países analisados. A primeira irá mostrar como os determinantes históricos da escravidão, ausência de reforma agrária e a migração rural-urbana desordenada tornam complexa a análise da classe trabalhadora nacional, dado estes pilares estruturantes da situação brasileira recente. Já o segundo, irá explorar brevemente alguns indicadores econômicos a fim de relativizar os aspectos tecnoprodutivas entre os países analisados, dado que estas são condicionantes diretas da dinâmica do mercado de trabalho e ambos apresentam estruturas bem distintas.

Em relação ao capítulo 2, a discussão inicial versa sobre os efeitos atuais específicos sobre a demanda por habilidades e por ocupações que vêm sendo depreendidos a partir das novas tecnologias digitais. Apesar da divergência da literatura em muitos aspectos sobre Indústria 4.0, parece haver certo consenso sobre quais serão as “competências 4.0” e como elas refletem a intensificação das exigências de qualificação. Assim, serão elencadas e

discutidas as ocupações com tendência de crescimento no contexto da Indústria 4.0 que serão analisadas com base nos estudos selecionados. Além disso, também serão analisadas algumas ocupações que apresentam forte tendência de automação baseada nas novas capacidades das tecnologias digitais.

Por fim, no capítulo 3, será analisada a evolução das ocupações selecionadas no Brasil e realizada uma análise comparativa crítica com os EUA a partir da análise feita no capítulo 2. Dessa maneira, espera-se compreender a evolução recente do mercado de trabalho nacional e verificar se tal evolução vem seguindo as tendências internacionais para que seja possível dimensionar o abismo entre o Brasil e a fronteira tecnológica, principal foco da presente pesquisa.

1. INDÚSTRIA 4.0 E O EMPREGO DO FUTURO

A Indústria 4.0 (I4.0) é um fenômeno recente que vem modificando de maneira extremamente veloz o sistema produtivo global. Com o desenvolvimento de novas tecnologias baseadas na digitalização², informação e comunicação simultânea, via internet, vêm ocorrendo uma verdadeira transformação no modo de produção, organização e comercialização das cadeias produtivas e na divisão internacional do trabalho.

Como apontado por Coutinho (1992), Cetrulo e Nuvolari (2019)³, Andreoni et al (2021), dentre outros, esse novo conjunto de transformações teve sua base gestada durante os anos 1970 e 1980. Isto foi possível graças a capacidade política de coordenação da estabilidade macroeconômica com credibilidade, aliado a aceleração da acumulação produtiva de capital com inovação, um processo inerente ao capitalismo, resultando em um ciclo virtuoso de expansão com estabilidade de preços e aumento expressivo da produtividade.

O complexo eletrônico surgiu como o novo paradigma tecnológico a partir da microeletrônica. Esta última dá origem a base tecnológica que permeia este complexo, articulado em torno da convergência intrínseca das tecnologias de informação, afetando, direta ou indiretamente, todos os setores e atividades da economia (COUTINHO, 1992)⁴. De acordo com o mesmo autor, isto foi possível graças a aproximação da base tecnológica das indústrias de computadores, telecomunicações, eletrônica de consumo e parte da área de automação industrial ocorrido a partir de meados de década de 1970. Sendo que, no decorrer dos anos 1980, houve a rápida difusão desse complexo eletrônico com a queda vertiginosa dos preços de equipamentos e insumos para sua produção. Nessa mesma linha de pensamento, Perez (2002) aponta o surgimento do microprocessador da empresa Intel em

² O termo digitalização, diferente do termo digitização que se refere a transformação do analógico para o digital, descreve “a forma como muitos domínios da vida social são reestruturados em torno da comunicação digital e das infraestruturas de mídia” (BRENNEN; KREISS, 2016: 556).

³ Cetrulo e Nuvolari (2019) trazem essa perspectiva a partir do estudo seminal de Freeman e Soete (1990) e Freeman e Louca (2001).

⁴ Coutinho (1992) apresenta cinco condições fundamentais que dão sustentação a afirmação do referido parágrafo, sendo elas: i) amplo espectro de aplicações em bens e serviços; ii) oferta crescente e suficiente para suprir a demanda na fase de difusão acelerada; iii) rápido declínio dos preços relativos dos produtos feitos a partir das inovações; iv) fortes impactos mutuamente benéficos sobre as estruturas organizacionais, financeiras e sobre processos de trabalho; e v) efeitos redutores generalizados sobre o uso do capital e efeitos potencializadores sobre a produtividade do trabalho

1971 como o começo da revolução digital, no qual a manufatura inteligente ou I4.0 seriam o “último estágio” desse processo.

Esse fenômeno se materializa, principalmente, durante os anos 80, nas tendências: i) de crescimento do próprio complexo eletrônico; ii) de automação integrada flexível a partir da utilização de mecanismos e equipamentos digitalizados e computadorizados, permitindo ganhos de escala, customização e controle em tempo real da produção; iii) da transformação do trabalho face a tendência de automação e customização⁵ rumo a novas formas de organização e qualificação da mão de obra; iv) de modificação das estruturas e estratégias empresariais multiindustriais, cooperativas e baseadas em um perfil tecnológico dinâmico, a partir da formação de redes internas de controle e informação viabilizadas pelos avanços nas telecomunicações e informática; v) de novas bases de competitividade de caráter sistêmico e focada na capacitação inovativa; vi) da globalização como uma etapa do aprofundamento da internacionalização devido a interconexão e interdependência dos mercados financeiros globais, facilitada pela desregulamentação (graças ao progresso técnico das telecomunicação, processamento, armazenamento e transmissão de informações), a formação de oligopólios internacionais e a formação de redes telemáticas globais de informação e gestão; e vii) da formação de “alianças tecnológicas” entre empresas como nova forma de organização e concorrência oligopolista (COUTINHO, 1992).

No decorrer das últimas três décadas, estas tendências se reforçaram e ganharam novas formas que irão modificar novamente a cadeia produtiva global. O Brasil teve algumas tentativas exitosas de medidas para que o país se desenvolvesse rumo a essas tendências, principalmente no período Lula, no qual o Estado ganhou protagonismo. Todavia, equívocos na condução das políticas, na definição de objetivos e prioridades, gargalos institucionais, entre outros levaram a incapacidade de reverter o cenário de desindustrialização e promover de maneira sistêmica e intensa a ciência e a tecnológica. Dessa maneira, para compreender como essas novas transformações irão impor novos desafios a sociedade, o presente capítulo irá explorar, a partir da análise bibliográfica de alguns dos principais estudos na área, o conceito e as novas tecnologias que compõe a I4.0, incluindo a discussão de alguns conjuntos

⁵ Flexibilização com a participação direta da força de trabalho na condução dos processos produtivos, aumento do nível exigido de qualificação amplo e polivalente, redução da distância hierárquica entre a gerência e o chão de fábrica, aumento da necessidade de investimento em intangíveis (treinamento e qualificação, organização e coordenação da produção, marketing, etc.) e da exigência de conhecimentos de difícil codificação (tácitos) e interação de forma criativa entre força de trabalho e o sistema de automação flexível (afastamento do modelo fordista-taylorista).

tecnológicos relevantes para o desenvolvimento desta nova indústria. Posteriormente irá discutir como o progresso técnico afeta o trabalho para compreender o impacto desse novo fenômeno sobre a divisão internacional do trabalho. Além disso, contextualizará a análise comparativa a partir da discussão dos determinantes históricos da formação do mercado de trabalho e da relativização das diferenças produtivas, tecnológicas e de qualificação entre Brasil e EUA, a partir de alguns indicadores.

1.1 Indústria 4.0 e a digitalização: definição e potenciais efeitos

No decorrer da última década, o mundo vem vivenciando um complexo desenvolvimento de novas tecnologias baseadas, principalmente, no progresso das tecnologias ligadas a informação e comunicação (TICs)⁶, sendo os pilares desse processo. Com o avanço da digitalização, o aprimoramento da microeletrônica e desenvolvimento mais eficiente de softwares e hardwares é esperado que as “megatendências” – além da megatendência da I4.0 e seus efeitos no trabalho, também são ressaltados pela literatura as mudanças climáticas, nova globalização e mudanças demográficas como sendo megatendências para as próximas décadas - reconfigurem a produção global e a própria humanidade nos próximos anos, transformando diversos aspectos da produção, não só advinda de novos produtos e processos, como na organização, localização, modularização, etc. (ILO, 2018). Justamente devido a esse enorme potencial de mudança e do surgimento de novas tecnologias que reconfigurarão de maneira ampla o sistema produtivo, convencionou-se chamar tal movimento de Indústria 4.0⁷ ou Manufatura Avançada. Vale ressaltar que esse recente avanço, de acordo com a OCDE (2016), está relacionado aos custos declinantes das

⁶ Tecnologias base como software, hardware e a internet não são novas tecnologias que caracterizam unicamente esse novo movimento, no entanto, são as novas maneiras de implementação no processo produtivo a partir do forte desenvolvimento inovativo recente que o tornam inédito e disruptivo em termos de novas formas de produção, organização e comercialização. Assim, esse novo processo inovativo está diretamente relacionado a: chegada dos computadores pessoais para consumo em massa em meados da década de 1980; ao amadurecimento de ferramentas de design digital computação empresarial e manufatura computadorizada na década de 1990. Além disso, outros determinantes do contexto global, com destaque para o boom de terceirização e *offshoring* na década de 2000 e as complexas cadeias globais de valor resultantes e a fluidez operacional que emergiu desse processo, influenciaram esse movimento (STURGEON, 2019).

⁷ Este termo surgiu na Alemanha em 2011 a partir da estratégia do governo alemão para o desenvolvimento de alta tecnologia para a manufatura e passou a ser amplamente utilizado até mesmo fora do âmbito acadêmico/institucional.

novas tecnologias⁸ que permitem uma maior e mais fácil difusão⁹ e a fusão de diferentes TICs e sua convergência com as demais tecnologias

Esse novo “conceito” está diretamente ligado a utilização coordenada de informação, automação, computação e internet a partir da agregação de materiais, técnicas produtivas e capacitações de ponta, se materializando em novas maneiras de fabricação de produtos já existentes, assim como novos produtos derivados destas novas tecnologias (OCDE, 2015). Sendo assim, essa reconfiguração vem criando uma “nova” economia digital por meio de sistemas ciber-físicos avançados, abrangendo manufatura, serviços avançados e sistemas biológicos (SCHWAB, 2016).

Esses sistemas ciber-físicos são fruto da combinação da robótica avançada e captação em quantidade e volume enormes de dados e informações que permite a interligação entre os componentes físicos e virtuais, formando o próprio conceito da I4.0. Dessa maneira, são derivados da disseminação do emprego da internet, ligada a redes globais de captação e troca de dados, como umas das principais bases que tornaram possíveis essas novas associações. Isso permitirá o pleno controle e integração da produção, a partir do tratamento de dados em tempo real por meio de sensores e atuadores conectados as redes, criando verdadeiros sistemas de gerenciamento e captação de informações que dinamizam e tornam o processo produtivo mais eficiente por meio da integração vertical e horizontal dos sistemas de tecnologia da informação (TI) e da integração com o ciclo de vida do produto. Portanto, “os sistemas ciber-físicos fomentam tecnologias que unem o mundo virtual e físico para criar novos ecossistemas de produção onde objetos inteligentes se comunicam, interagem e apoiam um processo de autoajuste automatizado” (ANDREONI; ANZOLIN, 2019 p.31).

Esta ampla gama de novas tecnologias e aplicações estão associadas a algumas inovações que formam a base da I4.0, sendo elas: i) novas fontes de dados navegando por meio da conectividade amplamente disseminada, com destaque para a internet móvel chamada Internet das Coisas (*Internet of Things – IoT*); ii) computação em nuvem (*cloud computing*); iii) big data; e vi) inteligência artificial (IA)¹⁰.

⁸ Para maior detalhamento sobre a tendência de queda nos custos, ver Indústria 2027 da Confederação Nacional da Indústria onde consta vários exemplos relevantes da enorme queda dos custos das novas tecnologias desde os anos 2000.

⁹ De acordo com CNI (2018), essa maior velocidade de difusão está relacionada a queda rápida dos custos relacionados as tecnologias e do espraiamento de novas soluções baseadas em software, hardware e conectividade.

¹⁰ Para uma lista completa e detalhada de todas as das tecnologias que formam o complexo 4.0, ver World Economic Forum (2018).

A *IoT* é a principal base da I4.0 pois é ela que permite a interação entre os diversos componentes do sistema produtivo/comercial, desde os produtos, aos próprios sistemas, plataformas e serviços (*e.g.*, aplicativos), possibilitando que trabalhem de forma conjunta e cooperativa buscando um objetivo comum. Com a utilização de sensores para a captura dos dados, tornou-se possível a conexão em tempo real do mundo virtual com o mundo físico, otimizando atividades de logística, como compra e venda de mercadoria e manejo de estoques. Combinado com *big data* e computação em nuvem, pode ser capaz de melhorar a capacidade preditiva para tomada de decisão, como planejamento futuro da produção, novos modelos de negócios e sistemas inteligentes. Dessa maneira, a *IoT* possibilita o desenvolvimento de outras tecnologias ligadas a I4.0 ao prover dados e ferramentas para o aprimoramento das operações industriais e de serviços, além do melhor manejo do risco na linha de fornecimento, conectando todo o processo produtivo, desde a matéria prima até o pós venda e possibilitando a operação remota da cadeia produtiva e a criação de sistemas autônomos complexos. Dessa maneira, baseado em (VAN DEURSEN; MOSSBERGER, 2018), a ITU (2018) define *IoT* como:

“sistemas contendo objetos "cotidianos" onipresentes (por exemplo, telefones celulares, carros, vestíveis, eletrodomésticos, brinquedos, etc.) acessíveis através da Internet e equipados com (a) recursos de detecção, armazenamento e processamento que permitem que esses objetos "entendam" seus ambientes; e (b) identificação e recursos de rede que lhes permitam comunicar informações sobre si mesmos e tomar decisões autônomas” (ITU, 2018 p. 24 tradução própria)

Dentro do escopo da *IoT* existe, ainda, a internet dos serviços (*Internet of Services – IoS*) e a internet industrial das coisas (*Industrial Internet of Things – IIoT*). O primeiro é similar ao *IoT*, porém aplicado a serviços ao invés de coisas físicas, fornecendo base comercial e técnica para criação de redes de interação e comercialização entre consumidores e prestadores de serviços. Já o segundo faz referência ao emprego da *IoT* na indústria por meio de sensores, sistemas de controle, análise mais eficiente e veloz dos dados, entre outros (PEREIRA; ROMERO, 2017). Portanto, suas aplicações vão além de processos industriais, permeando aplicações para consumidores, serviços domésticos, transporte, saúde, etc.

Com o aprimoramento da capacidade de armazenamento de quantidades gigantescas de dados em nuvens, a computação em nuvem permite que estes dados sejam acessados de maneira fácil, flexível e sob demanda a baixos custos e de maneira ágil. Além disso, tais aprimoramentos são essenciais para aplicações que demandam grande quantidade

de dados, como por exemplo em atividades envolvendo realidade virtual e *machine-learning* (ML).

Essa enorme quantidade de dados captadas por sensores, mineração de informações de consumidores, análise instantânea de demanda e outros dispositivos armazenada na nuvem é chamado *big data*. Com o tratamento desses dados é possível uma tomada de decisão mais eficiente respaldado por uma grande quantidade de informações provenientes desta “mineração” e de fácil acesso. Além disso, esses “lagos” de dados (STURGEON, 2019) são essenciais para o aperfeiçoamento das capacidades de predição e decisão baseados em ML e IA¹¹. A utilização de dados possibilita uma ampla gama de aplicações inteligentes (*smart applications*) baseadas em algoritmos de ML que aprendem com os eventos passados e se comunicam e transmitem os resultados provenientes do seu aprendizado para outras máquinas (OCDE, 2015), integrando e dinamizando o sistema produtivo. Assim, é esperado que por meio da *IoT* seja possível a utilização de robôs que aprendam independentemente (*self-learning*), sejam mais inteligentes e otimizem sua atuação e capacitação por meio da comunicação ML.

As novas aplicações e espraiamento, ainda que restrito, do *big data* e computação em nuvem estão ligadas ao aumento da capacidade de volume, velocidade e variedade (MCAFEE; BRYNJOLFSSON, 2014). Porém, a computação em nuvem não é algo novo. Agora, os usuários contratam os serviços das empresas de *datacenter* que armazenam os dados em servidores e fornecem serviços remotos de software e outros aplicativos, possibilitando um novo movimento de terceirização, não apenas no armazenamento de informações, mas também de atividades de negócio, como seções jurídicas e setor de vendas. (SILVA et al, 2020). Com esses ganhos de escala e facilidade de acesso, estas tecnologias estão permitindo o acúmulo cada vez maior de uma variedade extensa de dados, disponíveis a todo momento em tempo real e de diversos modos (texto, numérico, etc.), ampliando suas possibilidades de aplicação. Sendo assim, funcionando como uma infraestrutura de armazenamento muito superior a capacidade dos métodos atuais, transmitida via *IoT* que

¹¹ A OCDE (2019) define Inteligência Artificial como: Um sistema de IA é um sistema baseado em máquina que pode, para um determinado conjunto de objetivos, fazer previsões, recomendações ou decisões que influenciam ambientes virtuais ou reais. Ele usa conhecimentos de máquinas e/ou humanos para compreender ambientes virtuais e/ou reais; abstrair tais percepções em modelos (de uma forma automatizada, por exemplo, com ML ou manualmente); e usa inferência de modelos para formular opções de informação ou ação. Os sistemas de IA são projetados para operar com vários níveis de autonomia.

conecta as máquinas e equipamentos à internet e possibilitada a troca constante de dados entre eles (LIMA, 2020).

A *cloud computing* também está relacionada ao processo chamado na literatura como *servitização*¹² e que vem sendo mais proeminente nos países de alta renda. A mudança da compra física do software para aquisição de forma virtual possibilitou o acesso a esse produto/serviço de qualquer lugar a qualquer hora. Esse processo é chamado de *software-as-a-service* e *platform-as-a-services*. Isto também é válido para a infraestrutura de computação e armazenamento que vem mudando rapidamente de computadores pessoais e redes privadas para nuvens de domínio público. Esses exemplos deixam claro como o setor de serviços vem ampliando seu escopo de atuação e participação na economia, se expandindo muito além de aplicações para software, estando presente em dispositivos e sistemas de hardware, impressoras 3D, robôs industriais, entre outros. Ou seja, *everything-as-a-service* (STURGEON, 2019).

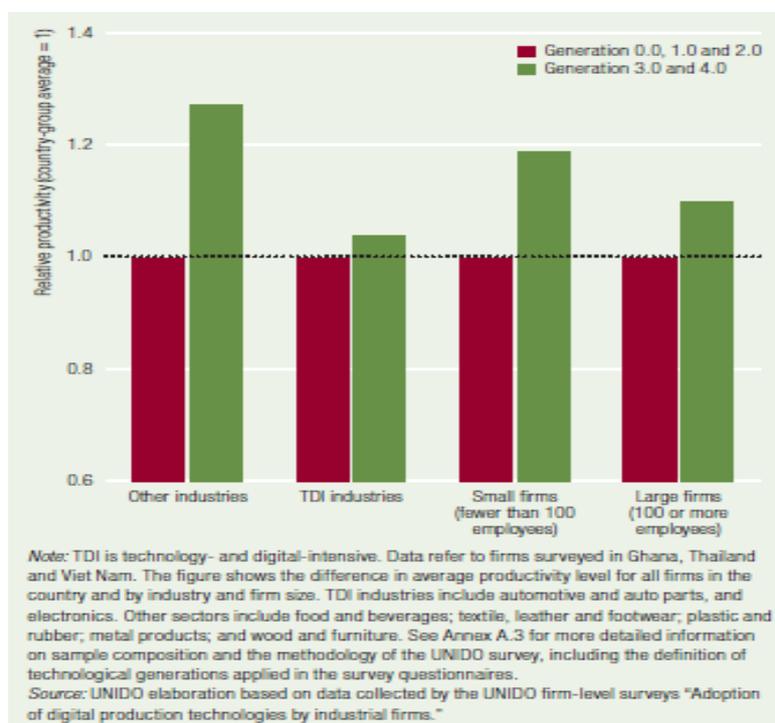
Com a maior quantidade de dados disponíveis com maior facilidade, o gerenciamento e captação de informações mais precisas e em tempo real possibilitam a maior dinamização e melhor eficiência do processo produtivo. Dessa maneira, a flexibilização da cadeia produtiva, a customização em massa e a criação de novos modelos gerenciais são características das *smart factories*. Essas fábricas inteligentes são caracterizadas pela integração de toda a produção, pelo elevado grau de digitalização e flexibilização dos processos que compõem a fabricação e comercialização do seu(s) produto(s). Esse processo de flexibilização e adaptação está ligado a criação de um ambiente inteligente e integrado em tempo real, tornando possível a intercomunicação entre todos os componentes e recursos da manufatura, aumentando a eficiência e dando a capacidade para atender os requisitos de mercado altamente complexos (PEREIRA; ROMERO, 2017).

Com a aplicação de recursos ligados a IA, máquinas e equipamentos serão capazes de se adaptar as atividades programadas e se comunicarem entre si de maneira integrada, levando ao aumento da produtividade e otimizando o processo ao evitar falhas e ações desnecessárias. Isso é possível graças ao grande avanço do poder computacional desde

¹² Esse termo é utilizado para referir-se ao processo, principalmente vivenciado por países de alta renda, de encolhimento do setor manufatureiro em contraposição ao aumento da participação dos serviços, tanto na renda, como no emprego. Tal tendência se intensificou no período recente, entretanto alguns autores já apontavam a sua futura ocorrência como Fisher (1935), Clark (1940), Chenery (1960), Kuznets (1966) e Bell (1976).

2010 e expresso na Lei de Moore¹³ (BALDWIN, 2019). É peça importante dos sistemas ciber-físicos pois gerencia e otimiza a captação e tratamento dos dados, fornecendo soluções mais eficientes de maneira mais independente e automatizada, além de possibilitar o aumento de produtividade da máquina de maneira autônoma. Permite, também modelagem e simulação de estruturas e propriedades dos insumos que auxiliam na decisão de produção e aliado ao ML torna capaz a manutenção preditiva antes mesmo do desgaste mecânico ou necessidade de substituição de alguma peça ou componente. Este aumento de produtividade derivado das novas tecnologias digitais já vem surtindo certo efeito, como observa-se abaixo no exemplo de alguns países emergentes (Gana, Tailândia e Vietnã). A Geração 0.0, 1.0 e 2.0 correspondem a firmas que ainda estão inseridas no contexto tecnológico da geração analógica, geração da 1ª e 2ª seriam aquelas com tecnologias digitais, porém ligadas a evoluções inovativas passadas e atrasadas. Já a Geração 3.0 e 4.0 seriam aquelas firmas com conteúdo tecnológico digital mais avançado, ligados ao paradigma das TICs e da evolução para a I4.0 (UNIDO, 2020).

Figura 1– Diferença de produtividade entre as gerações tecnológicas das empresas

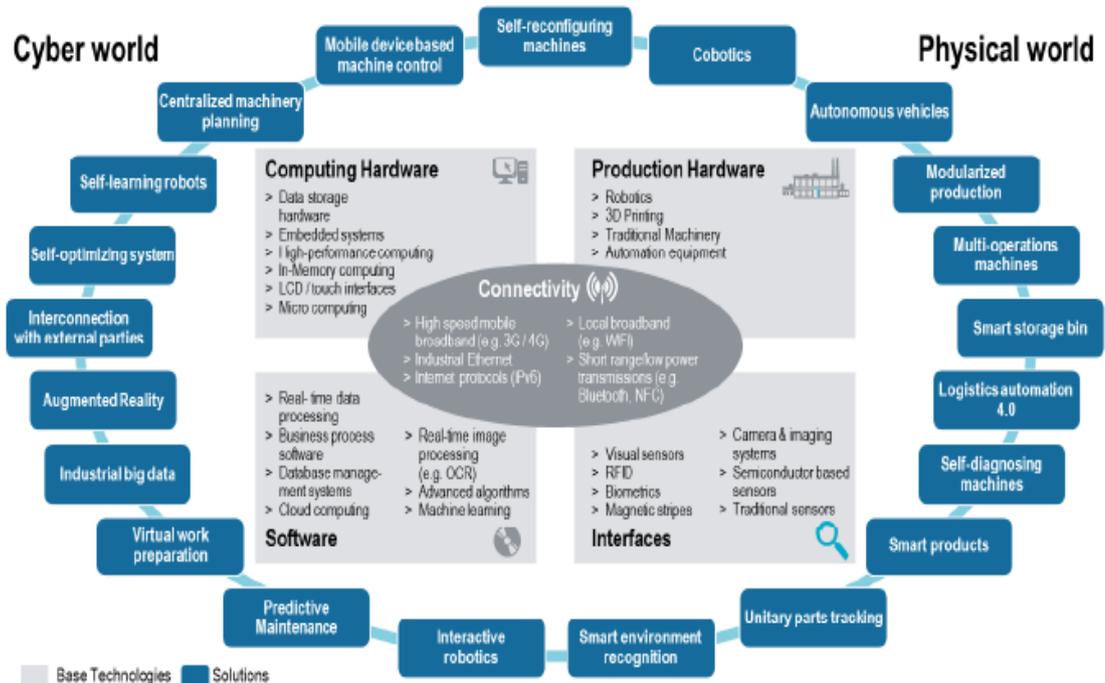


Fonte: UNIDO (2019).

¹³ A Lei de Moore é uma observação e projeção de uma tendência histórica relacionado a indústria de microchips e processamento de computadores. Foi observada por Gordon E. Moore, e consiste na tendência de crescimento do poder computacional em 100%, pelo mesmo custo, a cada período de 18 meses, ou seja, a capacidades de processamento computacional dobre a cada 2 anos.

Com o intuito de sintetizar e adicionar alguns exemplos de aplicações a respeito do que fora discutido acima, a figura 1 apresenta as tecnologias base para a I4.0, as subdivido em quatro grupos: i) hardware de computação referentes aos avanços das capacidades computacionais, desde a melhoria da sua performance, até sua redução de tamanho e capacidade de armazenamento; ii) hardwares de produção referentes a introdução de robôs avanços e impressão 3D, por exemplo; iii) softwares referentes as novas aplicações de *cloud computing* e ML, novas capacidades de processamento e algoritmos avançados; e iv) as interfaces que integram as novas tecnologias ao processo produtivo. Adicionalmente, mostra como a conectividade permeia todas estas tecnologias, destacando seu caráter crucial para o desenvolvimento e implementação destas inovações e, ainda, mostra alguns exemplos de solução, tanto no mundo físico (veículos autônomos, produtos inteligentes, logística automatizada, etc.), como no mundo virtual (realidade aumentada, *big data* industrial, robôs de autoaprendizado, etc.)¹⁴.

Figura 2 – Potenciais soluções da Indústria 4.0



Fonte: Aulbur et al (2016) p. 1

A evolução recente de alguns conjuntos tecnológicos que, assim como a I4.0, englobam a chamada, por alguns, de 4ª Revolução Industrial, vem apresentando um

¹⁴ Como complemento, para exemplos práticos de aplicação e impacto das tecnologias digitais ver os trabalhos “Indústria 2027”, CNI (2018) e “*Natura Non Facit Saltus: Challenges and Opportunities for Digital Industrialisation Across Developing Countries*”, Andreoni et al (2021).

desenvolvimento notável. O avanço da biotecnologia surge de maneira disruptiva, possibilitando uma revolução de base biológica na produção. Esse avanço no campo da biologia e química pode aumentar a eficiência de diversos bioprocessos, como a produção de biocombustíveis e fotossíntese artificial. Outras aplicações mais complexas também serão provenientes dessa evolução, indo desde alimentos que produzem seus próprios fertilizantes a edição genética. Dentre os diversos benefícios que tais aplicações podem trazer, destaca-se a possível desvinculação da agricultura com a indústria de fertilizantes à base de combustíveis fósseis em um contexto global no qual a preocupação com a conservação do meio ambiente é um imperativo e que pode se beneficiar enormemente do progresso técnico da I4.0 e das chamadas tecnologias verdes¹⁵.

A nanotecnologia também se mostra muito relevante devido a sua capacidade de aprimoramento do produto, podendo torna-lo mais leve, resistente, veloz, barato, além de mais eficiente energeticamente, permitindo a substituição de processos de produção altamente consumidores de energia, como a fabricação de células solares em processos de fusão por zona, por processos de baixo consumo, como a impressão de celular solares no ar ambiente (OCDE, 2016). Devido a sua ampla gama de aplicações, tem o potencial de afetar virtualmente todas as áreas da atividade econômica, além de estar relacionada a tecnologias verdes e a preocupação com o meio ambiente.

A combinação, principalmente, da bio com a nanotecnologia vem potencializando o desenvolvimento de materiais novos com propriedades inteiramente inéditas, como sólidos com baixíssima densidade, compósitos leves e super-resistentes, materiais capazes de se autorreparar, materiais que respondem a luz e som, entre outros. Esses materiais avançados (*advanced materials*) tem a capacidade de melhorar as características dos produtos e processos, desde sua funcionalidade, até o aumento da eficiência e novas propriedades. Além disso, a combinação entre estes novos materiais com os já existentes permitirá novos designs e aprimoramento de performances em uma ampla gama de setores, como metalúrgica, químico, têxtil, etc. Vale ressaltar que o emprego de computação avançada e IA pode beneficiar muito o cenário dos novos materiais ao aumentar a velocidade e ritmo do seu desenvolvimento, acelerar a inserção de materiais já utilizados em novos

¹⁵ O termo tecnologias verdes é convencionalmente utilizado para referenciar tecnologias voltadas a conservação e proteção do meio ambiente, aumentando a eficiência energética e dos recursos utilizados e mitigando seu desperdício. No contexto recente da I4.0, a criação de novos materiais avançados e menos prejudiciais a natureza e novas fontes de energia, por exemplo, ganham relevância e vem tornando-se possível devido ao avanço da biotecnologia, nanotecnologia e TICs (UNIDO, 2020).

produtos e aperfeiçoar produtos e processos já existentes, podendo proporcionar uma capacidade mais veloz de descoberta de novos materiais (KERGROACH, 2017).

A manufatura aditiva (*additive manufacturing*) representa outro avanço relevante para o processo produtivo. Refere-se a aplicação de múltiplas técnicas na construção do produto adicionando material em camadas, sendo o mais proeminente exemplo as impressoras 3D. Sua aplicação permite um processo de design mais curto, redução do uso de insumos e de desperdício, produção personalizada e menor fluxo de produtos físicos, uma vez que possibilita a venda do design ao invés do produto físico, o que mostra o grande potencial para uma revolução no setor industrial no futuro próximo¹⁶. O desenvolvimento recente da tecnologia 3D permite a utilização de materiais como vidro e metais e a impressão de baterias e drones multimateriais. Com a evolução do tempo de impressão, redução nos custos, aumento da qualidade, tamanho e disponibilidade de diversos materiais, no futuro próximo esta tecnologia poderá ter uma ampla gama de aplicações, indo desde impressão de DNA e partes de órgãos do corpo humano, até design de produtos, prototipagem e produção de componentes altamente customizáveis. Essas características fazem com que as firmas possam se libertar da necessidade de desenvolver ferramentas caras de produção e design de componentes, proporcionando a possibilidade de testar fisicamente suas propriedades funcionais, fazendo com que os custos caiam drasticamente (ANDREONI; ANZOLIN, 2019).

Além disso, poderá ser uma grande aliada de uma economia sustentável, pois possibilita que muitos materiais sejam moldados de maneiras que apenas eram possíveis utilizando plástico, diminui as barreiras para alteração entre materiais e permite que menos insumos químicos produzam mais variações nas propriedades do material ao variar os métodos de impressão (OCDE, 2016). Adicionalmente, também pode reduzir o impacto ambiental ao possibilitar a substituição de peças e partes defeituosas, evitando que a máquina seja descartada.

A figura 2 ilustra um esquema sintético em que se pode observar a interligação entre os três principais domínios tecnológicos da economia digital – hardware, software e conectividade – e seu desenvolvimento a partir de algumas tecnologias da terceira revolução

¹⁶ Hoje em dia, a tecnologia de impressão 3D é empregada especialmente para prototipação de produtos. Conforme a sua maturação, diminuição de custos e ganhos de escala, as transformações no sistema produtivo elencados acima poderão vir a se concretizar em um futuro próximo. Artigos esportivos, brinquedos, instrumentos médicos, fabricação e reparo de máquinas e equipamentos são indústrias onde as impressoras já estão sendo amplamente utilizadas (LAPLUME et al., 2017).

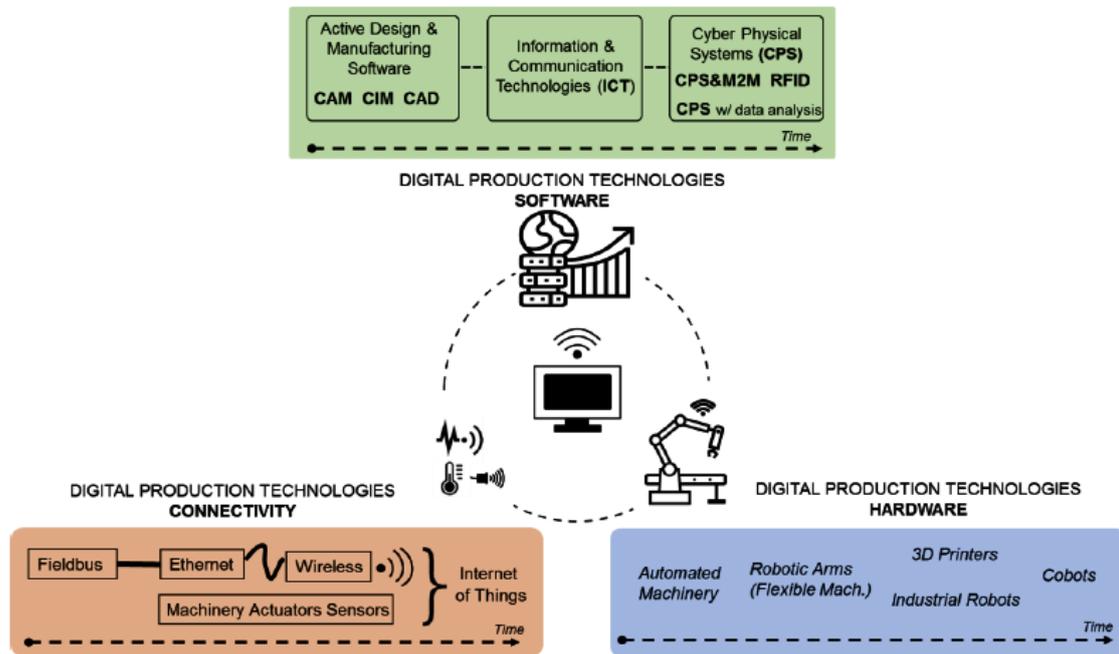
industrial. Essa integração é ressaltada por Hermann et al (2016) ao compreender o conceito de I4.0 como um termo colaborativo para as tecnologias e conceitos que englobam toda a organização da cadeia de valor, na qual as fábricas inteligentes são organizadas em estrutura modulares, muitas vezes em forma de plataformas, e seus processos são controlados e gerenciados pelos sistemas ciber-físicos em um esquema descentralizado de decisões.

Essa integração entre as diversas tecnologias também é ressaltada por Pereira e Romero (2017) ao resgatar o conceito de Kagermann et al (2013) no qual salienta três dimensões de integração que permeiam as principais características do conceito da I4.0, sendo elas: i) integração horizontal através das redes de valor, referindo-se à integração dos diversos sistemas de TI, recursos e insumos, processos e fluxos de informações dentro de uma mesma organização e entre outros modos de organização; ii) integração vertical e sistemas de manufatura em rede, referindo-se a integração dos elementos citados anteriormente por meio dos departamentos e níveis hierárquicos de uma organização, desde o desenvolvimento do produto, logística e comercialização, até o pós-venda; e iii) integração digital ponta-a-ponta de toda a cadeia de valor, possibilitada pelos dois tipos anteriores de integração afim de facilitar e otimizar a customização de produtos e a redução dos custos de operação através dos sistemas ciber-físicos.

Apesar do enorme progresso inovativo dos últimos anos, tais tecnologias estão em desenvolvimento para que torne mais viável sua aplicação e difusão¹⁷. Da maneira geral, grande parte delas deparam-se com obstáculos importantes, como: ganhos de escala, escalabilidade da pesquisa, regulação, custos elevados, percepção pública, entre outros. Todavia, a literatura é convergente no que se refere ao horizonte futuro de transformação e evolução dessas tecnologias e seu enorme potencial disruptivo. Isso tem relação direta com o mercado de trabalho. Alguns estudos, como o do Instituto McKinsey (2017) prevê uma larga consolidação destas em um cenário de 15 a 20 anos, o que ampliaria os efeitos discutidos aqui sobre a mão de obra, provavelmente reforçando as tendências apresentadas.

¹⁷ No que diz respeito particularmente a difusão, o estudo realizado pela OCDE (2015b) identificou quatro fatores que moldarão o processo de difusão a nível nacional e internacional, sendo eles: i) conexões globais via comércio, IDE (investimento direto externo), participação nas cadeias globais de valor (CGVs) e a mobilidade internacional de mão de obra qualificada; ii) conexões e troca de conhecimento dentro da economia nacional, como a interação entre instituições científicas e de ensino superior e empresas; iii) o escopo que existe para experimentação por empresas, com destaque para firmas entrantes, com novas tecnologias e modelos de negócios; e vi) a extensão dos investimentos complementares em P&D, habilidades, know-how organizacional e outras formas de capital baseado em conhecimento.

Figura 3 – Tecnologias de produção digital



Fonte: Andreoni; Anzolin (2019) p. 17

Dessa maneira, apesar de uma ampla gama destas tecnologias já estarem disponíveis – o que não é condição suficiente para aceitação e aplicação eficiente –, seu uso bem sucedido requer investimentos para seu desenvolvimento, assim como investimento em ativos complementares (*e.g.*, novos modelos organizacionais), aprimorando de habilidades já existentes e incorporação de novas, novos modelos de negócios que canalizem as receitas para inovação e aprendizado no uso das tecnologias¹⁸ (ANDREONI, 2019).

A natureza pervasiva das tecnologias digitais irão implicar – em certa medida já estão implicando – em diversos desafios para as políticas públicas. Concorrência, privacidade e proteção ao consumidor, proteção virtual dos dados, estrutura de governança coerente de dados e interoperabilidade são algumas questões nas quais haverá uma grande necessidade da atuação do Estado via políticas eficientes e bem planejadas, respeitando as especificidades regionais, além da participação de instituições eficazes e preocupadas com o desenvolvimento regional (ADB, 2018). Nesse sentido, muitos países, como China, Reino Unido e Holanda, vêm aplicando algumas políticas no sentido de promover o desenvolvimento e florescimento da I4.0 por meio de compras públicas de inovação, principalmente voltadas a pequenas e médias empresas que necessitam de maior suporte e

¹⁸ O mesmo estudo aponta algumas condições que facilitaríamos esse processo de aprendizado baseado em McGowan et al., (2015), sendo eles: abertura comercial, alocação eficiente de habilidades, capacidade gerencial, volume de P&D relacionado a negócios e a capacidade dos governos de desenvolver e implementar serviços públicos eletrônicos.

incentivo para continuarem seu processo inovativo, além de outros incentivo, como crédito subsidiado para pesquisa e desenvolvimento (P&D) e estabelecimento de regulamentos e padrões que encorajam atividades pré-comerciais de P&D, como estudos de viabilidade e prototipação (OCDE, 2016). O mesmo estudo complementa:

“Os governos podem ajudar no desenvolvimento de cadeias de abastecimento sustentáveis para a produção de base biológica e ajudar a resolver questões técnicas e econômicas sobre a produção, muitas vezes por meio de parcerias público-privadas. Os governos também podem reduzir as barreiras ao comércio de produtos de base biológica, reduzir os obstáculos regulatórios que dificultam o investimento e apoiar a ciência e a educação interdisciplinares necessárias. Políticas são necessárias para facilitar dados abertos e ciência aberta (por exemplo, para compartilhar simulações de estruturas de materiais). O progresso em novos materiais requer uma estreita colaboração entre a indústria, universidades, agências de fomento à pesquisa e laboratórios públicos. E, novamente, são necessárias medidas para fomentar a pesquisa interdisciplinar e a educação.” (OCDE, 2016 p. 8 tradução própria).

Os efeitos no mercado de trabalho é uma questão muito relevante e que vem sendo amplamente discutida no âmbito acadêmico, devido ao grande potencial de automação e transformação trazido pela nova economia digital. Dessa maneira, essa “segunda era das máquinas” é baseada na automação de tarefas cognitivas através das, já citadas, tecnologias digitais, diferente da “primeira era das máquinas” na qual a automação tomava lugar de tarefas físicas e manuais por meio da mecanização (ILO, 2017). Esse fenômeno traz grande preocupação devido ao seu potencial de destruição de postos de trabalho, além da transformação e evolução das habilidades que irão ser requeridas dos trabalhadores nesse novo ambiente altamente automatizado. Em contraposição a esta tendência, também há o surgimento de novos postos de trabalho e elevados ganhos de produtividade que teriam um efeito retroalimentador ao expandir a economia e ampliar a demanda por trabalho. Assim, independente de qual das tendências se provará mais forte, os institutos de pesquisa e agências governamentais terão a responsabilidade de compreender esse processo para que o Estado tenha a capacidade de empreender políticas públicas que protejam o trabalhador e estimulem, tanto o desenvolvimento inovativo, como a geração de emprego e renda.

Essas novas perspectivas sobre futuro do mercado de trabalho vêm gerando uma intensa disrupção social. Como isso afetará a classe trabalhadora como um todo? O que fazer com os trabalhadores que não conseguirão ser absorvidos por esse novo mercado de trabalho? Muitos indivíduos, mesmo qualificados, não tem conseguido achar emprego. Isso nos deve

levar a considerar menores jornadas de trabalho? Ampliação do tempo livre? Para além disso, soma-se a precarização, uberização e pervasividade do trabalho via plataformas digitais que vêm avançando ferozmente e trazem preocupantes consequências as condições de vida e labor das massas. Um último elemento dessa disrupção é trazido pelo ideário neoliberal do trabalhador como empreendedor de si mesmo, do indivíduo como o único responsável pelo seu destino e que se ele/ela não conseguiu ascender socialmente como um empresário de sucesso é única e exclusivamente por falta de esforço e dedicação, desconsiderando completamente as condições materiais e privações de direitos e oportunidades. A disseminação dessa consciência ainda leva a demonização do trabalho coletivo, representado, principalmente, pelo Estado e consolidando uma visão extremamente negativa e distorcida do papel deste. Isso, somado a outros fatores discutido aqui vêm desestruturando a classe trabalho, não só como classe, mas como trabalhadores e indivíduos.

Todavia, diversos autores trazem uma perspectiva crítica ao que chamam de discurso determinístico da I4.0 e propõem novas interpretações a respeito desse processo que vem se desdobrando. Assim, a seção seguinte busca apresentar essas interpretações alternativas no intuito de adensar a discussão e trazer outras perspectivas que ajudem a compreender melhor todos os meandros dessa transformação.

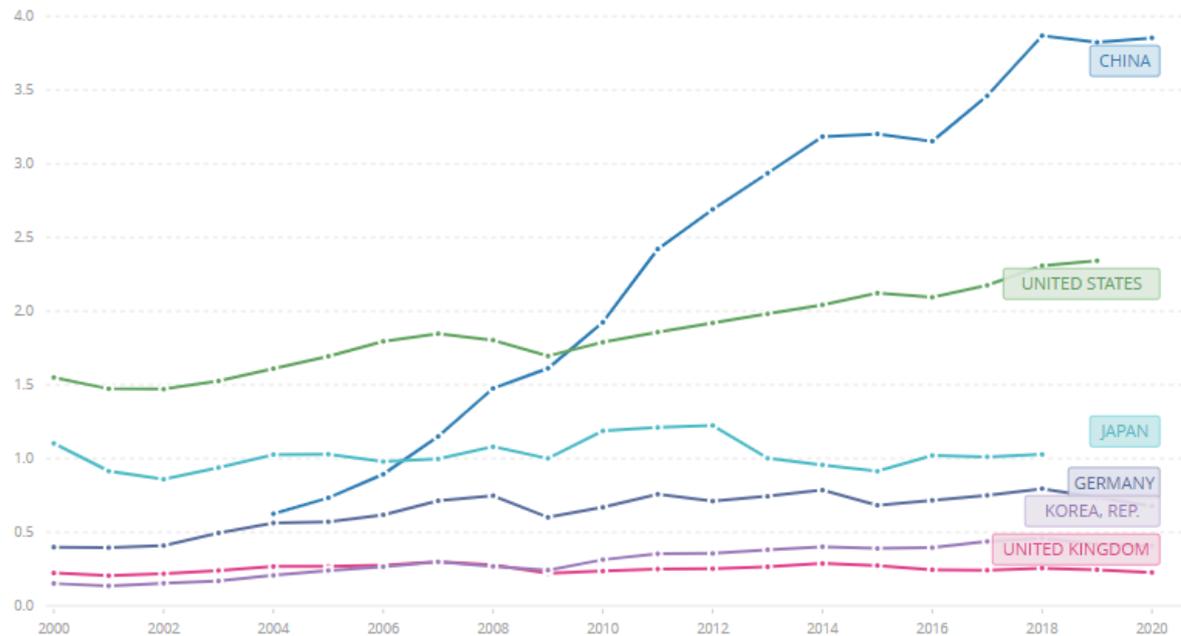
1.2 Discurso e Continuidade: estamos mesmo diante de uma grande transformação?

O cenário tecnológico atual vem sendo analisado a partir de outros prismas. A partir da revisão bibliográfica, foi possível notar que, em sua maioria, apontam para uma continuidade do que Perez (2001) chamou de “revolução digital”, iniciada com o surgimento do microprocessador da empresa Intel em 1971 (STROHMAIER et al, 2019), ou seja, uma fase madura da revolução das TICs e/ou contestam uma visão determinística da I4.0 e de uma alegada 4ª Revolução Industrial

Essas interpretações “alternativas” são baseadas, principalmente, nas contribuições estruturalistas e evolucionistas, assim como na economia política e na sociologia. Assim, espera-se que essa seção possa enriquecer o debate trazido pelo presente trabalho, tornando-a mais complexa e apresentando novas interpretações para compreender melhor os meandros dos desdobramentos tecnológicos recentes da economia global.

Ao analisar a partir de um ângulo mais amplo, alguns autores (DIEGUES; ROSELINO, 2021; HIRSCH-KREINSEN, 2016; BUTTOLO et al, 2018; BUTOLLO; SCHNEIDEMESSER, 2021; PARDI et al, 2020; entre outros) incorporam uma perspectiva geopolítica ao tema ao olhar para as recentes estratégias nacionais de desenvolvimento das grandes potências mundiais. A China vem a algumas décadas desenvolvendo seu projeto nacional de longo prazo, passando do estigma da “oficina mecânica do mundo” na virada do século e surgindo como a segunda maior potência mundial. Tal posição vem sendo conquistada através de um conjunto amplo de políticas orientadas pelo Estado chinês, com destaque para suas políticas industriais e da *catching-up* tecnológico, possibilitando sua crescente participação na produção manufatureira mundial e se estabelecendo como um dos maiores centros de P&D e inovação do globo. Em vistas disso, a potência comunista vem representando uma ameaça as economias centrais no que se refere a fronteira tecnológica.

Assim, “esse movimento de espraiamento espacial dos elos produtivos” (DIEGUES; ROSELINO, 2021 p. 10), decorrente do progresso chinês, depreciou os setores industriais dos grandes líderes mundiais. Tal processo desencadeou efeitos relevantes não só no mercado de trabalho, como será visto mais adiante, como também as próprias dinâmicas econômicas nacionais. Portanto, o novo “paradigma tecnoprodutivo” (FREEMAN; LOUCA, 1990; PEREZ, 2004) da I4.0 seria uma resposta dos grandes países do capitalismo central ao avanço acelerado da China e seus efeitos que levaram a essa nova configuração do sistema produtivo global. Esse grande esforço fica claro a partir do surgimento da I4.0 na Alemanha advindo da confluência de interesses de diversas organizações do país em uma ampla aliança entre agentes e instituições públicas, grandes empresas nacionais e a classe acadêmico-científica, capitaneado pelo Estado alemão (CETRULO; NOVULARI, 2019). O gráfico abaixo exemplifica o dita acima, no qual o eixo Y representa o valor adicionado da manufatura em bilhão de dólares.

Gráfico 1 - Valor adicionado manufatureiro (preços correntes US\$)

Fonte: Banco Mundial.

Ademais, outros autores, como Andreoni e Chang (2019), chamam a atenção para algumas tendências mundiais, como o avanço das cadeias globais de valor, financeirização e o novo imperialismo que também vêm influenciado esse cenário recente e as políticas industriais nacionais. Dessa maneira, as amplas estratégias deliberadas de política industrial (PI) como o *Made in China 2025*, *Advanced Manufacturing Partnership* (EUA) e a *New high-tech strategy: innovations for Germany* seriam instrumentos para aproveitar as oportunidades dessa transição entre paradigmas tecnoeconômicos e não a partir de um caráter espontâneo.

Dessa maneira, a I4.0 parece ser mais um discurso construído a partir de uma promessa tecnológica, concebido em um pacote de inovações com aplicações específicas e com a função de realinhas as forças sociais por trás de interesses compartilhados (HIRSCH-KREINSEN 2016b; BUTTOLO et al, 2018).

