

<https://doi.org/10.20396/rbest.v3i00.15969>

DOSSIÊ: INDÚSTRIA 4.0

Indústria 4.0 e seus impactos no mundo do trabalho

*Denis Maracci Gimenez**
*Anselmo Luís dos Santos***

Resumo

O objetivo do artigo é apresentar o debate sobre os desdobramentos da Indústria 4.0 no mundo do trabalho com base em relatórios de organismos multilaterais, estudos acadêmicos e projeções de empresas de consultoria acerca das transformações tecnológicas e seus impactos sobre o emprego. Primeiro, são analisadas as principais mudanças na estrutura econômica em face do avanço da “manufatura avançada”. Em seguida, são discutidos os impactos da automação sobre o trabalho, destacando o processo de destruição e criação de empregos e as novas formas de organização laboral. Fica evidente o impacto heterogêneo das inovações tecnológicas sobre o emprego, comparando países centrais e periféricos, em relação ao ritmo das mudanças, aos setores econômicos e grupos sociais mais afetados, e ao nível de qualificação dos empregos eliminados e criados. Ao final, são feitos breves apontamentos sobre as especificidades brasileiras.

Palavras-chave: Inovação tecnológica; Manufatura avançada; Emprego industrial; Brasil.

JEL: J23, J24, L52, L60, O33.

* Instituto de Economia da UNICAMP, Brasil.

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-7343-2328>

E-mail: maracci@unicamp.br

** Instituto de Economia da UNICAMP, Brasil.

Orcid: <https://orcid.org/0000-0002-5886-3816>

E-mail: anselmocesit@gmail.com



Nota: Artigo elaborado a partir de pesquisa realizada em 2017-2018 no âmbito do “Mapa da Educação Profissional e Tecnológica no Brasil: Mercado de Trabalho e Dinâmica Ocupacional”, desenvolvido pelo Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE), integrante do Sistema Nacional de Ciência, Tecnologia e Inovação (SNCTI).

Industry 4.0 and its impacts on the world of work

Abstract

The objective of the paper is to present the debate about the consequences of Industry 4.0 in the world of work based on reports by multilateral organizations, academic studies and projections by consulting firms about technological transformations and their impacts on employment. First, the main changes in the economic structure due to the advance of "advanced manufacturing" are analyzed. Next, the impacts of automation on work are discussed, highlighting the process of job destruction and creation and the new forms of labor organization. The heterogeneous impact of technological innovations on employment becomes evident, comparing central and peripheral countries in relation to the pace of change, the economic sectors and social groups most affected, and the level of qualification of the jobs eliminated and created. At the end, brief notes are made on Brazilian specificities.

Keywords: Technological innovation; Advanced manufacturing; Industrial employment; Brazil.

Industria 4.0 y sus impactos en el mundo del trabajo

Resumen

El objetivo del artículo es presentar el debate sobre las consecuencias de la Industria 4.0 en el mundo del trabajo a partir de informes de organismos multilaterales, estudios académicos y proyecciones de consultoras sobre las transformaciones tecnológicas y sus impactos en el empleo. En primer lugar, se analizan los principales cambios en la estructura económica debidos al avance de la "fabricación avanzada". A continuación, se analizan las repercusiones de la automatización en el trabajo, destacando el proceso de destrucción y creación de puestos de trabajo y las nuevas formas de organización laboral. El impacto heterogéneo de las innovaciones tecnológicas sobre el empleo es evidente, comparando los países centrales y periféricos en cuanto al ritmo del cambio, los sectores económicos y los grupos sociales más afectados, y el nivel de cualificación de los empleos eliminados y creados. Al final, se hacen breves apuntes sobre las especificidades brasileñas.

Palabras clave: Innovación tecnológica; Fabricación avanzada; Empleo industrial; Brasil.

L'industrie 4.0 et ses impacts sur le monde du travail

Résumé

L'objectif de l'article est de présenter le débat sur les conséquences de l'industrie 4.0 dans le monde du travail sur la base de rapports d'organisations multilatérales, d'études universitaires et de projections de cabinets de conseil sur les transformations technologiques et leurs impacts sur l'emploi. Tout d'abord, les principaux changements dans la structure économique dus à l'avancée de la "fabrication avancée" sont analysés. Ensuite, les impacts de l'automatisation sur le travail sont abordés, en mettant en évidence le processus de destruction et de création d'emplois et les nouvelles formes d'organisation du travail. L'impact hétérogène des innovations technologiques sur l'emploi est évident si l'on compare les pays centraux et périphériques en termes de rythme de changement, de secteurs économiques et de groupes sociaux les plus touchés, et de niveau de qualification des emplois supprimés et créés. A la fin, de brèves remarques sont faites sur les spécificités brésiliennes.

Mots clés: L'innovation technologique; Fabrication avancée; Emploi industriel; Brésil.

Introdução

A atual onda de inovações tecnológicas está revolucionando vários aspectos da economia contemporânea e vem alterando a dinâmica de criação e destruição de empregos (Autor, 2015; Nübler, 2016). As incertezas a respeito do ritmo de difusão de tais inovações e da profundidade dos impactos sociais que serão causados no futuro próximo estimularam a elaboração de várias projeções, as quais alimentam reflexões de variadas ordens.

O propósito do artigo é propor uma reflexão baseada em análises das tendências observadas no âmbito da chamada “Indústria 4.0” (ou “manufatura avançada”) e de seus desdobramentos no mundo do trabalho. Para tal, é necessária a sistematização de estudos de organismos multilaterais, estudos acadêmicos, de empresas de consultoria estrangeiras e brasileiras, acerca das transformações tecnológicas e seus impactos sobre o nível de emprego e a organização do trabalho.

O artigo está dividido em duas partes, além da introdução e das considerações finais. Na primeira parte (“Mudanças estruturais, tecnológicas e produtivas: impactos da Indústria 4.0”), são abordadas as principais transformações da estrutura econômica em face do avanço da “manufatura avançada”. Essas inovações tecnológicas projetam avanços ainda mais significativos nas próximas décadas, podendo provocar uma profunda mudança de paradigma na sociedade, em termos da produção de novos produtos e serviços, da gênese de diferentes formas de organização no processo produtivo, tanto nas atividades da indústria, como nos serviços e no setor primário.

Na segunda parte (“Impactos da automação e da manufatura avançada sobre o trabalho”), a questão fundamental diz respeito às consequências da automação em curso, em especial no processo de destruição e criação de empregos e nas formas de organização da atividade laboral. Além das estimativas sobre a perda líquida de empregos nos países, destaca-se o impacto heterogêneo das mudanças tecnológicas em distintas realidades nacionais e entre países desenvolvidos e periféricos. Heterogeneidade que se expressa no ritmo e intensidade da destruição e criação de empregos em estruturas produtivas com graus de desenvolvimento diferentes, e nos impactos diferentes de acordo com o setor econômico, as classes sociais e os tipos de emprego, assim como na comparação entre homens e mulheres ou entre atividades de alta, de média e de baixa qualificação.