Meyer (2019) traz uma perspectiva sociológica fruto de um conjunto de contribuições acadêmicas a partir de futuros imaginados, imaginário e construção de sentido (*sensemaking*) para mostrar como a atividade de construção de sentido de organizações individuais tem impacto sobre o meio, corroborando a visão de um discurso e um futuro “autorrealizável”.

Utilizando a definição de imaginário proposta em Jasanoff e Kim (2015), Meyer aponta que, nos últimos anos, imaginários formados nacionalmente ampliaram-se e acomodaram-se em vários níveis, ressaltando como as ideias sobre o futuro são baseadas em estruturas existentes e que tais percepções coletivas são sempre expressões de poder e interesses específicos (FELT, 2015; JASANOFF; KIM, 2009). Portanto, sempre deve-se levar em conta os atores que apoiam, que lucram e que lucrariam com futuros diferentes do predominante.

Assim, as práticas organizacionais locais construídas a partir de “visões” são influenciadas pela discussão em que a comunidade organizacional mais ampla influencia as decisões locais. Diante desse contexto, a tecnologia é moldada por forças que vão muito além de “características puramente tecnológicas” (MEYER, 2019 p. 133 tradução própria), desencadeando um processo de retroalimentação e auto reforço no qual a própria visão impulsiona sua difusão, sendo esta caracterizada por uma dinâmica de *path dependence* e cada vez mais estável (MEYER, 2016). Dautl e Willcox (2016) fazem uma analogia interessante do que estaria por trás dessa visão construída a partir de um foco nas tecnologias. Essa visão predominante acaba por tratar tais tecnologias como se estivesse em “bazares” e as soluções tecnológicas estariam disponíveis “em prateleiras”, ou seja, como se estivessem livremente dispostas e que os agentes locais pudessem apenas escolher e “adquirir” tais soluções (DAUTL; WILLCOX, 2016). Dessa maneira, tal interpretação não levariam em conta diversos fatores e características heterogêneas dos sistemas econômicos nacionais, diminuindo a importância da construção de um sistema de inovação robusto que dessa a capacidade desses agentes de produzir e desenvolver novos conhecimentos e tecnologias.

A construção de sentido é um processo social, cíclico e interativo que captura os processos de como os atores dão sentido e interpretam os eventos. Estas atividades de construção possibilitam que tais atores criem um entendimento coletivo do mundo e são a fundação das ações coletivas. Esses atores constroem sua visão a partir das informações e materiais dispostos. Entretanto, o autor ressalta que este processo não é uma simples interpretação do contexto em que se encontram e sim a invenção de uma situação, salientando que as situações podem ser interpretadas de maneira diferente por cada um desses atores a partir de suas próprias perspectivas, experiências e contexto organizacional.

Dessa maneira, a construção de sentido “descreve os padrões de atividades e interações que levam ao surgimento de um futuro imaginado, portanto transformando uma

possibilidade em algo muito mais concreto e inevitável.” (MEYER, 2019 p.134, tradução própria), uma espécie de “profecia autorrealizável”.

Nesse processo, algumas organizações, ao mesmo tempo em que estão inseridas na criação de sentido, influenciam direta e indiretamente a criação das demais organizações. A utilização de narrativas como meio de disseminar tal influência é especialmente poderosa ao criar uma história plausível que beneficie esses próprios atores. Isso fica claro quando observa-se pelo prisma da nova morfologia econômica relacionada a ascensão chinesa e outras megatendências e da reação dos países centrais a partir de suas novas políticas industriais. No presente caso de análise, isso fica claro quando olha-se para o surgimento da I4.0 no qual o governo alemão, empresas e outras instituições envolvidas realizam ativamente a disseminação da ideia da nova revolução industrial. Da mesma maneira, isso ocorre em um segundo momento, no qual organizações internacionais, como o Fórum Econômico Mundial, UNCTAD, Banco Mundial, entre outras incorporaram e reforçaram tal visão construída, impulsionando o processo de espraiamento da interpretação dominante. Assim, “os atores não apenas usam um futuro imaginado em sua própria construção de sentido, mas também influenciam seu ambiente de maneiras diferentes, enquanto tentam promover ativamente esse futuro” (MEYER, 2019 p.134, tradução própria). Portanto, quando essas ações de influência se mostrarem bem-sucedidas, os atores passam a ver essa construção de sentido do futuro como um fato.

Assim, à medida que tais interconexões e influências se fortalecem e se retroalimentam, ocorre um efeito cascata de novas atividades de construção e concessão de sentido, alcançando um ponto de inflexão no qual esse futuro imaginado ganha seu impulso próprio, usando de si mesmo para justificar suas atividades tomadas como dadas.

Pardi et al (2020) também ressaltam como essa ideia sobre o futuro pode induzir a sua própria criação e o paradoxo por trás de processo:

“Já não é o futuro que se entende e se imagina como produto das evoluções presentes, mas é o presente que se molda por visões de futuros mais ou menos distantes a partir das promessas das tecnologias digitais. Em outras palavras, aqueles que controlam essas visões, orientam o comportamento empresarial, a formulação de políticas e as expectativas dos trabalhadores” (PARDI et al, 2020 p. 4, tradução própria)

Partindo de um arcabouço sociológico semelhante ao de Meyer (2019), os autores reforçam a ideia de um futuro imaginado, no qual diferentes organizações que vem

advogando ativamente em favor do discurso predominante garantem sua própria relevância dentro desse futuro. Isso se torna conveniente para tais atores políticos, a partir do momento em que “fornece uma base sólida, embora não muito específica, para programas políticos” (MEYER, 2019 p. 137, tradução própria).

Dessa maneira, embora bastante específico em alguns aspectos (como por exemplo, na vinculação da indústria aos sistemas ciber-físicos e a ubiquidade dos dados e suas novas aplicações), a I4.0 ainda tem a capacidade de permanecer “aberta e vaga” (MEYER, 2019 p. 137, tradução própria). Isto pode ser um dos motivos de tantas interpretações divergentes, como salientado no presente estudo.

Assim, conectando o processo de criação de sentido com a discussão da nova morfologia do sistema produtivo anteriormente abordado, Pardi et al (2020) apontam uma conexão fundamental para compreender esse processo. A I4.0 seria justamente utilizada na concessão de sentido como uma promessa de reindustrialização em vistas a perda de *market share* das economias centrais frente ao avanço chinês ou fomentar a competitividade doméstica.

Diegues e Roselino (2021), também apontam para a natureza excessivamente tecnológica da perspectiva dominante na literatura de uma eminente revolução industrial, proveniente da aplicação desse conjunto de tecnologias desenvolvidas nos últimos anos. De acordo com Nuvolari (2019), a interpretação dominante utiliza quadros interpretativos muito estreitos e, ao mesmo tempo, muito curtos ao não levar adequadamente em consideração as experiências históricas das revoluções industriais passadas. Estreitos, pois ao invés de analisar tal processo pela dimensão mais ampla dos “sistemas tecnológicos” (FREEMAN; LOUCA, 2001; ROSENBERG; FRISCHTAK, 1984; PEREZ, 2015), tendem a enfatizar o papel de tecnologias específicas. Curtos, porque tendem a assumir fases muito velozes de implementação e difusão das novas tecnologias.

Tais expectativas tecnológicas tendem a ser hiperbólicas e excessivamente otimistas (PARDI et al, 2020). De acordo com os autores, tais expectativas estão se tornando mais irrealistas devido à crescente complexidade dos processos envolvidos e ao horizonte de tempo mais longo das previsões associadas a eles. Porém, apontam que podem haver efeitos práticos da adoção desse discurso predominante através de mecanismos de “isomorfismo institucional” (DIMAGGIO; POWELL, 1983), podendo funcionar como motores poderosos de difusão de novas tecnologias. Assim, o conceito da I4.0 se mostraria não apenas como um projeto político encabeçado pelas grandes economias centrais, mas também seu grau de

performatividade depende diretamente das reações políticas a esse processo (PARDI et al, 2020).

Butollo e Schneidmesser (2021) também ressaltam o caráter tecnologicamente determinístico e “supersimplificado” que resultam em uma perspectiva muito otimista do potencial de transformação destas novas tecnologias. Para os autores, um olhar sociológico mais amplo vislumbra outros resultados da implementação das novas tecnologias. Assim, apontam para a contingência das condições de trabalho que dependem do design de "sistemas sociotécnicos", ou seja, as formas em que tecnologias, organizações e trabalho humano são combinados.

Para Pardi et al (2020), tal determinismo tecnológico, embutido no discurso predominante, produz efeitos importantes. Por um lado, torna difícil contestar, criticar ou resistir à difusão dessas novas tecnologias, independentemente das suas consequências políticas e sociais ou mesmo do seu impacto efetivo na eficiência e na qualidade. Por outro lado, assim como Meyer (2019), apontam que essas visões podem muito bem se transformar em uma espécie de “profecias autorrealizáveis”: conforme a crença em uma revolução digital na manufatura se espalha, mais recursos são alocados para desenvolver essas tecnologias e mais empresas começam a introduzi-las em seus locais de trabalho, reforçando como resultado a crença de que uma revolução digital está acontecendo, levando a ainda mais recursos alocados e mais empresas implementando essas tecnologias e substituindo homens por máquinas, e contribuindo com isso para diminuir os preços das novas tecnologias por meio de economias de escala. Assim, modas e exageros eventualmente desaparecem, mas têm efeitos colaterais importantes e podem, às vezes, desencadear transformações profundas na organização da produção e do trabalho, dependendo de seu grau de performatividade.

Tal interpretação reservaria “pouco destaque ao papel das políticas públicas na gestação e fomento dessa nova etapa do desenvolvimento da base técnica da produção” (DIEGUES; ROSELINO, 2021 p. 8), necessitando, assim, de iniciativas de absorção e difusão tecnológica por parte dos *policy makers*. Dessa maneira, caberia apenas um papel reativo das políticas públicas no enfrentamento de questões sociais provenientes dos efeitos negativos dessa transformação, como o caso da queda da participação do trabalho apresentado aqui. Pardi et al (2020) vai na mesma direção ao dizerem que os debates atuais referentes a esse tema tendem a ignorar as dimensões políticas envolvidas em dois níveis desses processos tecnológicos. Ao nível nacional onde a apropriação de ações e recursos públicos pertencentes ao Estado por interesses privados é uma questão política. Ao nível da

firma no qual há um descolamento entre mudança tecnológica e progresso social em um contexto que os recursos humanos ainda são fundamentais para processos de manufatura complexos (PARDI et al, 2020), mesmo que venha se deteriorando recentemente.

O caráter de continuidade da revolução das TICs embrionadas nos anos 1970 e 1980 (COUTINHO, 1992) também se apresenta como uma das principais linhas argumentativas críticas a visão predominante.

Buttolo et al (2018) analisam comparativamente o sistema de produção enxuta (*lean production*) desenvolvido pelas empresas japonesas e amplamente implementado durante a 3ª revolução industrial e a I4.0. Os autores afirmam que diversos estudos acadêmicos de engenharia apontam para uma continuidade deste paradigma de organização da produção. Sendo que a maioria deles enfatizam a compatibilidade de ambas as abordagens e a produção enxuta é até mesmo vista como um pré-requisito para a introdução bem-sucedida da I4.0, além de salientar que várias das características e supostos efeitos sobre o processo produtivo provenientes da I4.0 já estavam na produção enxuta:

“A racionalização atual da manutenção e do trabalho dos operadores de equipamentos automatizados está seguindo um caminho que foi desenvolvido pelos conceitos de produção enxuta. O monitoramento sistemático do processo e os conceitos de controle estatístico do processo estavam entre as ideias centrais que foram adotadas pelas empresas japonesas e posteriormente desenvolvidas na chamada manutenção produtiva total (TPM). Em linha com isso, sistemas de manutenção preditiva foram estabelecidos em muitas empresas desde a década de 1990, nos quais as previsões sobre possíveis falhas são feitas com base em dados de cargas de material e durações de desgaste. [...]. A necessidade de se livrar das estações de controle de equipamentos fixos e de usar operadores de equipamentos de maneira flexível também já foi destacada em artigos anteriores como um elemento importante das abordagens da Toyota para a automação (Sugimori et al. 1977, p. 558).” (BUTTOLO et al, 2018 p. 14-15, tradução própria)

Portanto, esse movimento tecnológico parece ser mais uma continuidade do paradigma tecnoprodutivo, a partir de um processo histórico de longo prazo de evolução tecnológica das TICs, do que uma descontinuidade estrutural em escala global (NOVULARI, 2019; STROHMAIER et al, 2019; STURGEON, 2019; VALENDUC, 2018).

Buttolo e Schneidmesser (2021) afirmam que o modelo de uma 'fábrica inteligente' (*smart factory*) respondendo instantaneamente às demandas dos clientes e oferecendo serviços amplos de customização pode contribuir para a popularização dessa

interpretação, reforçando a reivindicação de uma 4ª revolução industrial. Todavia, esse modelo “se baseia na suposição falha de que é possível delinear claramente a forma dos sistemas sociotécnicos do futuro e que eles evoluem inerentemente a partir das propriedades da tecnologia como tal” (BUTTOLO; SCHNEIDEMESSER, 2021 p. 3 tradução própria). Dessa maneira, os autores ainda apontam que a flexibilidade na resposta do mercado seria facilitada mais pela rede interconectada de dados que permearia o processo produtivo como um todo, do que pelas firmas. Essas firmas poderiam se beneficiar economicamente, por exemplo, de um canal de vendas novo, porém sem efeitos de atualização significativos em relação a seus produtos, funções e processos (BUTTOLO; SCHNEIDEMESSER, 2021).

Cetrulo e Novulari (2019) também afirmam que, a partir de um arcabouço evolucionista, o sistema econômico pode estar em um estágio mais desenvolvido, ou “um prolongamento bastante natural” (CETRULO; NOVULARI, 2019 p. 396 tradução própria) do paradigma tecnoeconômico das TICs. Quatrochi et al (2021) também apontam para uma intensificação das TICs que surge como resposta às quedas nos preços de sensores, microcontroladores, microcomputadores e demais insumos da grande manufatura alemã. Assim, os sistemas tecnológicos 4.0 estariam mais para uma força motriz de inovações de produtos e processos do que para um resultado delas, viabilizando uma interconexão virtual e física nunca antes vista, mas nada muito além disso (STURGEON, 2019).

Silva et al (2020) vão na mesma linha e afirmam, a partir de uma interpretação pereziana, que os desdobramentos observados atualmente seria uma fase avançada de um grande surto de desenvolvimento baseado em TICs que começou décadas atrás.

Por fim, Quatrochi et al (2021) apontam que a economia mundial estaria em uma fase de transição, caracterizada na contribuição seminal de Dosi (1982). Essa fase é marcada pela geração e apropriação dos conhecimentos ainda acontecendo dentro das firmas oligopolistas líderes. Devido aos altos custos envolvidos nas atividades inovativas, estas empresas tendem a financiar empreendimentos de trajetórias de elevada incerteza, as quais são marcadas pelas atividades de diversas *startups*. Essas diversas pequenas empresas inovativas seriam absorvidas pelas grandes corporações ou, no melhor cenário, integrariam as cadeias produtivas modernas marcadas, no geral, por alta fragmentação da produção (QUATROCHI et al, 2021).

A partir das concepções aqui apresentadas, alguns desses autores apontam quais poderiam ser os verdadeiros efeitos desse estágio do processo inovativo. Butollo et al (2018), utilizando-se de diversas entrevistas realizadas com grandes empresários e diretores de

grandes empresas, apontam que os sistemas assistenciais não necessariamente levariam a um aumento da autonomia, da responsabilidade pessoal e do autodesenvolvimento. Na verdade, a lógica por trás desses sistemas geraria a adoção de cursos de ação pré-planejadas e otimizadas. Isso poderia causar a diminuição da participação dos trabalhadores em processos de melhorias a partir de conhecimentos tácitos, reduzindo assim sua participação no ambiente da empresa, restando apenas seu papel de execução de atividades pré-programadas sem processar ativamente as etapas do seu trabalho. Assim, ainda ressaltam:

“Nossos dados empíricos de casos de uso mostram que os efeitos de aprendizagem em ambientes de trabalho onde sistemas de assistência digital foram usados para treinamento podem ser mais fracos do que o esperado, porque os funcionários simplesmente se deixam guiar pela tecnologia sem processar ativamente as etapas de trabalho individuais - um fenômeno que é comparável ao “efeito satnav” na navegação individual. Além disso, o uso de sistemas de assistência levanta a questão de como a aplicação de tais tecnologias molda o conteúdo das experiências e ideias que os funcionários podem contribuir para a melhoria dos processos. Parece provável que os funcionários se concentrem no funcionamento dos próprios sistemas de assistência, direcionando as atividades de resolução de problemas para problemas secundários e desvios, e não para os processos de produção como tais.”
(BUTTOLO et al, 2018 p. 12, tradução própria)

Estes autores até mesmo trazem uma contraposição a intensificação da automação nos processos produtivos que vem sendo amplamente apontando como um dos principais efeitos, mesmo por aquelas mais céticos a respeito do potencial paradigmático das novas tecnologias. Apontam que a reorganização da produção pode, na verdade, abrir espaço para intensificação do trabalho e não sua depreciação, a partir do momento em que se torna possível a cronometragem dos processos com muito mais flexibilidade ou o agrupamento de atividades nas estações individuais que levaria a condensação do trabalho e a diminuição do tempo ocioso de cada trabalhador (BUTTOLO et al, 2018).

Em um trabalho mais recente, Butollo e Schneidemesser (2021) constroem uma interpretação alternativa a da I4.0 a partir de casos práticos e uma abordagem centrada na distribuição (*distribution-centred approach*) usados para a formação de um conceito alternativo, denominado rede de fábricas (*factory networks approach*) que representaria melhor as transformações tecnológicas e produtivas recentes. Dirigindo o olhar para as novas organizações de distribuição B2B e B2C, sendo o maior exemplo a plataforma *Taobao-factory* da gigante chinesa Alibaba, como sendo o centro do novo processo de transformação tecnológico, os autores enxergam um futuro diferente para o sistema produtivo. Nessa

perspectiva, as implicações da abordagem desses autores para o desenvolvimento social são ambivalentes. Como essas novas organizações da produção e distribuição são caracterizadas pela agregação de diversas pequenas empresas e produtores em uma plataforma única de fornecimento e vendas, no caso das B2B, pode ocorrer uma perpetuação da fabricação em pequena escala e de baixo custo, na qual as plataformas poderiam ser as grandes beneficiadas.

Por fim, faz-se uma ressalva de alguns pontos interessante para discussão, assim como possíveis contra-argumentos, trazido por Silva et al (2020), a respeito da lenta reflexão dessas transformações nos dados de produtividade e do processo de comoditização dos dados.

Os reflexos da introdução de novas tecnológicas no sistema econômico são vistos, principalmente, através do aumento da produtividade. Entretanto, Silva et al (2020) apontam que, apesar da “euforia” com as novas inovações digitais, não se vê claramente um reflexo recente nas estatísticas de produtividade. Assim, os autores apontem que, baseado no trabalho de Brynjolfsson, Rock e Syverson (2017), o motivo da não detecção desse aumento deve-se aos “*lags* de implementação” que ocorrem diante de um processo potencial de reestruturação profundo e de longo alcance das novas tecnologias.

Existiriam, assim, duas principais razões para tal: i) a formação de um estoque de novas tecnologias leva certo tempo; e ii) investimentos complementares que levam tempo para serem descobertos e desenvolvidos são necessários para que se possa extrair todos os benefícios da implementação de novas tecnologias.

Silva et al. (2020) também explora o que poderia ser um processo de surgimento de uma nova commodity: os dados. A importância dos dados e sua ubiquidade é uma unanimidade, tanto na academia, como nas consultorias privadas e entre as firmas. A captação de informações em tempo real via sensores, sua ampla conectividade com todo o sistema produtivo e a gigantesca capacidade de armazenamento via computação em nuvem serão parte essencial no novo contexto digital da produção. Mesmo aqueles mais céticos em relação ao potencial da I4.0, apontam que a conectividade do mundo físico e virtual em tempo real via dados parece ser algo posto para os próximos anos (STURGEON, 2019; SILVA et al, 2020; QUATROCHI et al, 2021).

Assim, Silva et al (2020) exploram a possibilidade de um processo de comodificação dos dados instado pelo amadurecimento do Sistema Tecnológico Digital, em vistas da sua ampla permeabilidade em diversos setores e sua funcionalidade como fator estruturante da organização, produção e comercialização das firmas que os tornariam um

ativo de mercado essencial. Dirigindo seus olhares para o processo polanyiano de formação de commodities fictícias transcorrido entre os séculos XVIII e XIX, apontam que caso tal processo ocorra com os dados, obtém-se um forte argumento de descontinuidade com o paradigma vigente.

Dessa maneira, partindo da hipótese da comodificação, os autores apontam que esse novo surto de desenvolvimento tecnológico pode ser visto pela ótica da literatura de “transições profundas” (SCHOT; KANGER, 2018), na qual poderíamos estar vivenciando um novo processo de transição profunda que leva séculos para sua maturação. Caso tal proposição se mostre verdadeira, o desenvolvimento de capacidades tecnológicas e institucionais é ainda mais essencial para que os países possam embarcar nessa transição e alavancar seus desenvolvimentos (SILVA et al, 2020).

Por fim, os autores concluem que talvez seja possível uma conciliação entre a interpretação de um surto de desenvolvimento que transcorre em décadas e que estaria associado a revolução das TICs e a interpretação de transições profundas:

“O surto de desenvolvimento associado às TIC (Terceira Revolução Industrial) se configuraria assim como o último da primeira transição profunda. Exibindo processos socioeconômicos de expansão da lógica de mercado para outras esferas sociais, ele levaria mais tempo que o normal para entrar em suas fases de maturidade. De fato, a dificuldade em se renovar instituições para lidar com um ativo novo e sui generis como os dados, parece estar na raiz da lentidão para a difusão do Sistema Tecnológico Digital entre o setor industrial, exatamente o setor que poderia difundir em escala ainda maior os benefícios advindos da adoção destas tecnologias” (SILVA et al, 2020 p. 25)

Myro (2019) ressalta um ponto nessa mesma perspectiva ao abordar o processo de difusão das novas tecnologias e o baixo crescimento da produtividade do trabalho das economias avançadas, nas quais as novas tecnologias se encontram mais consolidadas. Se realmente os arranjos produtivos e tecnológicos atuais caracterizaram uma revolução industrial, a limitação da difusão pode estar relacionada ao cenário de incertezas intrínseco a esse processo. Esse quadro freia o investimento produtivo e favorece aquelas firmas mais conscientes e informadas a respeito dessa transformação e aquelas com maior capacidade de assumir altos riscos.

Diante da revisão bibliográfica realizada aqui a respeito das visões críticas e interpretações alternativas do processo de transformação atual, fica claro o alto nível de incerteza e imprecisão. Tanto no que diz respeito às suas definições e características, como

sobre seus verdadeiros efeitos no sistema produtivo mundial, no mercado de trabalho, no arranjo institucional e socioeconômico.

Assim, a definição precisa desse processo não é apenas relevante para que se possa compreender os meandros por trás dessa transformação incerta, mas, também, na tentativa de prever e entender seus possíveis efeitos. As interpretações alternativas sobre uma continuidade do paradigma tecnoeconômico das TICs e de um discurso construído coletivamente trazem argumentos relevantes e jogam luz em aspectos essenciais que vão além de uma interpretação puramente tecnológica. Contudo, as verdadeiras características, efeitos e natureza desse momento de transformação recente ainda levarão alguns anos ou décadas para se definirem com precisão. Todavia, sendo ou não a personificação de um discurso face a nova morfologia do sistema econômico e sendo ou não a mudança do paradigma tecnoeconômico atual evocada como uma nova revolução industrial, as diversas transformações provenientes das novas tecnologias digitais são inegáveis. Como concluem Andreoni e Anzolin (2019), provavelmente estamos vivenciando mais uma “transição evolucionária” do que uma “revolução disruptiva”. Essa afirmação, mais do que apontar para uma não revolução, deixa claro o que pretende-se trazer aqui. Mesmo sendo ou não uma disrupção revolucionária, a transformação do sistema produtivo mundial parece ser um imperativo na sociedade atual.

A seção seguinte irá discutir algumas implicações da automação no mercado de trabalho, no intuito de compreender melhor como esses fenômenos ocorrem e como eles poderão afetar a divisão internacional do trabalho. Posteriormente, serão contextualizadas estas implicações nas I4.0.

1.3 Impactos no mercado de trabalho: dinâmica entre tecnologia e emprego e perspectivas futuras

Dentro da dinâmica econômica, a tecnologia e o trabalho mantêm uma relação dual no que diz respeito a sua interação. O progresso tecnológico tem a capacidade de elevar a produtividade do trabalho ao proporcionar melhores e mais eficientes métodos de produção, gerenciamento e organizacionais e, assim sendo, traduzido em crescimento econômico e elevação da renda. Apesar da diminuição do uso do trabalho em contraposição a intensificação do uso do capital, com essa expansão do nível de atividade a partir do aumento

da renda, há um crescimento da demanda por trabalho, *ceteris paribus*. Todavia, ao mesmo tempo, a aplicação de novas e mais modernas tecnologias torna algumas atividades e ocupações obsoletas, resultando em perda de postos de trabalho daqueles que tiveram suas funções substituídas e, assim, mudando a demanda por habilidades (*skills*). Isto significa que a demanda relativa por habilidades está diretamente relacionada a tecnologia, particularmente, ao viés de habilidade da mudança técnica (*technical change*) (ACEMOGLU; AUTOR, 2010)¹⁹. Além disso, tal processo não ocorre de maneira homogênea em todos os setores e todos os países/regiões, pois sustentam diferentes níveis de desenvolvimento tecnológico e estoque de habilidades.

Essa perspectiva da relação entre demanda relativa por habilidades e mudança técnica enfatiza que o retorno às habilidades (rendimento proveniente das habilidades e competências adquiridas pelos trabalhadores) é determinada pela corrida entre o aumento da oferta de competências no mercado de trabalho e a mudança técnica, além do contexto histórico específico da formação do mercado de trabalho de cada localidade. Isso, assumindo que o avanço tecnológico aumenta naturalmente a demanda por trabalhadores mais qualificados (competências mais complexas e que envolvem mais conhecimento), ou seja, tal corrida segue o viés de habilidades (*skill biased*). Porém, não necessariamente de maneira homogênea, pois ainda se mantem a demanda para certos tipos de atividades não qualificadas, como no caso da Amazon.

Nesse contexto, habilidades ou competências são as dotações de recursos que os trabalhadores possuem e que são empregadas em diversas atividades ou tarefas (*tasks*) referentes a sua ocupação. Assim, o trabalhador aplica sua dotação em tarefas em troca de remuneração (salário), gerando renda. Esta diferenciação entre habilidade e tarefas mostra-se relevante pois, trabalhadores com um dado conjunto de habilidades podem performar uma gama diversa de tarefas, assim, ocorre uma transformação nas tarefas realizadas em respostas as mudanças tecnológicas e nas condições do mercado de trabalho.

Levando em consideração a dinâmica relatada acima, Acemoglu (1998) argumenta que as transformações no mercado de trabalho norte-americano até o momento do estudo, tanto no longo, como no médio prazo são, parcialmente, resultado da mudança endógena da tecnologia em resposta as mudanças na oferta e insumos. Assim, tendências demográficas, mudanças nas preferências dos consumidores e mudanças na educação pública

¹⁹ Essa perspectiva da relação entre a demanda relativa de habilidades e a mudança técnica é trazida por Acemoglu e Autor (2010) mas é resultado do trabalho pioneiro de Tinbergen (1974, 1975).

e privada, ou seja, mudanças autônomas que afetam o estoque de habilidades, induzem a transformação endógena da tecnologia que, por sua vez, eleva a demanda por habilidades, assim como também é possível que a inovação induza transformações nessas estruturas. Portanto, este processo é viesado em habilidades.

O método utilizado pelo estudo acima foi aprimorado por Acemoglu e Autor (2010)²⁰ para avaliar a dinâmica mais recente do trabalho. Apontam que, apesar do aumento da produtividade, como resultado do aprimoramento das técnicas de produção, organização e comercialização via progresso tecnológico, os salários não aumentam de forma uniforme para todas as categorias de habilidades (baixa, média e alta qualificação). Assim, se o preço de mercado relativo das tarefas nas quais um determinado grupo de habilidades detém vantagens comparativas apresentar queda, o salário deste grupo de habilidades também irá diminuir, até mesmo se estes trabalhadores realocarem seu trabalho para um conjunto diferente de tarefas. Ou seja, devido à mudança em sua vantagem comparativa. Sendo assim, um avanço tecnológico, por exemplo, que torne as habilidades relacionadas a atividades repetitivas e manuais menos relevantes no mercado de trabalho, irá reduzir a renda dos trabalhadores deste grupo, mesmo que tentem performar outras tarefas por não possuírem vantagens comparativas em sua realização, além de afetar negativamente os salários reais dos trabalhadores que estão sendo diretamente substituídos pela máquina. Assim, concluem:

“Portanto, as possibilidades de substituição mais ricas entre grupos de habilidades proporcionadas pela alocação endógena de habilidades para tarefas destaca que,

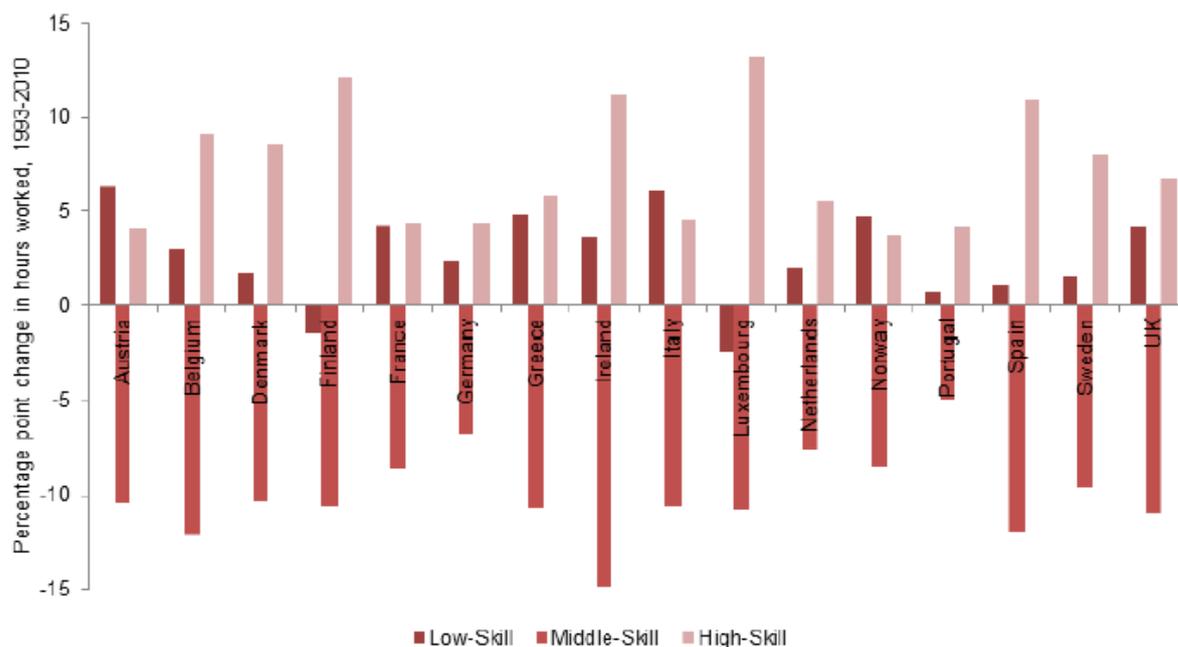
²⁰ Acemoglu e Autor (2010) aplica um modelo baseado em tarefas (*task-base approach*) e parte do modelo canônico utilizado para estudar as mudanças nos retornos para habilidades e a evolução da desigualdade de rendimentos proposto em Tinbergen (1974, 1975) e desenvolvido, notadamente, por Welch (1973), Katz e Murphy (1992) e Card and Lemieux (2001a, b). De maneira resumida, tal modelo assume dois grupos de habilidades distintos que desempenham duas tarefas diferentes e imperfeitamente substituíveis ou produzem duas tarefas imperfeitamente substituíveis bens, supõe que a tecnologia assume uma forma de aumento de fator (*factor-augmenting*), que, ao complementar qualquer trabalhador de alta ou baixa qualificação pode gerar demanda enviesada por qualificação, além disso, a substituição entre os dois tipos de trabalhadores é muitas vezes capturado usando uma elasticidade constante da produção agregada de substituição função. A relação do log do salário entre trabalhadores de ensino superior e ensino médio funciona como índice do prêmio que os trabalhadores de alta qualificação comandam em relação aos trabalhadores de baixa qualificação, e este prêmio é determinado pela oferta relativa e pela demanda relativa de habilidades. A demanda relativa por habilidades aumenta ao longo do tempo porque as mudanças na tecnologia são consideradas "viesada em habilidades", no sentido de que as novas tecnologias têm maiores demandas por habilidades ou são mais complementares aos trabalhadores altamente qualificados. No entanto, relaxando dois pressupostos deste modelo: i) a atribuição de habilidades para tarefas é fixa, ou seja, que habilidades e tarefas são equivalentes; e ii) a mudança técnica requer puramente forma de aumento de fator. Adicionalmente, o modelo baseado em tarefas supõe que o produto final único é produzido a partir da combinação de serviços de um *continuum* de tarefas. Cada trabalhador possui um dos três tipos de habilidades: baixa, média e alta. Assume, também, um padrão de vantagem comparativa tal que as tarefas são classificadas em ordem de complexidade, e os trabalhadores de qualificação média são mais produtivos do que os de baixa qualificação e menos produtivos do que os de alta qualificação em tarefas mais complexas.

diferente do modelo canônico, a mudança técnica não precisa aumentar os salários de todos os trabalhadores. Também torna mais prováveis efeitos negativos sobre os salários reais do grupo que está sendo substituído diretamente pelo maquinário.” (ACEMOGLU; AUTOR, 2010 p. 1158 tradução própria).

Adicionalmente, o aumento da produtividade de um grupo de trabalhadores pode reduzir os salários de outro grupo, absorvendo um conjunto de tarefas previamente realizadas por este grupo. Esta dinâmica tem uma grande influência na tendência de polarização do trabalho (crescimento da parcela de mercado dos trabalhadores com baixa qualificação e alta qualificação em detrimento aos trabalhadores de média qualificação). Isso se deve ao forte

Gráfico 2 - Polarização no mercado de trabalho europeu (1993-2010)
desenvolvimento recente das TICs que diminuíram seus custos e elevaram rapidamente a produtividade (AUTOR et al, 2003), beneficiando as tarefas mais qualificadas²¹ e reduzindo empregos intensivos em atividades rotineiras, apontado por Goos et al. (2010), Eichhorst et al (2017), Acemoglu e Restrepo (2018), Autor (2015), entre outros estudos, como principal causa da polarização. Entre os países da OCDE, tal causa foi responsável por 80% da queda da participação do trabalho (THE ECONOMIST, 2013). Como exemplo, o gráfico abaixo aponta esse efeito em 16 países europeus entre 1993 e 2010.

²¹ Nesse sentido, o aumento da parcela de trabalhadores de baixa qualificação é explicado pela realocação dos trabalhadores de média qualificação que tiveram suas atividades automatizadas, com explica os autores: “os trabalhadores de média habilidade agora começarão a realizar algumas das tarefas anteriormente atribuídas aos trabalhadores de baixa qualificação, aumentando assim a oferta dessas tarefas (o mesmo acontecerá no topo com uma expansão de algumas das tarefas de alta habilidade). Esta proposição, portanto, nos dá uma maneira de pensar sobre como as novas tecnologias que substituem tarefas intermediárias (na prática, correspondendo mais de perto a ocupações rotineiras e semiqualficadas) levarão diretamente à expansão de tarefas de baixa qualificação (correspondendo a ocupações de serviço)” (ACEMOGLU; AUTOR, 2010 p. 1139).



Fonte: Goos et al. (2014).

Dessa maneira, considerando esta dinâmica viesada em habilidades, muito tem-se discutido sobre os efeitos da automação sobre os postos de trabalho e forças opostas vêm sendo colocadas em discussão. Por um lado, o aumento da intensidade e abrangência da digitalização/automação, tendo como consequência a aceleração da substituição do trabalho pela máquina. Por outro, apesar de não negar o grande potencial de impacto da automação, a transformação das atividades como fenômeno principal – divisão das atividades entre homem e máquina em determinada ocupação em contraposição a completa automação desta – e o potencial de surgimento de novas ocupações²² a partir da implementação das novas tecnologias que não são possíveis de se imaginar. Por exemplo, como no caso de desenvolvedores de aplicativos antes da disseminação da telefonia e internet móvel. Esse processo dual de criação e destruição se relaciona com a dupla dimensão do processo de inovação apresentado por Schumpeter (1982). Por um lado, favorece a criação de empregos em períodos de crescimento econômico. Todavia, em períodos de desaceleração e decrescimento, eleva o desemprego tecnológico como componente do desemprego cíclico,

²²Como ilustração desse processo de surgimento de novas ocupações diante de um contexto de transformação tecnológica, o estudo realizado pelo Instituto McKinsey (2017) estima que a introdução do computador pessoal no sistema produtivo norte-americano possibilitou a criação de cerca de 15,8 milhões de novos empregos líquidos desde 1980. Tais ocupações sendo principalmente (75%) profissões que fazem uso de computadores (por exemplo, cientistas da computação em finanças, manufatura, serviços comerciais) e não diretamente ligadas a indústria de computadores (4%). Adicionalmente, aponta que a cada ano, cerca de 0,5% da força de trabalho dos EUA está empregada em uma ocupação que não existia no ano anterior, em outras palavras, realizando um conjunto totalmente novo ou combinação de atividades de trabalho.

refletido no processo de “destruição criadora”, segundo o qual, de forma resumida, antigas técnicas produtivas e tecnologias são substituídas por outras mais eficientes. Ou seja, ao mesmo tempo em que as novas capacidades tecnológicas, construídas a partir do progresso inovativo, destroem antigos modelos de negócio, empresas, empregos, etc., também possibilita o surgimento de novas empresas, novos modelos de organização da produção, novos empregos, novos produtos, etc.

Em relação a esta segunda dinâmica é salientado que, apesar da automação substituir mão de obra pela máquina (efeito deslocamento), as máquinas também complementam as atividades realizadas pelos trabalhadores, ao performarem algumas atividades antes realizadas exclusivamente pela ação humana, valorizando estas tarefas humanas complementares e ampliando sua demanda. Além disso, existe a possibilidade de aumentar a demanda por trabalho ao elevar a produção devido aos ganhos de produtividade relacionados a implementação de novas tecnologias (efeito produtividade) e, ainda, interage com ajustes na oferta de trabalho e criam novas tarefas e ocupações (efeito de reintegração) (ADB, 2018).

Acemoglu e Restrepo (2018) argumentam que há três razões para o surgimento destes efeitos positivos da automação sobre a demanda por trabalho, sendo eles: i) o efeito da produtividade: ao reduzir os custos de produção de um determinado subconjunto de tarefas, há um aumento da demanda por tarefas não automatizadas. Além disso, com este barateamento do uso do capital, pode haver uma diminuição dos preços dos bens e serviços cujo a produção foi automatizada, elevando a renda das famílias e, assim, aumentando a demanda por todos os bens e serviços da economia. Ainda ressaltam que este efeito pode se concretizar de duas formas complementares. Ao reduzir o preço relativo dos produtos destes setores, a demanda por trabalho pode aumentar dentro dos próprios setores os quais estão passando pelo processo de automação – no entanto, requer que a demanda pelos produtos destes setores seja elástica. E ao elevar os rendimentos reais, aumenta a demanda por produtos e por conseguinte aumenta a demanda por trabalho, podendo neutralizar os efeitos negativos da automação²³; ii) acumulação de capital: com o aumento da intensidade do capital utilizado na produção, via automação, sua acumulação também aumenta que, por sua

²³ Os autores salientam que um perigo real para os trabalhadores está na adoção de tecnologias relacionadas a automação que são produtivas o suficiente para serem implementadas, deslocando mão de obra, mas não para gerar efeitos poderoso de produtividade. Isso faria com que postos de trabalho fossem substituídos pela máquina, porém os efeitos benéficos da produtividade elevando a renda da economia não se concretizariam ou não seriam fortes o suficiente para equilibrar ou superar os efeitos negativos sobre o desemprego.

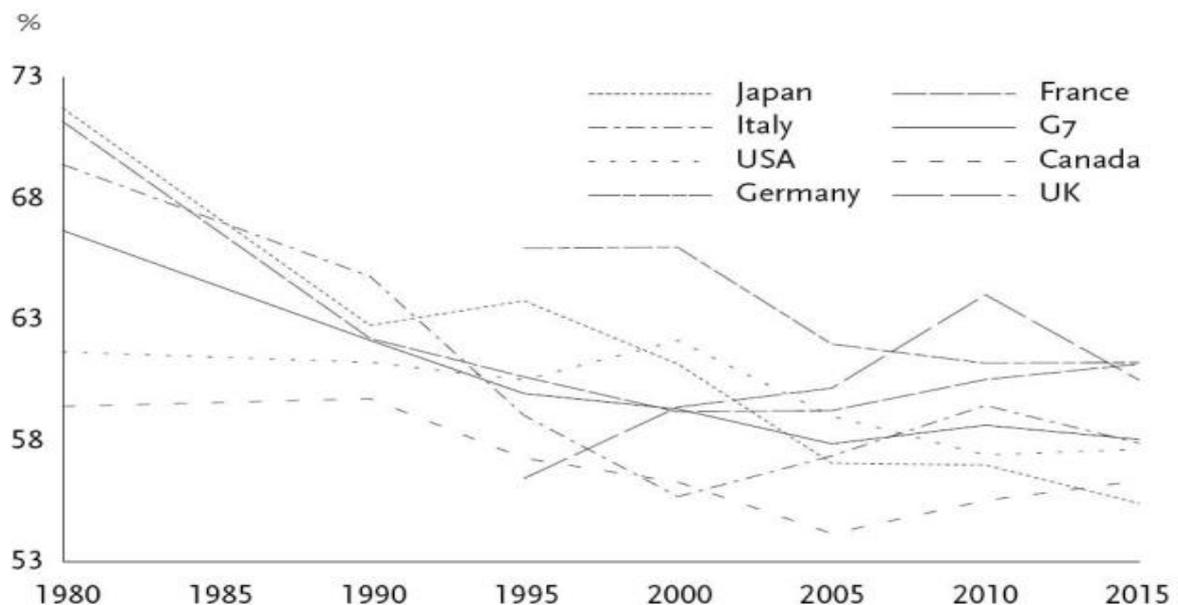
vez, aumenta a demanda por trabalho; e iii) aprofundamento da automação (*deepening automation*): se os avanços tecnológicos forem na direção de tarefas já automatizadas, o efeito de deslocamento da força de trabalho não ocorre justamente por já ter acontecido anteriormente (a mão de obra já foi substituída pela máquina). Todavia, o efeito de elevação da produtividade e da demanda por trabalho citados anteriormente ainda podem se concretizar. Entretanto, os autores ressaltam que a automação torna necessariamente o processo produtivo mais intensivo em capital e tende a elevar a produtividade mais do que eleva os salários, como visto anteriormente, tendo como resultado o encolhimento da participação do trabalho na renda nacional²⁴ que dificilmente será desfeito pela ação das forças compensatórias acima mencionadas. Como exemplo, esse movimento de depreciação da força de trabalho pode ser observado no gráfico abaixo com a queda da participação do trabalho no G7. Karabarounis e Neiman (2013) ainda apontam que 42 dos 59 países examinados sofreram queda na participação do trabalho no produto interno bruto (PIB) em décadas recentes, sendo seu principal causador o barateamento das tecnologias.

A intensidade da automação e das forças compensatórias pode ser estimulada ou reduzida por três fatores (AUTOR, 2015): i) os trabalhadores têm maiores chances de se beneficiarem se realizarem tarefas que complementem aquelas realizadas pela máquina, caso contrário, se suas tarefas são aquelas as quais a máquina irá substituir, o trabalhador pode ficar à margem desse processo e sofrerá uma queda do seu salário; ii) a elasticidade de oferta de mão de obra pode mitigar os ganhos salariais provenientes do aumento de produtividade, se houver uma grande disponibilidade de trabalhadores que realizem estas atividades complementares à máquina, reduzindo os salários devido à grande oferta de trabalho; e iii) a elasticidade-produto da demanda combinada com a elasticidade-renda da demanda pode amortecer ou ampliar os ganhos da automação – o autor dá o exemplo do setor agrícola no qual os grandes ganhos de produtividade provenientes de novas tecnologias foram acompanhados por queda da parcela da renda familiar destinada a gastos com alimentação - , além disso, o aumento da produtividade em um setor de ponta pode impulsionar a demanda por mão de obra em outros (restaurantes, cuidados pessoais, etc.) ao elevar o consumo via aumento de salários. Portanto, a preponderância de algum destes efeitos duais irá depender

²⁴ De acordo com os mesmos autores, seguindo o raciocínio, caso não houvesse uma outra força compensatória, a participação do trabalho na renda deveria apresentar uma queda constante desde a primeira revolução industrial. Isto não corre, principalmente devido ao surgimento de novas tarefas intensivas em trabalho que equilibra esse processo de crescimento da automação. Portanto, “uma maneira poderosa do progresso tecnológico ser associado a um caminho de crescimento equilibrado é por meio do equilíbrio dos impactos da automação pela criação de novas tarefas.” (ACEMOGLU; RESTREPO, 2018 p. 10).

da estrutura do mercado de trabalho e da composição das atividades deste mercado, assim como da capacidade de geração e promoção de renda, emprego e proteção ao trabalhador pelo Estado, proporcionado pelo aprimoramento do ciclo produtivo relacionado a introdução de novas tecnologias.

Gráfico 3 – Participação do trabalho na renda, economias do G7, 1980-2015



Fonte: OECD *Compendium of Productivity Indicators* (2017).

Com o avanço das tecnologias computacionais e a redução relevante dos seus custos, a substituição de tarefas explícitas e codificáveis pela máquina vem se intensificando. Tais tarefas são rotuladas “rotineiras” (*routine tasks*) e são caracterizadas por atividades procedimentais baseadas em regras e padrões (por exemplo, cálculos matemáticos simples, operações físicas repetitivas em um ambiente imutável, etc.). Por serem facilmente codificáveis (ou seja, seguir uma sequência de atividades totalmente especificadas como uma sequência de instruções a serem realizadas), os computadores têm facilidade de realizá-las. Assim, geralmente, ocupações rotineiras correspondem a atividades de menor qualificação (AUTOR et al, 2003). São subdivididas em uma ampla gama de trabalhos cognitivos e manuais, geralmente relacionados a postos de qualificação média (por exemplo, contadores).

Já as tarefas não-rotineiras (*non-routine tasks*) podem ser subdivididas em duas categorias em relação as habilidades envolvidas, sendo elas: tarefas manuais e tarefas abstratas. As tarefas não-rotineiras manuais envolvem atividades que exigem adaptabilidade situacional, reconhecimento visual e de linguagem e interações pessoais, além de trabalhadores fisicamente aptos a capazes de se comunicam a partir da linguagem utilizada

(ACEMOGLU; AUTOR, 2010). Devido a estas características, geralmente demandam pouca qualificação daqueles que a realizam, como preparação e serviço de alimentos, serviços de segurança, limpeza e manutenção, entre outros. Apesar de exigirem certa capacidade de adaptabilidade e respostas a situações não programadas que tornam desafiador sua completa automação, os avanços inovativos mais recentes indicam que tais tarefas (particularmente certas atividades que as compõe) serão facilmente automatizáveis daqui a alguns anos²⁵.

Já as tarefas não-rotineiras abstratas ou cognitivas envolvem atividades relacionadas a solução de problemas não previsíveis, intuição, persuasão e criatividade, ou seja, ligadas a certos componentes de análise e decisão subjetivos e de difícil codificação pela máquina. Estas tarefas são características de ocupações gerenciais, técnicas e criativas, como engenharia e medicina. Acemoglu e Autor (2010) salientam que tarefas analíticas são complementares à tecnologia da computação, assim, com o avanço da economia digital, tarefas abstratas ganharão destaque no mercado de trabalho. Em contraposição, tarefas manuais tem um elo fraco com informação e processamento de dados, oferecendo pouca complementariedade a digitalização.

Portanto, pode-se observar que tarefas as quais envolvem raciocínio lógico capaz de ser formalizado a partir de uma sequência codificada de atividades, mesmo que estejam relacionadas a conhecimentos de mais alto nível (matemática, dedução lógica, etc.), são mais facilmente automatizáveis. Já aquelas envolvendo flexibilidade física e de comunicação, julgamento, criatividade e senso-comum são difíceis de serem automatizadas, pois envolvem atividades subjetivas e tácitas, ainda exclusivas do ser humano.

Outro efeito positivo destacado pela literatura é o surgimento de novas tarefas e ocupações como resultado da utilização de novas tecnologias. Este processo pode ser visto durante diversos momentos históricos relacionados a implementação de tecnologias que passam a demandar novas capacitações e habilidades não imaginadas antes da sua criação²⁶. Além disso, o surgimento de novas atividades também contrabalança a automação via efeito de restabelecimento²⁷ (ACEMOGLU; RESTREPO, 2019) ao reintegrar uma gama

²⁵ Como exemplo, o estudo realizado pelo Instituto McKinsey (2017) indica que as atividades relacionadas a preparação e serviços de alimentos estão entre as que correm maior risco de automação em alguns anos.