Por fim, são feitos breves apontamentos sobre as especificidades brasileiras.

1. Mudanças estruturais, tecnológicas e produtivas: impactos da Indústria 4.0

Esta seção inicial se baseia na análise de diversos estudos realizados por empresas de consultoria especializadas internacionais (McKinsey, International BAR Association [IBA],

Oxford, entre outros), por instituições multilaterais (OIT, CEPAL) e por instituição de pesquisa brasileira (IEDI) sobre as profundas mudanças tecnológicas em curso. Estudo da IBA (Wisskirchen et al., 2017, p. 12, tradução nossa) explica:

O termo Indústria 4.0 significa, em essência, a integração técnica de sistemas físico-cibernéticos (CPS) em produção e logística e o uso da “internet das coisas” (conexão entre objetos do cotidiano) e de serviços em processos (industriais) – incluindo as consequências para uma nova criação de valor, modelos de negócio, bem como serviços a jusante e organização do trabalho. O CPS refere-se às conexões de rede entre humanos, máquinas, produtos, objetos e sistemas de TIC (tecnologia da informação e comunicação). Nos próximos cinco anos, espera-se que mais de 50 bilhões de máquinas conectadas existam em todo o mundo.

Esses processos foram impulsionados por programas governamentais desenvolvidos para o país não perder (e até reconquistar) a hegemonia no setor industrial (IEDI, 2017, setembro 29). O programa alemão utilizou o termo “Indústria 4.0”. Por sua vez, no que se refere ao programa norte-americano, intitulado *A national strategic plan for a advanced manufacturing* (National Science and Technology Council [NSTC], 2012), convém esclarecer:

Publicado pelo NSTC em fevereiro de 2012, o Plano Nacional Estratégico de Manufatura Avançada foi elaborado por um grupo de trabalho interagências, a partir das recomendações e sugestões da AMP. Nos relatórios que produziu, ouvindo representantes da indústria e pesquisadores acadêmicos, a AMP sugeriu priorizar os investimentos federais em tecnologias transversais críticas com base em critérios como necessidade nacional, demanda global, competitividade da indústria dos EUA e prontidão tecnológica. Na avaliação do grupo de trabalho, a manufatura avançada está emergindo como um motor especialmente potente do crescimento econômico futuro. Manufatura avançada é uma família de atividades que (a) dependem do uso e coordenação de informações, automação, computação, software, detecção e rede, e/ou (b) utilizam materiais de ponta e capacidades emergentes habilitadas pelas ciências físicas e biológicas, como a nanotecnologia, a química e a biologia. Envolve tanto novas formas de fabricação de produtos existentes quanto à fabricação de novos produtos que surgem das novas tecnologias avançadas (IEDI, 2017, dezembro 11, p. 12).

As transformações tecnológicas que vêm ocorrendo atualmente e que projetam avanços ainda mais significativos nas próximas décadas têm sido consideradas suficientes para provocar uma profunda mudança de paradigma na sociedade, a partir de seus impactos em termos da produção de novos produtos e serviços, sobre as diferentes formas de organização no processo produtivo e, portanto, no processo de destruição e criação de empregos e de formas de organização do trabalho, tanto nas atividades da indústria, como nos serviços e também no setor primário (agricultura, pecuária, extração mineral e vegetal).

Essas transformações têm sido caracterizadas por uma nova era de automação associada à conjunção de importantes mudanças:¹ os processos de ampliação e aprofundamento da conectividade com os avanços nos sistemas de comunicações e de suas redes, nas redes internas das organizações e na chamada “*Internet of Things*” (IoT); o grande avanço no processo de sensorização; a capacidade de acumulação e processamento de dados pelos avanços dos computadores (*big data*); o desenvolvimento da Robótica e os profundos avanços nas capacidades dos robôs realizarem não somente atividades rotineiras – como no passado, na substituição do trabalho rotineiro – mas também cognitivas; os avanços na chamada “*inteligência artificial*”; o desenvolvimento do processo chamado de “*aprendizado das máquinas*” (*machine learning*); o processo de crescente digitalização da economia.

Estudos apontam que a Indústria 4.0 apresentará progressivamente fortes impactos nas formas de criação de valor, nas formas de organização de negócios, em termos da necessidade de reorganização das atividades de serviços e na organização do trabalho.² A integração de sistemas físicos e cibernéticos tem promovido uma profunda mudança nas formas de articulação entre homens, máquinas, processos produtivos e de prestação de serviços, e sistemas de tecnologia de informação, comunicação e inteligência artificial (Wisskirchen et al., 2017; Manyika et al., 2017; OIT, 2015; IEDI, 2017, dezembro 29).

Os sucessivos avanços nas tecnologias de comunicação, informação e computação e sua enorme ampliação por meios físicos ou cibernéticos conectando pessoas, máquinas, objetos, processos produtivos, logística, atividades administrativas e organizações têm criado as bases para o destaque que vem sendo dado para a “*Internet das Coisas*”, a “*Inteligência Artificial*”, a Robótica e o “*Aprendizado das Máquinas*” nessa nova onda de profundas mudanças tecnológicas já caracterizadas por alguns autores também como “*Quarta Revolução Industrial e Tecnológica*”.

Em palestra proferida no II Encontro Nacional de Economia Industrial e Inovação (II ENEI), Luciano Coutinho falou sobre o tema (IEDI, 2017, setembro 1, p. 3):

[...] a internet das coisas deve ocorrer em ondas sucessivas de sensorização ou de distribuição em objetos, equipamentos, bens de consumo e, no limite,

¹ Segundo estimativas da Mckinsey (Manyika, Chui, Miremadi et al., 2017), a adaptação da tecnologia atualmente demonstrada tem potencial técnico para automatizar aproximadamente 50% das atividades de trabalho atuais do mundo. A data em que isso poderia acontecer poderia ser em torno de 2055, assumindo que todos os fatores persistam contribuindo para uma adoção bem-sucedida, mas há cenários possíveis em que esse nível de substituição ocorre até quase 20 anos antes ou depois.

² “O termo Indústria 4.0 representa a otimização de componentes envolvidos no processo de produção (máquinas, recursos operacionais, software etc.) devido à sua comunicação independente entre si por meio de sensores e redes. Isso supostamente reduz os custos de produção, particularmente na área de planejamento de pessoal, dando à empresa uma posição melhor na competição internacional” (Wisskirchen et al., 2017, p. 13, tradução nossa).

peças, que estarão enfim equipadas ou “tagueadas” com um pequeno chip emissor de radiofrequência e de identidade, ou com pequeno sistema que, além de emitir identidade, localização etc., será capaz de acumular e processar dados ou de realizar pequenas operações microeletromecânicas.³

A inteligência artificial, processo também associado ao aprendizado das máquinas e à “internet das coisas”, pode ser definida como a articulação de sistemas – de processamento de um enorme conjunto de informações, por meio de avançados sistemas de programação com a utilização de algoritmos – a equipamentos, máquinas, robôs, e diversos tipos de dispositivos, que passam a operar a partir do que tem sido chamado de “sistemas cognitivos”, permitindo que eles possam desenvolver atividades similares àquelas encontradas na cognição humana, tais como “enxergar”, “ler”, “captar sensações” (temperatura, som, distância, movimento), “reconhecer imagens”, “entender”, “raciocinar”, “gerar e testar hipóteses”, e com isso poder “decidir ou não”, atuar de uma forma ou de outra, corrigir ou reprogramar procedimentos, evitar erros e paradas de máquinas ou processos, de uma maneira ainda tutorada.⁴ Segundo relatório da McKinsey, esse processo também inclui “fazer julgamentos tácitos, sentir emoção ou mesmo dirigir – atividades que costumavam ser consideradas difíceis de automatizar com sucesso” (Manyika, Chui, Miremadi et al., 2017, p. 1, tradução nossa).

Várias pesquisas mostram que tais atividades podem ser realizadas por máquinas ou robôs de formas mais precisas, eficientes e baratas do que a força de trabalho humano.

Segundo Coutinho (IEDI, 2017, setembro 1, p. 4),

[...] a inteligência artificial começa com a acumulação e estruturação de dados, a possibilidade de analisá-los com um grau de profundidade a que várias famílias de algoritmos matemáticos recorrem, que vão desde as nossas conhecidas ferramentas estatísticas, que refazem todas as regressões do último livro texto de econometria, até os diversos ramos da estatística e

³ “Teremos diversos tipos de sensores, alguns deles atuadores, com capacidade eletromecânica ou microeletromecânica, distribuídos em toda a frota de veículos, nos sistemas de distribuição de água e de energia e nos sistemas de iluminação pública. [...] Isso significa um potencial de economia de energia de mais de 30% [...]. Estima-se que em 2020, teremos 15 bilhões de sensores; em 2030, 30 ou 35 bilhões, e alguns mais otimistas chutam números mais altos; em 2050, alguns consultores falam em 100 bilhões de coisas ligadas à internet através desses sensores” (Coutinho, como citado em IEDI, 2017, setembro 1, p. 3).

⁴ “A inteligência artificial descreve os processos de trabalho de máquinas que exigiriam inteligência se realizadas por seres humanos. O termo ‘inteligência artificial’ significa, portanto, ‘investigar o comportamento inteligente de resolução de problemas e criar sistemas informáticos inteligentes’. Existem dois tipos de inteligência artificial. Inteligência artificial fraca: o computador é meramente um instrumento para investigar processos cognitivos – o computador simula inteligência. Inteligência artificial forte: os processos no computador são processos intelectuais e de autoaprendizagem. Os computadores podem ‘entender’ por meio de softwares/programas corretos e são capazes de otimizar seu próprio comportamento com base em seu comportamento anterior e sua experiência. Isso inclui a rede automática com outras máquinas, o que leva a um efeito de escala dramática” (Wisskirchen et al., 2017, p. 10, tradução nossa).

da matemática que são usados para simular redes em níveis e subníveis que imitam o funcionamento de redes neurais.

Esse processo de revolução produtiva e tecnológica expressa profundas mudanças nas ciências ligadas aos materiais, à computação, à eletrônica e elétrica, às formas de energia e, portanto, são resultados das profundas transformações nas ciências físicas, químicas, biológicas, da saúde humana, na nanotecnologia, nanoquímica, nanopartículas de estado sólido (Coutinho, citado em IEDI, 2017, setembro 1). Essas transformações apresentarão impactos progressivos na produção de novos produtos e serviços e na substituição de produtos e serviços ofertados atualmente, e nas novas formas de fabricação, da logística, do consumo.⁵

Nesse sentido, pode-se destacar brevemente que as mudanças nas formas de comunicação (satélites, “internet das coisas”, sensores),⁶ de controle ou comando (drones, reconhecimento de imagens, máquinas com comando autônomo ou externo aos equipamentos), nas ciências químicas e biológicas, novos materiais e nanotecnologia (nanoquímica, nanopartículas) afetarão profundamente as atividades do setor primário das economias, com os resultados de processos de intervenção no DNA, da utilização de sensores e formas de reconhecimento de imagem, para medir e controlar temperatura, umidade, necessidade de fertilizantes, maior controle sobre a eficiência no desenvolvimento do plantio e sobre a saúde de animais e definição dos melhores momentos colheita, entre outros.

No setor de serviços as atuais mudanças têm permitido a realização de projeções que indicam transformações ainda mais profundas. Na área de saúde o diagnóstico é este:

O paradigma da medicina vai mudar. Hoje ele é de tentativa e erro [...]. É necessário um processo muito longo que pode ser abreviado e modificado por uma medicina de natureza muito mais preventiva do que curativa, e que se baseia na compreensão de como o mecanismo molecular de uma determinada doença se comporta e como ele pode ser objeto de intervenção (Coutinho, como citado em IEDI, 2017, setembro 1, p. 5).⁷

Já é muito comum a utilização de *scanner* de boca no reconhecimento de imagem, enviada do consultório dentista pela internet para que o protético possa produzir a prótese por meio de impressora 3D. Robôs e máquinas inteligentes têm sido utilizados na área de

⁵ Essas transformações, segundo estimativas da Mckinsey poderiam elevar a produtividade entre 0,8% e 1,4% ao ano nas próximas décadas (Manyika, Chui, Miremadi et al., 2017, p. 15).

⁶ Em função da importância estratégica das informações nas redes conectadas, diversos trabalhos destacam o surgimento de uma atividade decisiva: a segurança das redes (Wisskirchen et al., 2017; Mckinsey, 2017).

⁷ Não somente os impactos das intervenções do DNA, mas o conjunto das mudanças relacionadas às tecnologias de informações e comunicação, biológicas, químicas, nas nanotecnologias, entre outras têm permitido que “O genoma humano, que há 15 anos custava 100 milhões de dólares, vê agora seu custo caindo para mil dólares e há quem fale que em mais algum tempo poderá custar 100 dólares” (Coutinho, como citado em IEDI, 2017, setembro 1, p. 5).

saúde em diagnósticos que requerem alta precisão, assim como têm sido decisivos em processos associados ao cuidado de pessoas e também no salvamento de vidas.⁸ Nas farmácias hospitalares, robôs têm sido utilizados na distribuição de drogas, com maior segurança, rapidez e menor custo (Manyika, Chui, Miremadi et al., 2017). Robôs também têm sido utilizados para avaliação de objetos perigosos usando controle remoto e sistemas de câmera integrados. Isso torna possível, por exemplo, desarmar uma bomba sem que um humano tenha de se aproximar dela.