²⁶ Como exemplo do surgimento de novas ocupações no período recente Acemoglu e Restrepo (2018) citam um relatório da Accenture que identificou categorias novas de emprego relacionadas a aplicação de IA na produção, sendo eles: "treinadores" (para treinar os sistemas de IA), "explicadores" (para comunicar e explicar a saída dos sistemas de IA para os clientes) e "sustentadores" (para monitorar o desempenho dos sistemas de IA).

²⁷ "Reinstatement effect" no original

maior de atividades, assim, mudando o conjunto de atividades em favor do fator trabalho. Assim, a partir dessa ótica, o resultado dessa dinâmica depende do mix de tecnologias adotadas (tecnologias de substituição de mão de obra vs. tecnologias de reintegração de mão de obra). De acordo com o Fórum Econômico Mundial (2018), já em 2022, as habilidades necessárias para realização da grande maioria das tarefas já terão se transformado de maneira significativa (cresce de 42% das habilidades necessárias serão novas ou diferentes).

Entretanto, esse fenômeno não é um processo autônomo e não progride a uma taxa constante e predeterminada. São as próprias decisões dos agentes (firmas, trabalhadores, governo, etc.) que moldam sua velocidade e natureza. De acordo com Acemoglu e Restrepo (2018) isso ocorre por duas razões. O processo de automação pode criar um conjunto de trabalhadores que poderiam trabalhar com estas novas tarefas e as novas tecnologias, principalmente a IA, podem funcionar como uma plataforma para criação de novas tarefas em diversos setores de serviço. Porém, os autores ressaltam que um fator mais crítico que condiciona esse fenômeno é a potencial incompatibilidade entre os requisitos de habilidades para utilização de novas tecnologias e para performar novas tarefas com o estoque de habilidades da força de trabalho em questão. Ou seja, uma economia na qual a mão de obra não tenha as capacitações e habilidades demandadas pelas novas formas de produção, organização e comercialização retardará o ajuste da demanda por trabalho e o próprio desenvolvimento e aplicação das novas tecnologias, contribuindo para o crescimento da desigualdade e minando os ganhos de produtividade devido à escassez de competências complementares a automação. Além disso, há um tempo de ajuste entre a implementação de tecnologias poupadores de trabalho e a realocação da mão de obra afetada notadamente lento. Isto pode fazer com que durante um bom tempo tais trabalhadores não consigam se ajustar as novas demandas e achar novas empregos²⁸. Por fim, ressaltam que:

“O que está em jogo aqui não é apenas a velocidade do ajuste, mas os ganhos potenciais com as novas tecnologias. Se certas habilidades são complementares às

²⁸ Os autores dão o exemplo da Grã-Bretanha durante a primeira revolução industrial: “A rápida introdução de novas tecnologias durante a Revolução Industrial britânica levou, em última análise, ao aumento da demanda por trabalho e salários, mas isso foi apenas depois de um período prolongado de salários estagnados, pobreza em expansão e condições de vida difíceis. Durante um período de oitenta anos que se estendeu do início da Revolução Industrial até meados do século 19, os salários estagnaram e a participação do trabalho caiu, mesmo com os avanços tecnológicos e o crescimento da produtividade em curso na economia britânica” (ACEMOGLU; RESTREPO, 2018 p. 12). Dessa maneira, a escolarização e investimento em capital humano são os principais meios pelos quais esse ajuste pode ser tornar menos danosa e mais curto, sendo necessário, além da criação de novas habilidades que permitam o pleno aproveitamento destas tecnologias, mas também o crescimento da oferta de mão de obra altamente qualificada acompanhando as tendências do progresso inovativo.

novas tecnologias, sua ausência implicará que a produtividade dessas novas tecnologias será inferior. Assim, o descompasso entre habilidades e tecnologias não apenas desacelera o ajuste do emprego e dos salários, mas também retém os ganhos potenciais de produtividade. Isso é particularmente verdadeiro para a criação de novas tarefas.” (ACEMOGLU; RESTREPO, 2018 p. 13 tradução própria)

Portanto, pelo exposto até aqui, pode-se observar que o efeito de deslocamento da mão de obra envolve outras forças que contrapõem o desaparecimento de postos de trabalho, entretanto, não são capazes de conter este deslocamento devido ao seu efeito de redução da participação do trabalho na renda nacional. Dessa maneira, a criação de novas tarefas e ocupações nas quais o trabalho, e não a máquina, detenham vantagens comparativas e o desenvolvimento de tarefas complementares as novas tecnologias são essenciais para equilibrar o processo de crescimento da automação e seus efeitos sobre a oferta e demanda de mão de obra. Para que este equilíbrio possa ser alcançado e os ganhos de produtividade concretizados, o investimento em capital humano é essencial para que os trabalhadores desenvolvam as novas habilidades relacionadas as novas exigências da economia digital e estejam aptos a performas as novas tarefas e preencher cargos nas novas ocupações que deverão surgir, exigindo que os sistemas de educação e treinamento sejam flexíveis, ágeis, inovadores e voltados para o futuro (JAGANNATHAN et al, 2019). Um exemplo apontado pela literatura é o da implementação da impressão 3D que, ao mesmo tempo em que irá reduzir a quantidade de trabalho empregada na produção via construção de partes e componentes dos produtos, também abrirá oportunidades para o surgimento de uma nova indústria de suprimentos de materiais impressos que possa empregar trabalhadores em novas ocupações que ainda não existem (WEF, 2015a; ILO, 2018). Outro exemplo está no setor da economia verde – o qual projeta-se um grande crescimento diante do contexto da I4.0 – e sua capacidade de criação de novas ocupações, como auditor de energia, analista de mudança climática, técnicos de células de combustível, entre outras (POLLIN et al, 2014).

Apesar da presença destas forças compensatórias como redutoras dos impactos sobre o deslocamento da força de trabalho causada pela automação, Brynjolfsson e McAfee (2014) apontam que a recente tendência de crescimento do desemprego possivelmente está ligada ao crescente uso de equipamentos e métodos de produção controlados via computadores, resultando em uma redução do número de empregados em cerca de 44% das empresas desde a crise de 2008 (MGI, 2011), refletindo no declínio das ocupações intensivas em tarefas manuais e rotineiras. Apesar dessa tendência geral, a prevalência ou não de tais

efeitos compensatórios varia de acordo com as estruturas nacionais e com as distintas, e essenciais, capacidades de intervenção do Estado. Acemoglou e Restrepo (2017, 2019) mostram que, nos EUA, tais efeitos compensatórios não vêm sendo suficientes para contrapor a aceleração da automação. Já Dauth et al (2017) mostram que, na Alemanha, o surgimento de novos empregos no setor de serviços mais do que compensou a automação promovida pela implementação de robôs. Além disso, outros países da OCDE performaram resultados parecidos com o alemão (NAUDÉ, 2019). Em contraposição, com a redução dos custos das TICs e o aumento dos retornos à educação, observa-se um substancial crescimento das ocupações envolvendo tarefas cognitivas, principalmente no setor de serviços.

Entretanto, com o ritmo veloz recente do progresso tecnológico e a aceleração do processo de difusão, a automação vem ampliando seus horizontes além da sua capacidade de substituir apenas tarefas rotineiras e manuais (BRYNJOLFSSON; MCAFEE, 2014; FREY; OSBORNE, 2013; MGI, 2017; ALBUQUERQUE et al, 2019). Frey e Osborne (2013), salientam este mesmo fenômeno ao apontar que, apesar do predomínio histórico do crescimento do emprego relacionado aos ganhos de produtividade provenientes do progresso inovativo, o desenvolvimento tecnológico recente vem expandindo suas formas de economizar trabalho.

Esta dificuldade em automatizar certas tarefas não-rotineiras pode estar com dias contados devido a evolução recente do ML e da IA²⁹. Com o avanço destas tecnologias, é possível programar uma máquina para dominar tais tarefas de forma autônoma ao fornecer dados suficientes de exemplos bem sucedidos de realização da tarefa. Assim, com o grande potencial de armazenamento de dados (*cloud computing*), os algoritmos de ML podem inferir potencialmente como realizar tarefas que se mostraram extremamente desafiadoras para codificar com procedimentos explícitos (AUTOR, 2015). Com o aumento da capacidade de retenção e tratamento de informações e a pervasividade das tecnologias baseadas em *big data*, o potencial de escalabilidade e de detecção de padrões de tais inovações está muito à frente da capacidade do trabalho humano. Além disso, essa elevada pervasividade das novas

²⁹ Nesse sentido, em uma análise complementar aos efeitos diretos da automação via AI sobre o trabalho, os autores Korinek e Stiglitz (2021) enfatizam em seu estudo diversos efeitos maléficos da evolução desta tecnologia sobre concorrência, concentração (monopólio), distribuição de renda, aumento da dificuldade dos processos de *catching up*, entre outros.

tecnologias intensifica a capacidade de transformar a produção e o trabalho em múltiplos setores simultaneamente, ampliando seus efeitos no sistema econômico³⁰.

Nessa direção, diversas atividades vêm sendo computadorizadas. Detecção de fraudes que envolvem imparcialidade e a capacidade de detectar tendências baseadas em dados, cuidados com saúde, como cuidados de doenças crônicas e diagnósticos de tratamento de câncer, e softwares de análise de documentos em atividades jurídicas e financeiras que permitem analisar milhares de arquivos em pouquíssimos dias, são alguns exemplos dos novos domínios alcançados pela tecnologia.

Com os avanços em robótica, ML e de sensores e leitores, o potencial de automação de tarefas não-rotineiras manuais também vem se expandindo. Atividades de logística são um proeminente exemplo dessa nova capacidade. Gerenciamento e armazenamento de estoque são cada vez mais dominados por carros e equipamentos eletrônicos de navegação autônoma que separam, organizam e sistematizam uma grande quantidade e variedade de produtos. Tratores e empilhadeiras totalmente automatizados também vêm permeando o setor agrícola, assim como robôs autônomos de transporte de equipamentos e objetos hospitalares no setor de saúde.

No âmbito produtivo, a robótica e sensores vem otimizando o processo produtivo, elevando a qualidade e confiabilidade dos produtos, além de permitirem um processo de customização ágil e baixo custo. De uma forma mais ampla, tarefas manuais mais simples como, aspirar, esfregar, cortar grama, limpeza, entre outros, já são largamente executas por robôs, assim como robôs comerciais de serviços que expanda cada vez mais sua capacidade de realizar tarefas mais complexas na preparação e venda de alimentos, cuidado de idosos, atividades comerciais, etc. (MGI. 2017).

Por fim, outro ponto destacado por diversos estudiosos que pode afetar em grande medida a evolução do mercado de trabalho é a deterioração do poder de barganha do trabalhador que vem ocorrendo nas últimas décadas. Com a queda global da parcela do trabalho na renda, enfraquecimento das legislações e regras trabalhista, assim como dos sindicatos, o trabalhador tem menos meios para garantir sua renda e seu emprego. Dessa maneira, os efeitos no mercado de trabalho, principalmente para a mão de obra pouco

³⁰ Os pesquisadores que defendem uma visão mais branda do processo recente de automação advogam que esse potencial de afetar múltiplos setores simultaneamente não é novo e que outras tecnologias já mostraram esse potencial, como a introdução dos computadores que promoveram transformações nos serviços comerciais, financeiros e varejo e deram origem à Internet e à computação móvel (MGI, 2017).

qualificada, podem ser perversos no que diz respeito a manutenção da oferta de trabalho, além de um já projetado aumento da desigualdade (MGI, 2019; KORINEK; STIGLITZ, 2021).

Como pode-se observar, as novas tecnologias digitais apresentam um grande potencial de transformação do sistema produtivo como um todo. As novas e ampliadas capacidades das máquinas em realizar tarefas manuais e cognitivas, de autoaprendizado e de conectividade em tempo real permitirão uma completa flexibilização da cadeia produtiva, customização em massa, automação de diversas atividades anteriormente realizadas exclusivamente pelo homem e digitalização de uma grande gama de processos. A partir dessas novas capacidades, a transformação do trabalho se mostra um imperativo a partir do momento em que diversos trabalhadores podem vir a perder seus empregos, sendo substituídos por máquinas e equipamentos digitais que agora performam atividades complexas de maneira independente, assim como certas ocupações irão ganhar destaque devido a sua relação próxima com tais tecnologias e seus conjuntos de habilidades ainda exclusivamente humanas. Independente da magnitude dessa substituição, muito discutida na literatura especializada do tema, a divisão internacional do trabalho irá se transformar a medida que tais tecnologias ampliem ainda mais suas novas capacidades nos próximos anos e sejam mais facilmente difundidas a partir do seu desenvolvimento e redução de custos de implementação em relação aos custos do trabalho.

Foi ressaltado, também, que os efeitos da automação no mercado de trabalho e na produtividade não são lineares e dependem da estrutura ocupacional, da capacidade de geração de novos empregos, entre outros fatores já elencados anteriormente. Dessa maneira, se mostra relevante compreender melhor como esses efeitos se darão e como irão modificar o trabalho. Assim, o próximo capítulo irá discutir e analisar algumas ocupações elencadas na literatura que apresentam tendência de crescimento, diante do novo contexto digital, e aquelas com maior potencial de automação para que, posteriormente, sejam analisadas nos contextos nacionais dos países selecionados e observadas suas evoluções recentes.

Para embasar a discussão a ser realizada, as duas seções seguintes relativizarão os determinantes da condição tecnoprodutiva doméstico. Primeiramente, problematizando a formação histórica do mercado de trabalho nacional e, em um segundo momento, analisando alguns indicadores que revelam as grandes distinções produtivas, tecnológicas e de qualificação entre o Brasil e os EUA. Essas iniciativas fazem-se necessárias, uma vez que as especificidades estruturais são essenciais para compreender a situação sistêmica atual do

país, assim como as diferenças em termos produtivos, tecnológicos e de qualificação são vitais para comparar o desempenho das duas economias analisadas e para dimensionar de maneira mais adequada a distância que o Brasil se encontra de uma economia na fronteira tecnológica

1.4 A formação histórica e os determinantes estruturais do mercado de trabalho brasileiro

Compreender apenas a dinâmica geral entre o mercado de trabalho e a tecnologia para analisar a situação do labor de uma localidade não é suficiente. Os determinantes históricos e como as especificidades do sistema produtivo influenciam o trabalho e sua evolução são essenciais para interpretar a situação atual do nosso país.

A herança histórica da formação do nosso mercado de trabalho é marcada por muitas e intensas heterogeneidades, grande oferta de mão de obra, processo rápido e desordenado da migração rural-urbana, além de baixos salários combinados a uma grande parcelada da população com péssimas condições de inserção no mercado formal. Esses aspectos condicionam direta e indiretamente a dinâmica atual do mercado de trabalho, sendo assim, é necessário entendê-las para melhor depreender sobre os efeitos atuais e futuros que as novas tecnologias podem causar.

Para tal, parte-se das imposições de séculos de escravidão e como essa população negra foi incorporada (ou não) no mercado de trabalho disperso, regionalmente liderado por elites conservadoras e autoritárias a partir da abolição. Posteriormente, compreender como a migração rural-urbana desordenada a partir dos anos 1930 afetou o excedente de mão de obra, tanto no campo, como na cidade. Aliado a isto, como o intenso processo de industrialização conservador até o começo dos anos 1980 e a transformação do sistema produtivo nacional, houve ampliação das desigualdades, dados os condicionantes históricos da inserção da mão de obra nessa nova dinâmica econômica e as diversas ações e medidas autoritárias que se seguem após o golpe cívico-militar de 1964. Partindo, assim, para o início do processo precoce de desindustrialização no início da década de 1980 e o avanço dos ideários neoliberais sob uma inserção passiva nos mercados globais, principalmente a partir dos anos 1990. E, por fim, aos anos de crescimento com redução das desigualdades nos governos ptistas e como a situação do país piora e vem piorando a partir de 2014/2015 com

a maior crise econômica da nossa história, agravada atualmente pela pandemia do coronavírus com aprofundamento da polarização social. Essa breve perspectiva histórica nos permitirá identificar a direção geral das transformações pelas quais a classe trabalhadora foi submetida desde a consolidação do nosso sistema capitalista periférico até o momento mais atual.

O período pré-1930 estabelece o início da constituição do mundo do trabalho no Brasil assentado em três componentes sociais distintos (POCHMANN, 2020). Primeiramente, a grande massa de negros trazidos a força da África e submetidos a um sistema escravocrata que perdurou mais de 300 anos e com o processo conservador de passagem para o trabalho livre resultaram em um projeto de incorporação branqueador. Tal processo está diretamente relacionado ao segundo componente social. Com os incentivos governamentais para estimular a imigração e para o acoplamento desse extrato social em ocupações em atividades mais dinâmicas, resultou na exclusão da massa negra nessas ocupações, sendo direcionada para empregos menos qualificados, muitas das vezes de forma precária e com baixas remunerações. E, por fim, a presença de extratos sociais livres remanescentes de mestiços pobres e negros libertos e fugidos com ingresso restrito às ocupações em atividades residuais e baixo rendimento. Assim, a dinâmica entre esses três componentes foi baseada na expropriação como mecanismo de transformação desses extratos sociais em proletários.

Aliado a isso, os interesses do patronado eram amplamente favorecidos a partir do funcionamento predatório e desregulado do mercado de trabalho, dado a omissão do Estado liberal do período. Ainda, a manutenção dos latifúndios e o direito à uma pequena parcela da terra para subsistência aparecendo como um favor do grande proprietário, foram aspectos que perpetuaram certa manutenção do *status quo* da classe proletária no campo (BARBOSA DE OLIVEIRA, 1998). Como ressalta o autor, a partir desses determinantes, “as condições de usos e remuneração da força de trabalho, imediatamente após a abolição da escravidão, seguiram próximas do regime de quase servidão.” (POCHMANN, 2020, p. 91). Ou seja, a ausência de reforma agrária perpetua o domínio dos latifúndios, negando a população camponesa, em sua maioria ex-escravos, o direito a um pedaço de terra, através do qual poderia gerar renda e conseguir melhores condições de vida. Esse fato é um dos grandes determinantes do padrão de industrialização que se inicia, o qual não foi capaz de incorporar a grande massa de trabalhadores, perpetuando a presença empregos precários e um padrão de crescimento socioeconômico desigual.

Com o fim da II Guerra Mundial, mas, principalmente, a partir de meados da década de 1950, dá-se início a uma nova fase da consolidação do mercado de trabalho nacional, derivado da transformação produtiva baseada em um intenso processo de industrialização, seu impacto na migração rural-urbana e nos novos padrões de consumo. Esse processo gerou grandes mudanças econômicas e sociais a partir do estabelecimento de segmentos econômicos mais estruturados, acelerado crescimento econômico e êxodo rural, todavia com intensificação da concentração da renda e ampliação da pobreza (HENRIQUE, 1999). Entretanto, apesar de importantes avanços para a classe trabalhadora, ainda não é colocada em prática uma reforma agrária, perpetuando o padrão de exploração da terra vorazmente desigual e predatório.

Entre 1950 e 1970, o país passou por um intenso processo da modernização industrial e agrário em termos produtivos e tecnológicos, marcado pela presença do aço, da gasolina, do petróleo, das hidroelétricas, das indústrias têxteis, automobilísticas, farmacêuticas e setor de construção civil com ampliação das rodovias e prédios (MORAIS, 2011). Dessa maneira, as novas condições materiais de produção e comercialização impuseram novas perspectivas para o mercado de trabalho.

Concomitantemente, a nova dinâmica agrária também impôs certos condicionantes a esse processo. Em 1950, 60% da população se encontrava no campo com condições precárias e miséria generalizada e 64% das ocupações estavam na agricultura (HENRIQUE, 1999). Tais condições de vida e de produção eram reflexo da estrutura social do campo, a qual era composta por um número extremamente reduzido de latifundiários capitalistas e tradicionais, uma camada de proprietários médios familiares e uma extensa base (85%) de pequenos proprietários e assalariados marginalizados, de baixa remuneração e ineptas condições de reprodução social e econômica (BARBOSA DE OLIVEIRA, 1998).

Com o forte processo de modernização do campo, subordinada às exigências do capital industrial, na década de 1960 supera-se o atraso da produção de forma rápida e intensa, sem nenhuma alteração relevante na estrutura agrária. Assim, com a elevação da produtividade a partir da introdução de novas técnicas avançadas, aliada a manutenção dos grandes latifúndios, reduziu-se drasticamente a capacidade de absorção da mão de obra agrícola (BARBOSA DE OLIVEIRA, 1998). Soma-se a pobreza generalizada das massas rurais, a superexploração e a ausência de políticas sociais no campo, resultando em um maciço êxodo rural na busca de oportunidades de trabalho nas cidades que vinham se expandindo e colhendo alguns frutos da industrialização (BARBOSA DE OLIVEIRA, 1998; MORAIS, 2011; HENRIQUE, 1999; POCHMANN, 2020).

Com mais de 35 milhões de pessoas migrando do campo para as cidades entre 1950 e 1980 (BARBOSA DE OLIVEIRA, 1998), nota-se um processo de “exportação” da miséria do campo para os centros urbanos (MORAIS, 2011), a partir de um processo rápido e desordenado de inserção nas cidades. O resultado é uma taxa de urbanização³¹ com crescimento de 68% em 30 anos e uma estruturação do espaço urbano concentrado com a formação de grandes favelas com perversas condições de vida como redutos das grandes massas marginalizadas e excluídas do processo de modernização conservadora. Assim, apesar do grande dinamismo do mercado de trabalho nos anos 1960 e 1970, predominava-se a ampliação do trabalho assalariado urbano marcado por baixos salários, em contraposição aos avanços progressistas de elevação do salário mínimo dos anos 1950.

Com as transformações nas bases produtivas, principalmente na indústria e agropecuária, somado a certo grau de desconcentração regional e elevação dos gastos e investimentos públicos, resultaram em uma alta criação de novos empregos, com grande destaque para a indústria de transformação, serviços pessoais, de saúde e lazer, atividades financeiras e outras profissões liberais. Assim, este setor foi responsável por 23% e 31,5% de novas ocupações nas décadas de 1960 e 1970, respectivamente (HENRIQUE, 1999). A participação da indústria de transformação no emprego chega a 17,1% entre 1971 e 1980, antes apenas 8,6% entre 1950 e 1960 e o setor primário passa por um estancamento das ocupações agrárias, com queda da sua participação da População Economicamente Ativa (PAE), chegando a representar menos de 1/3 da PEA em 1980 (CEPAL, 1989).

Todavia, parte relevante desses trabalhadores, aqueles alocados em unidades familiares de produção e “microempresas”, ganhavam salários 37% menores que os demais trabalhadores (cargos públicos e grandes empresas) e representavam cerca de 20% da massa salarial, embora representasse 40% do emprego urbano (HENRIQUE, 1999). No geral, tais ocupações estavam associadas a maior instabilidade, elevada rotatividade e piores condições de trabalho.

Porém, tais condições de remuneração e trabalho não eram exclusivas desse extrato de pequenos negócios e foram generalizadas também nos serviços públicos e nas grandes empresas. Marcado pela enorme diferenciação salarial, principalmente entre os não-qualificados e os mais qualificados, criava-se uma pequena parcela de elevadas remunerações de cargos não-manuais de gerência, administrativos, altos burocratas e de nível superior, e

³¹ Relação entre a população urbana e a população total.

uma gama muitas vezes maior de empregos de baixos salários (BARBOSA DE OLIVEIRA, 1998). Assim, “baixo nível da base de salários e escassas possibilidades de fixação no emprego, e, conseqüentemente, de especialização dos trabalhadores assalariados compuseram um regime predatório de utilização da força de trabalho pelas empresas no país.” (HENRIQUE, 1999 p. 50). Ou seja, configura-se, assim, um período de desenvolvimento capitalista pungente e industrial com acentuadas tendências de concentração e disparidade de renda.

Tal dinâmica de remuneração é, também, reflexo de um regime militar opressor e autoritário que praticava políticas salariais e do trabalho retrógradas e que prejudicavam a grande massa proletária do país. Estabeleceu-se, assim, a soberania do poder empresarial sobre a gestão do emprego a partir da (HENRIQUE, 1999): i) rígida e violenta repressão a atividade sindical e movimentos políticos e exclusão da participação dos organismos paritários como a previdência social, além do não direito a greve; ii) substituição do instituto da estabilidade do emprego pelo Fundo de Garantia por Tempo de Serviço; e iii) alteração da política salarial que passava a ser um regime baseado em critérios definidos pelo Executivo e restrição do poder normativo da Justiça do Trabalho³². Portanto, apesar do contexto da forte expansão e industrialização em que a grande maioria pode apreciar crescimento do emprego e da remuneração, consolidava-se uma intensa desigualdade no país baseada na brutal dispersão das rendas do trabalho (leque salarial) e na massificação de ocupações menos qualificadas, pouco estruturadas e com baixos salários (MORAIS, 2011).

Dito isso, fica claro que o problema da “incorporação do excedente estrutural de mão de obra ao emprego pelo capitalismo brasileiro passou a ter mais uma dimensão - histórica (com uma temporalidade própria aos anos 50 e 60) do que propriamente estrutural” (HENRIQUE, 1999 p. 66). Ou seja, o problema principal não reside na suposta escassez de capacidade de absorção de mão-de-obra nos setores "modernos" ou no crescimento demográfico da classe trabalhadora e sim no enorme e veloz processo de êxodo rural, atrelado a inexistência de reforma agrária e a modernização do campo (HENRIQUE, 1999).

A década de 1980, com a grave crise da dívida externa que mergulhou o país em uma profunda estagnação com elevação da inflação, a situação do mercado de trabalho piorou. A proporção de ocupados com rendimentos muito baixos chega a 70% em 1990,

³² Forte queda do salário mínimo após atingir o pico em 1959, chegando, em 1980, a 50% do valor de 1959 (MORAIS, 2011)

ampliando largamente a desigualdade³³ via exclusão de segmentos, até então incorporados ao trabalho nas empresas, além da desvalorização dos salários e maiores dificuldades de ingresso de novos indivíduos no mercado de trabalho, com resultados piores sob os 20% mais pobres (HENRIQUE, 1999). A indústria e a construção civil perderam grande parte da sua participação, perdendo 20 pontos percentuais na criação de novos empregos quando comparado a década de 1970³⁴, com destaque para a crescente participação de trabalhos não-formais, precários e com baixos salários. Formava-se, assim, dois polos na sociedade brasileira, uma parcela muito pequena de uma elite, qualificada, com elevadas remunerações e altos padrões de consumo, em contraposição a uma grande massa de trabalhadores precarizados, baixos níveis de remuneração e qualificação e pouca, ou nenhuma, chance de ascensão social e melhores condições de vida.

Já na década de 1990, a situação do emprego formal piora em relação a longa estagnação da década anterior. No contexto do avanço do receituário neoliberal sobre as Américas, o Brasil passa por uma agressiva abertura comercial e financeira, privatizações, desaparelhamento e redução da capacidade de intervenção do Estado. Conseqüentemente, o resultado é o aprofundamento da destruição de parte essencial da capacidade produtiva nacional. Com a introdução de produtos importados altamente competitivos, grande parte das empresas nacionais abandonaram boa parte de suas linhas de produção, passando, também, a importar grande parte dos bens e insumos intermediários. Resultando, assim, na intensificação do processo de desindustrialização e esgarçamento do tecido industrial, mais conhecida na literatura da época como “especialização regressiva” (COUTINHO, 1997). Ou seja, maior dependência tecnológica e reprimarização da estrutura produtiva doméstica.

Soma-se a isso, a prática de altas taxas de juros e as privatizações sem ampliação da capacidade produtiva. Todos esses elementos levaram a uma queda do investimento e da formação bruta de capital fixo e, por conseguinte, elevando as taxas de desemprego e informalidade, contribuindo para a precarização das condições de trabalho³⁵. A renda per capita média da população pobre piora em relação a década passada, há redução da busca por trabalho remunerado, aumento do desemprego aberto e dificuldade de ingresso dos jovens no mercado (JUNIOR; HAMASAKI, 2014). Além da proliferação do emprego em pequenos

³³ Em 1981, os 5% mais ricos ganhavam 26,9% da renda total e os 50% mais pobres apenas 18,8%. Já em 1989, essas estimativas sobem, respectivamente, para 32,2% e 14,2% (HENRIQUE, 1999).

³⁴ 42% nos anos 70 (sendo 31% da indústria e 11% na construção civil), chegando a 22% nos anos 80 (sendo 19% na indústria e 3% na construção civil) (HENRIQUE, 1999).

³⁵ Por exemplo, a principal ocupação criada no período foi a de emprego doméstico, responsável por quase 23% de todas as vagas abertas no país (MORAIS, 2011).

empreendimentos não empresariais e do serviço doméstico remunerado, marcados pela precarização e descumprimento das leis trabalhistas. Assim, o resultado é:

“Para Cardoso de Mello (1998), o Brasil, bem como a periferia latino-americana, no bojo das políticas de cunho neoliberal, está sendo “reintroduzido” aos moldes dos países centrais sob a forma do desemprego estrutural, heterogeneidade social, dualidade do mercado de trabalho, decadência de regiões inteiras e “desintegração” industrial. Além do que, tais medidas contribuíram ainda mais para o aprofundamento da exclusão, tanto em suas formas “tradicionais” (subemprego, baixos salários, informalidade), quanto em suas “novas” formas (desemprego aberto, ocupações atípicas e precarização das condições e relações de trabalho).” (MORAIS, 2011 p. 28)

Ademais, além da queda substantiva da participação funcional da renda do trabalho, há uma estagnação dos empregos não-agrícolas na década. Isso se deve a queda dos empregos na indústria, finanças, extração mineral, serviços de utilidade pública e de transportes, mesmo com o crescimento no setor de serviços (*e.g.* no comércio, nos serviços de segurança, limpeza, apoio à atividade econômica, saúde e de educação) (MORAIS, 2011). Esse é mais um reflexo da fragilização da estrutura produtiva e ocupacional, dado o precoce aumento do emprego nos serviços e queda na indústria. Tal situação é agravada pelo avanço da terceirização, ampliação da heterogeneidade interna com desproteção da população mais carente e uma taxa de informalidade de 60% no final da década (MANZANO; SALES, 2016).

Portanto, a década de 1990 reproduziu os padrões de desemprego e desigualdade da década anterior. Porém, o aumento da desigualdade mais relevante não foi entre os extratos de trabalhadores que auferem renda a partir das suas atividades, mas sim entre os indivíduos que auferem renda do trabalho e aqueles que tem sua renda derivada da propriedade do capital (DEDECCA, 2003). Ou seja, a década da “estabilidade com desigualdade”, principalmente entre os trabalhadores e os capitalistas e proprietários dos meios de produção.

Com o fim da âncora cambial e a desvalorização do real em 1999 – que, entre outros efeitos, promovia a intensa importação de produtos, dado a elevada valorização do real usado como indexador inflacionário –, houveram mudanças importantes no funcionamento da economia e do mercado de trabalho doméstico. Enquanto entre 1993 à 1997, o emprego cresceu a um ritmo anual de apenas 1,1%, dado a taxa de crescimento de 4% do PIB ao ano, entre 1997 à 2003, enquanto o PIB crescia a uma taxa anual de 2,3%, o

emprego formal crescia 3,9% ao ano, evidenciando uma maior elasticidade-emprego do crescimento (BALTAR, 2011).

A partir de 2003/2004, começa a ser construída uma nova dinâmica no mercado de trabalho com a ascensão do Partido dos Trabalhadores à presidência e um ciclo internacional extremamente favorável. Com a alta dos preços das commodities, o avanço chinês, a maior intervenção do Estado para promover o desenvolvimento e reduzir a desigualdade via intensa ampliação das políticas sociais, ampliação dos investimentos e das exportações e uma estratégia de crescimento baseada no consumo de massa, o país pode entrar em um novo ciclo de desenvolvimento virtuoso³⁶. Todavia, ressalta-se que o período esteve longe de exibir “uma mudança na tendência da gestão macroeconômica ou mostrando o surgimento de um novo regime de acumulação” (MANZANO; SALAS, 2016 p. 10, tradução própria), mas sim uma experiência importante baseada nos resultados sociais e seus impactos na dinâmica macroeconômica. Assim, com o aumento do PIB, a ampliação da produção industrial e a redução da inflação, houve um intenso aumento do emprego, porém tanto do emprego formal como do informal, sendo o primeiro o principal meio de absorção de mão de obra da década (POCHMANN; SILVA, 2018).

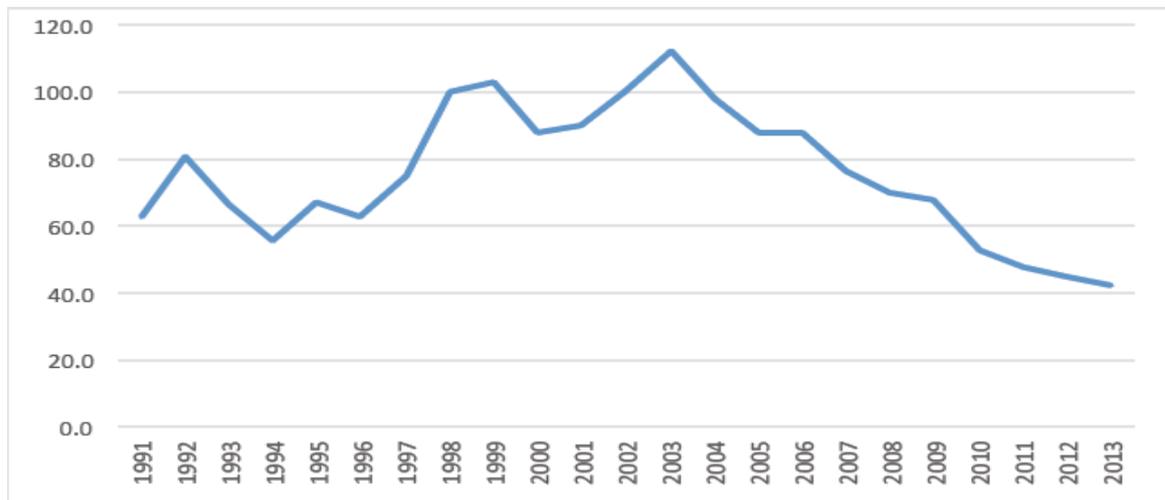
No que se refere ao desemprego, observa-se uma queda acentuada no balanço geral da década de 2000 até 2013 (gráfico abaixo), apesar de anos de elevação. Foram criados mais de 10 milhões de empregos entre 2004 e 2012 e o salário médio subiu 48% no mesmo período (MANZANO; SALAS, 2016). Os autores ainda mostram que distribuição funcional da renda apresentou uma evolução rápida da participação do trabalho, a qual havia perdido cinco pontos percentuais entre 1995 e 2004, voltando a alcançar a participação do ano 1995 no ano de 2010. Esse movimento está diretamente relacionado a política de valorização do salário mínimo que proporcionou um aumento real de 94,6% (em real) ou 111,1% (medido em dólares via paridade de poder de compra) entre 2003 e 2013.

Outro aspecto importante que estes autores trazem é em relação a taxa de formalização. Esta cresceu significativamente – cerca de 11,3% entre 1997 e 2012 - para toda a população, entretanto, com maior destaque para extratos marginalizados, como negros,

³⁶ Para se ter uma ideia, o consumo aumentou 5,8% em 2007 e 5,5% em 2008 e o investimento, 14% e 17% nesses dois anos (BALTAR, 2011).

pardos e indígenas, contribuindo para redução da desigualdade histórica analisada dos períodos anteriores³⁷. Ao final de 2012, 40% da massa trabalhadora possuía carteira assinada.

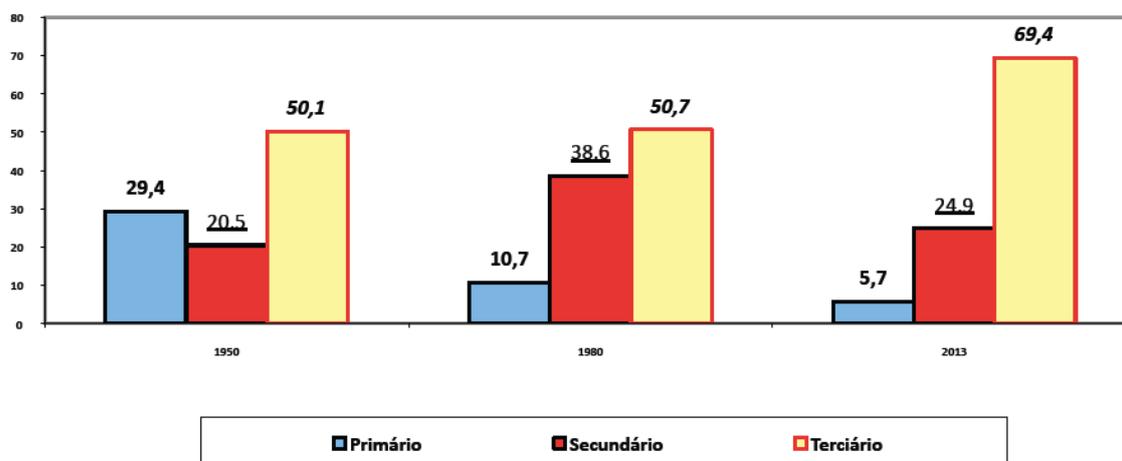
Gráfico 4 - Evolução da taxa de desemprego no Brasil – índice de base fixa: novembro / 2002 = 100



Fonte: PME/IBGE, elaborado por Manzano e Salas (2016)

Como já mencionado, houve certa recuperação da indústria, porém, o processo de desindustrialização continuou avançando (gráfico abaixo). Também se constata um arrefecimento do crescimento do setor de serviços, mesmo ainda permanecendo o principal. Assim, verifica-se no período um crescimento em serviços sociais e produtivos, elevação dos rendimentos, da taxa de formalização e taxa de assalariamento com maior acesso a seguridade social.

³⁷ “O aumento e desconcentração do gasto social, aumento e diversificação do crédito interno, aumento e diversificação do saldo exportador, consolidação do regime tributário simplificado para microempresas e empresas de pequeno porte (Simples) e maior eficácia das ações de intermediação de mão de obra e de fiscalização das relações e condições de trabalho nas empresas, foram fatores identificados como responsáveis principais pela trajetória de recuperação do emprego formal no período 2003-2013 no Brasil.” (JUNIOR; HAMASAKI, 2014 p. 24).

Gráfico 5 - Evolução da composição do Produto Interno Bruto no Brasil (%)

Fonte: IBGE/Contas Nacionais, elaborado por Pochmann (2014).

Entretanto, como aponta Cardoso Junior e Hamasaki (2014), a distribuição dos rendimentos do trabalho sofre uma mudança qualitativa. Apesar da recomposição real do salário mínimo no período, 90% das novas ocupações formais criadas entre 2003 e 2013 ganhavam um teto de até dois salários mínimos, além da ampliação do índice de rotatividade da mão de obra. Esse fato pode ser um indicativo de que, mesmo com os avanços sociais, redução da desigualdade, geração de empregos formais, ampliação da filiação previdenciária, etc., o país não foi capaz de gerar de maneira sistêmica novas ocupações melhor remuneradas. Ou seja, aquelas ocupações mais qualificadas e característica de atividades de maior valor agregado e conteúdo tecnológico cresceram pouco, sendo um reflexo da desindustrialização precoce que continuou avançando desde os anos 1980.

Esse período de “crescimento com redução de desigualdade” chega ao fim com a grave crise que se instala no país em 2014/2015. Observava-se o crescimento do desemprego e da inflação, uma grave instabilidade social e política e desvalorização do dólar em vistas ao cenário não favorável internacionalmente. Além da crise econômica, com um novo golpe de estado “institucional”, agora sob a Presidenta Dilma Rousseff em 2016, a partir de uma reação dos setores conservadores às políticas sociais e a medidas que diminuía privilégios do setor financeiro, instala-se um governo reacionário que propõe e aprovam duas das mais graves e retrógradas reformas do país. Uma delas, conhecida como PEC do Teto de Gastos, congelou por 20 anos os gastos públicos, tendo como principal alvo o gasto social e obras públicas, afetando imediatamente saúde, educação e criação e formalização de empregos. E a Reforma Trabalhista que implantou o trabalho intermitente, terceirização de atividades, criação de banco de horas para evitar pagamento de hora extra, aumento da

jornada de trabalho, enfraquecimento dos sindicatos e negociação entre patrão e empregado substituindo a legislação trabalhista, levando, assim, a uma precarização generalizada do trabalho³⁸. Além disso, também foi aprovada uma reforma da previdência que elevou o tempo de contribuição e a idade mínima, forçando os trabalhadores a aderirem à previdência complementar ligadas ao mercado financeiro (POCHMANN; SILVA, 2018). A política de austeridade recrudescer a grave crise já em andamento no país e as demais reformas foram ataques diretos aos direitos dos trabalhadores, colaborando para a degradação da seguridade social, do emprego e dos rendimentos laborais.

Com os sucessivos péssimos desempenhos de crescimento do PIB, o volume absoluto de ocupados existente em 2014 só voltou a ser atingido em 2018 e chegando a 2017 com 12,5 milhões da PEA desocupada (MATTEI; HEINEN, 2019). O padrão de distribuição setorial das ocupações se mantém e se acentua rumo a predominância do setor de serviços e comércio e a queda progressiva da indústria. A partir de 2013, mas principalmente a partir de 2015, a indústria (-2,17% a.a.) e a construção civil são os grandes contribuintes do desemprego. A participação da indústria no agregado nacional chega a apenas 12,8% em 2018 (MATTEI; HEINEN, 2019).

Refletindo tais fatos, os mesmos autores relatam o crescimento de “formas flexíveis de ocupações”, com predomínio da expansão de empregos informais e “processo amplo de precarização”. O número de profissionais autônomos chega a 23,5 milhões em 2018, sendo que cerca de 30% da população encontrava-se na informalidade e a taxa de subutilização no primeiro semestre de 2020 dobra em relação a 2014 (BRIDI, 2020). Ainda, entre 2012 e 2018, 4 milhões de empregos com carteira assinada desaparecem e o número de desocupados quase dobra apenas nos últimos três anos do período³⁹. Assim,

“Tanto a ausência de dinamismo econômico como a desregulação do mercado de trabalho têm sido responsáveis pelo registro das maiores parcelas da força de trabalho distante do acesso ao sistema público de proteção social e trabalhista. Somente em relação ao avanço do desemprego e à disseminação da mão de obra subutilizada em sua condição de trabalho, o Brasil tem registrado recordes recentes, sem comparação com o passado distante. Diante disso, o saldo das reformas

³⁸ Ver Mattei e Heinen (2019), assim como pesquisas do Centro de Estudos Sindicais e Economia do Trabalho (CESIT), como Krein e Vêras de Oliveira (2019), para um detalhamento das medidas da Reforma Trabalhista e seus impactos perversos sobre as condições de trabalho

³⁹ “Enquanto empregos formais com contratos intermitentes e parciais cresceram 108.583 entre a implementação da reforma de maio de 2019, a PNAD informa que, entre outubro 2017 e maio 2019 surgiram 951 mil novos subocupados, trabalhando menos do que 40 horas semanais” (BARDI, 2020 p. 146).

neoliberais, em curso desde o ano de 2016, tem sido ainda mais prejudicial ao comportamento do mercado de trabalho brasileiro” (POCHMANN, 2020 p. 98).

Em meio à onda ultraliberal brasileira, a pandemia da Covid-19 afetou de forma imediata toda a classe trabalhadora do mundo a partir de 2020. Acentuou a piora generalizada das condições de trabalho no país, com o desemprego chegando a quase 14% e o aumento da inatividade foi a principal causa da queda das ocupações (COSTA et al, 2021). Entre 2019 e 2020 (BARDI, 2020): i) a taxa de desocupação salta de 12% para 13,3%; ii) os desocupados mais a força de trabalho potencial salta de 18,4% para 24%; iii) redução de 8,9% do emprego formal e de 21,6% do emprego informal; e iv) queda do rendimento médio (somente 82% do habitual), porém varia conforme a modalidade de trabalho, sendo que os trabalhadores por conta própria e os trabalhadores do setor privado sem carteira receberam apenas 60% e 76% do habitual, respectivamente. Já entre os trabalhadores do setor privado com carteira e do setor público contratados via CLT, receberam 92% e 96% do habitual, respectivamente. Tais dados deixam claro o efeito perverso mais intenso sobre aqueles trabalhadores mais precarizados e informais, com queda substantiva da sua renda, além de mulheres, negro e jovens⁴⁰ (COSTA et al, 2021).

Como conclui Bardi (2020), a pandemia da Covid-19 apenas escancarou as diversas e amplas desigualdade do mercado de trabalho nacional. Sendo que essa deterioração está diretamente relacionada a nova configuração do trabalho com os avanços neoliberais a partir de 1980 e 1990. Refletido nos ataques aos direitos trabalhistas que ampliaram as possibilidades de flexibilização, terceirização, desproteção e insegurança do trabalho e a fragilização das instituições públicas e dos sindicatos. Além dos avanços tecnológicos e seus efeitos na reorganização das empresas, somados a uma década pífia em termos de crescimento e desenvolvimento econômico. Portanto,

“É a precariedade no e do trabalho que se universaliza. Embora essas condições não se devam à pandemia, mas ao movimento geral de reestruturação do mundo do trabalho desde as últimas décadas do século XX, a Covid-19 desnuda a fragilidade dessas formas de trabalho totalmente mercantilizadas” (BRIDI, 2020 p.160)

Assim, desconsiderando certos breves períodos de construção e solidificação de um mercado de trabalho com melhores condições de reprodução do labor e conquista de

⁴⁰ O diferencial por raça/cor e entre jovens e adultos de 2019 à 2020 se elevaram, respectivamente, de 3,7 p.p. para 5,3 p.p. e 9,5 p.p. para 12,3 p.p. Já em relação ao crescimento da inatividade, a elevação desse percentual correspondeu a 4,2 p.p. e 3 p.p. para mulheres e homens, respectivamente, e aumento de 4,1 p.p. entre negros e 2,9 p.p. entre brancos (COSTA et al, 2021).

direitos, constata-se uma perpetuação das fragilidades históricas da formação do mercado de trabalho nacional. Tal constatação fica evidente quando observa-se os impactos mais perversos sobre aqueles extratos sociais marginalizados, com baixa qualificação e remuneração e os constantes ataques as conquistas trabalhistas em períodos de arrefecimento do crescimento. O trabalho informal aparece como principal meio de gerar as condições materiais para a vida. Mesmo com certos períodos de ampliação da formalização e do trabalho assalariado, os recentes desdobramentos reproduzem as mazelas do reflexo do colonialismo e de séculos de escravidão, da “exportação” da miséria do campo para as cidades a partir da década de 1930 e do avanço neoliberal e da desindustrialização a partir dos anos 1980.

Dado esse breve panorama da formação histórica do mercado de trabalho brasileiro, fica claro as especificidades do desenvolvimento nacional e como, a partir deles, o Brasil é hoje uma economia atrasada e desigual, refletindo diretamente nos condicionantes atuais do novo contexto digital. O passado colonial e escravocrata molda a migração rural-urbana desorganizada de um país que já nasce com ampla oferta de mão de obra. Por sua vez, condiciona a transição conservadora, perpetuando os gargalos sociais das décadas passadas. Com o surgimento das TICs e a onda neoliberal, tais problemas se intensificam e trazem novos aspectos para a reprodução social da vida e do trabalho. Ou seja, a discussão proposta aqui a respeito da inovação e do trabalho carrega diversos determinantes distintos, tornando a sua avaliação muito complexa, em que pese os avanços inovativos e em qualificação dos países centrais e nosso atraso econômico, social e tecnológico.

1.5 Um breve panorama sobre as distinções estruturais produtivas, tecnológica e da qualificação entre Brasil e EUA

Até o momento, foram ressaltados diversos condicionantes e dificuldades de alcançar o objetivo proposto aqui pela presente pesquisa. Desde a formação do mercado de trabalho nacional que impõe diversos gargalos na sociedade atual, herdada da herança colonial, escravagista, do êxodo rural desordenado e veloz, além dos diversos períodos de precarização das condições de trabalho e dos direitos trabalhistas. Até a dificuldade de se comparar mercados de trabalho de países diferentes, seja pelos entraves impostos pelas

classificações ocupacionais e da disponibilidade de dados discutidas na metodologia (seção 2.1), seja pelos distintos conteúdos do trabalho e das características de reprodução do labor de cada país.

Dito isso, faz-se relevante mais uma relativização que trate de algumas diferenças em termos educacionais e produtivos entre o Brasil e os EUA. Portanto, a intensão desta seção é relativizar a distância em termos produtivos, tecnológico e de capital humano entre os países para embasar a discussão dos resultados da comparação que será realizada, resultados estes que devem sempre ser analisados levando em considerações tais *gaps*. Assim, serão apresentados alguns dados com o intuito de quantificar essas diferenças de forma mais clara e balizar a comparação que será realizada posteriormente. Tentando mostrar que são países muito distintos e que deve-se analisar de maneira mais detalhada e relativizada, dado as distintas estruturas produtivas, tecnológicas educacionais. Para tal, os dados utilizados nessa seção são provenientes da OCDE⁴¹, UNIDO⁴² e Banco Mundial⁴³.

O PIB e suas variações são indicadores amplamente utilizados e um ponto de partida útil para a discussão proposta. Em 2019, a preços correntes, o Brasil apresentou um PIB de aproximadamente U\$ 7389131000,00, enquanto os EUA chegaram a aproximadamente U\$ 21372572000,00, quase 2,9 vezes maior. Esse dado torna-se mais alarmante quando vemos que, em 2009, essa diferença era de 4,3 vezes. Ou seja, a distância em termos de geração de riqueza entre os países diminuiu quase 1,5 vez em 10 anos.