Nas comunicações, observa-se um crescente processo de desmaterialização, de transformação de produtos físicos tradicionais (jornais, revistas, fotografias, CDs, DVDs), que passam a ser substituídos por gravações em softwares, em imagens virtuais, serviços de transmissão. Da mesma forma, avançam os processos de robotização da linguagem, de leitura labial realizadas de forma mais precisa do que do que o ser humano, traduções automáticas de textos e de línguas faladas, por meio de computadores e de dispositivos móveis.

Nos transportes, observa-se os avanços com os veículos autônomos, piloto automático inteligente, carros elétricos, drones, movimentação de cargas em estoques e em atividades de carga/descarga realizados por equipamentos autônomos, o rastreamento por meio dos sistemas de conectividade, sensores, códigos de produtos que identificam o local do fornecedor e também do consumidor final, processos que estão associados as mudanças tecnológicas que permitem às máquinas e dispositivos reconhecer imagens (ou “enxergar”) e locais, e capacidade de tomar decisões autônomas em relação à localização no espaço, movimento, velocidade.⁹

Na área das finanças observa-se a substituição de bilhetes de eventos tradicionais, de viagens ou mesmo de dinheiro duro, por meio da codificação do dinheiro, ou seja, a crescente possibilidade de pagamento sem contato, do pagamento por meio de computadores ou dispositivos móveis, caso exemplar da China, em que nas grandes cidades já está se tornando difícil fazer pagamentos no comércio sem a utilização de *smartphones*.

Nas atividades administrativas e contábeis, os impactos têm sido profundos com os processos de digitalização, de desmaterialização, da utilização de softwares (padronizados

⁸ É o caso do *Robo Gas Inspector*, “um robô de inspeção equipado com tecnologia remota de detecção de gás, pode inspecionar instalações técnicas, mesmo em áreas difíceis de alcançar, sem colocar os humanos em risco, por exemplo, ao detectar vazamentos em gasodutos de superfície e subterrâneos” (Wisskirchen et al., 2017, p. 15, tradução nossa).

⁹ Coutinho diz: “A fronteira agora está no reconhecimento de imagens em movimento, fundamentais para o piloto e para a navegação automática, porque a imagem parada já está reconhecida. [...] A inteligência artificial vai significar o acúmulo dessas capacitações nos equipamentos” (IEDI, 2017, setembro 1, p. 5). Houve grande avanço em razão da combinação da capacidade de supercomputação com uma instrumentação científica bastante poderosa – por exemplo, a microscopia e a espectrografia usam equipamentos que foram empoderados pela supercomputação.

ou não) de cálculos e gestão, com a utilização de redes internas às empresas (conectando as diversas unidades, fornecedores, distribuidores, parceiros e clientes) e a conexão com redes externas (para marketing, impostos, acesso a informações). Essas atividades também estão relacionadas aos processos automáticos de gravação e processamento de dados, da imitação e reconhecimento de voz (computadores nos *call centers*), substituindo as atividades tradicionais de “*back-office*”, e que têm apresentado um dos maiores impactos em termos de destruição de emprego no setor terciário.

Também no ramo da alimentação observa-se a substituição de diversas atividades de serviços (pedidos, atividades de preparo e até de entrega) por dispositivos móveis, robôs (com muita flexibilidade) e que são utilizados na execução de tarefas que anteriormente eram vistas como de difíceis mecanização, com custos muito reduzidos, e com capacidade para serem ajustados, reprogramadas ou “treinados” pelos trabalhadores nos diversos espaços de produção (Mackinsey, 2017).¹⁰

Esse conjunto de novas tecnologias tem sido fundamental para as transformações na indústria.¹¹ Com o processo de robotização, marcado pelo “aprendizado profundo” (auto aprendizagem dos robôs) das máquinas, equipamentos e sistemas do processo produtivo, a produção já tem sido mais precisa, eficiente, com redução de perdas de insumos (energia, matéria-prima), de tempo (com a identificação e antecipação de possíveis acidentes, desgastes, defeitos, reduzindo o tempo para manutenção, reprogramação, correção de defeitos), em diversas etapas da produção (mudanças de produtos, embalagem,¹² distribuição de reduzidos estoques, períodos de manutenção e outros), com fortes impactos na redução de custos em relação à utilização do trabalho humano. Além disso, as articulações via redes internas e externas (internet) permite não somente a integração corporativa, mas a integração de toda a cadeia produtiva (mesmo externalizada e globalizada), por meio da integração com fornecedores, parceiros e chegando até os consumidores, com um sentido de integração para a frente, que permite enormes ganhos a partir do prévio conhecimento e da maior flexibilidade no volume produzido de cada tipo produto, de peças e partes e insumos produzidos pelos fornecedores, de maior eficiência na logística (nos transportes, na redução e flexibilidade de

¹⁰ “Modelos de serviço conhecidos são, por exemplo, plataformas de rede como o Facebook ou o Amazon Mechanical Turk, os provedores da economia sob demanda Uber e Airbnb, ou serviços de compartilhamento, como Spotify, Netflix e compartilhamento de carros. Estudos mostram que, simplesmente devido aos serviços e compartilhamento, a rotatividade do setor crescerá vinte vezes nos próximos dez anos.” (Wisskirchen et al., 2017, p. 47, tradução nossa).

¹¹ “Exemplos bem conhecidos no campo da robótica e da IA são as chamadas ‘fábricas inteligentes’, carros sem motoristas, drones de entrega ou impressoras 3D, que, com base em um modelo individual, podem produzir coisas altamente complexas sem mudanças no processo de produção ou ação humana em qualquer forma sendo necessária” (Wisskirchen et al., 2017, p. 13, tradução nossa).

¹² Na empresa Amazon, a utilização de robôs possibilitou aos funcionários empacotar três vezes mais produtos por hora (Manyika, Chui, Miremadi et al., 2017, p. 3).

estoques e do tempo de entrega). Esses aspectos são também dinamizados pelas soluções criativas associadas à emergência das impressoras 3D, à enorme flexibilidade dos robôs, a diversos mecanismos de articulação com os clientes – baratos, rápidos e que permitem uma demanda muito mais personalizada, com fortes impactos de eficiência sistêmica nas etapas de vendas, produção, estoques e distribuição em toda a cadeia produtiva.

Os impactos em termos de mudanças no perfil da demanda por máquinas, dispositivos, partes, peças serão, portanto, muito expressivos. Não somente está em curso uma elevação da demanda por robôs e diversos tipos de equipamentos eletrônicos, como tem se tornado necessário o aumento da produção de bilhões de sensores, de baterias móveis cada vez menores, mais eficientes e com mais tempo de duração, além de placas e outros tipos de equipamento nas áreas de energia solar, eólica, diversas partes e peças para carros elétricos, com fortes impactos nos segmentos da indústria eletroquímica, de energia, de equipamentos elétricos, de novos materiais, entre outros.¹³

As referências acima já apontam para o fato de que essas mudanças já estão afetando diferentemente economias nacionais, e deverão ser profundas as mudanças que ocorrerão no padrão de concorrência internacional, entre empresas de diferentes ramos de atividade, nacionais, internacionais e globais. Nesse sentido, também serão fortes os impactos sobre as formas de organização e de articulação das diferentes empresas, organizações e modelos de negócios (Manyika, Chui, Miremadi et al., 2017).

Os impactos dessas transformações também serão profundos nas organizações empresariais. Muitas empresas terão que redefinir suas atividades em função das transformações que poderão reduzir a demanda por seus produtos. A análise dos impactos dessas tendências coloca-se como um aspecto estratégico, sendo necessário considerar suas capacidades para enfrentar os novos requerimentos colocados pelo mercado e as novas possibilidades de relações entre as empresas, nos planos nacional e internacional, nas relações com os trabalhadores, nas relações com os clientes, especialmente em suas capacidades tecnológicas e de pesquisa e desenvolvimento, num contexto de muitos desafios e incerteza, não somente sobre seus impactos produtivos, tecnológicos e organizacionais, mas também sociais e sobre o emprego (Wisskirchen et al., 2017; Manyika et al., 2017).¹⁴

As estruturas das empresas estão mudando junto com seus grupos de trabalho virtuais e as redes digitais de longo alcance. Além das tradicionais divisões departamentais

¹³ Para Coutinho, na indústria eletroquímica coloca-se a questão da conservação de energia: “a internet das coisas vai exigir bilhões de sensores, mas não haverá um fio ligado a uma tomada, porque a maior parte deles são dispositivos móveis. Por isso, é preciso que existam pequenas baterias eficientes, com capacidade de duração de pelo menos 10 anos” (IEDI, 2017, setembro 1, p. 6).

¹⁴ Segundo pesquisa do IBA (Wisskirchen et al., 2017), mais de 40% dos CEOs de empresas de diferentes países acreditavam que ocorreriam mudanças significantivas em suas empresas até 2020.

(ligadas a fornecedores, produção, vendas, pesquisa e desenvolvimento, finanças, entre outras) será necessário considerar a introdução – por sua crescente importância – de um departamento de tecnologia da informação. Isso significará em muitos casos uma reorganização interna que considere uma divisão entre analistas de dados e as atividades tradicionais de tecnologia da informação, já que essas atividades serão também estratégicas para outros departamentos, reforçando a importância para diversas áreas da rapidez no acesso a informações e, portanto, de uma utilização eficiente dos grandes bancos de dados (*big data*) para o conjunto da empresa (Wisskirchen et al., 2017; Manyika et al., 2017).

Aspecto que já vem sendo utilizado há muito décadas nas formas de organização das empresas – o foco no núcleo de suas mais importantes competências e atividades e a terceirização das demais – tenderá a ganhar ainda mais importância e exigirá formas mais eficientes, ágeis, seguras e com maior independência para o grupo ou pessoa responsável pela tomada de decisões, seja na relação com sua rede de fornecedores e, especialmente, com os clientes, aspectos que têm sido destacados como estratégicos para o sucesso nesse novo mundo digital (Wisskirchen et al., 2017; Manyika et al., 2017).¹⁵ A internet das coisas e a digitalização exigirá e permitirá essa maior flexibilidade, no plano administrativo, hierárquico e de tomada de decisões, das relações nacionais e transnacionais das organizações empresariais, e isso significa que as estruturas de supervisão que são independentes da empresa empregadora podem ser introduzidas dentro de um grupo com atividades transfronteiriças (Wisskirchen et al., 2017).

Uma importante característica da Indústria 4.0 é a produção instantânea (em tempo real) articulada à demanda dos consumidores, mas a automação também exigirá das empresas a descentralização e a individualização da produção – que exigirão a criação de redes de unidades de produção, automação de pedidos, planejamento de materiais.¹⁶ Desafios serão enfrentados em vários segmentos produtivos no processo de estruturação e gestão da “fábrica inteligente”,¹⁷ pois apesar de muitas tentativas já observadas, especialmente em

¹⁵ “A internet das coisas oferece uma conexão direta entre os computadores do cliente e seus fornecedores ou provedores de serviços. Um antigo nível de hierarquia piramidal não é mais capaz de satisfazer as necessidades relacionadas a essa flexibilidade. Uma possibilidade poderia ser a mudança de liderança em um certo grupo de trabalho, se outro funcionário tiver melhor conhecimento técnico em uma área especial.” (Wisskirchen et al., 2017, p. 49, tradução nossa).

¹⁶ O estudo do IBA afirma: “A máquina do futuro será capaz de responder, dentro de certos limites, às solicitações individuais dos clientes. [...] A fábrica inteligente adiciona certos componentes ou, em um contexto de distribuição ideal durante todo o processo, adapta etapas individuais de produção para corresponder às solicitações do cliente.” (Wisskirchen et al., 2017, p. 13, tradução nossa).

¹⁷ No mesmo estudo do IBA: “Uma fábrica inteligente se caracteriza por máquinas inteligentes participando ativamente do processo de produção. Nesse contexto, as máquinas trocam informações e controlam-se em tempo real, o que faz que a produção seja executada de forma totalmente automática. As máquinas são responsáveis pelo recibo digital do pedido recebido, pelo planejamento do produto (individual, se necessário), pela solicitação dos materiais necessários, pela produção em

áreas e produção específicas, com máquinas inteligentes ou impressoras 3D, essa realidade ainda está muito além das atuais capacidades da enorme maioria das empresas.

Questões de segurança no ambiente de trabalho também terão que ser reorganizadas pelas empresas. Em muitos casos, serão necessárias a separação dos locais de trabalho, entre trabalhadores e robôs, nos casos em que estes executam tarefas perigosas para os seres humanos (Wisskirchen et al., 2017). Mas, em muitos outros casos, a preocupação com segurança e maior atenção de pesquisadores e gestores referem-se às atividades marcadas pela convivência no mesmo local, como por exemplo, nos casos de robôs “humanóides”, que falam em três línguas, apresentam aparência humana, atuando em hotéis nas atividades de carregar bagagens, receber e servir hóspedes, na limpeza dos quartos, no preparo de comida, como já tem sido observado em alguns hotéis no Japão (Wisskirchen et al., 2017).