Já em relação ao PIB *per capita*, em 2019 o Brasil ostentava o valor de aproximadamente U\$ 15388,00 a preços correntes em paridade de poder de compra. No mesmo período, os EUA apresentavam U\$ 65279,00, mais de 4,2 vezes maior em relação ao doméstico, enquanto em 2009 essa diferença era de 3,55 vezes.

Quando olhamos para a formação bruta de capital fixo, em 2019, os EUA apresentaram U\$ 4566252000, aproximadamente 21,36% do PIB, enquanto no Brasil o valor era de U\$1146556000, alcançando 15,5% do PIB.

No que se refere a estrutura produtiva, em 2019 a indústria era responsável por 18,56% do valor adicionado da economia dos EUA, diminuindo cerca de 1 p.p. em relação a

⁴¹ <https://stats.oecd.org/#>

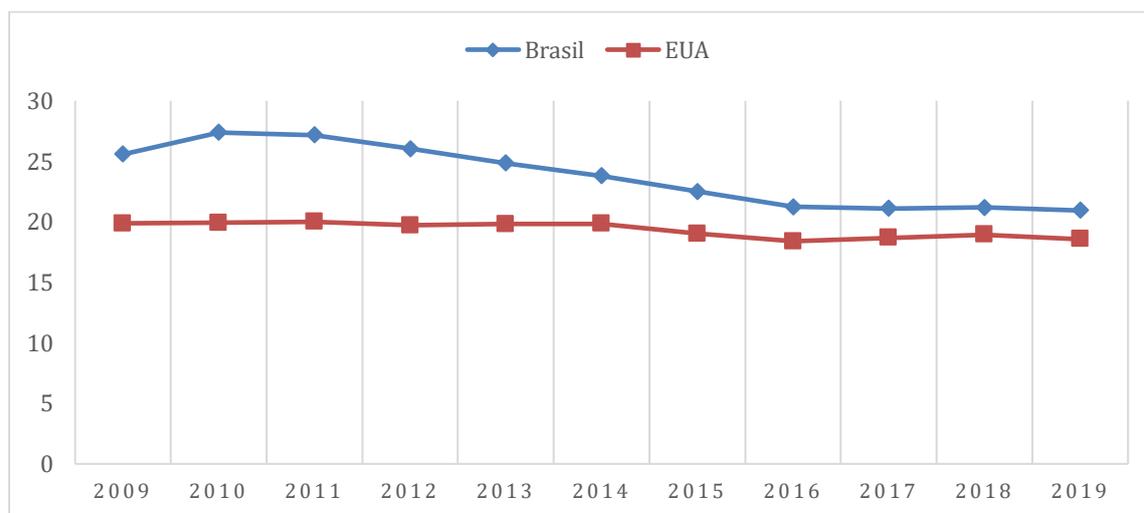
⁴² <https://stat.unido.org>

⁴³ <https://databank.worldbank.org>

2009. Já no Brasil, no mesmo período, a indústria era responsável por 20,29%, porém apresentando uma queda relevante em dez anos.

Além disso, em relação à participação da manufatura no PIB em 2019, no Brasil representava 9,2 % e os EUA 11,3%. Apesar de valores próximos, o processo de desindustrialização brasileiro ocorre precocemente, sendo que nos EUA esse processo ocorre de maneira “natural” a partir do nível de maturidade da estrutura produtiva do país.

Gráfico 6 – Valor adicionado da indústria (% PIB)



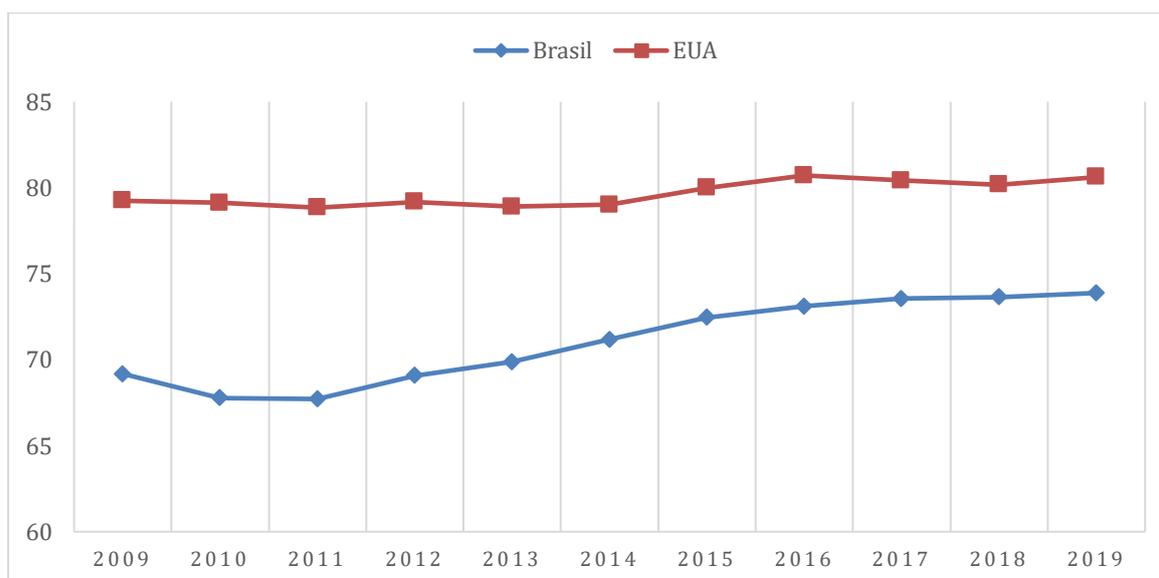
Fonte: Banco Mundial, elaboração própria.

O patamar mais baixo dos EUA certamente está relacionado a migração intensa para o setor de serviços nos últimos anos que vem representando a maior parcela da produção e valor adicionado da economia norte-americana. Parece haver uma estabilidade nos últimos dez anos, o que contrasta com a queda de aproximadamente 5 p.p. no Brasil. Nesse caso, isso claramente é um reflexo do contínuo avanço da reprimarização – atividades com menor valor agregado - e da desindustrialização precoce. Assim, enquanto no Brasil há uma mudança também qualitativa em termos de estrutura produtiva, nos EUA, apesar da queda da participação da indústria, ela ainda se concentra em atividades de valor agregado mais elevado. Tal constatação é evidente quando olha-se para a participação no valor adicionado da manufatura dos setores de média-alta e alta intensidade tecnológica. Em 2018, enquanto o Brasil apresentava 35,2% de participação destes setores, os EUA apresentavam 41,2%. Esse movimento também pode ser visualizado a partir dos serviços.

Um reflexo destas distintas estruturas produtivas pode ser visto pela exportação de bens de alta tecnologia. Em 2009, apenas 14,47% das exportações brasileiras eram de alta tecnologia, enquanto nos EUA representavam 24,9%. Isso deixa claro como a estrutura

produtiva norte-americana é mais focalizada em atividades de alto valor agregado e conteúdo tecnológico. Todavia, ao percorrer a década, ambos perdem parcelas destas exportações. No Brasil há uma queda de cerca de 1,2%, enquanto nos EUA a queda é bem mais acentuada, cerca de 6%. Esse fato provavelmente está relacionado a ascensão da economia chinesa (seção 1.2) que vem capturando parcela relevante do mercado exportador dos EUA.

Gráfico 7 - Valor adicionado dos serviços (% PIB)



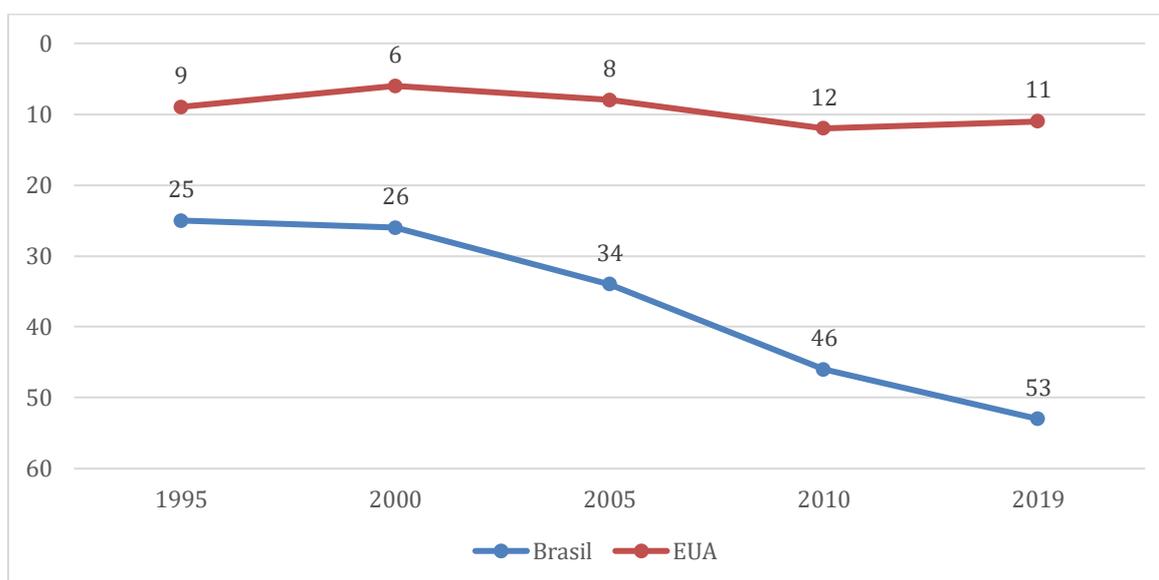
Fonte: Banco Mundial, elaboração própria.

Tais níveis de exportação destes bens é um reflexo direto da complexidade da estrutura produtiva de cada país. A universidade de Harvard produziu o Atlas da Complexidade Econômica no qual o indicador de complexidade é calculado para diversos países. Altos níveis de complexidade correspondem a uma dotação de uma gama de recursos sofisticados e especializados e, portanto, são característicos de países capazes de produzirem um conjunto altamente diversificado de produtos complexos. Determinar a complexidade econômica de um país não depende apenas do conhecimento produtivo de um país. As informações sobre quantas capacidades o país possui estão contidas não apenas no número absoluto de produtos que fabrica, mas também na onipresença desses produtos (o número de países que exportam o produto) e na sofisticação e diversidade de produtos feitos por outros países⁴⁴. Sendo assim, a complexidade econômica expressa a diversidade e sofisticação das capacidades produtivas embutidas nas exportações de cada país, sendo um indicador útil para observar se as estruturas produtivas são formadas por atividades de elevado valor agregado e conteúdo tecnológico. Os EUA encontravam-se em 11º lugar em 2019, enquanto o Brasil estava apenas

⁴⁴ <https://atlas.cid.harvard.edu/rankings/>

na 53ª posição, ficando atrás de países muito menores e menos desenvolvidos como Bósnia e Herzegovina, Costa Rica e Panamá. Assim, fica claro como os EUA possuem uma composição de atividades que envolvem elevados níveis de conhecimentos específicos, incorporam tecnologias de ponta e geram alto valor agregado muito mais desenvolvidas e complexas do que o Brasil. Além disso, quando olha-se para a evolução desse indicador desde 1995 (primeiro ano de divulgação), vê-se o reflexo da desindustrialização precoce brasileira na qual os setores mais complexos foram os mais afetados, levando a intensa reprimarização da pauta exportadora nacional. O Brasil perdeu quase 30 posições em 24 anos, sendo que os EUA caem da 9ª para a 11ª posição, provavelmente relacionado a nova morfologia do sistema econômico propugnado pela China (DIEGUES; ROSELINO, 2021).

Gráfico 8 - Evolução do Índice de Competitividade Produtiva – Brasil e EUA (1995-2019)



Fonte: Atlas da Competitividade Econômica, elaboração própria.

O Índice Global de Competitividade Industrial (*Competitive Industrial Performance Index – CIP*), que representa a habilidade do país de produzir e exportar bens manufaturados competitivamente⁴⁵, corrobora o dito acima. Em 2019, o Brasil se encontra na 42ª posição entre os 152 países, com pontuação de 0,08, sendo a média mundial 0,068, já os EUA estavam na 3ª posição. Em relação a 2009, o Brasil perdeu nove posições, enquanto os EUA perderam uma. Isso mostra a distância em termos competitivos entre os setores industriais dessas economias, refletindo o mais alto nível de competências produtivas, organizacionais e inovativas da indústria norte-americana.

⁴⁵ Para mais detalhes a respeito do índice e da metodologia, ver <https://stat.unido.org/cip/>.

Outro índice que reflete essas mesmas características é o Índice Global de Inovação (*Global Innovation Index*)⁴⁶ que resume o desempenho do ecossistema de inovação dos países. Em 2019, o Brasil ocupava a 66ª posição, enquanto os EUA ocupavam a 3ª, refletindo as melhores condições, esforços e resultados inovativos norte-americanos. Em nosso caso, dentre os determinantes do índice, o pior resultado está na sofisticação do mercado que reflete as condições de crédito, investimento, comércio e competitividade, sendo que nesse quesito os EUA estão em 1º lugar. Vale notar também que, olhando para o *World Intellectual Property Organization*⁴⁷, em 2017, os EUA depositaram cerca de 275000 patentes relacionados a tecnologias da I4.0 (LUCENA et al, 2020). Já o Brasil, no mesmo período, apresentou singelas 14634 patentes desse campo (CNI, 2020), mais de 18 vezes menor. Isso é mais um indicador da distância entre os países em termos de capacidade inovativa, sendo ainda mais preocupante para o futuro do desenvolvimento industrial que almeja alçar-se rumo a fronteira tecnológica.

Olhando para a absorção do emprego pela indústria, ambos chegam a um patamar próximo em 2019, sendo 19,99% do emprego na indústria no Brasil e 19,91% nos EUA. Em relação aos serviços, o setor mantém 78,74% do emprego nos EUA e o Brasil cerca de 70,94%, com um aumento de 7 p.p. nesses dez anos. Percentuais próximos a esses vêm se mostrando em diversos países, refletindo mais uma vez a migração para os serviços. Vale ressaltar que o patamar bem mais elevado dos serviços deve-se a sua intensidade de trabalho em suas atividades. Porém, apesar de certa proximidade dos valores, deve-se olhá-los tendo consciência da diferença qualitativa desses empregos, dado a prevalência de setores de alta intensidade tecnológica nos EUA que empregam mão de obra altamente qualificada e com maiores salários. Olhando para o salário mínimo real por hora, essa diferença de remuneração permaneceu quase inalterada desde 2009, com os EUA sustentando um patamar aproximadamente 7 vezes maior.

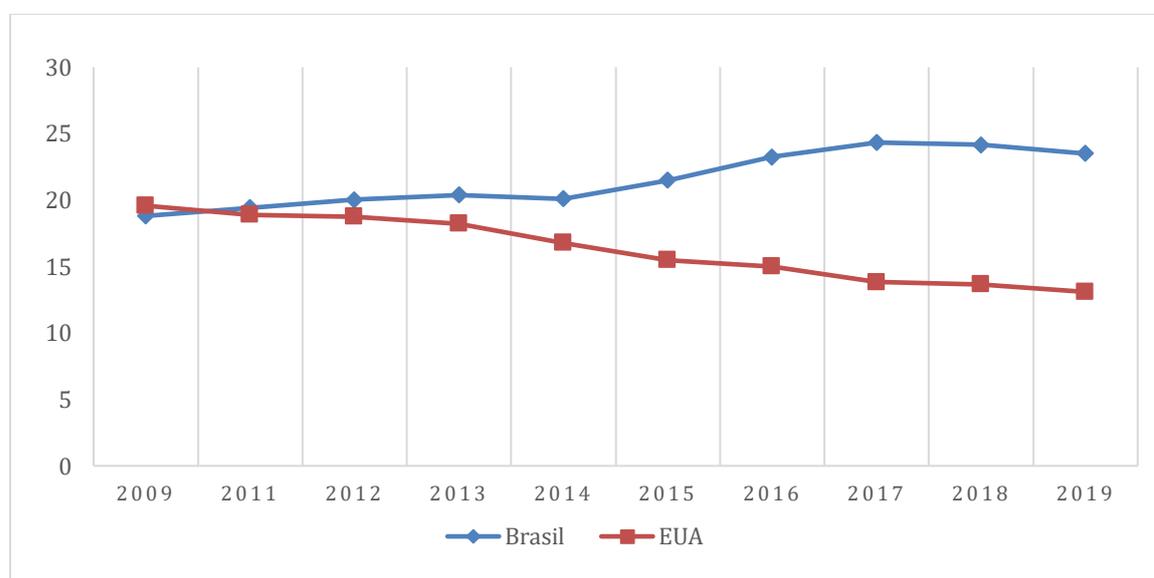
Ainda no âmbito do trabalho, vale ressaltar que o Brasil ostenta o perverso número de 28,33% dos empregados em situação de vulnerabilidade em 2019 – quase o mesmo patamar de dez anos atrás, sendo que a partir de 2020 com a pandemia esse número cresceu ainda mais. Enquanto os EUA, nesse mesmo ano, tinham cerca de 3,9% e também apresentaram pouca alteração nesses dez anos. Isso é um indicador do maior nível de

⁴⁶Para mais informações sobre metodologia, dentre outras coisas, ver <https://www.globalinnovationindex.org/home>.

⁴⁷<https://www.wipo.int/>.

precariedade da reprodução do labor no país, o que reflete a incapacidade da economia doméstica de absorção da mão de obra de maneira sadia, que garante bons salários e condições básicas de trabalho. Ainda, quando se observa aquela parcela dos jovens que não encontra nem oportunidade de trabalho, nem oportunidade de estudo – conhecida atualmente como a geração nem-nem –, vê-se um crescimento no Brasil, em contraposição a uma redução nos EUA. No primeiro caso, esse patamar alcançou o valor de 23,52%, enquanto no segundo era 13,1%. Isso é mais um sinal das piores condições de reprodução do trabalho e do ensino no Brasil, evidenciando uma grande parcela da população que fica a margem das oportunidades de ascensão sociolaboral e intelectual.

Gráfico 9 – Parcela de jovens que não trabalham, nem estudam ou treinam (% da população jovem)

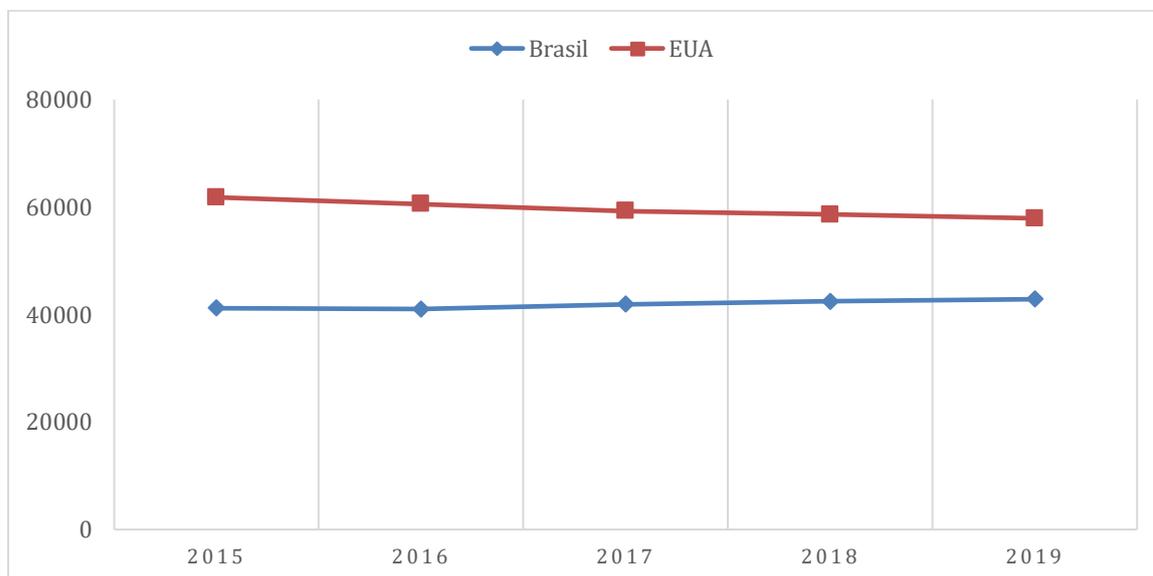


Fonte: OCDE, elaboração própria.

Em termos educacionais, também é visível a distância entre os dois países. No que se refere ao ensino superior como um todo, em 2015 o Brasil possuía cerca de 20500 alunos por milhão de habitante a menos que os EUA matriculados no ensino terciário. Em 2019, essa diferença diminuiu consideravelmente, cerca de 5500 alunos por milhão de habitante. Entretanto, essa aproximação deu-se mais pela queda dessas matrículas nos EUA do que crescimento no Brasil, representando cerca de 70,4% da queda. Além disso, nesses quatro anos, tais matrículas aumentaram em apenas 3,81% no Brasil, alcançando a marca de 4,23% da população cursando ensino superior. Tais dados evidenciam a distância, em termos educacionais e de absorção dos jovens no ensino superior entre os dois países, sendo que nos EUA uma parcela relativamente maior tem a oportunidade de ingressar nessa etapa de ensino. Mais uma vez, salienta-se que essa situação é condicionada pelas respectivas estruturas

produtivas distintas que demanda distintas habilidades e qualificação dos recursos humanos locais.

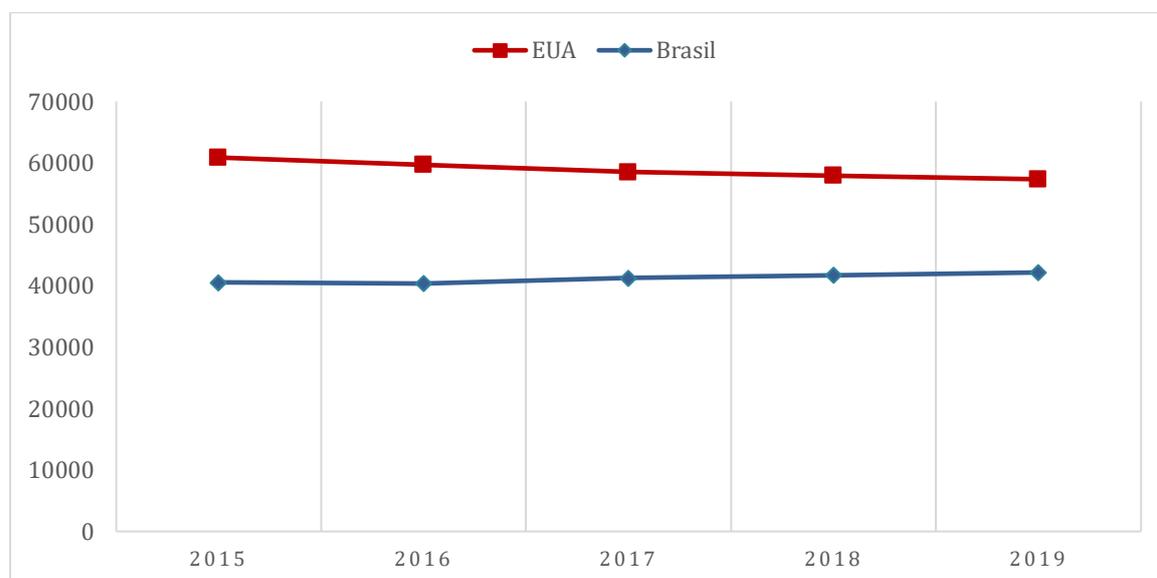
Gráfico 10 - Matrículas totais no ensino superior por milhão de habitante



Fonte: OCDE, elaboração própria.

Olhando para o ensino superior como um todo, o Brasil já apresenta uma grande diferença em relação aos EUA. Enquanto aquele possuía, em 2019, 40942 alunos no ensino superior por 1 milhão de habitantes, este sustentava 57338. Tal dado já era esperado, dado que o ensino superior doméstico ainda é limitado, tanto em termos de ensino, como de acesso da população a esse tipo de qualificação.

Além disso, esse cenário muda quando se observa a especialização. No que se refere aos matriculados em cursos de mestrado e doutorado, o Brasil fica muito atrás. Em 2019, os EUA apresentavam quase dez vezes mais matriculados por 1 milhão de habitantes que o Brasil em cursos de mestrado, 8158 e 832 respectivamente. Desde 2013, o Brasil apresentou um crescimento destas matrículas em aproximadamente 27,1%, enquanto os EUA cresceram 2,3%. Em relação aos cursos de doutorado, o Brasil fica quase duas vezes atrás, com 564 doutorando por milhão de habitantes, enquanto os EUA ostentavam 1088 por milhão de habitantes. Neste mesmo intervalo, as matrículas de doutorandos cresceram 28,2%, enquanto os EUA apresentaram uma queda de -12,2%.

Gráfico 11 - Matrículas de graduação no ensino superior por 1 milhão de habitantes

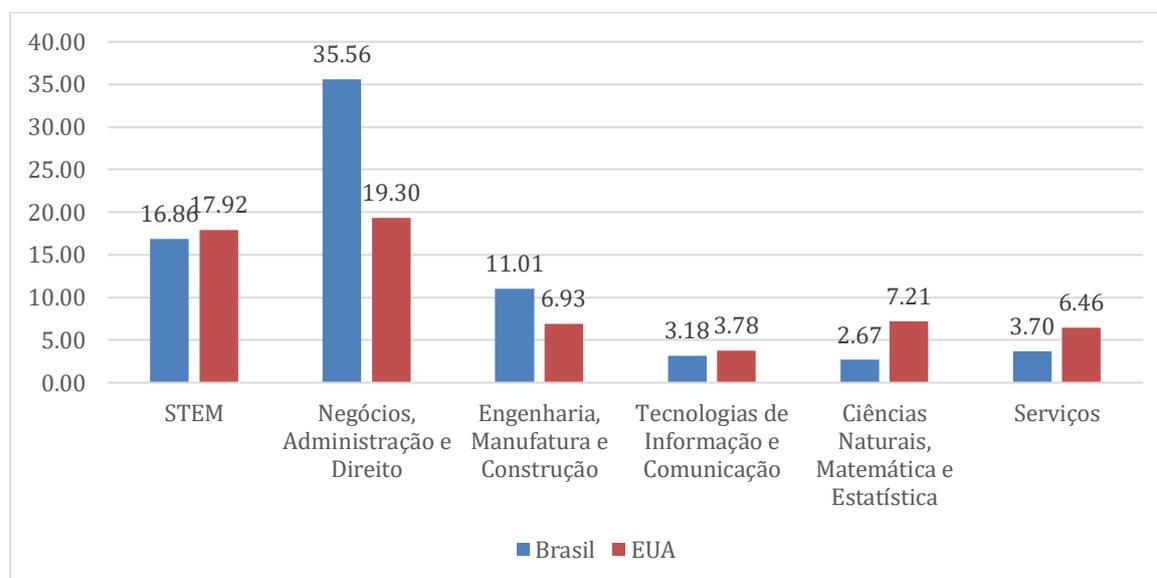
Fonte: OCDE, elaboração própria.

Apesar do mal desempenho dos EUA nesses sete anos, o abismo entre os dois países fica mais claro quando observa-se os números da pós-graduação. Mestres e doutores são a mão de obra mais altamente qualificada, sendo responsáveis por cargos que exigem elevado grau de conhecimentos complexos e específicos. Geralmente, ocupam cargos em firmas de alto valor agregado, envolvendo atividades de P&D, alta gerência, etc. Assim, o patamar brasileiro muito menor reflete o padrão de especialização produtiva nacional, com uma clara deficiência em termos de alta qualificação, mesmo com as melhoras no setor educacional nos governos ptistas. Vale ainda ressaltar que esse desempenho não é distribuído de maneira igual pelos extratos sociais brasileiras, reproduzindo a desigualdade histórica do país. Por exemplo, na taxa bruta de frequência do ensino superior, a faixa mais rica apresenta uma frequência 10 vezes maior que o extrato mais pobre.

Durante a presente pesquisa, ficou claro a centralidade das TICs, dos dados, da eletrônica, entre outras áreas que caracterizam os cursos voltados para ciência, tecnologia, engenharia e matemática – calcado como cursos STEM (*science, technology, engineering and mathematics*). Essas áreas do conhecimento vêm sendo ressaltadas por toda a literatura aqui apresentada como aquelas com maior destaque para o mercado de trabalho dos próximos anos. Dito isso, os países não apresentavam uma diferença muito significativa, com o Brasil chegando ao patamar de 18,54% em 2019 e os EUA de 19,23%. Em ambos, tais matrículas se ampliaram, sendo que no Brasil foi um aumento de cresce de 6 p.p., enquanto nos EUA cresceu cerca de 3,5 p. p, em relação a 2015. Isso parece ser um bom sinal, dado o ritmo de

expansão dessas matrículas e sua extrema importância para a nova economia digital. Esperava-se uma maior distância entre os dois países, dado as respectivas especializações produtivas, porém, apresentaram uma diferença de menos de 1%. Provavelmente, a distinção aqui deve ser os destinos em termos de postos de trabalho que esses indivíduos vão ocupar no futuro. No caso do Brasil, muitos desses estudantes acabam por ser alocados em empregos que não são o “destino natural” de suas áreas de especialização, ou mesmo acabam em cargos com menores exigências de qualificação do que a sua própria, dado a dificuldade de achar emprego desde a crise de 2014/2015.

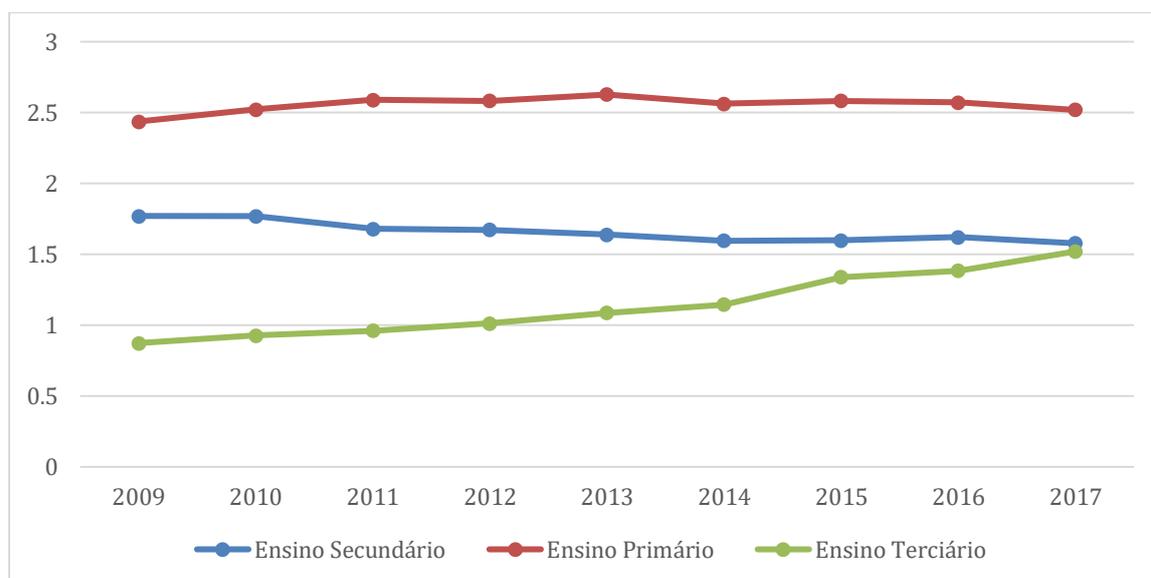
Em relação aos demais cursos, é possível ver no gráfico abaixo que a maior diferença se encontra na área de negócios, administração e direito. Essa diferença era menor em 2009, porém o Brasil apresentou um crescimento desse segmento de aproximadamente 1,5 p.p., enquanto nos EUA caíram cerca de 5,4 p.p. Vale notar que os dois países vão em direções opostas, ou seja, tomando os EUA como referência em termos de evolução da estrutura social rumo a nova economia digital, dado seus condicionantes socioeconômicos, esse fato pode ser sinal de preocupação. Como visto anteriormente, algumas ocupações que estão no escopo dessas áreas do conhecimento são altamente passíveis de automação. Ou seja, a expansão destes cursos nos últimos anos pode representar um sinal na direção oposta das tendências centrais. Todavia, algumas das ocupações dessas áreas também estão entre aquelas emergentes, porém, normalmente são aquelas que exigem um maior nível de qualificação e de conhecimentos altamente complexos que normalmente são fruto de uma especialização ou pós-graduação. Apesar da indisponibilidade destes dados, pode-se imaginar, pelas características do nosso país e de alguns outros dados aqui apresentados, que esses não são os casos mais comuns, dados os baixos patamares de indivíduos cursando níveis de especialização pós-terciário. Vale notar, também, que a diminuição das matrículas nessas áreas nos EUA correspondeu a aumentos nas áreas de STEM e ciências naturais, matemática e estatística.

Gráfico 12 - Parcelas das matrículas por áreas do conhecimento - 2016

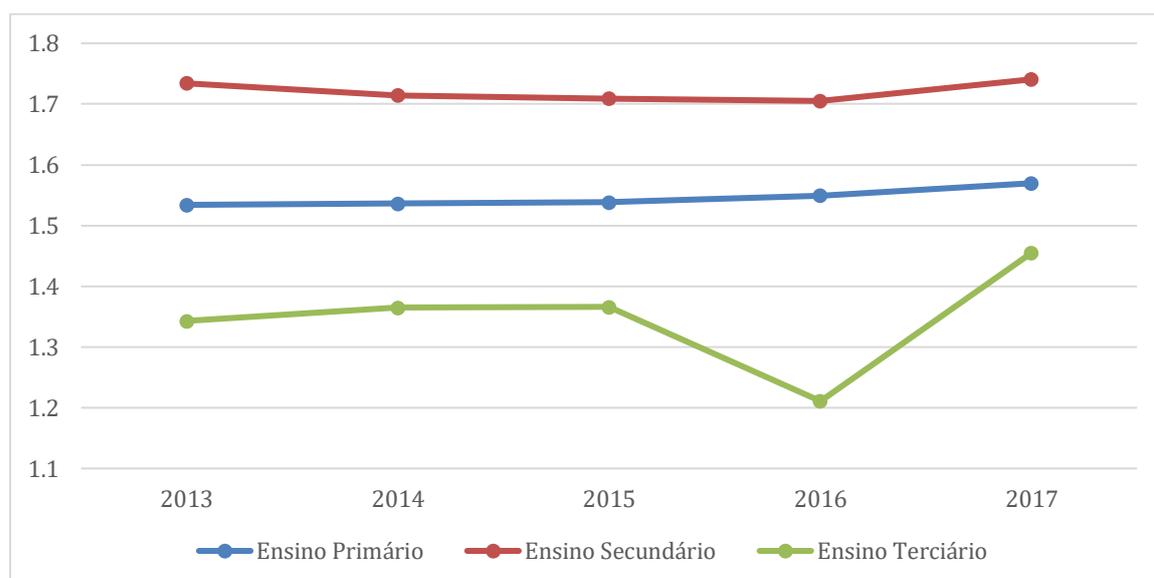
Fonte: OCDE, elaboração própria.

No caso brasileira, a elevação na área de STEM está em consonância com a literatura que vem ressaltando a centralidade desses campos do conhecimento para a digitalização. Sendo assim, parece ser um bom sinal, caso o país siga expandindo as matrículas nessas áreas. Para além disso, em 2016, nas áreas de ciências naturais, matemática e estatística, o país manteve seu patamar, em contraposição ao crescimento nos EUA. Tais áreas são relevantes em termos de inovação computacional, principalmente nas etapas de desenvolvimento primário das tecnologias que envolvem muitos conhecimentos estatísticos e matemáticos.

Um dos determinantes centrais desse desempenho educacional relatado acima são os gastos governamentais direcionados ao setor. Olhando para esses gastos em relação ao PIB, o Brasil gasta cerca de 5,6%, enquanto os EUA gastam cerca de 4,7%, sendo que a maior diferença está nos gastos com ensino secundário, cerca de 0,78%, com as demais (primário e terciário) estando bem próximas. Em termos de evolução recente, os EUA mantiveram seus gastos nas três áreas praticamente constantes. Já o Brasil, apresenta certa mudança na distribuição destes gastos, como é possível ver pelo gráfico abaixo. De 2009 à 2017, os gastos com ensino superior saltaram de aproximadamente 0,87% do PIB para 1,52%. Esse crescimento advém da contínua política de expansão do ensino superior promovida pelos governos ptistas e observa-se seu reflexo no crescimento das matrículas relatado acima. Além disso, a única queda é vista nos gastos com ensino primário, saindo de 1,77% do PIB para 1,57% no mesmo intervalo.

Gráfico 13 - Gastos do governo por nível com educação – Brasil, 2009 a 2017 (% PIB)

Fonte: OCDE, elaboração própria.

Gráfico 14 - Gastos do governo por nível com educação – EUA, 2009 a 2017 (% PIB)

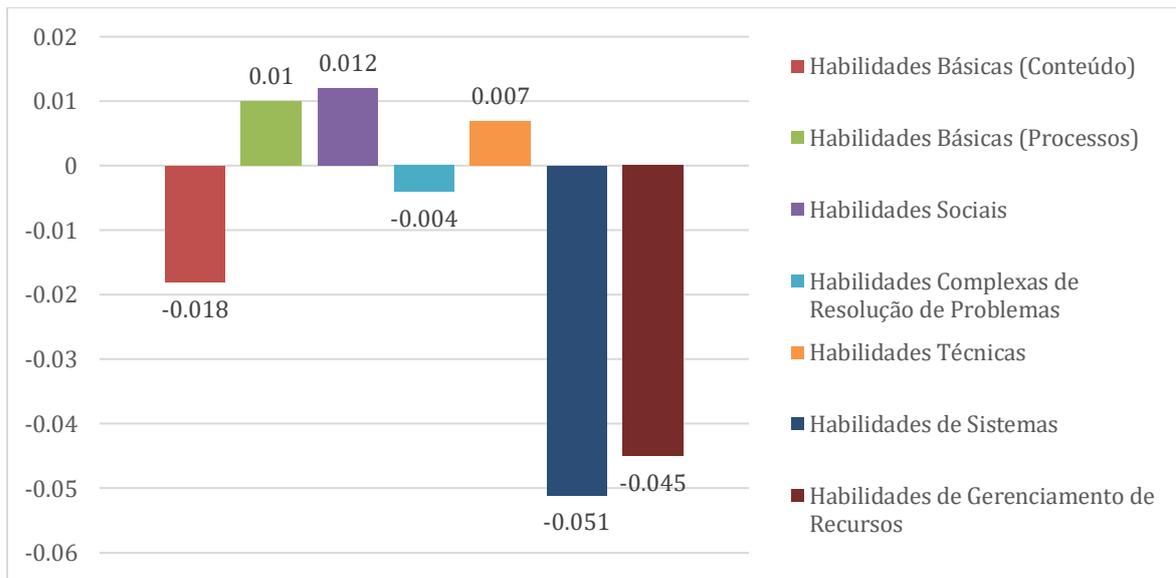
Fonte: OCDE, elaboração própria.

Apesar do relevante aumento dos gastos e das matrículas do ensino superior, o Brasil continua longo quando o assunto é pós-graduação. Como já ressaltado, isso é preocupante, dado que tais níveis de especialização estão geralmente envolvidos em atividades mais complexas. Além disso, como visto anteriormente (capítulo 2), a inovação tecnológica aumenta as exigências mínimas de qualificação para o mercado de trabalho, ou seja, pode potencializar a distância do Brasil com a nova onda tecnológica digital.

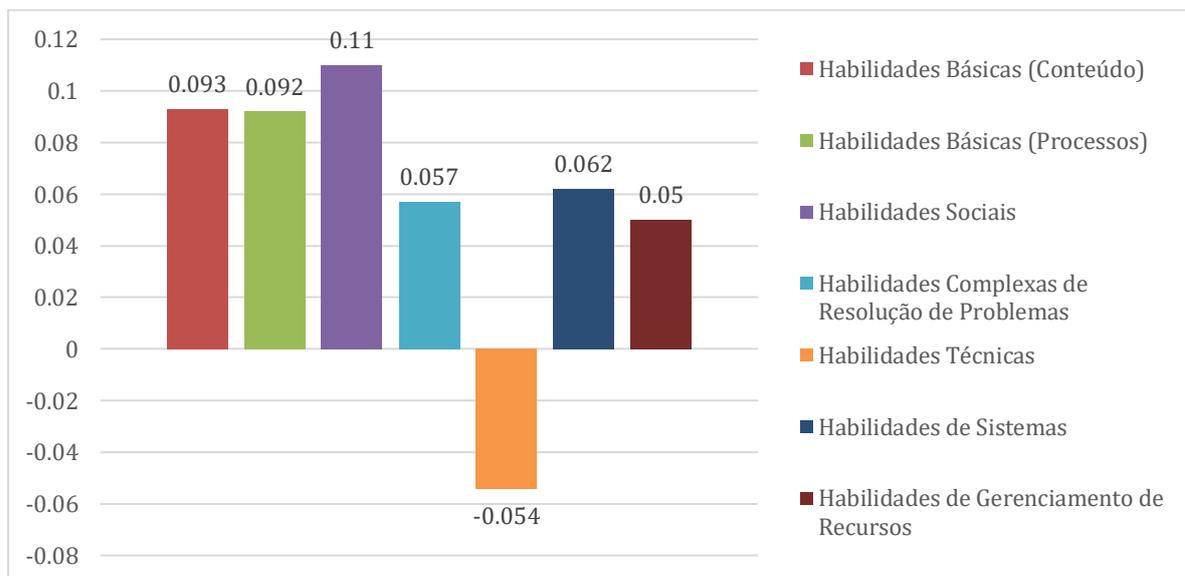
Ademais, o ensino básico sempre foi um dos maiores gargalos do país, principalmente o ensino primário. Desde a evasão escolar, até condições precárias de infraestrutura, remuneração dos professores e qualidade do ensino. Logo, a diminuição dos gastos vai na contramão do que seria necessário para melhorar essa situação. Isso pode representar um grave problema para a geração futura de trabalhadores, caso não for revertida, pois pode representar uma piora progressiva das condições de ensino dessa modalidade e desnivelar as oportunidades futuras de ensino e trabalho, dado que afeta diretamente a qualidade do aprendizado dos mais jovens.

Um dos resultados dessa situação dos sistemas educacionais pode ser visto por meio da escassez ou excesso de habilidades da população, dado que a maioria delas é obtida por meio da qualificação. A OCDE produz esse indicador para sete grupos de habilidades que se ramificam em 28 outras habilidades, baseado nas definições da O*NET (*Occupational Information Network*). Valores positivos indicam abundância da habilidade, enquanto valores negativos apontam para excesso da habilidade. Quanto maior for o valor absoluto, maior será o desequilíbrio. Os resultados são apresentados em uma escala que varia entre -1 e +1.

Como é possível ver pelos gráficos abaixo, o Brasil apresenta escassez em quatro categorias – habilidades básicas (conteúdo); resolução de problemas; de sistemas; e de gerenciamento de recursos -, sendo que nessas mesmas categorias os EUA apontam excesso e escassez apenas em habilidades técnicas. Vale notar, também, que mesmo com excesso das demais, os EUA apresentam maior quantidade em todos, o que pode apontar para uma falta de maturidade do desenvolvimento de habilidades no Brasil, ou mesmo quase uma escassez, dado o nível bem próximo de zero de excesso.

Gráfico 15 - Escassez ou excesso de habilidades – Brasil (2015)

Fonte: OCDE, classificação O*NET, elaboração própria.

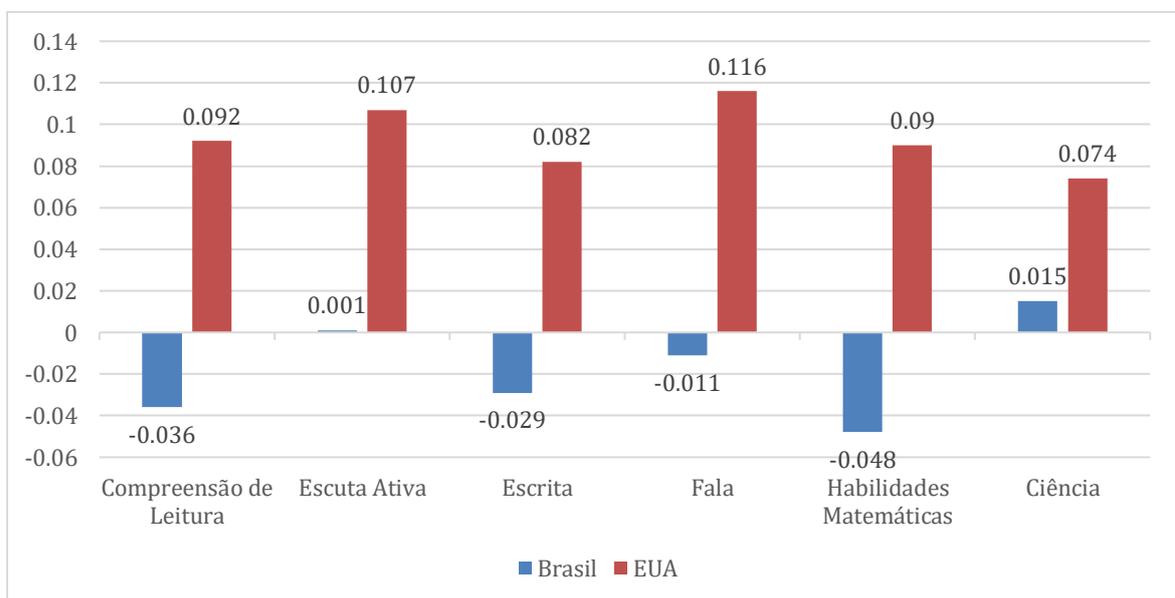
Gráfico 16 - Escassez ou excesso de habilidades – EUA (2015)

Fonte: OCDE, classificação O*NET, elaboração própria.

Dirigindo o olhar para aquelas habilidades emergentes, diante do novo contexto digital relatado pela literatura (capítulo 1 e 2), e analisando o conjunto de habilidades que formam cada um dos sete grupos, observa-se uma situação mais periclitante. Em relação as habilidades básicas de conteúdo, o principal componente que puxa para baixo o indicador são as habilidades matemáticas que envolvem numeramento e uso de números para resolver problemas, enquanto os EUA apresentavam um pequeno excesso. Além disso, outras três habilidades básicas também apresentam escassez, sendo elas: leitura, escrita e fala. Tais resultados são um reflexo da baixa qualidade do ensino primário e secundário, dado a

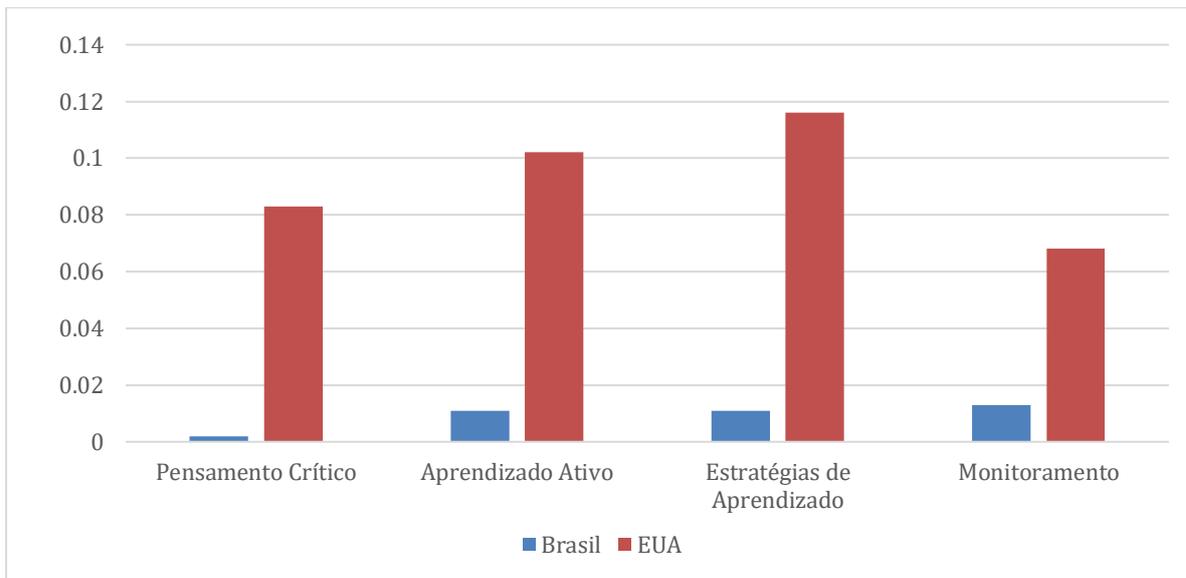
escassez de habilidades que são aprendidas nos primeiros anos de ensino e desenvolvida nos seguintes. Essa suposição é reforçada pela diferença de qualidade dessas modalidades de ensino entre os países, dado que a maior distância dentre todas as habilidades é justamente as das habilidades básicas de conteúdo. Essas habilidades são essenciais para qualquer tipo de trabalho, assim como para a própria formação do indivíduo como cidadão. Ademais, a habilidade que apresenta maior escassez está entre as principais emergentes. Isso é um grave sinal para o país dado a pervasividade dessa habilidade nas atividades digitais e mostra a distância que o Brasil está dos EUA em termos de formação básica de recursos humanos.

Gráfico 17 - Escassez ou excesso de habilidades básicas de conteúdo (2015)



Fonte: OCDE, classificação O*NET, elaboração própria.