Por um lado, estudos têm destacado a importância da progressiva queda do preço dos robôs e das possibilidades que os países mais desenvolvidos terão para voltar a internalizar etapas de produção que foram externalizadas para terceiras subcontratadas em países de custo do trabalho muito reduzido.¹⁸ Mas também têm sido destacadas as novas oportunidades oferecidas pelo processo de crescente globalização e digitalização na realocação (terceirização) para outras regiões ou nações (vistas como mais fracas ou de baixo custo de força de trabalho), segmentos de atividades, diversos tipos de serviços, como *call centers*, armazéns, serviços de *software* e programação, por meio de avanços na subcontratação de pequenas empresas, até mesmo por meio de contratações pela internet de empresas ou freelancers, ou “grupo de trabalho virtual especial” por meio de *joint ventures* (Wisskirchen et al., 2017).¹⁹

Por outro lado, deve-se destacar que muitos estudos têm apontado para o fato de que a flexibilidade com as novas tecnologias abrirá novas oportunidades de acesso a novos mercados, em diversos tipos de atividade, inclusive na indústria de transformação, com níveis

si, pelo manuseio do pedido e pelo envio do produto. O ser humano tem apenas uma função de supervisão.” (Wisskirchen et al., 2017, p. 23, tradução nossa).

¹⁸ Enquanto uma hora de trabalho de produção custa à indústria automotiva alemã mais de € 40, o uso de um robô custa entre € 5 e € 8 por hora. Um robô de produção é, portanto, mais barato do que um trabalhador na China. Um sistema informático autônomo não depende de fatores externos, o que significa que ele trabalha de forma confiável e constante (24 horas por dia, 7 dias por semana), e pode funcionar em zonas perigosas. Em regra, sua precisão é maior do que a de um ser humano e não pode ser prejudicada por fadiga nem por distração ou outras circunstâncias externas.

¹⁹ “O novo mercado de trabalho está se aproximando rapidamente. Somente o vendedor que primeiro descobrir, desenvolver ou até mesmo trazer o novo modelo de serviço para o mercado ganhará grandes lucros. Além disso, devido ao rápido desenvolvimento técnico, os serviços novos e lucrativos também se tornarão obsoletos rapidamente. Eles serão substituídos por outros serviços, que serão baseados nos serviços mais desenvolvidos, e soluções criativas serão encontradas para atender às necessidades dos clientes que não são atendidos pelo serviço mais antigo” (Wisskirchen et al., 2017, p. 118, tradução nossa).

maiores de eficiência e competitividade.²⁰ É possível, portanto, que um maior apoio ao segmento de médias e micro e pequenas empresas (MMPEs), assim como políticas nas áreas de educação e formação profissional possam elevar e/ou melhorar a posição dessas MMPEs de diferentes países pobres e em desenvolvimento nas Cadeias Globais de Valor – empresas terceirizadas ou subcontratadas e comandadas geralmente pelas corporações transnacionais – e com isso contribuir para que sejam melhoradas suas condições precárias de funcionamento e o elevado grau de exploração e precarização da força de trabalho.²¹

Essas transformações têm ocorrido num contexto de um capitalismo desregulado, no qual se observa um grande acirramento da concorrência internacional, num contínuo processo de internacionalização/globalização do sistema mundial de produção, com a maior importância das cadeias globais de valor, ou seja, com o crescimento de cadeias de abastecimento mundiais que permitem “cada vez menos identificar uma única origem nacional dos produtos finais”, e a emergência dos produtos “Fabricados no Mundo” (OIT, 2015, p. 7). Aspecto que deverá afetar muito diferenciadamente cada região ou nação, e a atual situação de forte assimetria na divisão internacional do trabalho, podendo acentuá-la e criando ainda maiores dificuldades para países de menor nível de desenvolvimento produtivo e tecnológico.

Assim, o estudo do IBA, por exemplo, aponta que essas transformações irão afetar inicialmente os países desenvolvidos ocidentais e o Sudeste Asiático (Wisskirchen et al., 2017, p. 19, tradução nossa):

Em resumo, pode-se dizer que o aumento da automação e da digitalização é uma preocupação global que, devido à falta de possibilidades financeiras em muitos países em desenvolvimento, será, inicialmente, fortemente focada nos países ocidentais desenvolvidos e no Sudeste Asiático. Esses países serão considerados os vencedores da Indústria 4.0 por causa de seu avanço tecnológico e seus modelos de serviço criativo.

No caso brasileiro, é preciso destacar o seu relativo atraso em relação a esse processo de transformações colocado pela Indústria 4.0. As desvantagens brasileiras se apresentam em diversas dimensões, criando uma reduzida capacidade de concorrência sistêmica para diversas atividades industriais e de serviços: no reduzido peso do setor de bens de capital na estrutura industrial; na dependência em relação ao desenvolvimento tecnológico e nas limitações impostas pelas restrições recorrentes no financiamento de longo prazo para

²⁰ “Em todos os setores, a automação pode aumentar a concorrência, permitindo que as empresas entrem em novas áreas fora de seus principais negócios anteriores e criando uma divisão crescente entre líderes tecnológicos e retardatários em todos os setores” (Mackinsey, 2017).

²¹ Entretanto, deve-se ressaltar algumas dificuldades para as pequenas e médias empresas, uma vez que “tendem a se esquivar dos dispositivos técnicos por causa dos altos custos de aquisição e da falta de especialistas altamente qualificados que possam lidar com os novos sistemas” (Wisskirchen et al., p. 26, 2017, tradução nossa).

investimentos;²² na precariedade e elevado custo de sua infraestrutura;²³ numa estrutura tributária regressiva que impacta negativamente sobre a formação dos preços e a competitividade; na perda de dinamismo, nas últimas décadas, da indústria eletrônica instalada no país; na fragilidade da sua dinâmica de pesquisa, desenvolvimento e inovações relativamente a países desenvolvidos e alguns em desenvolvimento (China, Coréia do Sul, Índia); nas fragilidades de seus sistemas educacionais e de formação profissional.

Essas limitações e fragilidade apontadas anteriormente, entre outros problemas, têm sido motivos para vários autores argumentarem que a economia brasileira passa por um processo de desindustrialização precoce, com impactos fortemente positivos sobre nossa estrutura produtiva e capacidade de competir nessa nova ordem internacional, marcada não somente pelo avanço dessa nova onda tecnológica, produtiva e organizacional, mas também pelo acirramento da concorrência internacional num contexto de crescente importância das Cadeias Globais de Valor. Conforme destaca o pesquisador brasileiro Afonso Fleury (citado em IEDI, 2017, setembro 1, p. 10): “Se pensarmos nas multinacionais brasileiras, poucas são líderes de *global value chain*. Na verdade, só a Embraer é uma verdadeira líder, na acepção da palavra. Então, as possibilidades de trabalharmos por meio dessa liderança de *global value chains* é reduzida.”²⁴

Segundo Coutinho, o desenvolvimento tecnológico que está revolucionando a indústria mundial tende a tornar a indústria brasileira cada vez mais defasada, se não forem adotadas as políticas adequadas (IEDI, 2017, setembro 1, pp. 6-7):

²² Segundo o estudo do IBA: “Muitos investimentos serão necessários para que as empresas possam aproveitar a onda industrial 4.0. Isso se aplica não apenas ao setor de TI, mas também ao desenvolvimento e aquisição de novas máquinas de assistência técnica. Além disso, muitos prestadores de serviços (principalmente externos) serão necessários para auxiliar nas reorganizações. Além disso, os governos devem rapidamente providenciar uma ampla cobertura da Internet de banda larga em vários países.” (Wisskirchen et al., p. 23, 2017, tradução nossa).

²³ “Além disso, investimentos em construção são vitais. (...) isso se refere principalmente à internet rápida, sem a qual não é possível comunicação eficiente entre humanos ou entre humanos e máquinas. No decorrer da digitalização, as empresas mudarão seu foco e investirão mais em outras áreas. (...) Portanto, os investimentos em dispositivos técnicos e o uso direcionado de AI são necessários em todos os ramos.” (Wisskirchen et al., p. 21, 2017, tradução nossa).

²⁴ Muitas dificuldades para o caso brasileiro também podem ser identificadas nas necessidades de investimentos, não somente em setores de tecnologia avançada, mas na modernização de atividades do setor primário, muitas das quais o país apresenta atualmente vantagens competitivas. Segundo a pesquisa do IBA: “Nos próximos anos, as empresas se concentrarão seus investimentos cada vez mais em tecnologia de sensores e serviços de TI de qualquer tipo. Além dos novos equipamentos elétricos de qualquer tipo, esses chamados investimentos em equipamentos também incluem novas máquinas de produção e seu reparo, instalação e manutenção. No ramo de indústria extrativa e processamento, esses investimentos são de vital importância, pois os custos com matéria prima e pessoal podem ser reduzidos, no longo prazo, apenas com a ajuda de tais investimentos. Sem essa redução de custos, essas empresas não poderão mais competir.” (Wisskirchen et al., p. 21, 2017, tradução nossa).

Existirão muitas oportunidades que podem ser puras, isto é, sem riscos. Ou se aproveita e entra no jogo, ou não se aproveita e perde o bonde. Mas existem também os riscos disruptivos.

A comunidade que estuda economia industrial não pode mais não olhar para o futuro e para perspectivas tecnológicas organizadas. É preciso conhecer o que os países estão fazendo, as modalidades novas de reforço de ecossistemas empresariais, o papel de institutos de pesquisa, o papel de externalidades, de sinergias a serem criadas para certas plataformas de conhecimentos que precisam avançar com a devida velocidade. Isso é algo que deveria ser incorporado ao exercício de pensar políticas industriais e tecnológicas para o futuro.

A mencionada pesquisa do IBA apresenta um cenário negativo para países da América do Sul e da América Central (Wisskirchen et al., 2017, p. 17, tradução nossa):

Os países em desenvolvimento da América Central e da América do Sul também não aproveitarão a tendência da quarta revolução industrial. Receia-se que estes países – como os países do Norte da África e a Indonésia – não estejam equipados para enfrentar a automatização e a digitalização.

Esse conjunto de novas tecnologias pode afetar negativamente também setores da economia brasileira que atualmente apresentam vantagens competitivas associadas com a abundância de matérias-primas e o trabalho barato, mas que poderão perder essas vantagens com a robotização e com o conjunto dos impactos da Indústria 4.0 (Wisskirchen et al., 2017, p. 17, tradução nossa):

Por muito tempo, os países do BRIC (Brasil, Rússia, Índia e China) foram considerados o farol de esperança para a economia global. Devido a uma maior extração de matérias-primas e à transferência de vários ramos da indústria do Ocidente para países de baixo custo de mão de obra, os investidores esperam rendimentos a longo prazo. No entanto, a demanda por matérias-primas é atualmente muito baixa, de modo que o Brasil e a Rússia estão se tornando menos atraentes. Com o desenvolvimento técnico de robôs industriais, muitas empresas que produzem em países de baixo custo irão realocar seu setor de produção para os países de onde vieram originalmente.

No entanto, Coutinho ressalta que “não devemos imaginar que a indústria brasileira, embora relativamente atrasada em relação a esse processo de sensorização e integração inteligente, vá para um cadafalso” (IEDI, 2017, setembro 1, p. 6). Assim, algumas oportunidades para o caso brasileiro podem ser destacadas, como a biodiversidade existente no país, que conta com uma geologia favorável, com muitos metais raros, o que faz do Brasil um dos países protagonistas nessa área. Nesse sentido, Fleury destaca (IEDI, 2017, setembro 1, p. 10):

Em cada um dos *smartphones* que usamos há aproximadamente 60 tipos de metais raros, e até hoje esse mercado não está organizado. A China é a líder do mercado, com 40%, mas talvez consigamos desenvolver alguma coisa neste setor (...). Existem dois países que assentaram seus modelos de desenvolvimento em indústrias criativas: o Canadá e a Inglaterra. Não nos tornaremos um centro de excelência em um curto período de tempo, mas podemos oferecer condições de entrada nessas novas lógicas que estão associadas às indústrias do futuro.

Por sua vez, a Organização Internacional do Trabalho (OIT, 2015) destaca outro aspecto: os formuladores de políticas, os líderes empresariais e os próprios trabalhadores não devem esperar para agir, uma vez que já há, atualmente, medidas que podem ser tomadas para preparar a transição, permitindo que as nações possam aproveitar as oportunidades oferecidas pela automação e evitar suas desvantagens.

Enfim, muitas questões são colocadas em relação aos impactos diferenciados nacionalmente, como em relação à migração internacional, à possibilidade de um desemprego em massa em alguns países, às novas formas de organização das empresas e do trabalho (autônomo, domiciliar, por internet, com as oportunidades abertas para novos negócios, novos monopólios, para MPES, para países em desenvolvimento)²⁵ assim como novas formas de organização sindical e a necessidade de novas políticas de educação e formação profissional, com as necessidades de requalificação/reciclagem da força de trabalho.

Por outro lado, é importante ressaltar que essas profundas mudanças produtivas e tecnológicas têm elevado e transformado o conteúdo de exigências de educação, formação, qualificação profissional, que exigem uma grande atenção com os sistemas formais de ensino, treinamento, especialização, pesquisa e desenvolvimento.²⁶ Já é fato bem destacado que essa nova onda tecnológica vem ampliando a demanda por trabalho altamente qualificado, que deverá ser ampliada progressivamente, à medida que avança seus impactos.