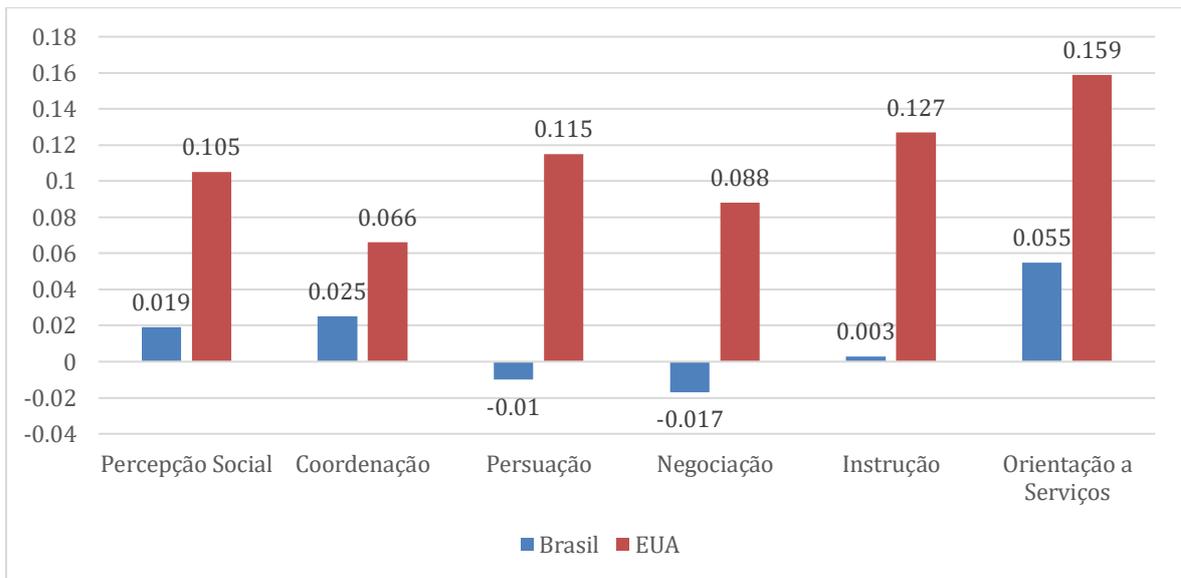
Já em relação as habilidades básicas de processo, o Brasil apresente excesso em todos os quatro componentes – pensamento crítico; aprendizado ativo; estratégias de aprendizado; e monitoramento. Porém, bem próximas de zero e bem distantes dos patamares norte-americanos. Aprendizado ativo e pensamento crítico também estão entre as principais habilidades emergentes, sendo um bom sinal os excessos apresentados no Brasil. Todavia, fica claro a insuficiência destas quando comparado com os EUA. Ou seja, sendo o mercado de trabalho anglo-saxão mais desenvolvido, fica claro a insuficiência, apesar de um relativo excesso, dessas habilidades no mercado doméstico e a distância em termos de competências da mão de obra dos países.

Gráfico 18 - Escassez ou excesso de habilidades básicas de processo (2015)

Fonte: OCDE, classificação O*NET, elaboração própria.

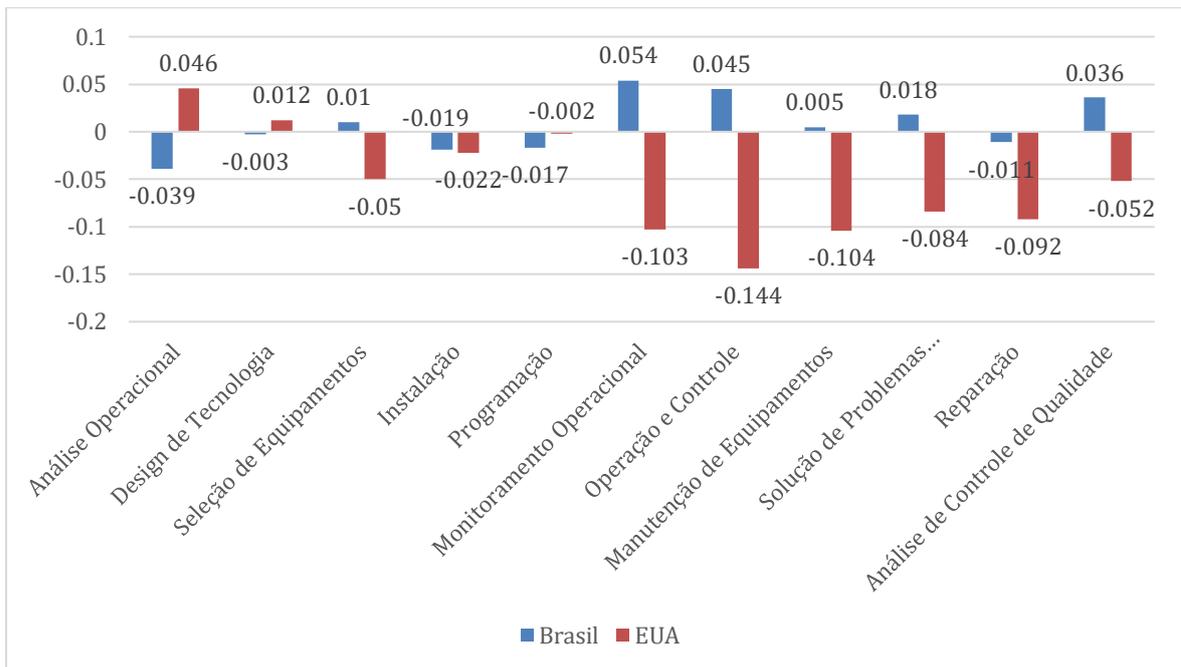
As habilidades sociais são as que se saem melhor, mas permanecem uma distância relevante em relação aos EUA. Dentre as seis habilidades que a compõem – percepção social; coordenação; persuasão; negociação; instrução; e orientação a serviços –, a com maior excesso é orientação a serviços, sendo que persuasão e negociação apresentam escassez. Juntamente a coordenação, que apresenta o segundo maior excesso, as duas anteriores são parte fundamental de competências de liderança, comunicação e resiliência, competência essas que também estão entre os maiores destaque dentre as emergentes. Além de ser um problema a ser enfrentado para o futuro do mercado de trabalho, a distância aqui também é notável em relação aos EUA. Isso aponta para uma massa de trabalhadores brasileiros com poucas competências sociais em relação aos norte-americanos, sendo que estão presentes em diversas atividades, com maior intensidade em atividades de maior valor agregado, dado as próprias características das habilidades.

A resolução de problemas complexos não é subdividida em demais habilidades como as outras. Novamente, a distância entre os dois países é grande, sendo ainda mais preocupante dado a centralidade dessa habilidade dentre aquelas emergentes. Sendo uma habilidade usada para resolver problemas novos e mal definidos em configurações complexas do mundo real, permeiam uma gama de atividades e requer relativos esforços para desenvolvê-las.

Gráfico 19 - Escassez ou excesso de habilidades sociais (2015)

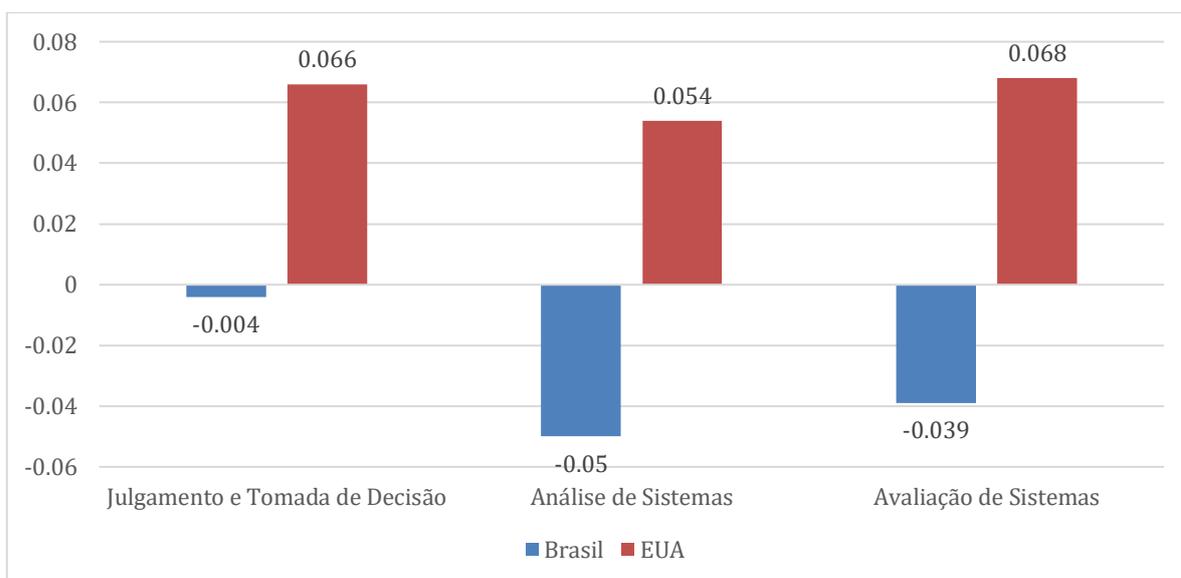
Fonte: OCDE, classificação O*NET, elaboração própria.

No que se refere as habilidades técnicas, é a única categoria na qual o Brasil se sair melhor. Inicialmente, olhando para o dado agregado, aparenta ser um bom sinal. Todavia, analisando as onze habilidades que a compõe – análise operacional; design de tecnologia; seleção de equipamento; instalação; programação; monitoramento operacional; operação e controle; manutenção de equipamento; solução de problemas operacionais; reparação; e análise de controle de qualidade -, essa situação parece menos confortável. Isso, porque em análise operacional, design de tecnologia e programação, habilidades estas extremamente relevantes para o novo contexto digital e características de ocupações em atividades de alto valor agregado, o Brasil encontra-se atrás dos EUA. Sendo assim, o melhor resultado agregado do Brasil está relacionado ao excesso, ou menor escassez, das demais habilidades que, no geral, são características de ocupações de menor qualificação envolvendo habilidades manuais. Isso pode ser um indicativo da maior maturidade da estrutura produtiva dos EUA, aliado ao *offshoring* de partes da cadeia produtiva, principalmente montagem de bens finais.

Gráfico 20 - Excesso ou escassez de habilidades técnicas (2015)

Fonte: OCDE, classificação O*NET, elaboração própria.

As habilidades de sistemas são capacidades usadas para compreender, monitorar e melhorar os sistemas sociotécnicos. Sendo assim, comporta habilidades de julgamento e tomada de decisão, análise de sistemas e avaliação de sistemas. Todas são relevantes em termos de competências complexas, pois envolvem análises e avaliações importantes para qualquer nível de atividades. Além disso, habilidade de julgamento e tomada de decisão estão entre as principais emergentes, dado que envolvem aprendizados subjetivos que as máquinas ainda não são capazes de replicar com facilidade ou precisão. Ademais, envolvem cenários dinâmicos, não pré-determinados e de difícil codificação. O Brasil apresenta um grande déficit de tais habilidades, ainda mais quando comparado aos EUA. Felizmente, julgamento e tomada de decisão é a habilidade que o Brasil performa melhor, o que pode ser um bom sinal dado o baixo nível de escassez. Todavia, são necessários incentivos para o desenvolvimento destas pois o país está longe de uma situação confortável, vide o patamar norte-americano. Mais uma vez, tais dados ressaltam a distância entre ambos os países, no caso, em habilidades centrais de análise e avaliação.

Gráfico 21 - Escassez ou excesso de habilidades de sistemas (2015)

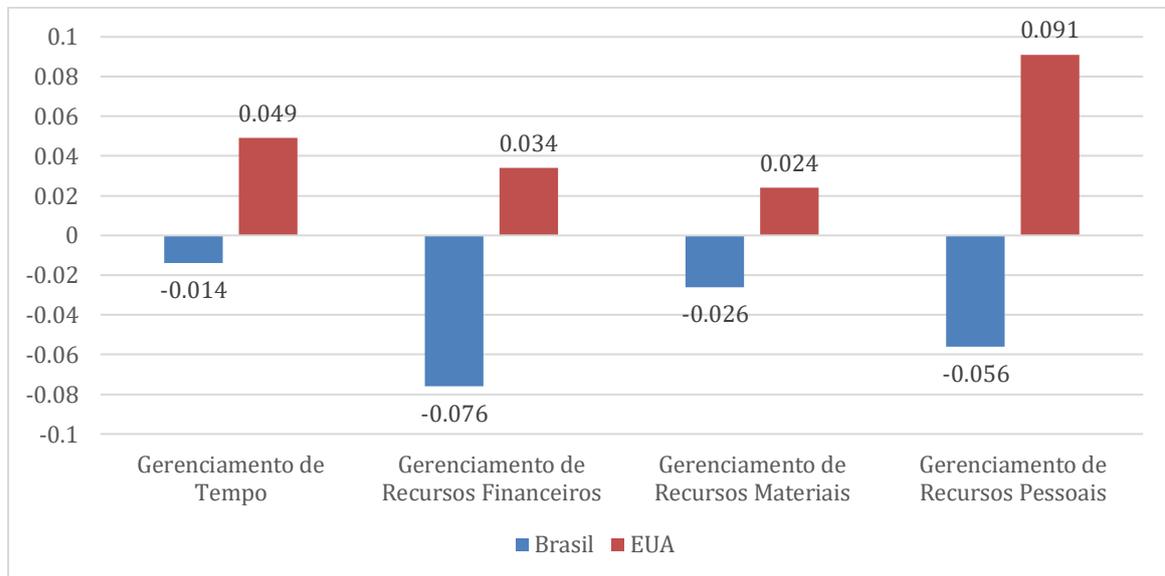
Fonte: OCDE, classificação O*NET, elaboração própria.

As habilidades de gerenciamento de recursos apresentam uma dinâmica semelhante as habilidades de sistemas. Tais habilidades representam as competências de alocação eficiente de recursos e abrangem as habilidades de gerenciamento de tempo, gerenciamento de recursos financeiros, gerenciamento de recursos materiais e gerenciamento de recursos pessoais. As maiores escassezes brasileiras estão no gerenciamento de recursos financeiros e recursos pessoais, porém todas apresentam escassez. Já os EUA, apresentam excesso em todas elas. Novamente, o abismo em termos de dotação de habilidades é notável, a aponta para a menor capacitação da mão de obra doméstica. Por fim, vale ressaltar que o gerenciamento de recursos pessoais envolve alto-gerenciamento e flexibilidade, competências estas que vêm sendo ressaltadas como emergentes. Estas habilidades são as que apresentam maior excesso nos EUA, apontando para uma situação futura mais confortável nesse quesito. Já o Brasil, deve desenvolvê-las, dado o elevado patamar de escassez no Brasil, ainda mais quando comparado a uma economia madura como a norte-americana.

Foi ressaltado durante toda a presente pesquisa para a centralidade das TICs para a transformação digital em curso. Foi mostrado como as novas tecnologias são fruto do desenvolvimento e amadurecimento das tecnologias de informação e comunicação com um elevado grau de complexidade e um novo leque gigantesco de aplicações. Ou seja, as TICs têm um papel central na nova morfologia do sistema econômico que promete surgir nos próximos anos. Outra questão pertinente diz respeito a enorme pervasividade dessas

tecnologias em praticamente todas as atividades produtivas e de serviços. Logo, todos os indivíduos precisam desenvolver habilidades e competências na área, sendo vital a introdução desse ensino integrado a essas tecnologias desde a infância.

Gráfico 22 - Escassez ou excesso de habilidades de gerenciamento de recursos (2015)



Fonte: OCDE, classificação O*NET, elaboração própria.

A OCDE disponibiliza alguns indicadores nessa área em relação a percepção dos docentes que podem vislumbrar um pouco dessa questão. Tais dados estão disponíveis unicamente para o ano de 2018 para ambos os países. No que se refere a percepção dos professores em relação a suas competências envolvendo as TICs no aprendizado, 27% relataram um alto nível de necessidade de desenvolvimento profissional em habilidades de TICs. Já nos EUA, esse patamar é bem menor, cerca de 10,2%. Apesar desse indicador mais elevado para o Brasil, olhando para os professores que se sentiram 'bem preparados' ou 'muito bem preparados' para o uso das TICs para o ensino, o país se sair melhor que os EUA, 64,2% e 44,8% respectivamente. Sendo assim, apesar de um maior nível de necessidade de desenvolvimento profissional em habilidades de TICs, o que aponta para um maior gargalo no aprendizado envolvendo essas habilidades no Brasil e conseqüentemente um menor desenvolvimento destas na dotação de competências dos alunos para o mercado de trabalho futuro, um patamar maior de professores se sentiam bem preparados em relação aos EUA. Assim, pode-se deduzir que uma parcela maior daqueles professores que não se sentem bem preparados enxergam a necessidade de desenvolvimento profissional destas habilidades, o que resultaria no percentual maior do primeiro indicador. Portanto, quando analisa-se esses indicadores juntos, o Brasil não parece estar tão atrasado como nos demais quesitos do ensino

discutidos anteriormente. Seguindo essa linha de raciocínio, provavelmente os professores norte-americanos parecem dar menor importância a incorporação destas habilidades, dado o menor nível de professores bem preparados em contraste com o menor percentual desses profissionais que relatam necessidade de desenvolvimento profissional nessa área.

No que se refere ao desenvolvimento de habilidades de TICs durante a qualificação dos professores, os países se encontram bem próximos. 64,4% dos professores no Brasil relatam a inclusão de “uso das TICs para o ensino” em sua educação formal ou treinamento, enquanto nos EUA esse percentual é de 62,7%. Sendo assim, o Brasil encontra-se próximo em termos de capacitação dos professores, o que pode ser um bom sinal ao analisar em conjunto aos indicadores acima. Ou seja, mesmo com um nível de capacitação próximo, os professores brasileiros parecem se preocupar mais com a introdução desse ensino integrado as TICs que nos EUA. Isso pode ser benéfico, dado que, mesmo com patamar mais elevado de professores bem preparados, um percentual maior enxerga a necessidade de desenvolvê-las no Brasil, percepção esta que poderia incentivar uma maior busca por qualificação nesse campo.

Todavia, em relação à disponibilidade de recursos materiais e tecnológicos das TICs para o ensino, a situação é alarmante. Nos EUA, 19,3% dos diretores relatavam escassez ou inadequação de tecnologias digitais para instrução. Enquanto no Brasil, esse patamar é mais que três vezes maior, alcançando 59% dos diretores. Esse gargalo ficou claro recentemente durante a pandemia da Covid-19, na qual uma parcela ínfima dos alunos do ensino público tinha disponível materiais (computadores, internet de qualidade, etc.) para as aulas online. Apesar do maior percentual de professores que se sentem bem qualificados nesse campo no Brasil, estes não têm as condições materiais para colocar em prática o ensino integrado. Aqui, fica claro a distância entre os países em termos de recursos, o que deprime a expressividade do indicador de qualificação dos professores, dado que grande maioria deles não têm tais recursos para o aprendizado dos alunos.

Assim, conclui-se que, apesar do patamar próximo em termos de qualificação dos professores, o Brasil dá um grande passo para trás no que se refere a disponibilidades destas tecnologias para o ensino. Sendo assim, além do grande esforço necessário para alcançar os níveis norte-americanos de imersão das TICs no ensino, também faz-se essencial a contínua expansão da qualificação dos profissionais do ensino, concomitantemente a introdução dos recursos físicos de TICs para que as gerações futuras possam estar mais bem preparadas para a nova economia digital.

Um último indicador abordado é o Índice de Prontidão (ou Preparação) para o Futuro da Produção 2018 (*Readiness for the Future of Production*) produzido pelo Fórum Econômico Mundial. Tal indicador analisa o quão bem preparados os países estão hoje para moldar e se beneficiar da natureza mutável da produção no futuro. A prontidão é geralmente considerada como a capacidade de capitalizar oportunidades futuras de produção, mitigar riscos e desafios e ser resiliente e ágil na resposta a choques futuros desconhecidos. A avaliação é composta de dois componentes principais que se desdobram em oito, sendo eles: Estrutura de Produção (Complexidade e Escala), ou linha de base atual de produção de um país, e Drivers de Produção (Tecnologia e Inovação; Capital Humano; Comércio e Investimento Global; Arranjo Institucional; Recursos Sustentáveis; e Ambiente de Demanda), ou os principais capacitadores que posicionam um país para capitalizar na I4.0 e transformar seus sistemas de produção. A avaliação é composta por 59 indicadores distribuídos entre estes componentes (WEF, 2018).

Os EUA encontravam-se em 7º lugar na Estrutura de Produção, sendo que em relação a Complexidade e Escala ficaram nas posições 8 e 10, respectivamente. Ou seja, possui uma estrutura produtiva com elevada dotação de atividades de alto valor agregado e intensivas em conhecimento, assim como possui uma das maiores capacidades de ampliação da produção e ganhos de escala. Em relação aos Drives de Produção, o país estava em 1º lugar, estando em 1º em Tecnologia e Inovação e Ambiente de Demanda, ou seja, o país que lidera a fronteira tecnológica e tem um elevado acesso a demanda estrangeira e local para escala de produção e uma base sofisticada de consumidores. Além disso, vale ressaltar que, em termos de Capital Humano, o país estava na 3ª posição, apontando para uma grande maturidade em termos de qualificação e competências da mão de obra, além de uma intensa capacidade de longo prazo de cultivar as habilidades e talentos certos na força de trabalho futura.

Já o Brasil, estava na 41ª posição em relação a Estrutura de Produção, sendo o pior resultado em relação a Complexidade (54ª), enquanto em relação a Escala, encontrava-se em 31º. O desempenho nos Drives de Produção é ainda pior, estando em 47º lugar, sendo que o único indicador mais elevado do que os EUA é o de Recursos Sustentáveis. Em relação a Tecnologia e Inovação, o país estava em 45º lugar e o Capital Humano é o que apresenta o pior desempenho, dentre todos os indicadores do índice de preparação. Ademais, o indicador de Arranjo Institucional também apresenta uma péssima performance, ficando em 72º lugar, chamando a atenção para a essencial atualização e coordenação dos entre públicos nacionais.

Além de exemplificar brevemente o abismo entre os países, aponta para a situação preocupante no que se refere a inserção futura na nova onda de transformação digital. Vale ressaltar, por fim, que fica claro o *gap* de qualificação do mercado de trabalho doméstico, sendo o principal quesito que necessita ser desenvolvido, dado seu maior patamar de atraso.

Dessa maneira, esta seção deixa clara a grande distância em termos de estrutura produtiva, tecnologia e de capital humano entre os países que serão analisados. Logo, os resultados da comparação que serão expostos devem sempre ser discutidos a luz destas disparidades que condicionam diretamente a estrutura ocupacional das nações.

2. HABILIDADES E OCUPAÇÕES EMERGENTES: INTENSIFICAÇÃO DAS EXIGÊNCIAS DE QUALIFICAÇÃO

A partir da revisão bibliográfica realizada no capítulo anterior, foi possível elencar algumas das principais características da I4.0 que se coloca como uma nova megatendência capaz de transformar o sistema produtivo, organizacional e comercial em escala global. Com a recente aceleração no desenvolvimento inovativo das novas tecnologias digitais, embrionadas nas décadas de 1970 e 1980 (COUTINHO, 1992), tais artefatos não só apresentam a capacidade de elevar a produtividade e reduzir custos da cadeia produtiva, como também a capacidade de reorganizar a divisão internacional do trabalho, a partir da automação de tarefas anteriormente exclusivas da atividade humana. Além da própria intensificação e ampliação desse processo em atividades que já apresentavam certo grau de automação, se materializando nos sistemas ciber-físicos. Tais sistemas combinam a robótica avançada (AI, ML, impressão 3D, etc.) com a gigantesca captação e armazenamento de dados baseado em sensores, *big data* e *cloud computing*, interligando o mundo real e virtual com uma ampla gama de aplicações, permitindo a completa flexibilização da produção, customização em massa, entre outras características exploradas no capítulo anterior.

Com a extensão da automação para além de tarefas rotineiras e manuais (BRYNJOLFSSON; MCAFEE, 2014; FREY; OSBORNE, 2013; MGI, 2017; ALBUQUERQUE et al, 2019) e uma intrínseca relação com as TICs, programação computacional e habilidades relacionadas a digitalização, a demanda por habilidades no mercado de trabalho, de uma maneira geral, tende a migrar para aquelas relacionadas as atividades exclusivamente humanas que complementem a atuação das máquinas e, obviamente, aquelas relacionadas a nova base operacional da produção baseada em dados, computação e digitalização. Nesse sentido, Aulbur et al (2016) afirmam:

“A mão de obra qualificada terá a oportunidade de participar de uma maior variedade de tarefas e não estará mais associada a apenas um tipo específico de trabalho. Haverá uma redução significativa em trabalhos monótonos e ergonomicamente desafiadores. Os funcionários terão que dividir o espaço com robôs inteligentes. Os sistemas assistenciais apoiarão significativamente o trabalho, mas as decisões finais devem ser feitas por funcionários qualificados. O trabalho em equipe será central, não apenas nos níveis horizontal e vertical, mas também no próprio local de trabalho com esses sistemas assistenciais. A informação e os dados serão os elementos-chave que os colaboradores terão que processar no seu dia-a-dia. A inteligência artificial permitirá a colaboração entre humanos e máquinas. [...]. Novos empregos exigirão que os funcionários façam parte do processo de planejamento e estejam envolvidos nas atividades de melhoria e otimização do processo. Os funcionários seriam obrigados a fazer menos trabalho manual e mais tarefas de controle e supervisão dos processos.” (AULBUR et al, 2016 p. 32 tradução própria)

Essa discussão na literatura acadêmica vem sendo amplamente explorada, a partir de diversas óticas e muitas vezes com resultados e conclusões bem distintas, principalmente

em relação a intensidade da automação. Porém, no que se refere especificamente a discussão a respeito das habilidades e ocupações que tenderão a ser mais e menos demandadas, a literatura parece convergir para insights e conclusões semelhantes ao identificar aquelas que irão seguir um desses caminhos – crescimento da demanda ou maior propensão a automação –, baseado na sua relação com o novo contexto digital da produção.

Diante disso, o capítulo focará em dois estudos realizados pelo Fórum Econômico Mundial (WEF) publicados no ano de 2020 para selecionar as ocupações que serão analisadas na presente pesquisa, sendo eles: *The Future of Jobs Report (2020)* e *Jobs of Tomorrow: Mapping Opportunity in the New Economy (2020a)*. Vale ressaltar que várias das ocupações citadas nesses estudos também são citadas em diversos outros estudos relevante sobre o tema (FREY; OSBORNE, 2013; MGI, 2016; ALBUQUERQUE et al, 2019; ARNTZ et al, 2016; MANYIKA et al, 2017; NEDELKOSKA; QUINTINI, 2018; ILO, 2018; ZHOU et al, 2020; CEBREROS et al, 2020; entre outros), apontando para uma certa convergência em relação a essa discussão em específico. São trabalhos realizados em conjunto no intuito de compreender as transformações futuras do mercado de trabalho, assim como mapear as ocupações e habilidades da nova economia digital em um esforço de pesquisa conjunta com outras instituições e empresas a fim de ampliar e aprimorar o escopo da pesquisa. Considera-se adequada essa focalização devido a já mencionada relativa convergência da literatura na discussão sobre esse ponto específico em meio ao tema da I4.0 e mercado de trabalho, assim como devido ao prestígio e relevância das pesquisas realizadas pela instituição.

No que se refere a metodologia usada pela pesquisa para identificar as ocupações emergentes, trata-se de uma abordagem inovadora e “uma “definição real” das tendências recentes do emprego” (WEF, 2020 p. 7 tradução própria). Tal esforço foi realizado em conjunto com duas empresas que detêm dados exclusivos a respeito das oportunidades de emprego do futuro, LinkedIn⁴⁸ e Burning Glass Technologies⁴⁹. Dessa maneira, foi possível

⁴⁸ LinkedIn é uma empresa fundada em 2003, sendo a maior rede virtual de profissionais do mundo com 756 milhões de usuários em mais de 200 países e territórios em todo o mundo, com o intuito de conectar empregadores e empregados. O LinkedIn conta com um modelo de negócios diversificado, com receita proveniente de assinaturas, vendas de publicidade e de soluções de recrutamento. Em dezembro de 2016, a Microsoft concluiu sua aquisição do LinkedIn, reunindo o maior serviço de nuvem profissional do mundo com a maior rede profissional do mundo (<https://about.linkedin.com/pt-br>).

⁴⁹ Burning Glass Technologies é uma empresa de software analítico fundada em 1999. Fornece dados em tempo real e ferramentas de planejamento inovadoras que informam carreiras, definem programas acadêmicos e moldam a força de trabalho. Oferece análises do mercado de trabalho que capacitam empregadores, trabalhadores e educadores a tomar decisões baseadas em dados, identificando lacunas de habilidades entre empregador e empregado, assim como ferramentas que permitem a ambos os lados preencher essa lacuna e se

criar uma abordagem sem uma excessiva modelagem que normalmente são limitadas e não são capazes de levar em conta certos movimentos do sistema econômico. Porém, também perde o benefício da modelagem dos efeitos potenciais das mudanças na demanda do consumidor, tamanho da população, fluxos de comércio ou uma gama de outros fatores macroeconômicos e demográficos que são normalmente incluídos em modelos de longo prazo.

Assim, tal abordagem é baseada em dados de tendências históricas recentes de oferta de trabalho online, taxa de contratação e a pesquisa *Economic Graph* do LinkedIn⁵⁰, rastreando em tempo quase real as transformações em andamento no mercado de trabalho global (WEF, 2020a). Desta forma, as profissões emergentes discutidas em tal estudo são definidas como aquelas que experimentaram o maior crescimento nos últimos cinco anos, aproximando o número de oportunidades de emprego em diferentes grupos profissionais, refinando duas fontes de dados. Isto posto, os profissionais de dados do LinkedIn identificaram os 20 cargos que apresentaram o maior crescimento nos últimos cinco anos em 20 grandes economias, representando 45% da produção econômica global⁵¹, além de outros 79 cargos com o auxílio da Burning Glass, somando 99 (WEF, 2020a) - a partir desse grupo das 20 principais, selecionou-se alguns dos cargos para a análise do presente trabalho. Além disso, ainda foi realizado um esforço de agregar todos os 99 cargos em “clusters profissionais”, sendo eles: Dados e Inteligência Artificial, Engenharia e Computação em Nuvem, Cultura e Pessoas, Desenvolvimento de Produtos, Vendas e Marketing, Economia do Cuidado e Economia Verde⁵².

conectar com mais facilidade. A tecnologia de inteligência artificial da empresa analisa centenas de milhões de ofertas de emprego e transições de carreira na vida real para fornecer uma visão sobre os padrões do mercado de trabalho (<https://www.burning-glass.com/about>).

⁵⁰ Para mais informações, <https://economicgraph.linkedin.com>.

⁵¹ Cargos que demonstraram crescimento em apenas uma economia específica foram excluídos da análise, resultando em uma lista de 99 funções emergentes, que foram então agregados em grupos profissionais

⁵² De forma inovadora, esses agrupamentos profissionais são definidos de “baixo para cima”, de acordo com os conjuntos de habilidades distintas exigidas para o desempenho dessas funções. Para identificar esses clusters, o LinkedIn usa sua métrica Skills Genome, que calcula as 30 habilidades “mais representativas” entre as 99 funções emergentes, usando o método TF-IDF21 para identificar as habilidades mais populares, mas também as mais exclusivas em cada função. As oportunidades foram então agrupadas de acordo com essa métrica distinta do Genoma de Habilidades. A aplicação desses métodos resultou nos sete grupos ocupacionais empiricamente distintos elencados. Então, vários desses grupos foram, então, reagrupados em famílias profissionais. Isso resulta em cinco grupos profissionais exclusivos que representam 66 das 99 oportunidades originais derivadas dos dados do LinkedIn. Além dos cinco clusters profissionais identificados acima, análises recentes das tendências do mercado de trabalho global e local identificaram um forte crescimento do emprego em dois clusters profissionais: empregos na Economia Verde e empregos na Economia do Cuidado. Conjuntos de dados internacionais comparativos não existem atualmente para esses dois grupos em crescimento. Burning Glass Technologies rastreia o número de vagas postadas em quadros de empregos digitais globalmente e para o relatório do WEF se concentrou em funções localizadas nos Estados Unidos. Portanto, Burning Glass

Dentre estes clusters, os que apresentam as maiores taxas de crescimento são os clusters profissionais de Dados e IA (*e.g.*, cientista de dados), Economia Verde (*e.g.*, Técnicos de geração de gás metano) e Engenharia e Computação em Nuvem (*e.g.*, engenheiro de robótica), com taxas de crescimento anual de 41%, 35% e 34%, respectivamente, entre os anos de 2014 a 2019 (WEF, 2020a). Como pode-se observar, esse movimento de crescimento está fortemente ligado a digitalização e as novas tecnologias que apresentam uma ampla gama de aplicações e que já vêm avançando de maneira mais intensa nos últimos anos. Sendo que a computação em nuvem e *big data* apresentam maior prioridade na sua adoção até 2025, como mostra a pesquisa realizada com diversas empresas pelo Fórum em relação a quais tecnologias serão mais rapidamente adotadas nos próximos anos (WEF, 2020). Vale ressaltar, também, que esta mesma pesquisa mostra que a maior dificuldade dessas empresas na adoção de novas tecnologias está no gap de habilidades no mercado de trabalho, o que reafirma a importância da discussão da presente pesquisa.

A mesma metodologia foi aplicada para habilidades emergentes baseado em uma taxonomia desenvolvida pelo LinkedIn e pelo Banco Mundial – contido em Zhu et al (2018) -, resultando em cinco clusters: Habilidades de Negócios (*e.g.*, marketing e desenvolvimento de negócios), Habilidades Especializadas da Indústria (*e.g.*, documentação em computação em nuvem), Gerais e *Soft Skills*⁵³ (*e.g.*, liderança e criatividade), Habilidades Básicas de Tecnologia (*e.g.*, conhecimento básico de informática) e Habilidades Disruptivas de Tecnologia (*e.g.*, processamento de linguagem natural). Como cada profissão ou grupo de profissões similares apresentam diferentes composições de habilidades exigidas, o estudo ainda mostra a relevância de cada um desses clusters de habilidades em cada um dos clusters de profissões⁵⁴. Dentre as 15 habilidades emergentes até 2025, metade delas estão de alguma

Technologies usou a categorização profissional detalhada do Departamento de Trabalho dos Estados Unidos (O*NET) e o subconjunto de dados de ofertas de emprego que capturam cargos nos Estados Unidos para identificar 15 funções emergentes nessas duas categorias. O cluster profissional da Economia do Cuidado foi definido diretamente em referência a um conjunto de profissões pré-estabelecidas de saúde e apoio ao cuidado. Em contraste, o cluster da Economia Verde ainda carece de alguma definição na taxonomia do mercado de trabalho dos EUA existente. Em resposta, os cientistas de dados da Burning Glass Technologies identificaram as profissões verdes por meio de uma combinação de duas medidas: 1), a categorização O * NET existente de tarefas verdes em combinação com, 2), uma 'pontuação verde' definida dentro das habilidades da Burning Glass Technologies taxonomia. Por meio dessa abordagem, os cientistas de dados da Burning Glass Technologies mapearam 56 ocupações verdes na economia dos EUA que contêm "tarefas verdes" ou exigem "habilidades verdes". Ambos os grupos profissionais foram então reduzidos aos 15 cargos que exibem o maior crescimento. (WEF, 2020a p.7).

⁵³ *Soft skills* é um termo em inglês que vem sendo muito usado na literatura para definir habilidades comportamentais, competências subjetivas difíceis de avaliar, como liderança, criatividade, negociação e soluções de problemas.

⁵⁴ Para calcular um perfil de habilidades detalhado para cada profissão em destaque no futuro, os cientistas de dados do LinkedIn identificaram as habilidades mais distintas para cada profissão, priorizando as habilidades

maneira relacionadas as *soft skills*. Esses resultados evidenciam a relevância das habilidades nas quais o homem ainda detém vantagens comparativas, ligadas a subjetividade humana e sua capacidade de interpretar informações não codificadas. Além disso, vale notar que tais habilidades estão presentes em uma gama extensa de ocupações, justamente por serem empregadas em diversas atividades.

Quadro 1 - Top 15 habilidades para 2025

1	Pensamento analítico e inovativo	9	Resiliência, tolerância a estresse e flexibilidade
2	Aprendizado ativo e estratégias de aprendizado	10	Raciocínio, resolução de problemas e encadeamento de ideias
3	Resolução de problemas complexos	11	Inteligência emocional
4	Análise e pensamento crítico	12	Solução de problemas e experiência do usuário
5	Criatividade, originalidade e iniciativa	13	Orientação em serviços
6	Liderança e influência social	14	Análise e evolução de sistemas
7	Uso, monitoramento e controle de tecnologias	15	Persuasão e negociação
8	Design e programação de tecnologias		

Fonte: Adaptado do *Future of Job Survey 2020*, Fórum Econômico Mundial.

A capacidade de trabalhar com dados e tomar decisões baseadas em dados terá papel central nos empregos do futuro, ao mesmo tempo em que este mesmo movimento torna cada vez mais obsoleto habilidades relacionadas a gerenciamento de recursos e pessoas e outras habilidades técnicas (AULBUR et al, 2016). Isso se da, pois a IA e outras tecnologias digitais passarão a realizar tais tarefas com muito mais rapidez, precisão e, principalmente, escalabilidade (FREY; OSBORNE, 2013) devido à enorme disponibilidade de dados e a capacidade de detectar padrões além da capacidade humana. Ainda, Aulbur et al. (2016) afirma que as três principais habilidades do futuro são: habilidades cognitivas, habilidades de sistemas e habilidade de resolução de problemas, conclusões próximas a do Fórum Econômico Mundial.

Frey e Osborne (2013) trazem uma contribuição e sistematização importante ao discutir o potencial da automação e identificar as atividades nas quais as novas tecnologias ainda não são capazes de performar, as *engineering bottlenecks*, sistematizando-as em três grupos: tarefas de percepção e manipulação, tarefas de inteligência criativa e tarefas de inteligência social. Apesar dos avanços dos sensores e conectores, a máquina ainda não consegue atingir a amplitude da percepção humana. A identificação de um objeto e suas características, por exemplo, em um campo de visão desordenado é uma tarefa muito

mais importantes dentro de um setor por meio de um peso computacional com base na frequência com que uma habilidade aparece em todas as profissões. Este método produziu as 30 competências mais representativas para cada profissão e cluster profissional. Como tal, as entradas para os clusters de empregos Economia do Cuidado e Economia Verde devem ser consideradas como indicativas e preliminares (WEF, 2020a). Caso o leitor deseje mais informações, ao final do estudo consta as 10 habilidades mais demandadas para cada cluster profissional apresentado.

complexa que a máquina não consegue codificar e interpretar, assim como a manipulação de objetos irregulares que dificulta a precisão da máquina, sendo o homem mais apto para tal e ainda pode fornecer feedbacks táteis úteis a respeito do produto (FREY; OSBORNE, 2013).

Os processos psicológicos subjacentes à criatividade humana são difíceis de especificar e codificar. Apesar dos avanços recentes – softwares que criam músicas e desenhos artísticos, por exemplo – Frey e Osborne chamam a atenção para a questão da “validação” da criatividade, ou seja, a maior dificuldade está na forma como embutimos nossos valores criativos de maneira suficientemente clara e delimitada para que possam ser codificados. Dessa maneira, mesmo que sejamos capazes de identificar e codificar tais valores criativos, permitindo que a máquina informe e monitore suas próprias atividades em consonância a esses valores, ainda existiria desacordo sobre se a máquina está sendo criativa ou não (FREY; OSBORNE, 2013), assim valorizando aquelas ocupações que exigem um elevado grau de inteligência criativa.

Já em relação a inteligência social, apesar dos avanços recentes na reprodução de certas interações sociais que abrangem uma grande gama de atividades relacionadas a negociação, cuidado pessoal e percepção social, o reconhecimento em tempo real da emoção e subjetividade humana ainda é um enorme desafio para os algoritmos, assim como a capacidade de responder de maneira inteligente após o reconhecimento.

Assim, os autores concluem:

“Nas próximas décadas, a extensão da informatização será determinada pelo ritmo no qual os gargalos de engenharia descritos acima para a automação podem ser superados. Visto por essa perspectiva, nossos achados podem ser interpretados como duas ondas de informatização, separadas por um “patamar tecnológico”. Na primeira onda, descobrimos que a maioria dos trabalhadores nas ocupações de transporte e logística, junto com a maior parte dos trabalhadores de escritório e de apoio administrativo, e a mão-de-obra nas ocupações de produção, provavelmente serão substituídos por capital computacional. [...] A informatização das ocupações de produção simplesmente sugere a continuação de uma tendência que tem sido observada nas últimas décadas, com robôs industriais assumindo as tarefas rotineiras da maioria dos operadores de manufatura. Conforme os robôs industriais estão se tornando mais avançados, com sentidos e destreza aprimorados, eles serão capazes de realizar um escopo mais amplo de tarefas manuais não rotineiras. Do ponto de vista das capacidades tecnológicas, é provável que o vasto restante do emprego nas ocupações de produção diminua nas próximas décadas. Mais surpreendente, à primeira vista, é que uma parte substancial do emprego nas ocupações de serviços, vendas e construção exibe altas probabilidades de informatização.” (FREY; OSBORNE 2013 p. 41).

Portanto, pode-se pensar que esse cenário pode se intensificar a partir de inovações incrementais que ampliem as capacidades e melhorem as propriedades da tecnologia, permitindo sucessivamente uma maior intensidade de automatização do trabalho.

Este movimento pode, por exemplo, ser resultado da habilidade da máquina de realizar tarefas de percepção e manipulação em um futuro não tão distante, a partir destas sucessivas melhorias incrementais. Por fim, afirmam que ocupações na área da educação, saúde e cargos de chefia (*e.g.*, executivos), por exemplo, que envolvem um elevado grau de inteligência social – organizam e participam de reuniões para coordenar as atividades, negociação com clientes, aprovação de contratos, etc. -, assim como ocupações com elevado grau de inteligência criativa como aquelas relacionadas a engenharia e ciência, devem ser valorizadas devido às vantagens da atividade humana nessas áreas que as novas tecnologias ainda não são capazes de realizar.

Grundke et al. (2018) vão na mesma direção desses resultados ao analisarem o retorno a certas habilidades em setores mais e menos intensivos digitalmente. Apontam que todos os conjuntos de habilidades analisados – habilidades de TICs (*ICT skills*); prontidão para aprender e solução criativa de problemas; gerenciamento e comunicação; auto-organização; contabilidade e vendas; habilidades matemáticas avançadas (*advanced numeracy*)⁵⁵ – são mais recompensados nos setores mais intensivos digitalmente, o que aponta para a valorização das ocupações desses setores, como engenheiros da computação e de robótica, desenvolvedores de softwares, entre outros. Além disso, apesar de todas exibirem maiores retornos nos setores digitalmente intensivos, as habilidades de matemática avançada, auto-organização e de TICs se destacam.

⁵⁵ Cada um desses “conjuntos” formulados pelos autores é baseado em um estudo anterior, Grundke et al. (2017a), e na Survey of Adult Skills (PIAAC) da OCDE, dessa maneira cada um dos conjuntos são formados por algumas habilidades da PIAAC.

Figura 4 – Potencial de automação das 18 capacidades analisadas no estudo do Instituto McKinsey

	Automation capability	Capability level ¹	Description (ability to ...)
Sensory perception	Sensory perception	Yellow	Autonomously infer and integrate complex external perception using sensors
Cognitive capabilities	Recognizing known patterns/categories (supervised learning)	Green	Recognize simple/complex known patterns and categories other than sensory perception
	Generating novel patterns/categories	Red	Create and recognize new patterns/categories (e.g., hypothesized categories)
	Logical reasoning/ problem solving	Red	Solve problems in an organized way using contextual information and increasingly complex input variables other than optimization and planning
	Optimization and planning	Green	Optimize and plan for objective outcomes across various constraints
	Creativity	Red	Create diverse and novel ideas, or novel combinations of ideas
	Information retrieval	Green	Search and retrieve information from a large scale of sources (breadth, depth, and degree of integration)
	Coordination with multiple agents	Red	Interact with others, including humans, to coordinate group activity
	Output articulation/ presentation	Yellow	Deliver outputs/visualizations across a variety of mediums other than natural language
Natural language processing	Natural language generation	Yellow	Deliver messages in natural language, including nuanced human interaction and some quasi language (e.g., gestures)
	Natural language understanding	Red	Comprehend language, including nuanced human interaction
Social and emotional capabilities	Social and emotional sensing	Red	Identify social and emotional state
	Social and emotional reasoning	Red	Accurately draw conclusions about social and emotional state, and determine appropriate response/action
	Social and emotional output	Red	Produce emotionally appropriate output (e.g., speech, body language)
Physical capabilities	Fine motor skills/dexterity	Yellow	Manipulate objects with dexterity and sensitivity
	Gross motor skills	Green	Move objects with multidimensional motor skills
	Navigation	Green	Autonomously navigate in various environments
	Mobility	Red	Move within and across various environments and terrain

Fonte: Instituto McKinsey (2016).

A figura acima elaborada pelo Instituto McKinsey em seu estudo, *A Future the Works: Automation, Employment and Productivity* (2017), ajuda a sintetizar esta questão ao mostrar o potencial de automação de 18 capacidades analisadas na pesquisa, assim como suas descrições. Por ela, é possível observar o que vem sendo discutido até aqui de maneira esquemática. As habilidades que envolvem capacidades sociais e emocionais têm baixo potencial de automação, justamente devido à dificuldade de se codificar tais conhecimentos. Assim como, aponta para o elevado potencial de automação de algumas das habilidades cognitivas, discutidas no capítulo anterior.

Esta breve discussão apoia e torna mais sólida a escolha das ocupações que serão listadas na seção seguinte que abordará a metodologia e que serão analisadas no percurso da presente pesquisa, justamente por lançar luz sobre aquelas habilidades e capacidades emergentes diante da transformação tecnológica em curso. Assim como, também, algumas destas ocupações possuem ligações diretas com o contexto digital dessa transformação e que vêm apresentando forte crescimento. De maneira complementar, também serão analisadas algumas das ocupações com maior risco de automação para que, também, seja possível avaliar a evolução destas e enriquecer a proposta do estudo.

2.1 Metodologia

Esta subseção apresentará a metodologia utilizada na pesquisa, abordando inicialmente as fontes de dados, depois apresentando as ocupações que serão analisadas e o tratamento metodológico empregado para vincular as fontes literárias as bases informacionais.

Adiante, em uma subseção própria, será abordado o núcleo da presente metodologia em que apresentará os passos da compatibilização entre as diferentes classificações ocupacionais nacionais que são utilizadas nas fontes de dados. Além disso, será realizado um esforço de apresentar algumas das limitações dessa metodologia para compreender todos os seus aspectos.

2.1.1 Dados

Nossa fonte de dados consiste, fundamentalmente, em duas bases de dados sobre emprego dos dois países aqui analisados, Brasil e EUA. Antes de apresentar as fontes e suas respectivas classificações, apresentaremos a *International Standard Classification of Occupations* (ISCO) que abrange o processo de harmonização que será discutido adiante e, principalmente, é utilizada como base para a construção de classificações ocupacionais nacionais.

A ISCO é uma das principais classificações internacionais pelas quais a Organização Internacional do Trabalho é responsável. Pertence à família internacional de classificações econômicas e sociais. ISCO é uma ferramenta para organizar profissões em

um conjunto claramente definido de grupos de acordo com as tarefas e deveres realizados no trabalho. Seus principais objetivos são fornecer: i) uma base para o relato internacional, comparação e intercâmbio de dados estatísticos e administrativos sobre ocupações; ii) um modelo para o desenvolvimento de classificações nacionais e regionais de ocupações; e iii) um sistema que pode ser usado diretamente em países que não desenvolveram suas próprias classificações nacionais.

A primeira versão da ISCO foi adotada em 1957 pela Nona Conferência Internacional de Estatísticos do Trabalho (ICLS). É conhecida como ISCO-58. Esta versão foi substituída pela ISCO-68, adotada pela Décima Primeira ICLS em 1966. A terceira versão, ISCO-88, foi adotada pela Décima Quarta ICLS em 1987. Muitas classificações ocupacionais nacionais atuais são baseadas em uma dessas três versões da ISCO.

A ISCO foi recentemente atualizada para levar em consideração os desenvolvimentos no mundo do trabalho desde 1988 e para fazer melhorias, à luz das experiências adquiridas no uso da ISCO-88. A atualização não mudou os princípios básicos e a estrutura superior da ISCO-88, mas mudanças estruturais significativas foram feitas em algumas áreas. A classificação atualizada foi adotada em dezembro de 2007 e é conhecida como ISCO-08. Muitos países estão atualizando sua classificação nacional com base na ISCO-08 ou para melhorar o alinhamento com o novo padrão estatístico internacional⁵⁶.

Voltando as bases de dados, são elas: i) Relação Anual de Informações Sociais (RAIS) do Ministério do Trabalho brasileiro, e ii) *Occupational Employment and Wage Statistics* (OEWS).

A RAIS tem como objetivo disponibilizar informações a entidades governamentais, estudos acadêmicos e consultorias com o intuito de ser suporte para formulação de políticas públicas governamentais no mercado de trabalho. A RAIS cobre cerca de 97% dos trabalhadores formais do Brasil desde 1986, contendo diversos dados, como idade, renda, nível educacional, Classificação Brasileira de Ocupações (CBO) e identificação, bem como a Classificação Nacional de Atividades Econômicas (CNAE) das empresas, além de outros dados regionais. Assim como o Cadastro Geral de Empregados e Desempregados, a RAIS também é financiada pelo Fundo de Amparo ao Trabalhador⁵⁷.

⁵⁶ <https://www.ilo.org/public/english/bureau/stat/isco/isco08/index.htm>

⁵⁷ <http://pdet.mte.gov.br/o-que-e-rais>

O programa de Estatísticas de Emprego e Salário Ocupacionais (OEWS) realiza uma pesquisa semestral destinada a produzir estimativas de emprego e salários para ocupações específicas dos EUA. O programa OEWS coleta dados sobre trabalhadores assalariados em estabelecimentos não agrícolas a fim de produzir estimativas de empregos e salários para cerca de 800 ocupações. Os dados dos trabalhadores independentes não são recolhidos e não estão incluídos nas estimativas. O programa OEWS produz essas estimativas ocupacionais para a nação como um todo, por estado, por área metropolitana ou não metropolitana e por indústria ou propriedade. O *Bureau of Labor Statistics* (BLS) produz estimativas de empregos ocupacionais e salários para aproximadamente 415 classificações da indústria em nível nacional. A pesquisa OEWS é um programa cooperativo federal-estadual entre o BLS e as agências estaduais de força de trabalho (SWAs). O BLS fornece os procedimentos e suporte técnico, extrai a amostra e produz os materiais de pesquisa, enquanto os SWAs coletam os dados. SWAs de todos os cinquenta estados, mais o Distrito de Columbia, Porto Rico, Guam e as Ilhas Virgens participam da pesquisa. As estimativas de taxas de emprego ocupacional e salários em nível nacional são produzidas pelo BLS usando dados dos cinquenta estados e do Distrito de Columbia. Os empregadores que respondem às solicitações dos estados para participar da pesquisa OEWS tornam essas estimativas possíveis. Em 1999, a pesquisa OEWS começou a usar o sistema de Classificação Ocupacional Padrão (SOC) do *Office of Management and Budget*. As estimativas do OEWS de maio de 2010 marcaram o primeiro conjunto de estimativas com base, em parte, nos dados coletados para o sistema da SOC de 2010⁵⁸.

Uma ressalva aqui é importante. Os EUA possuem outra fonte de dados de mercado de trabalho chamada O*NET com um maior nível de detalhe. Todavia, apesar do grande nível de detalhamento dos meta dados, de habilidades, nível educacional, etc. (dados descritivos das características ocupacionais), a O*NET não fornece estimativas para o emprego⁵⁹. Por essa razão, será utilizado a OWES, e não a O*NET, como fonte dos dados da presente pesquisa.

⁵⁸ https://www.bls.gov/oes/oes_emp.htm

⁵⁹ https://www.bls.gov/opub/mlr/2021/article/mapping-employment-projections-and-onet-data.htm#BLStable_2021_8_16_8_10

Quadro 2 - Síntese das bases de dados utilizadas

País	Base de dados	Classificação Ocupacional	Breve definição
Brasil	RAIS	CBO	Principal fonte de dados de emprego do país, contendo uma gama diversa de informações de emprego, renda, idade, etc. e está em constante atualização
EUA	OWES	SOC	Produz estimativas de emprego e salário a partir de uma pesquisa semestral, cobrindo mais de 800 ocupações e todos os estados do país

Fonte: Elaboração própria.

O quadro acima esquematiza algumas informações das bases de dados que serão utilizadas no presente estudo, afim de sintetizar e facilitar a leitura dessas informações que são o ponto de partida da metodologia aplicada.

2.1.2 Ocupações selecionadas e passos metodológicos iniciais

Como já mencionado anteriormente, o objetivo principal da presente pesquisa é realizar uma análise crítica sobre a evolução da estrutura ocupacional brasileira, a partir da análise do comportamento de algumas ocupações emergentes diante do contexto da I4.0. Além de, também, analisar algumas das ocupações com maior tendência de automação como forma de enriquecer a discussão, afim de verificar se o país vem seguindo a tendência internacional de transformação do mundo do trabalho. Para alcançar tal objetivo, será realizada uma análise comparativa com um dos países mais desenvolvidos e que se encontra na fronteira tecnológica, os Estados Unidos da América.

Para que a análise e a compatibilização das diferentes classificações ocupacionais, que será detalhado adiante, fossem mais robustas, a unidade de análise escolhido foi a mais desagregada possível no âmbito da pesquisa, ou seja, nível de desagregação a 4-dígitos da CBO e da ISCO e a 6-dígitos (que corresponde ao quarto dígito da demais bases) da OWES.

No que se refere ao período de análise, foi selecionado o período de uma década, 2009 a 2019. Tal periodização se justifica devido ao recente surgimento do advento da I4.0

com maior proeminência e da sua rápida difusão nos últimos anos. Assim, foi priorizado um período maior, ao invés de, por exemplo, cinco anos, para que melhor fosse observado esse movimento a um prazo mais longo e que refletisse a realidade enfrentada por esses países, sendo que tais movimentos de transformação da estrutura ocupacional podem ser lentos.

Para a seleção do país, parte-se inicialmente da ideia de escolher aquele que estivesse na liderança da fronteira tecnológica e que vem apresentando grandes esforços rumo ao desenvolvimento e aplicação das novas tecnologias digitais. Dessa maneira, seria possível avaliar a tendência da evolução das estruturas ocupacionais de países líderes nesse movimento, sendo uma boa comparação para avaliar se o Brasil vem seguindo tal tendência internacional dos países desenvolvidos.

Em seguida, o segundo critério foi a disponibilidade dos dados necessários para a análise, tanto referente ao período de análise, como referente ao nível de desagregação a 4-dígitos. Por exemplo, a Coreia do Sul seria uma interessante unidade de comparação, já que o país se tornou uma nação desenvolvida e com intensa produção de alta valor agregado e conteúdo tecnológico, sendo uma das referências internacionais em inovação e um caso de grande sucesso em relação ao processo de *catching-up* tecnológico. Entretanto, havia a disponibilidade de dados apenas até 3-dígitos, um nível maior de agregação, sendo assim, não seria viável para o propósito da presente pesquisa.

Assim, após esse processo de seleção, a escolha foi os EUA. Considera-se adequada a escolha desse país, justamente por estar entre os países mais desenvolvidos, sua produção com alto nível de intensidade tecnológica, possuir alguns dos principais centros de P&D do planeta, sendo um dos grandes centros dinâmicos do capitalismo moderno.

Já em relação as ocupações, como esclarecido na seção anterior, foram selecionadas a partir dos recentes estudos do WEF a respeito do futuro do trabalho. Assim, dos 20 cargos mais emergentes, foram selecionados 13 deixando de fora aqueles que não apresentavam uma boa correspondência com a SOC ou eram novos demais para estarem presentes nas classificações ocupacionais dos países, em especial da SOC (esses aspectos serão detalhados adiante), como, por exemplo, engenheiros de FinTech. Já em relação as ocupações com elevada tendência de automação, foram selecionadas as 7 entre as maiores tendência. Sendo elas:

Quadro 3 - Cargos selecionados para análise a partir dos estudos do WEF (2020, 2020a)

Ocupações emergentes	Ocupações com maior tendência de automação
AI and Machine Learning Specialists	Data Entry Clerks
Digital Marketing and Strategy Specialists	Administrative and Executive Secretaries
Business Development Professionals	Accounting, Bookkeeping and Payroll Clerks
Information Security Analysts	Accountants and Auditors
Software and Applications Developers	Assembly and Factory Workers
Project Manager	Client Information and Customer Service Workers
Process Automation Specialists	General and Operational Managers
Database and Network Professionals	
Robotics Engineers	
Strategic Advisors	
Management and Organization Analysts	
Mechanics and Machinery Repaires	
Risk Management Specialists	
Tradução	
Especialistas em Aprendizado de Máquinas e IA	Escriturários de Entrada de Dados
Especialistas em Estratégias e Marketing Digital	Secretários Administrativos e Executivos
Profissionais de Desenvolvimento de Negócios	Escriturários de Contabilidade e Folha de pagamentos
Analistas de Segurança da Informação	Audidores e Contadores
Desenvolvedores de Aplicações e Softwares	Trabalhadores de fábricas e montadores
Gerentes de Projeto	Trabalhadores de Informação e Atendimento ao Cliente
Especialistas em Automação de Processos	Gerentes Gerais e Operacionais
Profissionais de Rede e Base de Dados	
Engenheiros de Robótica	
Conselheiros de Estratégias	
Analistas Gerenciais e Organizacionais	
Reparados de Máquinas e Maquinários	
Especialistas em Gestão de Riscos	

Fonte: Elaboração própria a partir dos estudos do WEF (2020, 2020a).

Em seguida, como estas ocupações relatadas acima não são expostas nas pesquisas do WEF com a nomenclatura exata em que consta na SOC, apesar de ser uma das fontes de dados dos estudos, foi preciso realizar um esforço de compatibilizá-las com ocupações da SOC. Dessa maneira, foi utilizado o procedimento empregado na tese de doutorado de Aguinaldo Maciente (2013) realizado pelo *College of the University of Illinois at Urbana-Champaign*, um dos estudos de referência no tema do mercado de trabalho.

Esse procedimento consiste em utilizar a lista de títulos alternativos (*lay titles*) construída pela própria SOC, na qual consta, como o nome já diz, nomenclaturas alternativas relacionadas pelos trabalhadores ou nomenclaturas usualmente utilizadas, referente a

nomenclatura oficial utilizada na SOC⁶⁰. Assim, foi realizado um esforço de achar a melhor correspondência entre a nomenclatura utilizada nas pesquisas do WEF e um dos títulos alternativos a 8-dígitos (a nível de ocupação). Assim, chegou-se a um novo conjunto de ocupações, dessa vez, referentes a classificação das ocupações utilizadas na SOC. Em alguns casos, foram selecionados mais de uma ocupação para o mesmo cargo relatado nos estudos do WEF afim de ampliar o escopo da análise e para que representasse melhor tais cargos. Como, por exemplo, no caso do *software and application developers*, no qual, ao selecionar apenas *software developers*, acabaria deixando de fora todo o escopo do cargo relatado, no caso *application developers*. Sendo assim, foi realizada uma tentativa de selecionar duas para que melhor refletisse o cargo. Por fim, foram priorizadas as correspondências com ocupações que não fossem muito específicas, por exemplo, no caso de especialistas em processos de automação (*process automation specialist*), diversos engenheiros tinham títulos alternativos dessa natureza, assim, escolheu-se aquelas que seriam uma correspondência mais crível e que pudesse representar melhor o cargo relatado. Esse processo inicial de compatibilização foi realizado com a versão mais atualizada da SOC (SOC 2019) para que a evolução do mercado de trabalho recente, mediante os efeitos da introdução de novas tecnologias via transformação das exigências de habilidades, pudesse ser refletida na seleção das ocupações.

Dessa maneira, chegou-se a um novo número de ocupação para a análise. De um total de 20 cargos, resultando em um novo total de 22 ocupação da SOC, sendo 15 ocupações classificadas como emergentes das 13 relatadas no estudo do WEF e com 7 ocupações com elevada tendência de automação frente as novas tecnologias digitais.

Assim, após tal procedimento, chegou-se as seguintes correspondências:

⁶⁰ As classificações ocupacionais realizam um esforço de categorizar os diversos postos de trabalho em uma única nomenclatura oficial. Entretanto, uma mesma ocupação pode ser chamada de diversos modos diferentes, além de haver uma grande dificuldade de criar uma classificação que represente exatamente a realidade devido à grande variedade de atividades existentes, sendo necessário agrupar alguns cargos em apenas uma ocupação nestas classificações. Assim, esses títulos alternativos são uma forma de tentar aproximar ainda mais a realidade das classificações ocupacionais.

Quadro 4 - Correspondência entre os cargos relatados nos estudos do WEF (2020, 2020a) e ocupações da SOC

Ocupações com tendência de crescimento		
Ocupações relatadas na bibliografia	Ocupações correspondentes na O*NET	Código
AI and Machine Learnign Specialist	Computer and Information Research Scientists	15-1221.00
Digital Marketing and Strategy Specialist	Search Marketing Strategists	13-1161.01
Process Automation Specialist	Computer Systems Engineers/Architects	15-1299.08
Business Development Specialist	Chief Executives	11-1011.00
Information Security Analysts	Information Security Analysts	15-1212.00
Software and Aplication Developers	Software Developers	15-1252.00
	Web Developers	15-1254.00
Project Managers	Project Management Specialists	13-1082.00
Database and Network Professionals	Database Architects	15-1243.00
	Computer Programmers	15-1251.00
Robotics Engineers	Robotics Engineers	17-2199.08
Strategic Advisors	Business Intelligence Analysts	15-2051.01
Management and Organizational Analysts	Management Analysts	13-1111.00
Mechanics and Machinery Repairers	Electrical and Electronics Repairers, Commercial and Industrial Equipment	49-2094.00
Risk Management Specialist	Financial Risk Specialists	13-2054.00
Ocupações com forte tendência de automação		
Data Entry Clerks	Data Entry Keyers	43-9021.00
Administrative and Executive Secretaries	Executive Secretaries and Executive Administrative Assistants	43-6011.00
Accounting, Bookkeeping and Payroll Clerks	Bookkeeping, Accounting, and Auditing Clerks	43-3031.00
Accountants and Auditors	Accountants and Auditors	13-2011.00
Assembly and Factory Workers	Engine and Other Machine Assemblers	51-2031.00
Client Informationa and Customer Services Workers	Customer Service Representatives	43-4051.00
General and Operational Managers	General and Operations Managers	11-1021.00

Fonte: Elaboração própria a partir dos estudos do WEF (2020, 2020a) e da O*NET.

2.1.3 Compatibilização das classificações ocupacionais

Após esses primeiros passos metodológicos para a seleção do grupo de ocupação que será analisado, o próximo passo é a compatibilização entre as diferentes classificações ocupacionais dos países focos da presente pesquisa.

As classificações ocupacionais são taxonomias criadas por cada país para refletir a estrutura ocupacional nacional. Assim, as unidades ocupacionais são, na maioria dos casos, o nível mais desagregado das classificações que representam efetivamente os postos de trabalho domésticos (6-dígitos, 8-dígitos, etc.). Essas unidades são agregadas em grupos de base (4-dígitos), subgrupos (3-dígitos), subgrupos principais (2-dígitos) e grandes grupos (1-dígito) (*major groups, sub major groups e minor groups*)⁶¹. Tal agregação é realizada com base na similaridade entre as atividades e habilidades necessárias para realizar cada uma das

⁶¹ Não necessariamente o agrupamento tem essa nomenclatura, justamente por que cada país constrói a sua, porém, essa é uma estrutura geralmente utilizada para representar a agregação dos dados

ocupações. Além disso, a ISCO, na grande maioria dos casos, é utilizada como ponto de partida para a construção das classificações nacionais.

Como cada uma delas é construída para representar a realidade das ocupações de cada país, tendo cada uma delas uma nomenclatura específica, não é possível comparar os dados de diferentes países de maneira direta com base apenas na nomenclatura das ocupações. Em vista disso, é necessário realizar um processo de compatibilização entre as classificações dos países selecionados, sendo o principal meio utilizado para que seja possível uma análise comparativa crítica de dados dessa natureza e presente, por exemplo, em pesquisas como Maciente (2013) e Georgieff e Milanez (2021).

Este processo de compatibilização é realizado da seguinte forma. Nos manuais de cada classificação, existem breves descrições das atividades e atribuições de cada ocupação. Assim, para ver qual ocupação de uma classificação corresponde a esta ocupação em outra classificação, foram comparadas estas descrições para avaliar qual delas se encaixa melhor. Esse procedimento permite que a comparação seja mais robusta do que meramente traduzir a nomenclatura, pois desse modo dirigiu-se o olhar para as competências que cabem a cada ocupação, procurando a ocupação com atribuições similares nas demais classificações.

Como meio de harmonização desse procedimento, foi realizada, primeiramente, a compatibilização entre a SOC e a ISCO para, posteriormente, compatibilizar com a CBO. Essa harmonização é possível, pois a ISCO é uma classificação internacional e é usada como base para a construção da maioria das classificações ocupacionais dos países.

Após a compatibilização, como a OWES utiliza a SOC só até o sexto dígito, sendo as ocupações acima a 8-dígitos, foi necessário subir um nível de agregação para que a análise fosse possível, a partir dos dados disponíveis. Assim, verificou-se em qual grupo de base (6-dígito, no caso da SOC e 4-dígitos nas demais) as ocupações eram agregadas para selecionar esses grupos.

Quadro 5 - Compatibilização entre as Classificações

OWES/SOC		ISCO		CBO Famílias	
Código	Nome	Código	Nome	Código	Nome
15-1221	Computer and Information Research Scientists	2523	Computer Network Professionals	2031	Pesquisadores das Ciências Naturais e Exatas
15-1245	Database Administrators and Architects	2521	Database Designers and Administrators	3171	Técnicos de Desenvolvimento de Sistemas e Aplicações
15-1257	Web Developers and Digital Interface Designers	2513	Web and Multimedia Developers		
15-1251	Computer Programmers	2514	Applications Programmers		
15-1299	Computer Occupations, All Other	2522	Systems Administrators	2123	Administradores de Tecnologia da Informação
15-1212	Information Security Analysts	2529	Database and Network Professionals Not Elsewhere Classified		
13-1161	Market Research Analysts and Marketing Specialists	2431	Advertising and Marketing Professionals	2531	Profissionais de Relações Públicas, Publicidade, Mercado e Negócios
15-2098	Data Scientists and Mathematical Science Occupations, All Other	2412	Financial and Investment Advisers		
13-1198	Project Management Specialists and Business Operations Specialists, All Other	1213	Policy and Planning Managers	2521	Administradores
11-1011	Chief Executives	1120	Managing Directors and Chief Executives	1210	Diretores Gerais
15-1256	Software Developers and Software Quality Assurance Analysts and Testers	2512	Software Developers	2122	Engenheiros em Computação
17-2199	Engineers, All Other	2152	Electronics Engineers	2021	Engenheiros Mecatrônicos
13-1111	Management Analysts	2421	Management and Organization Analysts	3911	Técnicos de Planejamento e Controle de Produção
49-2094	Electrical and Electronics Repairers, Commercial and Industrial Equipment	7412	Electrical Mechanics and Fitters	3131	Técnicos em Eletricidade e Eletrotécnica
				3132	Técnicos em Eletrônica
13-2098	Financial and Investment Analysts, Financial Risk Specialists, and Financial Specialists, All Other	2413	Financial Analysts	1421	Gerentes Administrativos, Financeiros, de Risco e Afins
11-3010	Administrative Services and Facilities Managers	1219	Business Services and Administration Managers Not Elsewhere Classified		
43-9021	Data Entry Keyers	4132	Data Entry Clerks	4121	Operadores de Equipamentos de Entrada e Transmissão de Dados
43-6011	Executive Secretaries and Executive Administrative Assistants	3343	Administrative and Executive Secretaries	2523	Secretárias Executivas e Bilingues
43-3031	Bookkeeping, Accounting, and Auditing Clerks	4311	Accounting and Bookkeeping Clerks	4131	Auxiliares de Contabilidade
13-2011	Accountants and Auditors	2411	Accountants	2522	Contadores e Afins
51-2031	Engine and Other Machine Assemblers	8211	Mechanical Machinery Assemblers	7250	Ajustadores Mecânicos Polivalentes
				7251	Montadores de Máquinas, Aparelhos e Acessórios em Linha de Montagem
				7252	Montadores de Máquinas Industriais
				7253	Montadores de Máquinas Pesadas e Equipamentos Agrícolas
				7254	Mecânicos Montadores de Motores e Turboalimentadores
				7255	Montadores de Veículos Automotores (Linha de Montagem)
				7256	Montadores de Sistemas e Estruturas de Aeronaves
43-4051	Customer Service Representatives	4222	Contact Centre Information Clerks	4221	Receptionistas
11-1021	General and Operations Managers	1324	Supply, Distribution and Related Managers	1412	Gerentes de Produção e Operações em Empresas da Indústria Extrativa, da Transformação e de Serviços de Utilidade Pública

Fonte: RAIS, ISCO e OWES, elaboração própria.

Como a SOC é constantemente atualizada, também foi necessário compatibilizar a SOC 2019 com a estrutura híbrida usada nas estimativas de 2019 e com a SOC 2000. As estimativas da OWES de 2019 são baseadas em uma estrutura híbrida baseada na SOC 2018 e as estimativas de 2009 são baseadas na SOC 2000, sendo assim, foi necessário ver a correspondências dos grupos de 2019 com os grupos dessas classificações. A própria O*NET fornece essas compatibilizações (<https://www.onetcenter.org/taxonomy.html>), assim como o US BLS fornece a compatibilização da estrutura híbrida com a SOC 2018 e a SOC 2010 (https://www.bls.gov/oes/soc_2018.htm). Assim, foi realizada essa compatibilização a 8-dígitos entre a SOC 2019 e a SOC 2018, em seguida, subiu-se o nível de agregação para os grupos de base e posteriormente a própria compatibilização dos grupos de base da estrutura híbrida e da SOC 2000. Dessa maneira, chegou-se aos grupos expostos no quadro 6.

Apesar do nível ocupacional mais detalhado ser o mais apropriado para a presente análise, pois representaria melhor o movimento de ocupações específicas, a limitação da disponibilidade de dados não nos permite realizar tal análise a esse nível, sendo necessário subir um nível de agregação. Todavia, apesar de tais grupos agregaram algumas ocupações, o nível de desagregação utilizado aqui ainda é uma boa representação das ocupações, pois é o segundo nível mais desagregado possível e englobam ocupações específicas e com alto correlacionamento de atividades e habilidades.

Além dessa, existem outras limitações referentes a presente metodologia. Como já mencionado, cada classificação possui um nível de detalhamento. Isso pode complicar o processo de compatibilização entre uma classificação com maior grau de detalhamento com outra com menor grau. Um exemplo pode clarear esse ponto. Durante a construção de presente metodologia, foi realizado a tentativa de compatibilizar a classificação utilizada no Reino Unido. Entretanto, comparado as demais classificações utilizadas, as ocupações relacionadas as TICs do Reino Unido têm um nível menor de detalhamento em termos do número de diferentes ocupações desse grupo. Isso fez com que diversas ocupações distintas selecionadas dessa área para a análise correspondessem a uma mesma ocupação na classificação do Reino Unido, o que poderia comprometer a análise. Ou seja, o nível de detalhamento é uma limitação, porém não impeditiva, desse procedimento.

Outra limitação se refere as diferentes atividades realizadas em uma mesma ocupação em países distintos. Ou seja, um gerente de operações, por exemplo, pode realizar um conjunto de atividades no Brasil, porém realizar outras atividades quando olhamos para os EUA. Isso ocorre, pois, cada classificação reflete as especificidades do mercado de trabalho e da

organização da estrutura produtiva de cada país. Isso reforça ainda mais a importância da metodologia aqui adotada, justamente por partir das descrições das atribuições de cada ocupação para compatibilização na tentativa de contornar tal limitação.

A partir da metodologia apresentada neste capítulo, será possível, não só analisar a evolução dessas ocupações no âmbito nacional, como, também, realizar uma análise comparativa crítica com um país na fronteira tecnológica. Assim, será possível avaliar se o Brasil vem seguindo, ou não, as tendências internacionais de transformação da estrutura ocupacional no contexto do recente desenvolvimento das tecnologias digitais e, principalmente, dimensionar a distância que o país se encontra da fronteira tecnológica e produtiva.

Quadro 6 - Correspondência entre SOC 2019, SOC 2018, estrutura híbrida e SOC 2000

SOC 2019 8-dígitos		SOC 2018 6-dígitos		Classificação OWES híbrida		SOC 2000 6-dígitos	
Código	Nome	Código	Nome	Código	Nome	Código	Nome
15-1221.00	Computer and Information Research Scientists	15-1221	Computer and Information Research Scientists	15-1221	Computer and Information Research Scientists	15-1011	Computer and Information Scientists, Research
15-1243.00	Database Architects	15-1243	Database Architects	15-1245	Database Administrators and Architects	15-1061	Database Administrators
15-1254.00	Web Developers	15-1254	Web Developers	15-1257	Web Developers and Digital Interface Designers	15-1099	Computer Specialists, All Other
15-1299.08	Computer Systems Engineers/Architects	15-1299	Computer Occupations, All Other	15-1299	Computer Occupations, All Other		
13-1161.01	Search Marketing Strategists	13-1161	Market Research Analysts and Marketing Specialists	13-1161	Market Research Analysts and Marketing Specialists	19-3021	Market Research Analysts
15-2051.01	Business Intelligence Analysts	15-2051	Data Scientists	15-2098	Data Scientists and Mathematical Science Occupations, All Other	15-2099	Mathematical Scientists, All Other
13-1082.00	Project Management Specialists	13-1082	Project Management Specialists	13-1198	Project Management Specialists and Business Operations Specialists, All Other	11-9199	Business Operations Specialists, All Other
11-1011.00	Chief Executives	11-1011	Chief Executives	11-1011	Chief Executives	11-1011	Chief Executives
15-1212.00	Information Security Analysts	15-1212	Information Security Analysts	15-1212	Information Security Analysts	15-1071	Network and Computer Systems Administrators
15-1252.00	Software Developers	15-1252	Software Developers	15-1256	Software Developers and Software Quality Assurance Analysts and Testers	15-1031	Computer Software Engineers, Applications
15-1251.00	Computer Programmers	15-1251	Computer Programmers	15-1251	Computer Programmers	15-1032	Computer Software Engineers, Systems Software
17-2199.08	Robotics Engineers	17-2199	Engineers, All Other	17-2199	Engineers, All Other	15-1021	Computer Programmers
13-1111.00	Management Analysts	13-1111	Management Analysts	17-2199	Engineers, All Other	17-2199	Engineers, All Other
49-2094.00	Electrical and Electronics Repairers, Commercial and Industrial Equipment	49-2094	Electrical and Electronics Repairers, Commercial and Industrial Equipment	13-1111	Management Analysts	13-1111	Management Analysts
13-2054.00	Financial Risk Specialists	13-2054	Financial Risk Specialists	49-2094	Electrical and Electronics Repairers, Commercial and Industrial Equipment	49-2094	Electrical and Electronics Repairers, Commercial and Industrial Equipment
43-9021.00	Data Entry Keyers	43-9021	Data Entry Keyers	13-2098	Financial and Investment Analysts, Financial Risk Specialists, and Financial Specialists, All Other	13-2051	Financial Analysts
43-6011.00	Executive Secretaries and Executive Administrative Assistants	43-6011	Executive Secretaries and Executive Administrative Assistants	13-2098	Financial and Investment Analysts, Financial Risk Specialists, and Financial Specialists, All Other	13-2099	Financial Specialists, All Other
43-3031.00	Bookkeeping, Accounting, and Auditing Clerks	43-3031	Bookkeeping, Accounting, and Auditing Clerks	43-9021	Data Entry Keyers	43-9021	Data Entry Keyers
13-2011.00	Accountants and Auditors	13-2011	Accountants and Auditors	43-6011	Executive Secretaries and Executive Administrative Assistants	43-6011	Executive Secretaries and Administrative Assistants
51-2031.00	Engine and Other Machine Assemblers	51-2031	Engine and Other Machine Assemblers	43-3031	Bookkeeping, Accounting, and Auditing Clerks	43-3031	Bookkeeping, Accounting, and Auditing Clerks
11-3012.00	Administrative Services Managers	11-3012	Administrative Services Managers	13-2011	Accountants and Auditors	13-2011	Accountants and Auditors
43-4051.00	Customer Service Representatives	43-4051	Customer Service Representatives	51-2031	Engine and Other Machine Assemblers	51-2031	Engine and Other Machine Assemblers
11-1021.00	General and Operations Managers	11-1021	General and Operations Managers	11-3010	Administrative Services and Facilities Managers	11-3011	Administrative Services Managers
				43-4051	Customer Service Representatives	43-4051	Customer Service Representatives
				11-1021	General and Operations Managers	11-1021	General and Operations Managers

Fonte: Elaboração própria a partir da O*NET-SOC e OWES.

3. ANÁLISE COMPARATIVA DAS ESTRUTURAS OCUPACIONAIS DO BRASIL E EUA

Esse capítulo tem o propósito de apresentar e discutir os resultados, a partir da aplicação da metodologia apresentada no capítulo anterior. As ocupações selecionadas serão analisadas em três blocos. O primeiro, refere-se aquelas ocupações relacionadas mais diretamente às TICs, computação e informática. O segundo, agrega as demais ocupações emergentes. E o terceiro será daquelas com tendência elevada de automação. As informações que serão analisadas são: o número de trabalhadores e a renda mensal média. A renda está exposta em R\$ e os valores foram deflacionados com base no IPCA (Brasil) ⁶²e CPI (EUA)⁶³, sendo o ano base 2019⁶⁴.

Como já fora ressaltado, a comparação entre países tão distintos em diversos âmbitos – produtivo; tecnológico; institucional; social; etc. – é algo complicado e que exige relativizações. Assim, salienta-se que o objetivo desta comparação é evidenciar o abismo que o Brasil precisa atravessar para alçar seu desenvolvimento rumo a uma economia moderna e inovativa como a estadunidense.

Adicionalmente, serão desagregadas as famílias, ou grupos de base, brasileiras e também analisadas suas evoluções. Mesmo que, nesse caso, a comparação não seja possível, devido à disponibilidade dos dados norte-americanos, é possível ter um olhar mais detalhado sobre o movimento dessas famílias nesses dez anos. Isso permitirá um olhar mais específico para as ocupações que influenciaram nos resultados obtidos para as ocupações da comparação, além de uma maior riqueza e profundidade da análise para o caso brasileiro.

Como foi explicado no capítulo anterior, a SOC passou por algumas atualizações ao longo dos anos e por isso a compatibilização entre essas atualizações também é necessária. No caso dessa compatibilização de três das ocupações selecionadas – *Web Developers*, *Information Security Analysts* e *Computer Programmers* – os resultados foram inconsistentes e terão que ser excluídos da análise. Isso ocorreu, pois de uma atualização para outra elas eram unidades ocupacionais (nível mais desagregado, no caso da SOC o sexto dígito) e passaram a ser grupos de base, ou seja, subiram um nível de agregação e passaram a

⁶² <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/precos-e-custos/9256-indice-nacional-de-precos-ao-consumidor-amplo.html?=&t=series-historicas>.

⁶³ https://www.bls.gov/regions/mid-atlantic/data/consumerpriceindexhistorical_us_table.htm

⁶⁴ Nos casos em que uma ocupação da CBO compatibilizou com mais de uma da SOC, ou vice e versa, o número de trabalhadores foram somados e no caso dos salários foi feita uma média entre os valores.

representar um conjunto de unidades ocupacionais. Isso causou uma inflação dos números de 2019 e gerou uma variação desproporcional, invalidando os resultados dessas ocupações. Assim, no caso dos Especialistas de Informática, apenas “*Computer Occupations, all other*” foi considerado para comparação e no caso dos Técnicos em Programação apenas “*Database Architects*”.

Para esse capítulo, a nomenclatura usada nos quadros e na discussão será aquela utilizada na CBO, dado que o foco do presente estudo é analisar a situação brasileira. A nomenclatura e ocupações correspondentes a OWES podem ser vistas no quadro 5 no capítulo anterior.

Ademais, a coluna “diferença absoluta” exprime quantas vezes maior é o número absoluto de trabalhadores do EUA em relação ao Brasil em 2019. O propósito destas informações será discutida adiante.

Quadro 7 - Evolução do número de trabalhadores do 1º bloco de ocupações selecionadas (2009-2019)

Ocupações	Brasil			EUA			Diferença absoluta
	2009	2019	Variação	2009	2019	Variação	
Especialistas de Informática (Administradores de Tecnologia da Informação)	15314	25682	67,7%	195890	393160	100,7%	15,31
Pesquisadores das Ciências Naturais e Exatas	1061	2367	123,1%	26130	30780	17,8%	13,00
Técnicos em Programação (Técnicos de Desenvolvimento de Sistemas e Aplicações)	95505	121661	27,4%	108080	125460	16,1%	1,03
Engenheiros em Computação	3128	7775	148,6%	880700	1406870	59,7%	180,95
Engenheiros Mecatrônicos	297	3195	975,8%	159680	152340	-4,6%	47,68

Fonte: RAIS e OWES, elaboração própria.

Olhando para a tendência geral do 1º bloco, em quesito de crescimento do número de trabalhadores ocupados, mesmo cobrindo dois períodos de crise, o Brasil apresentou bons resultados, ainda mais quando comparado aos resultados norte-americanos. Os EUA apresentaram crescimentos relativamente baixos para uma década de expansão da economia digital, tanto para pesquisadores das ciências naturais e exatas (17,8%), como para técnicos em programação (16,1%). Os primeiros englobam os cientistas de pesquisa em computação e informação e são peça chave para a P&D desse segmento. Os segundos são essenciais para o desenvolvimento de bases de dados, aplicações à internet, dentre outras funcionalidades de programação. Tais crescimentos não são tão elevados, dado o elevado nível de maturidade dos setores que englobam tais profissões e já contam com um estoque elevado dessa mão de obra. Já os engenheiros em computação, apresentaram um crescimento elevado (59,7%), assim como os especialistas em informática (100,7%), possivelmente relacionado à grande

permeabilidade dessa ocupação e competências em diversas atividades ligadas a computação e não algo mais direcionado, como as duas anteriores. Já os engenheiros em mecatrônica, apresentam um resultado inesperado de decrescimento (-4,6%), dado que seria esperada uma elevação devido ao seu papel na criação de robôs, principalmente industriais usados para produção. Pode-se imaginar que esse decrescimento advém da saturação dessa atividade nos EUA e o crescimento da competição global, principalmente ligado a ascensão chinesa nesse mercado de robótica.

No caso brasileiro, os engenheiros mecatrônicos apresentam o maior crescimento (975,8%), peças chave para o desenvolvimento de robôs de elevada complexidade. O menor crescimento vem dos técnicos em programação (28,4%), responsáveis pelo desenvolvimento de aplicações digitais e da própria estrutura dos sistemas. Nesse caso, o crescimento é relativamente tímido, dado a amplitude do período analisado e a emergência meteórica global dos setores que contratam esses profissionais. Todos os resultados deste bloco podem ser um excelente sinal, dado a já discutida centralidade das ocupações ligadas às TICs, computação e internet e pode representar certa evolução de setores de maior valor agregado ligados à área digital, dado que o número de trabalhadores só cresce como reflexo da expansão produtiva. Porém, tal elevação pode indicar certa insuficiência, dado à elevada escassez de profissionais de TI no mercado doméstico⁶⁵, mesmo com crescimentos acima de 100%.

Todavia, nos quatro casos de maior elevação o Brasil apresenta patamares absolutos extremamente inferiores ao dos EUA. Mesmo olhando em perspectiva em relação à população – EUA possuem aproximadamente 55% a mais de população em relação ao Brasil em 2020 -, os números continuam muito distantes. Isso é um claro reflexo de como as atividades produtivas que englobam essas ocupações – softwares, TICs, serviços digitais intensivos em tecnologias, etc. - são muito mais desenvolvidas e representam uma parcela considerável da produção norte-americana, quando comparado ao Brasil. Portanto, apesar destes elevados crescimentos domésticos, pode-se concluir que seria necessário uma expansão ainda maior para se equiparar a países na fronteira tecnológica e produtiva, como os EUA. Vale ressaltar que para isso é necessário o crescimento daquele tipo de atividades para, assim, elevar a demanda por esses profissionais e fomentar a formação nessas áreas do conhecimento.

⁶⁵<https://g1.globo.com/rj/sul-do-rio-costa-verde/especial-publicitario/unifoa/noticia/2020/10/26/mercado-de-ti-sofre-com-a-falta-de-profissionais.ghtml>.

Outro fator possivelmente influenciador desses patamares brasileiros bem menores é o número muito inferior de especializações no ensino superior (seção 1.5). Estas ocupações e os cargos que geralmente performam envolvem conhecimentos complexos e muitas das vezes englobam qualificações além da graduação. Assim, isso pode indicar um reflexo da escassez de profissionais altamente qualificados, aliado a uma especialização produtiva que não prioriza as atividades que estas ocupações poderiam estar inseridas. Além disso, esses crescimentos podem ser um reflexo da elevação das matrículas de STEM no Brasil (seção 1.5).

Quadro 8 - Evolução do salário média mensal do 1º bloco de ocupações selecionadas (2009-2019)

Ocupações	Brasil			EUA		
	2009	2019	Variação	2009	2019	Variação
Especialistas de Informática (Administradores de Tecnologia da Informação)	6197	7173	15,8%	6501	7701	18,5%
Pesquisadores das Ciências Naturais e Exatas	9724	8692	-10,6%	8781	10622	21,0%
Técnicos em Programação (Técnicos de Desenvolvimento de Sistemas e Aplicações)	3521	4038	14,7%	6191	8009	29,4%
Engenheiros em Computação	11418	11796	3,3%	7783	9302	19,5%
Engenheiros Mecatrônicos	7154	8541	19,4%	7550	8538	13,1%

Fonte: RAIS e OWES, elaboração própria.

Observando a renda, nos EUA, todas as ocupações do bloco apresentaram elevação relativamente substancial da renda, todas acima de 13%. Os engenheiros mecatrônicos tiveram o menor aumento (13,1%), enquanto os técnicos em programação apresentaram a maior elevação, quase 30%. Tanto os pesquisadores das ciências naturais e exatas, especialistas em informática, como os engenheiros em computação, cresceram aproximadamente 20%. Vê-se aqui que todas as ocupações seguem uma tendência semelhante, provavelmente relacionado ao protagonismo dos segmentos ligados as TICs, computação e robótica que vêm ganhando protagonismo, principalmente na última década. Assim, a maior demanda por mão de obra especializada nessas áreas leva ao aumento dos salários, ainda mais para o caso norte-americano, no qual essas atividades tem grande destaque.

Já o Brasil, não apresenta uma tendência uniforme como a dos EUA. Os especialistas de informática (15,8%), os técnicos em programação (14,7%) e engenheiros mecatrônicos (19,4%) seguem uma orientação próxima à tendência geral estadunidense, apesar do patamar um pouco menor nos dois primeiros casos. Em termos de tendência de evolução da remuneração, isso é um bom sinal, dado que estas ocupações vêm sendo

valorizadas, assim como nos EUA. Já as outras duas, que apresentaram maior crescimento no número de empregados, tiveram os piores resultados em termos de salários. Os engenheiros em computação cresceram apenas 3,3% e os pesquisadores observaram uma queda de mais de 10%, o que contrasta fortemente com a tendência norte-americana e a própria tendência de emergência destas ocupações, apontando para uma falta de maturidade produtiva. O caso dos pesquisadores ressalta o quadro preocupante da inovação nacional, sendo estes peças chave para o desenvolvimento de novas tecnologias. No geral, o desempenho da remuneração é pior do que a do número de empregados, a luz da tendência de um país na fronteira tecnológica e produtiva, como os EUA.

Quadro 9 - Evolução do número de trabalhadores do 2º bloco de ocupações selecionadas (2009-2019)

Ocupações	Brasil			EUA			Diferença absoluta
	2009	2019	Variação	2009	2019	Variação	
Diretores Gerais	19522	28791	47,5%	297640	205890	-30,8%	7,15
Gerentes Administrativos, Financeiros e de Risco	266283	375182	40,9%	388960	458510	17,9%	1,22
Administradores	119705	244885	104,6%	1036450	1279390	23,4%	5,22
Técnico de Planejamento e Controle de Produção	100215	151682	51,4%	552770	709750	28,4%	4,68
Profissionais de Relações Públicas, Publicidade, Mercado e Negócios	77446	35824	-53,7%	229020	709310	209,7%	19,80
Técnicos em Eletrônica	200514	228881	14,1%	72520	58930	-18,7%	0,26
Técnicos em Eletricidade e Eletrotécnicos							

Fonte: RAIS e OWES, elaboração própria.

Novamente, os padrões de evolução da alocação de mão de obra entre os países são bem distintos. Os EUA apresentam dois casos de decréscimo, diretores gerais (-30,8%) e técnicos em eletrônica, eletricidade e eletrotécnicos (-18,7%). Isso pode ser um indicativo ruim para o mercado de trabalho norte-americano, dado que são ocupações emergentes na atual economia digital. O primeiro é mais complexo conjecturar uma possível causa, dado que, geralmente, é o mais alto cargo em uma empresa e apresenta uma queda considerável. Já o segundo, provavelmente está relacionado ao processo de desindustrialização do país e ao movimento de *offshore* dos parques industriais, principalmente para Ásia, dado que são ocupações responsáveis pelo reparo de máquinas comerciais e industriais. Como a automação será cada vez mais presente, pessoas qualificadas para consertar tais equipamentos são essenciais. Já os profissionais de relações públicas, publicidade, mercado e negócios apresentaram um crescimento elevado (209,7%). Isso provavelmente está ligado ao crescimento progressivo do setor de serviços especializados em que os serviços de inteligência de mercado e estratégias de marketing estão inseridos. Já as outras três – gerentes administrativos, financeiros e de risco (17,9%),

administradores (23,4%) e técnicos de planejamento e controle da produção (28,4%) – apresentam crescimento moderado.

No caso brasileiro, há apenas uma queda, porém intensa. Mesmo com o crescimento do setor de serviços brasileiro, o número de profissionais de relações públicas, publicidade, mercado e negócios despencou 53,7% na década. Isto pode ser um sinal preocupante, dado o papel estratégico que estes profissionais têm dentro das empresas, ainda mais quando os EUA que apresentam um grande crescimento. Outro grande contraste está nos diretores gerais que apresentaram um elevado crescimento (47,5%), podendo ser um bom sinal. As causas da queda nos EUA necessitariam de uma pesquisa mais profunda que não cabe a esse estudo, porém, pode-se pensar que poderia estar relacionado à modernização dos modelos hierárquicos de uma parte das empresas, ou mesmo o movimento de surgimento de super corporações (*superstar firms*) que concentra os mais altos níveis hierárquicos de várias empresas em um ou poucos indivíduos. Todavia, tais movimentos provavelmente não explicariam sozinhos uma queda dessa magnitude, sendo necessário uma análise específica.

Os técnicos em eletrônica, eletricidade e eletrotécnicos apresentam uma elevação moderada/pequena. Isso pode estar relacionado ao processo de desindustrialização prematura, dado que a indústria absorve a maior parte das máquinas para sua produção. Também pode estar ligado ao atraso tecnológico do sistema produtivo nacional que ainda não foi capaz de se modernizar e incorporar um elevado grau de máquinas e equipamentos eletroeletrônicos. Todavia, ainda há um crescimento, provavelmente relacionado à pervasividade destas ocupações, principalmente, na indústria de transformação como um todo. As outras três – gerentes administrativos, financeiros e de risco (40,9%), administradores (104,6%) e técnicos de planejamento e controle da produção (51,4%) – apresentaram crescimentos elevados, bem mais elevado em comparação aos norte-americanos, ainda mais para o caso dos administradores. Isso pode também ser um bom sinal, dado que extrapola a tendência norte-americana de ocupações emergentes. Todavia, nos dois últimos, a diferença de patamar absoluto é bem elevado, ressaltando, mais uma vez, que talvez seja necessário um crescimento ainda maior, caso o Brasil almeje seguir os novos direcionamentos do mercado de trabalho 4.0.

Quadro 10 - Evolução do salário médio mensal do 2º bloco de ocupações selecionadas (2009-2019)

Ocupações	Brasil			EUA		
	2009	2019	Variação	2009	2019	Variação
Diretores Gerais	16600	15407	-7,2%	13940	16154	15,9%
Gerentes Administrativos, Financeiros e de Risco	5934	5914	-0,3%	6252	7847	25,5%
Administradores	8478	6795	-19,9%	5497	6685	21,6%
Técnico de Planejamento e Controle de Produção	4708	3634	-22,8%	7054	7963	12,9%
Profissionais de Relações Públicas, Publicidade, Mercado e Negócios	5847	5055	-13,5%	5390	7172	33,1%
Técnicos em Eletrônica	3959	4062	2,6%	4268	5030	17,9%
Técnicos em Eletricidade e Eletrotécnicos						

Fonte: RAIS e OWES, elaboração própria.

Aqui, novamente, os EUA apresentam certo padrão de crescimento dos salários. Todas as ocupações vivenciaram elevação na sua renda entre aproximadamente 13% e 25%, com exceção dos profissionais de relações públicas, publicidade, mercado e negócios que tiveram uma grande elevação de 33%. Nesse caso, além do maior aumento salarial, apresentou, também, o maior crescimento do número de empregados, apontando para uma forte valorização dessa profissão. Sendo assim, a evolução salarial segue a tendência de emergência destas ocupações e mostra um padrão relativamente semelhante ao do 1º bloco.

O caso brasileiro nesse bloco é mais grave. Todas as ocupações apresentaram queda nos salários, exceto os técnicos em eletrônica e eletricidade (2,6%), chegando a quase -23% no caso dos técnicos de planejamento e controle de produção. No geral, esse cenário contrasta com o cenário de elevação do número de empregados em quase todas essas categorias. Provavelmente essa queda generalizada está ligada aos anos de crise nacional durante a década de análise. Essas categorias podem ter sido mais afetadas pelo péssimo desempenho doméstico em termos de crescimento econômico, refletindo nas quedas salariais. Este cenário contrasta drasticamente com o norte-americano, apontado para um atraso em termos de valorização monetária de profissões emergentes.

Olhando agora para as ocupações com elevada tendência de automação, o padrão entre os dois países é relativamente distinto. Os EUA apresentaram quatro casos de crescimento, recepcionistas (32,9%), contadores e auditores (15,7%), gerentes de produção e operações em empresas da indústria extrativa, de transformação e de serviços de utilidade pública (42,1%) e montadores de máquinas (34,9%). Isso contrasta com o esperado, dado que, por ser uma economia na fronteira tecnológica e produtiva, imaginava-se que haveria queda em todos os cargos desse bloco. O primeiro crescimento pode estar relacionado ao crescimento do setor de serviços, no qual diversas empresas contratam esse tipo de profissio-

Quadro 11 - Evolução do número de trabalhadores do 3º bloco de ocupações selecionadas (2009-2019)

Ocupações	Brasil			EUA			Diferença absoluta
	2009	2019	Varição	2009	2019	Varição	
							-
Escriturários de Contabilidade	180999	278297	53,8%	1757870	1512660	-13,9%	5,44
Recepcionistas	567160	708348	24,9%	2195860	2919230	32,9%	4,12
Secretários Executivos e Bilíngue	135714	143467	5,7%	1361170	542690	-60,1%	3,78
Operadores de Equipamentos de Entrada e Transmissão de Dados	72297	41501	-42,6%	243550	159930	-34,3%	3,85
Contadores e Auditores	106142	167252	57,6%	1106980	1280700	15,7%	7,66
Gerentes de Produção e Operações em Empresas da Indústria Extrativa, de Transformação e de Bens Durableis	55684	66074	18,7%	1689680	2400280	42,1%	36,33
Ajustadores Mecânicos Polivalentes	176693	172754	-2,2%	34080	45980	34,9%	0,27
Montadores de Máquinas, Aparelhos e Acessórios em Linhas de Montagem							
Montadores de Máquinas Industriais							
Montadores de Máquinas Pesadas e Equipamentos Agrícolas							
Montadores de Motores e Turbinas							
Montadores de Veículos Automotores (Linha de Montagem)							
Montadores de Sistemas e Estruturas de Aeronaves							

Fonte: RAIS e OWES, elaboração própria.

nal para atendimento personalizado ao cliente, por exemplo. O segundo também se encaixa no movimento de crescimento dos serviços, porém, vê-se um crescimento mais tímido, podendo indicar o início de uma tendência de queda no futuro. O terceiro apresenta um crescimento relevante, possivelmente por ainda ser uma profissão de destaque e que ainda exigirá um nível maior de maturidade de certas tecnologias digitais para que estas os substituam futuramente. Já o quarto, necessitaria de uma análise mais específica, ainda mais quando olha-se a luz do processo de desindustrialização e o movimento de *offshore*, principalmente, das etapas de montagem para Ásia e outros países com custos menores, o que, *a priori*, levaria a uma redução do número destes empregados. Todavia, pode-se pensar que o aumento da introdução de máquinas nas etapas da produção que permanecem em território norte-americano, e que ainda precisam de humanos para realizar sua montagem, é uma das razões dessa elevação.

Já as outras três apresentaram queda. Os operadores de equipamentos de entrada e transmissão de dados tiveram uma queda elevada (-34,3%). Como já fora ressaltado (capítulo 3), esta é uma ocupação que vem sendo eleita como uma das profissões com maior potencial de automação por diversos estudos aqui citados. Além disso, o estado de desenvolvimento atual das tecnologias que performam as atividades relacionadas à esse cargo avançaram nos últimos anos (CEPAL, 2018), o que possivelmente já vem refletindo nessa grande diminuição. Os escriturários de contabilidade apresentaram a menor queda (-13,9%). Pode-se supor que a razão é semelhante à da ocupação anterior, porém em menor

intensidade, possivelmente devido a gama maior de atividades realizadas pela profissão e que as máquinas ainda não são capazes de efetuar de maneira satisfatória. Por fim, os secretários executivos e bilíngues apresentaram a maior queda dentre todas as ocupações selecionadas (-60,1%). Nos últimos anos, com o avanço e aprimoramento da internet, dos sistemas de autoatendimento, aplicativos de autogerenciamento, smartphones e outras aplicações digitais permitiram que outras profissões conseguissem incorporar as atividades dessa ocupação em suas rotinas de trabalho e não mais dependessem de contratar secretários. Provavelmente, essa é uma das principais razões dessa elevada queda. Assim, com o avanço das novas tecnologias digitais, possivelmente será vista uma queda ainda mais elevada nos próximos anos.

No caso brasileiro, veem-se apenas dois casos consonantes à tendência de automação, operadores de equipamentos de entrada e transmissão de dados (-42,6%) e montadores de máquinas (-2,2%). Pode-se supor que as causas relacionadas ao primeiro caso são as mesmas citadas para o caso dos EUA. Já o segundo, provavelmente também está relacionado ao processo de desindustrialização nacional, dado que a indústria de transformação absorve a maioria das máquinas e equipamentos para sua produção. A evolução dos operadores segue, e até mesmo extrapola, a tendência norte-americana, podendo indicar que esta ocupação está seguindo o direcionamento da transformação digital. Os montadores, apesar de divergentes em relação à tendência dos EUA, estão na direção indicada pela tendência de automação. Entretanto, a razão dessa queda deve estar muito mais relacionado a perda de relevância da indústria nacional do que relacionado a mudanças no sistema produtivo provenientes das inovações digitais.

As demais cinco profissões apresentaram aumento. Os secretários executivos e bilíngues tiveram uma pequena elevação (5,7%). Há uma grande dicotomia em relação ao decréscimo dessa ocupação nos EUA, que foi a maior redução entre todas. Apesar de um crescimento pífio para uma década, o Brasil divergente, tanto da tendência norte-americana, como da de elevada propensão à automação. Pode-se pensar que esta pequena elevação se deve a um conjunto de duas forças opostas. Uma delas seria a mesma razão do elevado decréscimo norte-americano e a outra pode-se conjecturar que, devido ao elevado contingente de indivíduos de baixa/média qualificação, ou mesmo indivíduos mais qualificados, mas que não encontram emprego e precisam aceitar cargos que não correspondem a seu nível educacional, ainda buscam esse tipo de profissão. Os gerentes de produção e operações em empresas da indústria extrativa, de transformação e de serviços de

utilidade pública cresceram 18,7%. A ocupação segue a tendência estadunidense, porém com menor intensidade, podendo estar relacionado à mesma razão ressaltada anteriormente. A razão do crescimento dos recepcionistas (24,9%) possivelmente é uma mistura da possível razão citada para o aumento nos EUA e a citada no crescimento de secretários executivos e bilíngues. Como no caso anterior, apesar de seguir a evolução norte-americana, diverge da tendência de automação. Por fim, tanto os escriturários de contabilidade, como os contadores e auditores apresentaram crescimentos relativamente elevados, 53,8% e 60,9%, respectivamente. Tal fato possivelmente está ligado ao crescimento do setor de serviços especializados, porém, contrastam com a perspectiva de automação. No primeiro caso, também há uma divergência com a tendência estadunidense. Já o segundo, apesar de nos EUA esta ocupação também ter crescido, a elevação foi bem menor.

Quadro 12 – Evolução do salário médio mensal do 3º bloco das ocupações selecionadas (2009-2019)

Ocupações	Brasil			EUA		
	2009	2019	Variação	2009	2019	Variação
Escriturários de Contabilidade	2184	2294	5,0%	2896	3580	23,6%
Recepcionistas	1284	1517	18,1%	2701	3110	15,1%
Secretários Executivos e Bilíngue	3086	3370	9,2%	3668	5243	43,0%
Operadores de Equipamentos de Entrada e Transmissão de Dados	2208	2512	13,8%	2333	2902	24,4%
Contadores e Auditores	7688	7071	-8,0%	5619	6627	17,9%
Gerentes de Produção e Operações em Empresas da Indústria Extrativa, de Transformação e de Serviços de Utilidade Pública	8284	8101	-2,2%	9213	10253	11,3%
Ajustadores Mecânicos Polivalentes	3003	2982	-0,7%	3096	3881	25,4%
Montadores de Máquinas, Aparelhos e Acessórios em Linhas de Montagem						
Montadores de Máquinas Industriais						
Montadores de Máquinas Pesadas e Equipamentos Agrícolas						
Montadores de Motores e Turbinas						
Montadores de Veículos Automotores (Linha de Montagem)						
Montadores de Sistemas e Estruturas de Aeronaves						

Fonte: RAIS e OWES, elaboração própria.

Novamente, os EUA apresentam um padrão de crescimento dos salários em todas as ocupações, mesmo naquelas que tiveram queda na demanda de mão de obra, como os secretários (43%), escriturários de contabilidade (23,6%) e operadores de equipamentos de entrada e transmissão de dados (24,4%). Assim como nos demais blocos, mesmo em casos com queda na demanda de mão obra, há elevação dos salários. Isso provavelmente está relacionado ao nível de maturidade econômica e tecnológica que permitem um crescimento sustentado nos EUA e mecanismos eficientes de acompanhamento de elevação da produtividade com elevação dos salários.

Os resultados nacionais são mais irregulares. Três ocupações apresentaram queda na renda, contadores e auditores (-8%), gerentes de produção e operações (-2,2%) e os montadores de máquinas (-0,7%). As demais seguem, de certa maneira, o padrão estadunidense, com exceção dos escriturários que tiveram um crescimento bem pequeno (5%) para um período de dez anos. Apesar dos operadores (13,8%), os secretários (9,2%) e os recepcionistas (18,1%) estarem próximos do padrão de elevação norte-americano, a maioria destoa, apontando para uma tendência inversa.

Quadro 13 - Síntese sobre as tendências brasileiras de número de trabalhadores das ocupações selecionadas

Ocupações	Segue a tendência dos EUA?	Segue a tendência de valorização/automação?
Especialistas de Informática (Administradores de Tecnologia da Informação)		
Pesquisadores das Ciências Naturais e Exatas		
Técnicos em Programação (Técnicos de Desenvolvimento de Sistemas e Aplicativos)		
Engenheiros em Computação		
Engenheiros Mecatrônicos		
Diretores Gerais		
Gerentes Administrativos, Financeiros e de Risco		
Administradores		
Técnico de Planejamento e Controle de Produção		
Profissionais de Relações Públicas, Publicidade, Mercado e Negócios		
Técnicos em Eletrônica		
Técnicos em Eletricidade e Eletrotécnicos		
Escriturários de Contabilidade		
Recepcionistas		
Secretários Executivos e Bilingue		
Operadores de Equipamentos de Entrada e Transmissão de Dados		
Contadores e Auditores		
Gerentes de Produção e Operações em Empresas da Indústria Extrativa, de Transformação e de Serviços de Utilidade Pública		
Ajustadores Mecânicos Polivalentes		
Montadores de Máquinas, Aparelhos e Acessórios em Linhas de Montagem		
Montadores de Máquinas Industriais		
Montadores de Máquinas Pesadas e Equipamentos Agrícolas		
Montadores de Motores e Turbinas		
Montadores de Veículos Automotores (Linha de Montagem)		
Montadores de Sistemas e Estruturas de Aeronaves		

 Segue  Não segue

Fonte: RAIS e OWES, elaboração própria.

O quadro acima sintetiza um pouco da discussão realizada até aqui. Nele é possível ver se o desempenho das ocupações no Brasil segue a tendência norte-americana e se segue a tendência de valorização ou automação apontada pela literatura. No geral, o Brasil se sair melhor do que esperado. Onze delas seguem a tendência dos EUA e sete não. Em relação à tendência de valorização/automação, a situação é semelhante. Doze seguem a tendência e seis não. Apesar destes resultados, como foi mostrado durante a discussão, existem vários casos em que, mesmo seguindo a tendência, os patamares são muito menores

em diversas das profissões emergentes, mesmo quando considerado a diferença populacional. Ou seja, mesmo apresentando crescimentos relativamente bons em ocupações importantes e seguir as tendências (em sua maioria), seriam necessárias elevações ainda maiores para que o país estivesse rumo à tendência internacional representada aqui pelos EUA. Essa constatação deixa clara a grande distância entre o Brasil e um país na fronteira tecnológica e líder em inovação, como os EUA, demonstrando o esforço hercúleo que a economia doméstica precisará performar para acompanhar a transformação digital.

Em relação ao balanço geral da evolução salarial, os EUA mantêm certo padrão de crescimento em todas as ocupações. Como já mencionado, isso provavelmente está relacionado ao nível de maturidade produtiva e socioeconômica que possibilita uma trajetória de crescimento sustentado, uma melhor distribuição funcional da renda e salários que acompanham o aumento de produtividade. Já o Brasil tem resultados bem distintos e muitos casos de queda. Como também já salientado, estes resultados refletem uma “nova década perdida”, na qual o crescimento nos últimos dez anos foi praticamente zero⁶⁶, sendo responsável por parte do péssimo desempenho em diversas profissões. Claramente, a tendência geral é bem distinta da norte-americana, apontando para um aumento da já enorme distância em termos produtivos e tecnológicos em relação aos países de fronteira.

Para um panorama mais preciso da situação nacional, as famílias ocupacionais podem ser desagregadas para analisar mais precisamente a evolução de certas ocupações mais específicas e que tenham maior relevância em relação as demais que compõem as famílias.

Como a CBO não dispõe de descrições das atividades e responsabilidades de cada ocupação, como possui para as famílias, será suposto apenas pela semelhança entre as nomenclaturas da CBO e da SOC quais as mais relacionadas com estas (ver o quadro de compatibilização do capítulo anterior) e conhecimento tácito sobre as profissões.

No caso dos especialistas de informática, os mais relacionados seriam os administradores de sistemas operacionais e o administradores em segurança de informação. Para o último, o desempenho da evolução fica enviesado, dado que em 2009 não existiam profissionais nessa ocupação específica. Já no primeiro caso, vê-se um resultado bem positivo (91,8%), sendo o principal responsável pelo crescimento de 72,3% da família

⁶⁶ <https://www.cnnbrasil.com.br/business/pib-brasil-termina-2020-com-segunda-decada-perdida-e-a-pior-desde-1900/>.

correspondente. Isso indica uma crescente demanda por esses profissionais e aponta que o mercado de trabalho local vem seguindo a tendência global de valorização dessa ocupação. Todavia, vale ressaltar que o patamar absoluto possivelmente ainda é baixo, dado que para a família que esta ocupação está classificada, tal patamar era bem reduzido quando comparado ao norte-americano. Portanto, para ambas as ocupações, pode-se supor que suas expansões precisariam ser ainda mais intensa, o que, por sua vez, exige o crescimento das atividades produtivas para absorção desse profissionais.

Quadro 14 - Evolução desagregada do número de trabalhadores do 1º bloco das ocupações selecionadas (2009-2019)

CBO Famílias	CBO Ocupações	Ano		Variação
		2009	2019	
Especialistas de Informática (Administradores de Tecnologia da Informação)	Administrador de Banco de Dados	3633	4782	31,6%
	Administrador de Redes	6929	7526	8,6%
	Administrador de Sistemas Operacionais	4752	9114	91,8%
	Administrador em Segurança da Informação	0	4260	-
Pesquisadores das Ciências Naturais e Exatas	Pesquisador em Ciências da Computação e Informática	224	1051	369,2%
	Pesquisador em Ciências da Terra e Meio Ambiente	258	338	31,0%
	Pesquisador em Física	81	36	-55,6%
	Pesquisador em Matemática	29	151	420,7%
	Pesquisador em Química	469	791	68,7%
Técnicos em Programação (Técnicos de Desenvolvimento de Sistemas e Aplicações)	Programador de Internet	2667	4609	72,8%
	Programador de Sistemas de Informação	87808	110525	25,9%
	Programador de Máquinas-ferramenta com Comando Numérico	3831	4783	24,8%
	Programador de Multimídia	1199	1744	45,5%
Engenheiros em Computação	Engenheiro de Aplicativos em Computação	1705	3777	121,5%
	Engenheiro de Equipamentos em Computação	577	1361	135,9%
	Engenheiro de Sistemas Operacionais em Computação	846	2637	211,7%
Engenheiros Mecatrônicos	Engenheiro Mecatrônico	297	455	53,2%
	Engenheiro de Controle Automação	0	1925	-
	Tecnólogo em Mecatrônica	0	166	-
	Tecnólogo em Automação Industrial	0	649	-

Fonte: RAIS, elaboração própria.

Para os pesquisadores das ciências naturais e exatas, a situação é semelhante. Junto aos pesquisadores em matemática (420,7%), os pesquisadores em ciências da computação e informática (369,2%) são os principais responsáveis pelo elevado crescimento da família. Isto é bom sinal, dado que estes são essenciais para a P&D na área das novas tecnologias digitais que estão diretamente relacionada a computação, informática e as TICs. Entretanto, conjectura-se que aqui, também, o patamar absoluto ainda é bem reduzido, sendo que em 2019 existiam 28375 pesquisadores das ciências naturais e exatas a mais nos EUA em comparação ao Brasil. Sendo assim, mesmo seguindo a tendência de valorização destes pesquisadores, o crescimento provavelmente teria que ser muito acima dos 369,2%.

Para os técnicos em programação, os destaques são para programador de internet, que apresentou o maior crescimento dentro da família (72,8%), e programador de sistemas

de informação (25,9%). Ambos indicam para um boa progressão destas ocupações e o patamar absoluto da família como um todo é próximo a dos EUA. Porém, a grande maioria (90,1%) está alocada nos programadores de sistema da informação, o que pode indicar uma necessidade ainda maior de crescimento dos programadores de internet, mesmo que estes tenham o maior crescimento do período. No caso dos engenheiros mecâtrônicos, as conclusões são limitadas, dado que, em 2009, três ocupações ainda não faziam parte da classificação. Mesmo assim, o resultado geral parece razoável, considerando os limites domésticos de absorção dessa mão de obra.

Como visto anteriormente, os engenheiros em computação apresentaram o maior crescimento do 1º bloco. Os engenheiros de aplicativos em computação são os responsáveis pelo desenvolvimento de softwares computacionais, essenciais para que os hardwares ganham funcionalidades e possam ser utilizados em diversas atividades. Assim como as demais ocupações desta família, esta ocupação teve um crescimento elevado, acima de 100%, sendo um excelente resultado rumo a tendência de valorização desta profissão. Todavia, aqui, também, o patamar absoluto da família ainda é extremamente reduzido quando comparado os EUA, podendo supor que o patamar dos programadores de aplicativos em computação também é muito reduzido, sendo necessário um crescimento muito superior ao apresentado (121,5%).

Os diretores gerais de empresas e organizações representam quase a totalidade do crescimento (60,4%) observado para a família de diretores gerais. Considerando que esta ocupação seria a de destaque, este é um bom resultado, indicando que também vem seguindo a tendência.

No caso dos gerentes administrativos, financeiros e de risco, o destaque seria para as ocupações de gerente de risco e gerente financeiro. Em ambos os casos houve crescimento considerável, 125,9% e 36,7%, apontando que as ocupações mais específicas também vêm seguindo a tendência de emergência destas profissões.

Em relação aos técnicos de planejamento e controle de produção, pode-se ressaltar os planejistas e técnicos de planejamento de produção. Nos dois casos, há aumentos relevantes, 59,5% e 43,1%, respectivamente. Em termos de tendência, o panorama é, também, positivo. Entretanto, o patamar absoluto da família como um todo é muito mais baixo quando comparado ao norte-americano, levando a proposição de que aqui, também, seria necessário uma elevação ainda mais abrupta. Esse enorme diferença possivelmente está

relacionado ao menor porte do setor industrial nacional e o foco em atividades de menor valor agregado que absorvem uma menor número destes profissionais.

Quadro 15 – Evolução desagregada do número de trabalhadores do 2º bloco das ocupações selecionadas (2009-2019)

CBO Famílias	CBO Ocupações	Ano		Variação
		2009	2019	
Diretores Gerais	Diretor de Planejamento Estratégico	4382	4507	2,9%
	Diretor Geral de Empresas e Organizações (Exceto de Interesse Público)	15140	24284	60,4%
Gerentes Administrativos, Financeiros e de Risco	Gerente Administrativo	231589	322602	39,3%
	Gerente de Risco	2633	5949	125,9%
	Gerente Financeiro	32061	43836	36,7%
	Tecnólogo em Gestão Administrativo-financeira	0	2795	-
Administradores	Administrador	119705	244885	104,6%
Técnico de Planejamento e Controle de Produção	Cronoanalista	5336	7781	45,8%
	Cronometrista	1144	928	-18,9%
	Controlador de Entrada e Saída	33018	59536	80,3%
	Planejista	2171	3463	59,5%
	Técnico de Planejamento de Produção	41923	59991	43,1%
	Técnico de Planejamento e Programação da Manutenção	10833	12918	19,2%
	Técnico de Matéria-prima e Material	5790	7065	22,0%
Profissionais de Relações Públicas, Publicidade, Mercado e Negócios	Relações Públicas	9606	0	-
	Redator de Publicidade	3788	5633	48,7%
	Agente Publicitário	12125	13055	7,7%
	Analista de Negócios	34809	7644	-78,0%
	Analista de Pesquisa de Mercado	17118	5473	-68,0%
Técnicos em Eletrônica	Técnico de Manutenção Eletrônica	26196	25885	-1,2%
	Técnico de Manutenção Eletrônica (Circuitos de Máquinas com Comando Numérico)	6687	6308	-5,7%
	Técnico Eletrônico	54388	48921	-10,1%
	Técnico em Manutenção de Equipamentos de Informática	33889	47934	41,4%
Técnicos em Eletricidade e Eletrotécnicos	Eletrotécnico	21394	27477	28,4%
	Eletrotécnico (Produção de Energia)	3672	3854	5,0%
	Eletrotécnico na Fabricação, Montagem e Instalação de Máquinas e Equipamentos	19236	22081	14,8%
	Técnico de Manutenção Elétrica	18021	21739	20,6%
	Técnico de Manutenção Elétrica de Máquina	3152	4165	32,1%
	Técnico Eletricista	13879	20517	47,8%

Fonte: RAIS, elaboração própria.

O caso dos profissionais de relações públicas, publicidade, mercado e negócios é mais preocupante. Nesta família, pode-se destacar agente publicitário, analista de negócios e analista de pesquisa de mercado. O primeiro é o que se sai melhor entre os três, com crescimento de 7,7%, porém uma elevação pequena. Os demais, apresentam resultados mais drásticos, com quedas acentuadas de -78% e -68%, respectivamente, sendo estes os principais causadores da redução elevada do número de trabalhadores nessa família. Essa constatação ressalta ainda mais o caso preocupante da família analisado anteriormente, dado que as principais ocupações emergentes são os principais causadores da redução intensa do número de trabalhadores desta e, portanto, da evolução no sentido ao contrário da tendência, tanto norte-americana, como da tendência de valorização destas ocupações.

Olhando agora para os técnicos em eletrônica e técnicos em eletricidade e eletrotécnicos, os destaques seriam para aquelas ocupações mais relacionadas diretamente a

manutenção. Tanto os técnicos em manutenção eletrônica, como os técnicos de manutenção eletrônica (circuitos de máquinas com comando numérico) apresentaram queda, -1,2% e -5,7%, respectivamente. Nessas casos, ambos contrastam com a tendência de crescimento da família e de valorização destas ocupações. Já no caso dos técnicos em manutenção de equipamentos de informática, há um crescimento relativamente elevado (41,4%). Isso pode ser um bom sinal de que a utilização de equipamentos de informática vem se expandido, apontando para um certo grau de digitalização em andamento, seguindo a tendência de valorização. Em relação aos técnicos de manutenção elétrica e elétrica de máquinas, ambos apresentaram crescimento de 20,6% e 32,1%, respectivamente. No geral, os resultados são dispare, com ocupações em destaca com queda e outras com elevação. Entretanto, pode-se conjecturar que o resultado é positivo, dado que os crescimentos são bem mais elevados, em comparação as quedas.

Para o caso do 3º bloco, esse tipo de análise não parece muito relevante, dado que pode-se supor que quase a totalidade das ocupações destas famílias se encaixam na tendência de elevada automação.

Esta análise mais desagregada reforça a conclusão alcançada anteriormente. O recorte da estrutura ocupacional brasileira discutida aqui, a luz das tendências da nova economia digital, se sair melhor do que esperado. A maioria das ocupações emergentes segue a tendência de valorização, assim como segue a tendência norte-americana. Já para o caso das ocupações com elevada tendência de automação, a maioria segue a tendência estadunidense, porém a minoria segue a tendência de automação. Todavia, analisando conjuntamente o número de trabalhadores, observa-se que a distância em relação ao padrão dos EUA em muitos casos ainda é enorme. Isso, com certeza, é um reflexo da grande diferença entre as estruturas produtivas, tecnológicas e de qualificação entre os países, ressaltando o atraso brasileira e a distância de países de fronteira, como os EUA. Assim, apesar de seguir as tendências na maioria dos casos, o que saliente que, mesmo em estágio muito menos desenvolvido, o país ainda consegue se modernizar em certo grau, os crescimentos precisariam ser bem mais intensos para que refletissem uma transformação estrutural rumo a digitalização.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Desde as décadas de 19870 e 1980, as tecnologias ligadas às TICs, internet, computação e suas diversas aplicações vêm se desenvolvendo e sendo introduzidas em todos os setores, em maior e menor grau, de maneira rápida e transformadora. Na última década, principalmente, essa evolução vem ganhando novos contornos e uma velocidade ainda maior de aprimoramento inovativo e pervasividade nas atividades produtivas. As novas tecnologias digitais (*e.g.*, computação em nuvem, *big data*, IA, manufatura aditiva, etc.) vêm ganhando funcionalidades inéditas, sendo capazes de performar atividades antes exclusivamente realizadas pelo homem.

Flexibilidade da produção, conectividade em tempo real, customização em massa, máquinas inteligentes capazes de aprender de forma autônoma são algumas das possibilidades no horizonte da nova economia digital. Entretanto, apesar de um futuro promissor em termos de produtividade, renda e novos produtos, a I4.0 vem gerando grandes preocupações no mundo do trabalho.

Com as máquinas ganhando novas competências e sendo capazes de realizar um conjunto maior de atividades não-manuais, o potencial de automação, ou seja, a substituição do trabalho humano pelo da máquina, vem gerando grande preocupação para o futuro da classe trabalhadora. Tanto na sociedade, como no academia, muito vem se discutindo sobre a amplitude que esse processo pode tomar no futuro próximo e quais os reais efeitos sobre a mão de obra. Em uma década marcada por crises, baixo crescimento econômico, ataques aos direitos trabalhistas e o avanço de novas e repaginadas formas de precarização do trabalho, além da própria pandemia da Covid-19, as novas tendências tecnológicas digitais surgem como mais uma variável que pode levar a um cenário ainda mais alarmante.

O capítulo 1 tenta explorar esses temas, expondo o que é a I4.0, suas características e potenciais efeitos sobre o sistema produtivo. Ademais, também explora a relação entre a tecnologia e o trabalho e como as novas inovações digitais trazem parâmetros inéditos para esse contexto. Além disso, como forma de ampliar e enriquecer o debate, também é abordada a discussão sobre a relação destas inovações com os desenvolvimentos tecnológicos das TICs, tentando trazer uma visão alternativa sobre os desdobramentos do que a visão predominante chama de 4ª Revolução Industrial.

O capítulo ainda explora a formação histórica do mercado de trabalho nacional e como esse processo impõe graves restrições a classe trabalhadora atual, salientando a necessidade de se realizar sempre uma análise a luz dos determinantes estruturais doméstico. Nessa mesma toada, a última seção do capítulo ainda apresenta uma breve comparação, em

termos de produção, tecnologia e qualificação, entre o Brasil e os EUA, afim de relativizar a comparação das ocupações, dadas as distintas estruturas tecnoprodutivas nacionais que condicionam cada mercado de trabalho.

Já no capítulo 2, adentra mais especificamente no tema da automação. O foco é precisamente sobre os efeitos destas tecnologias no conjunto de habilidades e competências. Com as máquinas sendo capazes de performar atividades antes exclusivamente humanas, certas habilidades serão mais demandadas e outras serão parcial ou completamente absorvidas por elas, levando a discussão sobre quais delas ganharão destaque, e que devem ser o foco do aprendizado, e quais cairão em desuso. Além disso, o capítulo também aborda a metodologia empregada na pesquisa e utilizada para exploração dos dados.

Por fim, o capítulo 3 discute os resultados alcançados a partir da metodologia empregada para a comparação da situação brasileira e norte-americana, em relação a evolução de ocupações emergentes e com tendência elevada de automação. O objetivo principal desta análise foi verificar a distância que o Brasil se encontra, a luz da progressão da estrutura ocupacional, de uma país que na fronteira tecnológica e que vem realizando grandes esforços rumo a digitalização.

Como a mudança na estrutura ocupacional é um reflexo direto da transformação da estrutura produtiva, e não ao contrário, a análise revelou uma situação melhor do que se poderia esperar em termos de seguir a tendência de valorização de certas ocupações e a tendência internacional de países centrais, representados, aqui, pelos EUA. Devido à especialização em setores de baixo valor agregado, a desindustrialização prematura que dura mais de 40 anos e a própria formação histórica extremamente problemática do mercado de trabalho nacional, esperava-se que as ocupações emergentes não apresentassem grandes crescimentos, dado que o Brasil não foi capaz de acompanhar plenamente a evolução tecnoprodutiva das TICs.

Inicialmente, apesar das limitações metodológicas, a metodologia confirma a literatura para os EUA. Ou seja, a metodologia foi bem construída e mostra-se funcional e efetiva para a análise empregada.

Vê-se nos resultados que a maioria das ocupações selecionadas emergentes vêm seguindo ambas as tendências. Isso é um bom sinal, dado que profissões em destaque aumentaram substancialmente seus patamares na década analisada, indicando que a estrutura produtiva vem evoluindo, em certo grau, rumo a digitalização.

Entretanto, na maioria dos casos, e, principalmente, no casos de ocupações ligadas mais diretamente ao ambiente digital (1º bloco), pode-se supor que mesmo elevados, os crescimentos não são suficientes. Mesmo considerando a diferença entre as populações dos países, o número total de trabalhadores empregados nessas ocupações ainda são muito reduzidos quando comparados aos níveis norte-americanos. Portanto, os resultados devem ser vistos com cautela.

No caso específico das ocupações com elevada tendência de automação, os resultados são mais dúbios, levando em conta que até mesmo os EUA divergem em algumas delas, em relação a própria tendência de automação. Alguns casos estadunidenses já demonstram o que a literatura vem ressaltando, como os operadores de equipamentos de entrada e transmissão de dados e os secretários com certa intensidade, mas a maioria não. No caso do Brasil, apenas duas seguem a tendência de automação, mas a maioria segue a tendência norte-americana. Assim, pode-se supor que, para algumas ocupações, a realidade da automação já é mais presente, como nos casos citados acima, entretanto, ainda não se vê o efeito nas demais. Isso, provavelmente, se deve a necessidade de desenvolvimento das tecnologias para que alcancem um nível de maturidade mais elevado e serem implementadas de maneira mais ampla e sistêmica na produção.

Assim, apesar do indicativo de que a progressão da estrutura ocupacional está seguindo as tendências tecnológicas, o que aponta uma certa evolução da estrutura produtiva, conjectura-se uma insuficiência de crescimento para acompanhar as tendências rumo a nova economia digital. Além disso, a maioria das ocupações com tendência de automação apontam que o Brasil ainda depende delas e, apesar da maioria seguir a tendência norte-americana, ambos divergem da tendência de automação.

Dito isso, é de vital importância que o país realize esforços e formule políticas para que a distância atestada aqui seja diminuída e para que seja capaz de acompanhar a transformação digital em andamento. Logo, mostra-se um imperativo combinar políticas industriais com políticas ativas do mercado de trabalho (KORINEK, STIGLITZ, 2021). Assim, serão expostas aqui algumas alternativas em termos de medidas que o país poderia realizar para que seja capaz de solidificar o processo de *catching-up* tecnológico e produtivo. Não espera-se propor aqui uma gama completa de políticas em todos os campos necessários, pois isso está fora do escopo do presente trabalho. Dessa maneira, o foco será em políticas industriais e de qualificação da mão de obra. Para tal, as propostas serão baseadas em políticas que já vêm sendo salientadas e discutidas na literatura, seguindo as linhas teóricas

estruturalista, desenvolvimentista e, principalmente, evolucionária sobre as quais a presente pesquisa é construída.

Tais ações devem, ainda, estar conectadas as demandas sociais e de serviços públicos afim de serem legitimadas pela população. Assim como as demandas ambientais precisam estar acopladas ao desenvolvimento tecnológico, de novos produtos e novos materiais *eco-friendly*, assim como outros investimentos, públicos e privados, sustentáveis e de recuperação ecológica. Essas questões são de grande relevância para o Brasil, dado que já vem se manifestando na economia doméstica e também devem fazer parte de uma nova estratégia nacional. Todavia, o desafio é muito maior. A desigualdade, a fome, a devastação da Amazônia e a falta de condições e garantias mínimas para reprodução social da vida e do trabalho já eram problemas estruturais da economia doméstica e vem se expandido, principalmente nos últimos anos. Assim, tais questões precisam estar inseridas e intimamente relacionadas à uma nova estratégia nacional. Ademais, a pandemia da Covid-19 tornou a situação ainda mais preocupante, sendo uma nova variável que também deve ser levada em conta. Aumento do desemprego e do desalento, insegurança alimentar e gargalos na estrutura de saúde e de desenvolvimento de vacinas são graves problemas impostos pelo vírus e pela incapacidade, desconhecimento e despreparo do governo Bolsonaro. Ou seja, uma nova estratégia nacional precisa levar em conta todos esses determinantes locais para que seja efetiva e social e ambientalmente responsável.

Entretanto, ressaltamos que, se o arcabouço macro da política econômica se mantiver, tripé macroeconômico (superávit primário, câmbio flutuante e metas de inflação), teto de gastos, juros elevados, etc., não haverá espaço para o conjunto de políticas que serão sugeridas. Ou seja, será necessário uma mudança profunda e consistente nas bases que formam o sistema institucional e político do país e um verdadeiro compromisso com seu desenvolvimento sustentável e equânime.

Dado os enormes gargalos e entrevas produtivos, tecnológico e sociais, herdados da formação histórica da estrutura tecnoprodutiva doméstica, a recuperação da capacidade de intervenção e de análise estratégica do Estado é uma **pré-condição** para a efetividade de uma nova PI que almeje colocar em prática uma transformação estrutural rumo as atividades de maior valor agregado e conteúdo tecnológico.

Uma novidade em termos de ações de fomento à inovação são os institutos de pesquisa e demonstração (*testbeds*) (LABRUNIE et al, 2020). Os institutos *Manufacturing USA*, por exemplo, fornecem aos membros uma rede de fabricantes de todos os portes,

empresas de engenharia, organizações sem fins lucrativos, instituições acadêmicas e parceiros locais do governo estadual e federal que compartilham estruturas e know-how de P&D e propriedade intelectual, disponibilizam acesso a equipamentos e instalações de fabricação avançadas e mecanismos para o desenvolvimento e treinamento de mão de obra (MANUFACTURING USA, 2020, apud LABRUNIE et al, 2020). O Brasil já vem implementado ações nessa área através das Fábricas do Futuro e Testbeds, porém, os aportes de recursos ainda são modestos (IEDI, 2018) e falta uma visão mais integrada em rede de cooperação e compartilhamento de aprendizados entre atores transversais que vem sendo destaque nas novas PIs. Isso requer a solidificação e fortalecimento do Sistema Nacional de Inovação (LUNDVALL, 1992; NELSON, 1993; FREEMAN, 1995) que é pouco desenvolvido no país e carece de um nível mais robusto de colaboração entre os agentes, recursos para P&D e participação mais efetiva do setor empresarial. Isto é um ponto essencial para consolidar os estágios da inovação e construir uma visão integrada das políticas, com foco no desenvolvimento tecnológico, superando a concepção empregada de um Estado auxiliador e reformista com base em políticas exclusivamente horizontais (ALBUQUERQUE, 1996). O Estado precisa ter um papel de maior importância nesse conjunto, tanto como agente estruturante das novas forças produtivas e da estratégia nacional de desenvolvimento, como propulsor e orientador da sua difusão, fortalecendo ações simbióticas entre empresas, universidades e organizações sem fins lucrativos (CASSIOLATO, LASTRES, 2005).

Assim, o desafio de formular uma estratégia nacional de desenvolvimento industrial não pode se limitar apenas ao financiamento de P&D básica e mecanismos mais “convencionais”. O apoio ao aumento de escala de tecnologias emergentes, desenvolvimento das PMEs, dos ecossistemas de inovação e de padrões técnicos adequados, além de mecanismos de treinamento e qualificação são necessários, porém não suficientes. Dados os determinantes estruturais da economia nacional, tal estratégia precisa colocar em prática ações mais incisivas baseadas na capacidade única do Estado de promover a evolução das forças produtivas, via políticas mais intervencionistas.

Além de ser estruturada a luz dos determinantes locais, a heterogeneidade entre os setores deve embasar, também, a PI. Intensidade de utilização de insumos (capital, trabalho), intensidade científica e tecnológica, grau de abertura à concorrência internacional, entre outros fatores específicos a cada setor fazem com que potencialidades e urgências distintas se manifestem em cada um deles, exigindo mecanismos diferentes para apoio e

incentivo à produção e à inovação. Assim, uma vez identificadas as principais oportunidades, dimensionadas a luz destas especificidades, pavimenta-se o caminho para a definição das demais dimensões da política. A correta identificação destas prioridades e definição de instrumentos capazes induzir e acelerar a difusão tecnológica, moldarão não só as possibilidades que o Brasil terá pra fomentar o desenvolvimento tecnológico, como, também, as necessidades em termos de recursos humanos, infraestrutura, atualização das normas e regulações e articulação institucional (CNI, 2018b).

Isso faz-se mais ainda relevante e complexo quando leva-se em conta que muitas empresas ainda se encontram na geração analógica. Em um amplo estudo liderado pela CNI, o projeto Indústria 2027, mostra que apenas 1,6% das empresas encontravam-se na Geração 4, a mais avançada em termos da adoção de tecnologias digitais, sendo a constatação mais preocupante que 77,8% nem se quer alcançaram a Geração 3 (produção integrada, com uso relativamente intensivo de TICs). Esse panorama reforça a necessidade de avaliação e dimensionamento das oportunidades direcionadas a cada situação, compreendendo suas necessidades e entraves para a modernização produtiva. Logo, compreendendo o caráter cumulativo do conhecimento e do aprendizado (DOSI, 1982), ao mesmo tempo em que serão necessárias políticas direcionadas especificamente ao desenvolvimento das tecnologias da I4.0, também serão exigidos esforços para que a maioria das empresa alcance a produção integrada, para assim, se crível a evolução rumo as novas tecnologias digitais.

Essa constatação deixa claro a necessidade de construção de competências das empresas para que elas tenham os meios pelos quais realizar a modernização da sua produção, condizente com a nova fronteira tecnológica. Por exemplo, uma empresa não conseguiria desenvolver efetivamente recursos avançados de análise e tratamento de dados em tempo real, se ainda não é capaz de implementar com eficácia as TICs básicas ou se suas tecnologias de produção de hardware ainda não contarem com um nível satisfatório de conectividade. Ou seja, o desenvolvimento de competências básicas e intermediárias são uma pré-condição de que as firmas precisam para encurtar seus *gaps* de competências digitais (*digital capabilities gap*) para, assim, se envolvam com recursos digitais avançados (ANDREONI; ANZOLIN, 2019). Portanto, ao invés de se concentrar em apenas no fomento as tecnologias da I4.0, países como o Brasil precisarão identificar corretamente os conjuntos específicos de competências básicas e intermediárias, para, assim, serem capazes de se aprimorarem rumo as novas inovações digitais. A correta identificação do processo incremental pelo qual as empresas podem acumular capacidades ao longo do tempo é central, se as firmas quiserem

se envolver com tecnologias e funções cada vez mais complexas (ANDREONI; ANZOLIN, 2019)⁶⁷.

Apesar das capacidades e competências extremamente desiguais, com grandes empresas nacionais e internacionais coexistindo com uma game muito maior de firmas menos sofisticadas, o Brasil possui segmentos com competitividade internacional e com elevado conteúdo tecnológico de ponta. Aeronáutica, equipamentos agrícolas e motores elétricos são algumas destas atividades e possuem as competências acumuladas que as permitem empreender em inovações de ponta (CNI, 2018). Em casos como estes, o apoio e o fomento do Estado pode auxiliar estas empresas na atualização das suas habilidades, fortalecer seus ecossistemas de inovação e diversificar sua atuação rumo a novos segmentos. Além destes, poderíamos citar o setor de softwares e construção civil, porém, ambos sofreram recentemente com a extinção da CEITEC (uma empresa pública com um certo nível importante de capacidades já estabelecidas e líder nacional do desenvolvimento destas aplicações) e a perseguição às empresas envolvidas na Lava Jato, respectivamente. Apesar disso, ainda são setores importantes, dado a centralidade dos softwares e sua elevada intensidade tecnológica e o potencial de absorção de mão de obra, respectivamente. Assim, ambos poderiam ser destaque em uma nova estratégia nacional.

A pulverização das políticas e das instituições que as formulam são um entrave para a correta definição destas prioridades e necessidades específicas. Os sistemas de apoio e de governança das políticas de inovação devem ser articulados conjuntamente entre governo, a indústria e a academia. Para que esse problema seja contornado e a PI ganhe o grau de importância necessário para sua correta e efetiva condução, poderia ser criado um órgão de assessoria especial ligado diretamente ao Presidente da República, voltado para preparação das estratégias, tomada de decisão em ciência, tecnologia e inovação (CT&I), fortalecimento da articulação interministerial e a interlocução entre os setores público e privado (CNI, 2018d). Entre os interlocutores, poderiam estar presentes os níveis hierárquicos mais altos do Ministério da Economia (que hoje é uma fusão dos antigos Ministérios da Fazenda, do Planejamento e Gestão e da Indústria, Comércio Exterior e Serviços), do Trabalho, da Educação e da Ciência, Tecnologia e Inovação. Além destes, representantes da academia e outras organizações de pesquisa focadas e especializadas na área, como a própria Confederação Nacional da Indústria (CNI), a Agência Brasileira de

⁶⁷ O mesmo estudo fornece uma matriz de competências (tabela 3) básicas, intermediárias e avançadas para industrialização digital e é um excelente exemplo para visualizar o que foi discutido no parágrafo.

Desenvolvimento Industrial (ABDI), Associação Brasileira de Economia Industrial e Inovação (ABEIN), dentre outros atores que fortaleceriam o corpo técnico especializado para formulação de uma nova estratégia nacional de desenvolvimento industrial e inovativo. Ademais, poderia, também, ser criado um canal de interlocução com a classe empresarial. Isso faria com que fosse relegado a PI um lugar de destaque nas políticas nacionais, elevando seu grau de importância para a economia doméstica, além de contar com um corpo técnico altamente preparado para sua formulação, condução e avaliação. Aliado a práticas permanentes de monitoramento e avaliação, essa nova governança evitaria os problemas recorrentes de choques de orientações, multiplicidades de objetivos desconexos e sobreposição de competências que são recorrentes nos arranjos institucionais das políticas nacionais (SUZIGAN et al, 2020).

A construção participativa facilita a identificação dos entraves, oportunidades, e vulnerabilidades de cada segmento e pode resultar em estratégias e objetivos mais bem alinhados as necessidades dos agentes locais e potencializar seus resultados (UNIDO, 2020). O Plano de Ciência e Tecnologia e Inovação para Manufatura Avançada foi implementado em 2017/2018 e conta com um corpo técnico composto por diversas instituições e empresas especializadas que trabalham colaborativamente para a promoção de produtos e atividades científicas e tecnológicas, realizando consultas sobre perspectivas e desafios do governo, entidades privadas e organizações de pesquisa. Isso é um passo importante para a formulação adequada de estratégias para a nova transformação digital e pode render bons frutos no futuro, caso os esforços se mantenham. Os resultados poderão ser avaliados em alguns anos e utilizados para aprimorar os mecanismos de governança e de formulação das políticas nacionais para a I4.0. Ademais, uma visão de longo prazo precisa fazer parte destas políticas, ao mesmo tempo em que sintoniza os objetivos de curto prazo aos objetivos de transformação estrutural de longo prazo (UNCTAD, 2019).

Vale ressaltar que, além do Plano para Manufatura Avançada, diversas ações voltadas para a digitalização e a I4.0 já vem sendo realizadas no Brasil (ver CNI, 2018; IEDI, 2018, AMORIM et al, 2020). Entretanto, acabam apresentando falhas de governança, falta de um objetivo claro e centralizado, pulverização, assim como falta de recursos. Essas iniciativas, assim como aquelas que já apresentam resultados positivos, devem ser expandidas, exploradas e aprimoradas.

Como foi ressaltado anteriormente, a correta identificação das oportunidades de cada segmento é essencial. Assim, a criação de um plano de digitalização específico para

cada empresas/setores/regime tecnológico, que leve em consideração os condicionantes de concorrência, financiamento, impacto de novas tecnologias direcionadas, etc., poderia ser realizado por um Programa Nacional para Elaboração e Implementação de Plano Empresarial Estratégico de Digitalização (CNI, 2018b). A partir de uma rede de instituições, capacitadas para prestar serviços de elaboração desses planos, as empresas estariam melhor preparadas para colocar suas estratégias em prática, identificando corretamente suas oportunidades, gargalos e necessidades para seu processo de modernização digital. Entretanto, pode-se considerar uma medida mais ousado, dado que seria necessário uma multiplicidade de empresas e instituições para que o Programa seja articulado em todo território nacional, exigindo um elevado nível de coordenação e recursos.

Além da clara necessidade de ações voltadas para o desenvolvimento de programas e serviços de prospecção tecnológica, para a correta identificação de nichos nacionais com maior potencial para inovações de ponta e para a criação de programas tecnológicos a luz das necessidades brasileiras, a ampliação do programa de *testbeds* é uma alternativa importante. Como já foi ressaltado, essas estruturas teriam o objetivo de direcionar esforços conjuntos das instituições de ciência e tecnologia e das empresas para o desenvolvimento de tecnologias específicas. O compartilhamento de experiências, conhecimentos e técnicas em um ambiente colaborativo pode potencializar a inovação e seus subsequentes estágios. Projetos cooperativos como esses poderiam utilizar recursos da chamada pública da Lei de Informática, ou mesmo ser criada uma linha dedicada da Empresa Brasileira de Pesquisa e Inovação Industrial (Embrapii), órgão que vem mostrando resultados muito positivos baseados na interação entre empresas e universidades desde sua criação em 2013 (CNI, 2018b). Além da necessidade de criação de novas institucionalidades, programas e instrumentos, vale ressaltar que iniciativas exitosas como a da Embrapii e da Inova Empresa devem ser preservadas.

Apesar deste tipo de medida promover a difusão tecnológica, mais ações nesse quesito seriam necessárias. Os esforços devem se concentrar em duas direção (CNI, 2018): pelo lado da oferta, reforçando as capacidade de oferta de soluções adaptadas e eficientes; e pelo lado da demanda, através da disseminação do conhecimento e promoção do uso de soluções inovativas. Nesse sentido, aumentar a motivação interna das firmas e prepará-las tecnicamente, ao mesmo tempo em que induzir pressões externas de consumidores e fornecedores é um ponto chave. Além disso, o financiamento precisa se adequar as condições necessárias, viabilizando sua disponibilidade e previsibilidade para que as firmas possam

traçar suas estratégias com confiança. O país já conta com instituições consolidadas e experientes nessa área (e.g., FINAME e BNDES) que devem aplicar seu know-how e potencializar as novas ações do Estado. Ademais, o incentivo por meio de programas de assistência empresarial também é um incentivo a ser promovido na área. Com consultores técnicos qualificados prestando assistência diretamente às empresas, esse tipo de programa pode fomentar a difusão de novas práticas de gestão e tecnologias digitais (CNI, 2020). Aqui, o fomento ao desenvolvimento dos ecossistemas, organização em rede e correta identificação das necessidades específicas também são necessárias.

Mais especificamente, sugere-se a criação de um programa para estimular empresas-âncora a promoverem a difusão de tecnologias da I4.0 em suas cadeias produtivas, via, principalmente, qualificação e transferência de tecnologia (CNI, 2018b). De acordo com a pesquisa, o programa poderia ser baseado em instrumentos de crédito, destinados a apoiar investimentos na aquisição de software e bens de capital dos fornecedores destas empresas. Além disso, também é sugerido a criação de uma linha de subvenção para o financiamento da elaboração destes planos de integração digital da cadeia, além da implementação de programas e certificações de uso das novas tecnologias digitais. Isso faria com que a cadeia produtiva como um todo se modernizasse, os fornecedores conseguiriam reduzir custos e elevar sua produtividade, levando bens intermediários de ponta para as empresas e possibilitando a expansão dos seus clientes rumo a internacionalização (LABORY; BIANCHI, 2018). A difusão é algo central para que a economia doméstica como um todo consiga evoluir e esteja sintonizada com os objetivos de desenvolvimento.

As empresas integradoras, ao fazerem a ligação entre a empresa demandante e os produtores de tecnologias da I4.0, também possuem um papel importante na difusão das novas inovações digitais. Diante a enorme necessidade de serviços integradores de soluções tecnológicas e a limitada capacidade destas empresas na economia doméstica, são necessárias medidas de apoio a constituição e desenvolvimento dessas empresas. Capacitação dos empresários e do corpo técnico das firmas, apoio a definição de estratégias e financiamento adequado são algumas das ações básicas que podem ser colocadas em prática e potencializar essa prestação de serviços de soluções inovativas (IEDI, 2018). O Banco NACIONAL de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) e a Financiadora de Estudos e Projetos (Finep) poderiam oferecer linhas de crédito e de renda variável específicas às atividades de integração voltadas para a I4.0, visando a capacitação de recursos humanos, capital de giro e aquisição de programas de automação industrial (CNI, 2018b). Ademais, a Lei de Informática

poderia permitir a utilização de uma parte dos recursos para equalização dos juros (CNI, 2017), reduzindo os custos de financiamento.

A Lei do Bem é um importante instrumento voltado para inovação já institucionalizado no país, porém, existem aprimoramentos que poderiam ser colocados em prática para ampliar seu grau de efetividade e de alcance às empresas. Algumas possibilidades são (CNI, 2018d): i) utilização dos benefícios em mais de um ano de apuração fiscal; ii) contratação de empresas externas para realização de atividades de P&D; e iii) admissão de gastos com pesquisador não residentes. Além disso, aqui também se faz necessário uma desburocratização de processos de prestação de contas que onera as atividades de inovação. Essas medidas tornariam a lei mais acessível e segura, potencializando suas funcionalidades.

As compras públicas são um instrumento de extrema importância para segmentos específicos que dependem fortemente de demanda garantida para que possam desenvolver e implementar estratégias de inovação de ponta. Associar esse tipo de política à oferta de serviços públicos para a sociedade cumpre tanto objetivos de desenvolvimento de soluções tecnológicas digitais, como de melhorar as condições de vida da população. Por exemplo, demandas do Estado voltadas para a gestão de sistemas de transporte e para as áreas de energia, de segurança e de saúde poderiam realizar ambos os objetivos (CNI, 2018a). Ao mesmo tempo, poderiam ser criadas linhas de compras específicas para produtos inteligentes na área de defesa, segurança pública e gestão de sistemas de saúde, com foco em tecnologias de ponta. Além disso, o mesmo estudo ressalta que as encomendas tecnológicas podem ser implementadas efetivamente, com o governo demandando soluções baseadas em *IoT*, *IA* e manufatura aditiva aplicáveis à administração pública ou por empresas e instituições vinculadas ao setor público nacional. Além destes, o setor de serviços intensivos em tecnologia também se beneficiaria desse tipo de política (DIEGUES; ROSELIINO, 2020). Como visto durante a pesquisa, o setor de serviços vem crescendo no Brasil, todavia, em sua maioria, não são intensivos em tecnologia. Dado seu limitado desenvolvimento nacional, esta medida poderia fomentar a mudança técnica de empresas que já existem, elevando o conteúdo tecnológico e se estabelecendo no mercado intensivo em inovação. Os recursos para tal poderiam advir das próprias obrigações de investimento em P&D por parte dos setores de energia elétrica, petróleo e informática, promovendo a ampliação do conhecimento e do desenvolvimento tecnológico, que, posteriormente, se difundiriam para o restante da economia doméstica (CNI, 2018a).

As *startups* vem ganhando papel de destaque na nova morfologia do sistema produtivo que vem se desenhando. Apesar de serem caracterizadas por um menor porte, possuem elevadas competências tecnológicas no fornecimento e criação de soluções digitais para as grandes empresas. Assim como, também, extremamente significativas na formação de recursos humanos qualificados, sendo importantes ativos a serem explorados pelos demais segmentos de oferta (UNIDO, 2017). Mesmo com o impulsionamento desse nicho no Brasil nos últimos anos, grandes esforços são necessários para tornar a evolução destas empresas mais sustentável (CNI, 2017). Aliados a elevada capacitação técnica nacional em softwares e barreiras à entrada relativamente baixas, estas empresas têm um grande potencial para a solidificação da I4.0 no país. Entretanto, a liquidação da CEITEC vão na contramão do sugerido aqui, sendo um dos grandes legados da destruição do Estado do governo Bolsonaro.

Um dos maiores desafios do segmento está na formação técnica dos empresários, em termos de construção de negócios e visão comercial. Apesar do elevado nível de qualificação inovativo, a grande maioria dos empreendedores são jovens egressos das universidades que não possuem o know-how de gerenciamento e coordenação de negócios. Atualmente, existem dois programas em andamento no território nacional voltados para esse entrave, o InovAtiva Brasil⁶⁸ e o Conexão Startup Indústria⁶⁹, com o foco de acelerar e promover o ambiente de negócios das *startups*. São iniciativas que já mostram resultados relevantes e devem ser preservadas pelo governo (CNI, 2018b). Além do fortalecimento dos programas de mentoria, também sugere-se a criação de programas específicos de incubação de empresas pelas agências de fomento a inovação e fundações estaduais de amparo à pesquisa (CNI, 2018b).

Ademais, o segmento também sofre com (CNI, 2018d): i) pulverização de recursos, apesar do montante razoável investido, que acaba enfraquecendo o potencial das iniciativas governamentais de estímulo; ii) relativa falta de segurança e estabilidade do apoio estatal que prejudica a previsibilidade de recursos financeiros ou não; iii) ausência de mecanismos eficazes de avaliação dos programas realizados para que seus resultados e impactos sejam corretamente dimensionados e utilizados para aprimorá-los e para criação de novos; e iv) reduzido relacionamento universidades-empresas, fundamental para apoiar o surgimento de novas *startups*. Esses gargalos precisam ser enfrentados para que o potencial de criação de emprego, renda e inovação que estas empresas possuem sejam realizados.

⁶⁸ <https://www.inovativa.online>.

⁶⁹ <https://startupindustria.com.br>.

Criação de um programa público nacional para estimular o investimento privado em *startups*, definindo prioridades estratégicas, principalmente nos estágios iniciais; ampliação dos recursos para capitalização dos empreendimentos, garantindo segurança e previsibilidade, além de atrativos tributários para incentivar o investimento inovador nas fases iniciais; modernização e desburocratização dos processos de abertura, fechamento e fiscalização das empresas, com a criação de um sistema eletrônico integrado para o gerenciamento de dados e processos administrativos; apoio da iniciativas de articulação entre grandes empresas e as *startups*, além da própria interação universidade-empresa, fortalecendo o intercâmbio de conhecimento via incubadoras, por exemplo; e implementar efetivamente mecanismos modernos de avaliação e acompanhamento das políticas são algumas das iniciativas possíveis para o desenvolvimento desse segmento no Brasil (CNI, 2018d).

Por fim, no âmbito de uma nova estratégia nacional para a indústria, a questão do financiamento é central. O foco do apoio estatal aos institutos de pesquisa em projetos de fronteira deve ser naqueles com objetivo de encontrar soluções aos desafios sociais e, assim, se legitimar perante a sociedade, contribuindo não só para o processo de *catching-up* tecnológico e produtiva, mas também para sanar demandas sociais nacionais (CNI, 2018). O projeto Indústria 2027 sugere que o financiamento destes projetos tenham uma continuidade plurianual, extremamente relevante para fases iniciais de investimento tecnológico que apresentam custos elevados e precisam de uma continuidade de participação do Estado e podem ser complementados com contribuições privadas, dado que o sucesso do projeto também é de interesse das empresas. A garantia de condições adequadas, condizentes com o risco tecnológico específico do projeto, aliadas a práticas modernas, como fundos de renda variável que vêm se mostrando relevantes internacionalmente, podem potencializar a alocação de recursos doméstico para inovação. Demais programas de modernização produtiva 4.0 poderiam contar com a adequação do programa Soluções Tecnológicas do BNDES, envolvendo os bancos regionais (CNI, 2018b).

Algumas iniciativas nesse sentido já vêm sendo realizadas, como o FINEP *IoT*⁷⁰ e INOVACRED⁷¹, ambos da FINEP e o Finame Máquinas 4.0⁷² e Serviços 4.0⁷³ do BNDES, todos focalizados nas novas tecnologias digitais. Apesar da relevância destas iniciativas, as taxas de juros são relativamente elevadas, mesmo em relação a própria Selic

⁷⁰ <http://www.finep.gov.br/apoio-e-financiamento-externa/programas-e-linhas/finep-iot>.

⁷¹ <http://www.finep.gov.br/apoio-e-financiamento-externa/programas-e-linhas/inovacred-empresa-e-ict-s>.

⁷² <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/bndes-finame-maquinas-40>.

⁷³ <https://www.bndes.gov.br/wps/portal/site/home/financiamento/produto/bndes-credito-servicos-40>.

(CNI, 2020). Sendo assim, buscar recursos para equalizar os juros é algo necessário, além da própria redução progressiva e sustentável da Selic que assola o setor produtivo e a dívida pública a várias décadas

Em relação a políticas voltadas para qualificação e empregabilidade apropriada da mão de obra, os esforços devem se concentrar na modernização dos modelos de ensino, adequando-os a nova realidade das tecnologias digitais. O fomento ao desenvolvimento de habilidades centrais na nova configuração produtiva precisa ser um dos focos, assim como medidas para garantir aos trabalhadores condições mínimas para a busca de emprego. A formação de grupos colaborativas entre vários grupos, como educadores, organizações, cientistas e partes interessadas, além da participação dos próprios alunos é essencial. Unindo know-how, experiências e conhecimentos especializados será possível dimensionar, desenvolver e aplicar ações coesa as necessidades nacional.

A alfabetização em dados precisa ser incluída em todos os níveis educacionais. Por meio dela, os alunos seriam capazes de gerenciar, coletar, avaliar e aplicar dados criticamente. Isso faria com que habilidades de resolução de problemas complexos, adaptabilidade, pensamento crítico e tomada de decisão fossem desenvolvidas nos alunos (TAGMU et al, 2018). Esses conhecimentos poderia ser oferecidos, tanto por métodos formais, como informais de ensino, precisando sempre estarem atualizados em termos de tendências e desafios que o mundo digital impõe (RIDSDALE et al, 2015). Nas áreas de STEM, esse tipo de habilidade cognitiva é ainda mais relevante, dado a centralidade dessas áreas do conhecimento para a I4.0. O fortalecimento da formação de ciências, matemática e engenharias pode ser feito a partir do desenvolvimento de materiais pedagógicos, novas formas de engajamento do aluno, ressaltando a importâncias dessas áreas para sua formação, assim como apoio aos professores e fortalecimento de competições acadêmicas que despertem o interesse dos alunos, além da própria atualização dos cursos (MEI, 2016).

No ensino médio, a alfabetização em dados ganha crucial importância, dado que, a partir do ensino superior, torna-se mais custoso o desenvolvimentos de habilidades básicas, podendo ser introduzidas a partir de disciplinas complementares, cursos online, workshops complementares as aulas ou mesmo ensino baseado em módulos (RIDSDALE et al, 2015). Para aprimorar o acesso pré-existente as universidade, reduzir a assimetria de informação deve ser uma prioridade. Nesse sentido, programas de divulgação de informações importantes sobre salários esperados, empregabilidade, vantagens socioeconômicas e

conteúdos centrais do aprendizado associadas a cada curso podem cumprir um papel importante no auxílio aos alunos para escolherem seus cursos (CEPAL, 2018).

Uma reforma educacional precisa visar promover a adoção de arranjos de aprendizagem mais criativos e dinâmicos. Facilitar o acesso à educação e treinamento continuados ao longo da carreira profissional também é essencial, assim como a reciclagem profissional, dado a rapidez que as tecnologias vêm evoluindo e exigindo novas competências. Para tal, é imprescindível institucionalizar os programas nacionais de treinamento ao longo da vida, em especial para os trabalhadores em ocupações com alta probabilidade de substituição pelas máquinas (DUTZ et al, 2018). Com foco na reciclagem profissional e diretamente ligado os requisitos emergentes das empresas, o País Basco criou uma nova abordagem para o treinamento, qualificação e reorientação de carreira. A partir da sua organização em clusters, com instalações de ensino e ambientes de aprendizagem atualizados, o programa testa novos métodos estratégicos de formação de recursos humanos (UNIDO, 2020). Por exemplo, a Associação de Tecnologias Eletrônicas e de Informação, em conjunto com o Departamento de Emprego, Inclusão Social e Igualdade do Provincial Conselho de Bizkaia, coloca em prática programas piloto nas áreas de TIC com alta demanda de emprego (GAIA, 2019 apud UNIDO, 2020). Esse tipo de medida pode ser menos custosa, dado sua direcionalidade restrita às demandas de cada cluster, além de poder fomentar o desenvolvimento de competências específicas emergentes para a força de trabalho e incentivar setores chaves da economia. As empresas poderiam participar mais ativamente dessas medidas, contribuindo com o fortalecimento de seus respectivos ecossistema e oferecendo oportunidades de emprego para os jovens que completaram seu treinamento, ou mesmo um estilo híbrido, no qual o aluno adquire os conhecimentos no centros de treinamento e os aplica na empresa, contribuindo para o aprendizado prático.

Ampliar os programas de treinamento, tanto para pessoas empregadas, como para aquelas a busca de emprego, mostra-se um desafio. Para tal, novas maneiras de sustentar esses programas precisam ser incentivadas. Parcerias público-privadas inovadoras envolvendo escolas, universidades, empresas e provedores de treinamento mostra-se uma alternativa viável (CNI, 2018). O próprio uso das tecnologias digitais no ensino podem potencializar as trajetórias de aprendizado, além de já familiarizar os indivíduos na utilização destas ferramentas. O uso de *big data*, por exemplo, pode facilitar o rastreamento de lacunas em termos de habilidades, mapear inconsistências e a polarização no mercado, além de ajustar as necessidades dos empregadores às competências a serem desenvolvidas

(RIDSDALE et al, 2015). A introdução de ciência da computação nos sistemas educacionais também cumprem um papel importante nesse sentido. Além de melhorar organicamente os processos de melhoria da gestão educacional, as habilidades computacionais estimulam a criatividade, a análise crítica e o pensamento lógico por meio da aplicação de conhecimentos, a partir de uma base transversal do aprendizado (CEPAL, 2018).

Os cursos abertos online também são uma ferramenta importante advindas das próprias tecnologias digitais e fornecem uma infinidade de possibilidades para novas formas de aprendizagem, dentro e fora dos sistemas educacionais. Além da flexibilidade em termos de tempo, acesso e custos baixos, também é possível personalizar o conteúdo individualmente a cada aluno (MCKINSEY, 2017). Ademais, além da complementação do ensino, é um meio útil para trabalhadores já empregos atualizarem suas habilidades em áreas específicas e emergentes em sua área.

Dada a necessidade do aprendizado ao longo da vida, para os adultos, três pontos devem orientar ações voltadas para essa parcela da população (WORLD BANK, 2019): i) diagnósticos mais sistemáticos das restrições específicas enfrentadas pelos adultos; ii) modelos flexíveis de ensino adequadas à dinâmica da vida adulta; e iii) pedagogias personalizadas para o cérebro adulto. O mesmo estudo aponta que o design dos programas direcionados é um quesito central, dado que o cérebro humano torna-se menos eficiente em adquirir conhecimento conforme o tempo e está significativamente atrelado ao seu uso recorrente. Logo, estes programas têm maiores chances de apresentarem bons resultados se as aulas e os conteúdos ensinados estiverem integrados ao dia-a-dia dos trabalhadores de maneira flexível. Para tal, a coleta sistemática de dados, voltada para identificação das restrições, pode potencializar o diagnóstico e a avaliação destes, além de ser útil para personalização do treinamento oferecido. Embutir exercícios práticos e recursos visuais, acessíveis por diversas plataformas (*e.g.*, celulares), aliados à ferramentas motivacionais (*e.g.*, feedbacks regulares, experiência de trabalho e recompensas financeiras) fortaleceriam a estrutura de aprendizagem, gerando melhores resultados em termos de qualificação (OCDE, 2020).

O Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI) cumpre um papel estratégico na qualificação profissional do país. Algumas alternativas para ampliar e potencializar seus efeitos seriam (CNI, 2018): i) a atualização do “centros de treinamento” para “centros de aprendizagem”, incorporando as novas demandas de habilidades direcionadas e se adequando as trajetórias profissionais para a aprendizagem contínua; ii)

expandir e diversificar os programas de treinamento vocacional; iii) antecipar as necessidades; e iv) mecanismos para antecipar as necessidades em termos de competências e qualificações.

A união entre o ensino geral e o técnico vem se mostrando um imperativo (DUTZ et al, 2018). No Brasil, apenas 9% dos alunos matriculados no ensino médio participam de programas vocacionais, enquanto na Alemanha, por exemplo, essas matrículas chegam a 47% dos alunos (MCKINSEY, 2017). A Comissão Europeia define educação e treinamento vocacional como: formação em habilidades e o ensino de conhecimentos relacionados a um ofício, ocupação ou vocação específica em que o aluno ou funcionário deseja participar. Nesse sentido, a educação vocacional vem sendo salientada na literatura aqui apresentada como um método central para as novas demandas de habilidade da classe trabalhadora. Isso se deve a: i) elevada valorização da combinação destas modalidades; ii) os empregos técnicos parecem exigir cada vez mais habilidades gerais intensivas de ordem superior, implicando na necessidade do aprendizado ao longo da vida; e iii) pessoas qualificadas a partir deste método se beneficiam com as oportunidades de adquirir novas habilidades (PACKARD et al, 2019). A educação profissional pode ser realizada numa instituição de ensino, como parte do ensino secundário ou superior, ou pode ser parte da formação inicial durante o emprego, por exemplo, como aprendiz, ou como uma combinação de educação formal e aprendizagem no local de trabalho⁷⁴. Esse tipo de ensino: i) atende à demanda imediata por habilidades técnicas; ii) permite transições mais rápidas da educação para o trabalho para alguns; e iii) alivia a pressão sobre o sistema universitário (WORLD BANK, 2019 p. 79).

Em relação ao ensino superior, as instituições educadoras precisam garantir um limite mínimo de habilidades cognitivas transferíveis, facilitando a busca de oportunidades diversas no mercado de trabalho (SOUSA; ROCHA, 2019). Isso nivelaria as capacidades desiguais das universidades em desenvolver habilidades mais gerais de alto nível, como pensamento crítico, resolução de problemas e comunicação. Fornecer a essa modalidade de ensino a capacidade de absorver rapidamente as mudanças tecnológicas e produtivas, mantendo sua orientação à produção de conhecimento e promovendo o desenvolvimento socioeconômico sem uma lógica ligada ao determinismo tecnológico é um passo vital (CEPAL, 2018). A Comissão Econômica para a América Latina (CEPAL) sugere que a

⁷⁴https://ec.europa.eu/eurostat/statisticsexplained/index.php?title=Glossary:Vocational_education_and_training_VET.

institucionalização de mecanismos de cooperação entre entidades de ensino públicas e privadas pode contribuir nesse sentido.

Aliado a isso, fomentar os ecossistemas de inovação das universidades, valorizando ações cooperativas e incentivando os alunos a se engajarem nesses ambientes de P&D pode trazer importantes resultados. O Brasil pode se inspirar em medidas que já vêm sendo implementadas em outros países. A Universidade de Ruanda vem implementando estratégias de ensino envolvendo avaliação aberta, oportunidades de feedback e uma avaliação progressiva curricular que equilibra o desafio acadêmico com o apoio ao aluno, promovendo as habilidades sócio-comportamentais. Em Hong Kong, um ano adicional de educação geral foi incorporado nos programas de graduação com foco no desenvolvimento destas habilidades (WORLD BANK, 2019). O Brasil deve buscar inspiração em experiências exitosas e insights relevantes de outros países, adequando-os aos determinantes doméstico.

Dado o panorama nacional, são necessárias ações voltadas a garantir o suporte de renda, assim como outros métodos de apoio, para auxiliar os trabalhadores no processo de transição de competências. Além dos próprios treinamentos atualizados, seguro-desemprego, assistência pública para encontrar trabalho, complementação da renda, políticas mais abrangentes de salário mínimo e renda básica universal são requisitos essenciais, não só para garantir o emprego a classe trabalhadora diante da transformação digital, como garantir meios dignos de reprodução social da vida e do trabalho (ILO, 2021). Ademais, instrumentos regulatórios e de proteção social, principalmente o salário mínimo estatutário, têm resultados significativamente positivos na adoção de tecnologias digitais pelas empresas (DUTZ et al, 2018).

Nesse sentido, um primeiro ponto na construção de um novo pacto social é garantir nutrição, saúde, proteção social e educação desde os primeiros anos da infância. Aqui, mais uma vez, o Estado é a única via segura para garantir o acesso desses investimentos a toda população. Cuidados no pré-natal, assistência ao parto, imunizações, micronutrientes, água potável e saneamento básico, informações para os pais, pré-escola de qualidade e registro de nascimento formam um conjunto básico para atender as necessidades de aprendizado. Dado a cumulatividade do conhecimento, investimentos iniciais nessas áreas são capazes de formar uma base sólida e resiliente para aquisição futura de habilidades cognitivas e sócio-comportamentais, além de melhorar a equalização de oportunidades, dada a tendência de elevação das desigualdades das novas tecnologias digitais (PACKARD et al, 2019). O programa *Crece Contigo* do Chile utiliza uma abordagem integrada desses

investimentos, desde o período pré-natal, e é um ótimo exemplo de como essas medidas vêm se mostrando altamente eficazes (WORLD BANK, 2019). Esse mesmo estudo do Banco Mundial ainda saliente que, um dólar adicional investido em programas de qualidade para a primeira infância rende um retorno entre US \$ 6– \$ 17, apontando para o elevado grau de efetividade de ações voltadas para esta área.

As possibilidades de fornecimento de uma renda mínima, aliado a seguridade social universal básica devem seriamente ser estudadas e viabilizadas pelo Estado. Existem diversos meios para garantir acesso mínimo a essas políticas, cada um apresentando vantagens distintas em termos fiscais, político e administrativo. Sendo assim, estudos colaborativos que unam conhecimento interdisciplinares dos distintos atores da economia, incorporando as necessidades específicas de cada classe de renda/região/parcelas marginalizadas podem prover o governo com informações detalhadas para a formulação, implementação e avaliação constata dessas medidas. Com anos de crescimento estancado, deficiências graves na educação e ataques constantes a capacidade estatal no Brasil, o ritmo da criação de emprego para novos entrantes no mercado de trabalho é alarmante, em especial para os jovens⁷⁵. Experiências internacionais de inclusão produtiva de jovens pobres e vulneráveis (*e.g.*, subsídios salariais, esquemas de obras públicas, qualificação de empreendedores e transferência de ativos e formas adaptativas de treinamento) vêm mostrando bons resultados e devem ser incorporados na institucionalidade da seguridade social nacional (PACKARD, 2019).

O Banco Mundial (2019) estimou os custos de tais políticas baseadas nos condicionantes dos países em desenvolvimento, independente do nível de renda ou cobertura dos programas existentes. Para países de renda média, como o Brasil, um pacote mais restrito de ações custaria aproximadamente 1,2% do PIB e um pacote mais abrangente estimado em 2,3% do PIB. Como o Brasil possui larga experiência na área de assistência social, com o programa Bolsa Família sendo reconhecido internacionalmente como uma das ações mais efetivas do mundo, um novo pacto social construído a partir de programas já existentes pode reduzir ainda mais a necessidade de recursos. Incorporando a renda básica universal, os custos subiram para 3,5% para um pacote mais básico e 5,2% para um mais abrangente.

Apesar de custos relativamente altos, os retornos em termos de renda, emprego, cidadania e qualidade de vida são muito promissores. Mesmo com problemas em relação à

⁷⁵<https://agenciabrasil.ebc.com.br/radioagencia-nacional/economia/audio/2021-08/pesquisa-aponta-que-os-jovens-sao-os-mais-afetados-pelo-desemprego>.

dívida pública desde 2015, ampliados com a pandemia da Covid-19, existe espaço para essas políticas. Porém, o crescimento econômico e a redução dos juros são essenciais para reverter essa trajetória, assim como a revogação do teto do gastos. O discurso predominante e desajustado de austeridade fiscal precisa ser superado, assim como os ataques constantes as instituições, além da recuperação da capacidade intervencionista do Estado nacional.

A *gig economy*⁷⁶ vem crescendo de forma acelerada nos últimos anos, sendo uma importante fonte de renda para um número grande de trabalhadores, especialmente para aqueles com dificuldade de encontrar novas empregos e acabam buscando alternativas caracterizadas por maior precariedade do trabalho. Entretanto, esse tipo de contratação traz diversos problemas. A Organização Internacional do Trabalho publicou em 2021 um abrangente estudo sobre as plataformas digitais, detalhando seus condicionantes, potencialidades e problemáticas. Tal pesquisa constatou que um número muito reduzido de trabalhadores de plataforma, principalmente para os empregados em plataformas baseadas na web⁷⁷, não conta com qualquer tipo de seguridade social, justamente por serem admitidos como trabalhadores temporários. Falta de portabilidade entre as plataformas, impossibilidade de organização entre os trabalhadores, gerenciamento exclusivamente algoritmizado e penalidades via sistemas de avaliação e classificação fora dos “contratos” são alguns outros problemas que afligem os trabalhadores. Sendo assim, com a crescente busca por esse tipo de emprego, ações precisam ser desenvolvidas para melhorar as condições de trabalho.

Em relação a ações que precisam ser implementadas para garantir condições mínimas aos trabalhadores, o estudo versa principalmente em medidas voltadas para condições mais justas e claras de trabalho, relacionada a seguridade social. A interoperabilidade entre plataformas é uma medida básica, permitindo que os trabalhadores possam realizar o compartilhamento de suas classificações, histórico de trabalho e financeiro, beneficiando não só a migração entre as plataformas, como a própria mobilidade profissional. Negociações coletivas poderiam permitir: i) a definição de taxas mínimas de pagamento; ii) o design de sistemas de classificação apropriados e de resolução de disputas; e iii) horas razoáveis de trabalho, independentemente da classificação contratual. Várias formas e institucionalidades distintas vêm sendo implementadas pelo mundo (*e.g.*, Coréia do Sul,

⁷⁶ A *gig economy* refere-se ao mercado de trabalho caracterizado pela contratação independente que acontece via plataformas digitais, marcado pelo trabalho intermitente, pouca segurança do emprego e raríssimas opções de desenvolvimento de carreira (WOODCOK; GRAHAM, 2019).

⁷⁷ O estudo categoriza as plataformas digitais em oito categorias distintas, a depender de suas finalidade. Ver figura 1.1 na página 40 para maiores detalhes.

Canadá, Alemanha, Itália, Austrália, entre outros). Assim, o Brasil precisa encontrar a melhor maneira de implementar essas medidas, adequada as condições sistêmicas domésticas. Além disso, o direito a “se desconectar” precisa fazer parte das leis trabalhistas, sem que o trabalhador seja punido por isso.

Já as medidas direcionadas a seguridade social, o estudo ressalta que ainda não existem soluções de “tamanho único”. Sendo assim, estender aos trabalhadores de plataformas as políticas já em funcionamento, adaptando-as aos quadros jurídicos e administrativos específicos é essencial. Países da América Latina, como o Uruguai, já vêm desenvolvendo maneiras inovadoras de ampliar a cobertura para esse trabalhadores. No Brasil, iniciativas nesse sentido também vêm sendo planejadas. A medida é voltada para garantir acesso a benefícios de doença, maternidade, invalidez e pensão aos motoristas de plataformas (LA SALLE; CARTOCETI, 2019 apud ILO, 2019). O governo precisa garantir a execução e avaliação desta, para, assim, possivelmente, ampliá-la para os demais trabalhadores de plataformas. No entanto, apesar de ações dessa natureza serem importantes, a extensão da seguridade social plena para todos os trabalhadores, independentemente da existência de relações contratuais deve ser o foco de qualquer país.

Por fim, existem diversos meios para aprimorar e expandir o tipo de análise realizada na presente pesquisa. Novos métodos para aprimorar a metodologia empregada poderiam ser desenvolvidos para que a análise comparativa entre países seja mais precisa. Apesar das limitações em relação as distinções entre as classificações ocupacionais e adequabilidade dos dados, esse tipo de pesquisa pode trazer insights relevantes. Tanto para identificação de ocupações emergentes e com elevada tendência de automação para cada país, avaliação da tendência de evolução da estrutura ocupacional, como mensurar a distância em termos produtivos e tecnológicos ligados ao mundo do trabalho entre países.

Além disso, também existem possibilidades de combinar esse tipo de análise com análises de produtividade, efeitos específicos da transformação produtiva na composição das ocupações, estudos setoriais, dentre outros. Unindo este tipo de informação com dados e indicadores específicos dos setores que tais ocupações estão alocadas, seria possível realizar análises e comparações mais detalhadas, além de ser possível conectar melhor os resultados ocupacionais às suas causas advinda da dinâmica econômica. Apesar desse tipo de estudo ser bem trabalhoso, exigir discussões complexas e multifacetadas e dados adequados, os resultados podem contribuir muito para a discussão da temática e para construção de políticas públicas.

Dado o panorama preocupante para a classe trabalhado, não só em relação a automação, mas aos recentes ataques ao direitos trabalhistas, novas formas de precarização do trabalho e aumento da desigualdade, pesquisas que busquem mensurar e avaliar os novos determinantes do trabalho, assim como explorar alternativas em termos de políticas públicas, tanto voltadas para apoio a classe trabalhadora, como para transformação estrutural do país, são peça chave rumo à uma economia inovativa, industrial, desenvolvida e equânime.

REFERÊNCIAS

ACEMOGLU, D. **Why do new technologies complement skills?** Directed technical change and wage inequality. *Quarterly Journal of Economics* 113, 1055–1090, 1998.

ACEMOGLU, D.; AUTOR D. **Skills, Tasks and Technologies:** Implications for Employment and Earnings. *Handbook of Labor Economics* 4, working paper 16082, jun. 2010. Disponível em: <https://www.nber.org/papers/w16082>.

ACEMOGLU, D; RESTREPO, P. **Automation and New Tasks**: How Technology Displaces and Reinstates Labor. *Journal of Economic Perspectives*, Vol 33, N 2, p 3-30, primavera, 2019

ACEMOGLU, D.; RESTREPO, P. **Artificial intelligence, automation and work**. National Bureau of Economic Research (NBER), working Paper No. 24196. Massachusetts, 2018.

ALBUQUERQUE, E. M. **Sistema nacional de inovação no Brasil**: uma análise introdutória a partir de dados disponíveis sobre ciência e tecnologia. *Revista de Economia Política*. v. 16. n. 3 (63), 1996.

ALBUQUERQUE, P. H. M. *et al.* **Na era das máquinas, o emprego é de quem?** estimação da probabilidade de automação de ocupações no Brasil. Texto para Discussão 2457, Instituto de Pesquisa Economia Aplicada (Ipea), Rio de Janeiro, mar. 2019.

AMORIM, R. M. et al. **Agenda Brasileira para a Indústria 4.0**: Avaliação do Estágio de Execução das Medidas Propostas. *Rev. FSA, Teresina*, v. 17, n. 8, art. 2, p. 20-47, ago. 2020.

ANDREONI A.; CHANG, H.-J. **The Political Economy of Industrial Policy**: Structural Interdependencies, Policy Alignment and Conflict Management. In: ANDREONI, A.; CHANG, H.-J.; SCAZZIERI, R. (ed.). *Structural change and economic dynamics*, v. 48, p. 136-150, 2019.

ANDREONI, A.; ANZOLIN, G. **A revolution in the making?** challenges and opportunities of digital production technologies for developing countries. *Inclusive and Sustainable Industrial Development Working Paper Series WP 7*. United Nations Industrial Development Organization, Vienna, 2019.

ANDREONI, A.; CHANG, H.; LABRUNIE, M. **Natura Non Facit Saltus**: Challenges and Opportunities for Digital Industrialisation Across Developing Countries. *The European Journal of Development Research*, Palgrave Macmillan; European Association of Development Research and Training Institutes (EADI), vol. 33(2), pages 330-370, Abril, 2021.

AULBUR, W.; CJ, A.; BIGGHE, R. **Skill Development for Industry 4.0**. BRICS Skill Developmente Working Grup. Índia, 2016.

ASIAN DEVELOPMENT BANK (ADB). **Asian Development Outlook 2018: How Technology Affects Jobs**. Filipinas, 2018. Disponível em: <https://www.adb.org/publications/asian-development-outlook-2018-how-technology-affects-jobs>.

ARNTZ, M. *et al.* **The Risk of Automation for Jobs in OECD Countries: A Comparative Analysis**. OECD Social, Employment and Migration Working Papers, No. 189, OECD Publishing, Paris, 2016. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1787/5jlz9h56dvq7-en>.

AUTOR, D. *et al.* **The skill content of recent technological change: an empirical exploration**. Quarterly Journal of Economics 116 (4), 2003.

AUTOR, D. **Why Are There Still So Many Jobs?** The History and Future of Workplace Automation. Journal of Economic Perspectives, vol. 29, n. 3, p. 3-20, 2015.

BALDWIN, R. **The globotics upheaval: globalization, robotics and the future of work**. New York, NY: Oxford University Press, 2019.

BALTAR, P. **Crescimento da Economia e Mercado de Trabalho no Brasil**. In: CARNEIRO, R. M.; MATIJASCIC, M. (orgs.) **Desafios do Desenvolvimento Brasileiro**. IPEA, 149-166, Brasília, 2011.

BARBOSA DE OLIVEIRA, C. A. **Formação do mercado de trabalho no Brasil**. In: OLIVEIRA, Marco Antônio (org.). **Economia & Trabalho: textos básicos**. Campinas: UNICAMP – IE, 113-129, 1998.

BRIDI, M. A. **A pandemia Covid-19: crise e deterioração do mercado de trabalho no Brasil**. Estudos Avançados, 34(100), 141-166. São Paulo, 2020.

BRENNEN, J. S.; KREISS, D. **Digitalization**. In: Jensen, K. B.; Craig, R. T.; Pooley, J. D.; Rothenbuhler, E. W. (Eds.): *The International Encyclopedia of Communication Theory and Philosophy*. Wiley: 556-566. 2016.

BRYNJOLFSSON, E.; ROCK, D.; SYVERSON, C. **Artificial Intelligence and the Modern Productivity Paradox: a clash of expectations and statistics**. NBER Working Paper Series, n. 24001, 2017. Disponível em: <http://www.nber.org/papers/w24001>.

BUTOLLO, F., JÜRGENS, U., KRZYWDZINSKI, M. **From lean production to Industrie 4.0**. More autonomy for employees? WZB Discussion Paper No. SP III 2018-303, 2018.

BUTOLLO, F. **Data, Artificial Intelligence (AI) and Industrial Internet Platforms in Global Value Chains**. Paper for the mini-conference “Digitalization, Geographies of Production and Varieties of Digitized Capitalism” at the SASE conference. New York, junho 2019.

BUTOLLO, F., SCHNEIDEMESSER, L. **Beyond “Industry 4.0”**: B2B factory networks as an alternative path towards the digital transformation of manufacturing and work. *International Labour Review*, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1111/ilr.12211>.

CASSIOLATO, J. E., LASTRES, H. M. **Sistemas de Inovação e Desenvolvimento**: as implicações de política. *São Paulo em Perspectiva*, v. 19, n. 1, p. 34-45, jan/mar. 2005

CEBREROS, A. et al. **Automation Technologies and Employment at Risk**: The Case of Mexico. Banco do México, Working Papers N° 2020-04. Junho, 2020.

CETRULO, A.; NUVOLARI, A. **Industry 4.0: revolution or hype?** Reassessing recent technological trends and their impact on labour. *J. Ind. Bus. Econ.* 46, 391–402, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40812-019-00132-y>.

COMISSÃO ECONÔMICA PARA AMÉRICA LATINA E CARIBE (CEPAL). **Transformación ocupacional y crisis social en América Latina**. Libros de la CEPAL No. 22, 1989.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). **Oportunidades para a Indústria 4.0:** aspectos da demanda e oferta no Brasil. Brasília, 2017.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). **Educação, a base para a competitividade.** Brasília, 2018.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). **Inovação:** agenda de políticas. Brasília, 2018.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). **Indústria 2027:** riscos e oportunidades para o Brasil diante de inovações disruptivas. Brasília, 2018.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). **Compras governamentais e desenvolvimento tecnológico, a experiência internacional e propostas para o Brasil.** Brasília, 2018a.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). **Indústria 4.0 e a digitalização da economia.** Brasília, 2018b.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). **Ensino de engenharia:** fortalecimento e modernização. Brasília, 2018c.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). **A difusão das tecnologias da Indústria 4.0 em empresas brasileiras.** Brasília, 2020.

COUTINHO, L. **A terceira revolução industrial e tecnológica.** As grandes tendências das mudanças. Economia e Sociedade, Campinas, SP, v. 1, n. 1, p. 69–87, 2016. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/ecos/article/view/8643306>.

COSTA, J. S. et al. **Desigualdade no mercado de trabalho e pandemia da Covid-19.** Texto para Discussão 2684, IPEA. Rio de Janeiro, ago, 2021.

DAUDT, G. M.; WILLCOX, L. D. **Reflexões críticas a partir das experiências dos Estados Unidos e da Alemanha em manufatura avançada.** BNDES Setorial, Rio de Janeiro, n. 44 , p.[5]-45, set. 2016.

DAUTH, W. et al. **German robots: the impacts of industrial robots on workers**. IAB Discussion Paper, No. 30/2017, Nuremberg, Federal Employment Agency, 2017.

DIEGUES, A. C.; ROSELINO, J. E. **Indústria 4.0 e as redes globais de produção e inovação em serviços intensivos tecnologia**: uma tipologia e apontamentos de política industrial e tecnológica. P. 1083-1101. In: Anais do IV Encontro Nacional de Economia Industrial e Inovação. São Paulo: Blucher, 2019.

DIEGUES, A. C.; ROSELINO, J. E. **Editorial - Política Industrial e Indústria 4.0: a retomada do debate em um cenário de transformações no paradigma tecnoprodutivo**. Revista Brasileira de Inovação, Campinas, SP, v. 19, p. e0200032, 2020. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/rbi/article/view/8661724>.

DIMAGGIO, P., POWELL, W.W. **The Iron Cage Revisited: Collective Rationality and Institutional Isomorphism in Organizational Fields**, in American Sociological Review, 48 (2): 147–160, 1983.

DOSI, G. **Technological paradigms and technological trajectories**. A suggested interpretation of the determinants and directions of technical change. Research Policy 11 (3): 147-162. 1982.

DUTZ, M. A. **The Jobs of Tomorrow: Technology, Productivity, and Prosperity in Latin America and the Caribbean**. Directions in Development. World Bank. Washington, DC, 2018.

ECONOMIC COMMISSION FOR LATIN AMERICA AND THE CARIBBEAN (CEPAL). **Data, algorithms and policies: redefining the digital world (LC/CMSI.6/4)**, Santiago, 2018.

EICHHORST, W. *et al.* **How big is the gig?** Assessing the preliminary evidence on the effects of digitalization on the labor market, IZA Policy Paper, n. 117, Institute for the Study of Labor (IZA), Bonn, out. 2016. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10419/162528>.

FELTEN, E., RAJ, M., SEAMANS, R. **The Occupational Impact of Artificial Intelligence: Labor, Skills, and Polarization**, NYU Stern School of Business, Set. 2019. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=3368605>.

FREEMAN, C. **The National System of Innovation in historical perspective**. Cambridge Journal of Economics, V. 19, N. 1, 1995.

FREEMAN, C.; LOUCA, F. **As time goes by: From the industrial revolutions to the information revolution**. Oxford: Oxford University Press, 2001.

FREEMAN, C.; SOETE, L. **Fast structural change and slow productivity change: some paradoxes in the economics of information technology**. Structural change and economic dynamics, 1, 225–242, 1990.

FREY, C.B.; OSBORNE, M. A. **The Future of Employment: How Susceptible are Jobs to Computerisation?** Universidade of Oxford, set. 2013.

GAIA. Asociación de Industrias de las Tecnologías Electrónicas y de la Información del País Vasco. 2019. Disponível em: <http://gaia.es/Inicio.html>.

GEORGIEFF, A.; MILANEZ, A. **What happened to jobs at high risk of automation?** OECD Social, Employment and Migration Working Papers, No. 255, OECD Publishing, Paris, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1787/10bc97f4-en>.

GOOS, M. *et al.* **Recent changes in the European employment structure: the roles of technological change, Globalization and Institutions**. Katholieke Universiteit Leuven. Mimeo, 2010.

GRUNDKE, R. *et al.* **Which skills for the digital era? Returns to skills analysis**. OECD Science, Technology and Industry Working Papers, Paris, set. 2018. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1787/9a9479b5-en>.

HENRIQUE, W. **O capitalismo selvagem: um estudo sobre a desigualdade no Brasil**. Campinas: IE / UNICAMP (Tese de doutorado), 1999.

HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. **Design Principles for Industrie 4.0**. Scenarios, in Proceedings of the Annual Hawaii International Conference on System Sciences, p. 3928–3937, 2016.

HIRSCH-KREINSEN, H. **Digitization of Industrial Work**: Development Paths and Prospects. Journal for Labour Market Research 49(1):1–14, 2016a. DOI: [10.1007/s12651-016-0200-6](https://doi.org/10.1007/s12651-016-0200-6).

INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION (ILO). **Social and Solidarity Economy and the Future of Work**. In: Euricse Working Paper for the ILO. p. 1-14, 2017. Disponível em: [http://base.socioeco.org/docs/sse_and_the_future_of_work_ilo_2017 .pdf](http://base.socioeco.org/docs/sse_and_the_future_of_work_ilo_2017.pdf).

INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION (ILO). **The Future of Work**: A Literature Review. Working Paper N° 29. Março, 2018.

INTERNATIONAL LABOUR ORGANIZATION (ILO). **World Employment and Social Outlook 2021**: The role of digital labour platforms in transforming the world of work. Genova, 2021.

INSTITUTO DE ESTUDOS PARA O DESENVOLVIMENTO INDUSTRIAL (IEDI). **Princípios de um Plano para a Indústria 4.0 no Brasil**. Carta IEDI, Edição 862. Julho, 2018.

JAGANNATHAN, S.; RA, S.; MACLEAN, R. **Dominant recente trends impacting on jobs and labor markets** - An Overview, International Journal of Training Research, 17:sup1, p. 1-11, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/14480220.2019.1641292>.

JASANOFF, S., & KIM, S.-H. **Containing the atom**: Sociotechnical imaginaries and nuclear power in the United States and South Korea. Minerva, 47, 119–146, 2009.

JASANOFF, S., KIM, S.-H. **Dreamscapes of modernity**: Sociotechnical imaginaries and the fabrication of power. Chicago, London: The University of Chicago Press, 2015.

JUNIOR, J. C. C.; HAMASAKI, C. S. **Padrões De Desenvolvimento, Mercado De Trabalho E Proteção Social: A Experiência Brasileira Entre As Décadas Liberal (1990). E Desenvolvimentista (2000).** Texto para Discussão 2021, IPEA. Brasília, dez, 2014.

KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. **Recommendations for Implementing the Strategic Initiative INDUSTRIE 4.0,** München, 2013.

KERGROACH, S. **Industry 4.0: New Challenges and Opportunities for the Labour Market.** Foresight and STI Governance, vol. 11, n. 4, p. 6–8, 2017.

KORINEK, A.; STIGLITZ, J. E., **Artificial Intelligence, Globalization, and Strategies for Economic Development.** Institute for New Economic Thinking Working Paper Series No. 146. Fev. 2021.

LABORY, S.; BIANCHI, P. **What policies, initiatives or programmes can support attracting, embedding and reshaping GVCs in regions?** Background paper for an OECD/EC Workshop within the workshop series “Broadening innovation policy: New insights for regions and cities”, Paris. Set. 2018.

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, v. 19, p. e0200020. Campinas, SP, 2020.

LA SALLE, D.; CARTOCETI, G. **Social Security for the Digital Age: Addressing the New Challenges and Opportunities for Social Security Systems.** Geneva: ISSA, 2019.

LIMA, F. R. **Tecnologias Emergentes na Indústria 4.0:** uma análise bibliométrica. Dissertação (Mestrado em Economia) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Araraquara, 2020.

LAPLUME, A.O.; PETERSEN, B.; PEARCE, J. M. **“Global value chains from a 3D printing perspective”**, Journal of International Business Studies, p. 1-15, 2017.

LUNDVALL, B. A. **National Systems of Innovation**. Towards a Theory of Innovation and Interactive Learning. Pinter Publisher, 1992.

MANZANO, M.; SALAS, C. **Desarrollo al filo de la navaja**: economía y trabajo en Brasil: 1995-2014. Revista de Economía Crítica, Nº 21, 2016.

MATTEI, L.; HEINEN, V. L. **Panorama do mercado de trabalho brasileiro entre 2012 e 2018**. Anais do XXIV Encontro Nacional de Economia Política, 2019.

MEYER, U. **The emergence of an envisioned future**. Sensemaking in the case of “Industrie 4.0” in Germany, Futures, Vol. 109, Pages 130-141, ISSN 0016-3287, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0016328718300077>.

MCAFEE, A.; BRYNJOLFSSON, E. **The Second Machine Age**: Work Progress and Prosperity in a Time of Brilliant Technologies, Nova York, 2014.

MCKINSEY GLOBAL INSTITUTE (MGI). **Big data**: The next frontier for innovation, competition, and productivity. Maio, 2011

MCKINSEY GLOBAL INSTITUTE (MGI). **A Future that Works**: Automation, Employment, and Productivity. Jan. 2017.

MCKINSEY GLOBAL INSTITUTE. **Jobs Lost, Jobs Gained**: workforce transitions in a time of automation. Dez. 2017.

MORAIS, L. P. **As políticas públicas da economia solidária (ESOL)**: avanços e limites para a inserção sociolaboral dos grupos-problema. Campinas: IE / UNICAMP (Tese de doutorado), 2013.

MYRO, R. **A policy for a new industrial revolution**. J. Ind. Bus. Econ. 46, 403–414, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40812-019-00125-x>.

NAUDÉ, W. **The race against the robots and the fallacy of the giant cheesecake: immediate and imagined impacts of artificial intelligence**”, IZA Discussion Paper series, No. 12218, Bonn, Institute of Labor Economics (IZA), 2019.

NEDELKOSKA, L., QUINTINI, G. **Automation, skills use and training**. OECD iLibrary, OECD Social, Employment and Migration Working Papers, 2018.

NELSON, R. **National Innovation Systems: a Comparative Analysis**. Oxford University Press, 1993.

NUVOLARI, A. **Understanding successive industrial revolutions: A “development block” approach**, Environmental Innovation and Societal Transitions, Vol. 32, Pages 33-44, ISSN 2210-4224, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2210422417301478>.

ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO (OCDE). **Enabling the next production revolution: issues paper**. Paris, 26-27 mar. 2015.

ORGANIZAÇÃO PARA A COOPERAÇÃO E DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO (OCDE). **Enabling the next production revolution: the future of manufacturing and services - interim report**. Meeting of the OECD Council at Ministerial Level Paris, jun. 1-2, 2016.

PACKARD, T. et al. **Protecting All: Risk Sharing for a Diverse and Diversifying World of Work**. Human Development Perspectives. Washington, DC, World Bank, 2019.

PARDI, T., KRZYWDZINSKI, M., LUETHJE, B. **Digital manufacturing revolutions as political projects and hypes: evidences from the auto sector**, ILO Working Paper 3, Geneva, 2020.

PEREIRA, A. C.; ROMERO, F. **A review of the meanings and the implications of the Industry 4.0 concept**. Manufacturing Engineering Society International Conference, Spain, jun. 28-30, 2017.

PEREZ, C. **Technological revolutions and financial capital**. Cheltenham: Edward Elgar, 2002.

PEREZ, C. **Revoluciones tecnológicas y capital financiero: la dinámica de las grandes burbujas financieras y las épocas de bonanza**. México: Siglo XXI, 2004.

PIVA, M., VIVARELLI, M. **Innovation, jobs, skills and tasks: a multifaceted relationship**. DISCE - Quaderni del Dipartimento di Politica Economica dipe0001, Università Cattolica del Sacro Cuore, Dipartimenti e Istituti di Scienze Economiche (DISCE), 2018.

POCHMANN, M. **Brasil: segunda grande transformação no trabalho?** Estudos Avançados, 28(81), 2014.

POCHMANN, M.; SILVA, L. C. **A fuga do Estado da batalha entre capital e trabalho**. Revista Economia Política do Desenvolvimento, V.5 N.2, 97-113. Maceió, dez, 2018.

POCHMANN, M. **Tendências estruturais no mundo do trabalho no Brasil**. Ciência & Saúde Coletiva, 25(1):89-99, 2020.

POLLIN, R. et al. **Green Growth: A U.S. Program for Controlling Climate Change and Expanding Job Opportunities, Energy and Environment**. Washington, D.C, Centre of American Progress, 2014.

QUATROCHI, G. SILVA, A. L. G. CASSIOLATO, J. E. **Bancos 4.0 no Brasil: o que está em jogo na concorrência do setor**. Artigo de Conferência, V Encontro Nacional de Economia Industrial e Inovação FACE-UFMG, maio, 2021.

RA, S. *et al.* **The rise of technology and impact on skills**. International Journal of Training Research, 17:sup1, 26-40, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1080/14480220.2019.1629727>.

RIDSDALE, C. et al. **Strategies and Best Practices for Data Literacy Education Knowledge Synthesis Report**. Halifax: Dalhousie University, maio, 2018.

SCHOT, J., KANGER, L. **Deep transitions**: emergence, acceleration, stabilization and directionality. *Research Policy*, v. 47, n. 6, p. 1045-1059, 2018.

SCHWAB, K. **The fourth industrial revolution**. World Economic Forum, Genova, 2016.

SCHUMPETER, J. A. **Teoria do desenvolvimento econômico**: uma investigação sobre os lucros, capital, crédito, juro e ciclo econômico. São Paulo: Abril Cultural, 1982.

SILVA, V. J.; BONACELLI, M. B. M.; PACHECO, C. A. **O sistema tecnológico digital**: inteligência artificial, computação em nuvem e Big Data. *Revista Brasileira de Inovação*, Campinas, SP, v. 19, p. e0200024, 2020. Disponível em: <https://periodicos.sbu.unicamp.br/ojs/index.php/rbi/article/view/8658756>.

SOUSA, M. J.; ROCHA, A. **Digital learning**: Developing skills for digital transformation of organizations, *Future Generation Computer Systems*, Volume 91, pages 327-334, 2019.

STROHMAIER, R.; SCHUETZ, M.; VANNUCCINI, S. **A systemic perspective on socioeconomic transformation in the digital age**. *J. Ind. Bus. Econ.* 46, 361–378, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s40812-019-00124-y>.

STURGEON, T. J. **Upgrading strategies for the digital economy**. *Global Strategy Journal*, p. 1–24, 2019. DOI: [10.1002/gsj.1364](https://doi.org/10.1002/gsj.1364).

SUZIGAN, W.; GARCIA, R.; FEITOSA, P. H. **Institutions and industrial policy in Brazil after two decades**: have we built the needed institutions?, *Economics of Innovation and New Technology*, 29:7, 799-813, DOI: [10.1080/10438599.2020.1719629](https://doi.org/10.1080/10438599.2020.1719629).

TAGUMA, M.; FERON, E.; LIM, M. H. **Education and AI**: preparing for the future & AI, Attitudes and Values. Part of *Future of Education and Skills 2030*. OECD Conference Centre, Paris, França, oct. 2018.

THE ECONOMIST. **Labor Pains**. Oct, 2013. <http://www.economist.com/news/finance-andeconomics/21588900-all-around-world-labor-losing-out-capital-labor-pains>.

UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION (UNIDO). **Emerging trends in global advanced manufacturing**: challenges, opportunities and policy responses. 2017.

UNITED NATIONS CONFERENCE ON TRADE AND DEVELOPMENT (UNCTAD). **Framework for Science, Technology and Innovation Policy Reviews**. Harnessing innovation for sustainable development. Geneva, 2019.

UNITED NATIONS CONFERENCE ON TRADE AND DEVELOPMENT (UNCTAD). **Digital Economy Report 2019**: Value Creation and Capture: Implications for Developing Countries. Geneva, julho, 2019.

UNITED NATIONS INDUSTRIAL DEVELOPMENT ORGANIZATION (UNIDO). **Industrial Development Report 2020**. Industrializing in the digital age. Vienna, 2019

VALENDUC, G. Technological Revolutions and Societal Transitions. ETUI Research Paper - Foresight Brief #04, Abril 2018. Disponível em: <https://ssrn.com/abstract=3180000>

VAN DEURSEN, A.J.A.M.; MOSSBERGER, K. **Any Thing for Anyone?** A New Digital Divide in Internet-of-Things Skills. Policy and Internet, 10(2), 122–140, 2018.

WOODCOCK, J.; GRAHAM, M. **The gig economy**. A critical introduction. Cambridge: Polity, 2019.

WORLD BANK. **World Development Report 2019**: The Changing Nature of Work. Washington, DC, 2019.

WORLD ECONOMIC FORUM (WEF). **Deep Shift**: Technology Tipping Points and Societal Impact, Geneva, 2015a.

WORLD ECONOMIC FORUM (WEF). **The Future of Jobs Report 2020**. Out. 2020. Disponível em: <https://www.weforum.org/reports/the-future-of-jobs-report-2020>.

WORLD ECONOMIC FORUM (WEF). **Jobs of Tomorrow: Mapping Opportunity in the New Economy**. Jan. 2020. Disponível em: <https://www.weforum.org/reports/jobs-of-tomorrow-mapping-opportunity-in-the-new-economy>.

ZHOU, G. et al. **The effect of artificial intelligence on China's labor market**. China Economic Journal, 13:1, 24-41, 2020. DOI: [10.1080/17538963.2019.1681201](https://doi.org/10.1080/17538963.2019.1681201).