Aspecto preocupante é o fato de que o mais elevado impacto da tecnologia em termos de substituição do trabalho não somente rotineiro, mas também cognitivo – por computadores, robôs, máquinas inteligentes – tem sido projetado para os trabalhadores de

²⁵ Como aponta pesquisa do IBA: “O que já é claro e certo é que os novos desenvolvimentos técnicos terão um impacto fundamental no mercado de trabalho global nos próximos anos, não apenas em empregos industriais, mas no núcleo de tarefas humanas no setor de serviços que são considerados ‘intocáveis’. As estruturas econômicas, as relações de trabalho, os perfis de trabalho e o tempo de trabalho bem estabelecido e os modelos de remuneração sofrerão grandes mudanças. Além das empresas, funcionários e sociedades, os sistemas educacionais e os legisladores também estão enfrentando a tarefa de superar os novos desafios resultantes da tecnologia em constante avanço.” (Wisskirchen et al., 2017, p. 9, tradução nossa).

²⁶ Algumas pesquisas apontam também para a maior importância de requisitos de qualificação não formal. Segundo estudo do IBA: “Estes incluem, por exemplo, a capacidade de agir de forma independente, criar redes, organizar-se e suas equipes com foco em metas e pensar de forma abstrata” (Wisskirchen et al., 2017, p. 20, tradução nossa).

níveis médios de formação, capacitação ou de habilidades, como atividades de apoio administrativo, na coleta e análise dados, em trabalhos rotineiros e/ou de médios requisitos cognitivos, em atividades físicas previsíveis. Isso aponta para uma crescente demanda por reciclagem e elevação de padrões médios de formação/capacitação para padrões mais elevados, com importantes impactos sobre os sistemas educacionais, de formação, qualificação e reciclagem profissional. Essas pressões poderão ser reforçadas por parte expressiva dos trabalhadores de baixa formação/qualificação/habilidade que, mesmo sofrendo menores impactos dessa onda tecnológica, poderão ser pressionados pelo desemprego mais elevado, por baixos salários e por uma concorrência que demande maior produtividade dentre aqueles que constituiriam uma grande oferta de trabalho de baixa qualificação. Em outros casos, essas demandas poderão ser efetivadas por trabalhadores sem vínculos de emprego, em atividades independentes ou como pequenos empreendedores (Wisskirchen et al., 2017).²⁷ Além disso, deve ser mencionado: “Um dos consensos sobre a rede de internet é que cerca de metade das novas soluções, técnicas de *hardware* e *software* ou de equipamentos associados à internet das coisas, como sensores, será desenvolvida por *startups*” (Coutinho, como citado em IEDI, 2017, setembro 1, p. 6).

Entre as mais importantes habilidades, é destacada a necessidade de flexibilidade, agilidade, resiliência e capacidade de liderança e de comunicação com pessoas, com foco em tarefas associadas a requisitos “intrinsecamente humanos” que as máquinas ainda não poderão replicar – mesmo quando tais transformações já alcançarem estágios mais avançados –, tais como pensamento lógico, capacidade de resolução de problemas, atributos emocionais, transmissão de experiência, treinamento e desenvolvimento de criatividade (Manyika, Lund et al., 2017).²⁸ As pessoas criativas e com talentos em ciências, matemática, computação e comunicação são apontadas como as mais qualificadas para o novo mercado de trabalho.²⁹ Estudo do IBA (Wisskirchen et al., 2017, p. 21, tradução nossa) destaca:

²⁷ Um aumento no trabalho por conta própria tem sido observado na nova geração de funcionários. O relatório da Organização Internacional do Trabalho reforça essa constatação: “Há uma crescente probabilidade de que várias formas permanentes de emprego por conta própria se convertam em soluções alternativas.” (OIT, 2015, p. 15).

²⁸ “Finalmente, a automação criará uma oportunidade para que aqueles que trabalham usem as habilidades humanas inatas que as máquinas têm mais difíceis de replicar (...) Por enquanto, o mundo do trabalho ainda espera que homens e mulheres empreguem tarefas rotineiras que não ampliem essas capacidades inatas o máximo que puderem” (Manyika, Chui, Miremadi et al., p. 19, 2017, tradução nossa).

²⁹ “Os funcionários devem ser capazes de formar uma unidade com máquinas e algoritmos de suporte e para navegar na internet confortavelmente e mover-se com segurança nas redes sociais. Para fazer isso, é necessário saber como funcionam as estruturas básicas. O funcionário também deve, no entanto, poder examinar máquinas e software de forma crítica. Há uma demanda crescente por funcionários que também podem trabalhar em áreas estratégicas e complexas” (Wisskirchen et al., p. 20, 2017, tradução nossa).

Um dos requisitos mais importantes, no entanto, será a criatividade. Como se pode ver nos exemplos de Tesla, Uber ou Airbnb, as inovações são criadas não apenas por participantes do mercado estabelecidos, mas também por startups visionários que se tornam um nome para si com ideias disruptivas.

Como a Indústria 4.0 poderá atingir diversos segmentos e ramos de atividade, e numa forma inesperada e/ou num período mais rápido do que se esperava, deve-se preocupar com a educação, formação, qualificação. Isso deve fazer parte de um conjunto de políticas frente às enormes transformações da Indústria 4.0, no sentido de orientar seus resultados (Wisskirchen et al., 2017, p. 25, tradução nossa):

Por exemplo, “ciência cognitiva industrial” e “biônica da automação” são sugeridas como cursos de graduação inovadores que lidam principalmente com a pesquisa e a otimização da interação entre sistemas de robô e funcionários. Além da área de robótica, serão necessários cursos de extensão na área de *big data*. A demanda dos empregadores por *designers* e cientistas da computação ou desenvolvedores de *big data* está aumentando rapidamente. Os principais temas para o campo profissional da ciência da computação incluem a pesquisa de dados de todos os tipos e suas estruturas. A educação uniforme nesta área ainda não está disponível. Os governos são responsáveis não apenas por tornar a educação possível, mas também por orientar os interesses dos jovens para empregos técnicos e de TI em idade precoce. Isso aumentará o número de graduados no longo prazo.

Essa preocupação tem sido demonstrada em várias pesquisas, que ressaltam a importância de se repensar os sistemas de educação, treinamento, especialização, no sentido aumentar a capacitação e oferecer aos trabalhadores as novas habilidades e exigências colocadas por essa nova onda de profundas transformações produtivas, tecnológicas e organizacionais (OIT, 2015; Wisskirchen et al., 2017; Bughin et al., 2018).

Nesse sentido, é necessário que os sistemas e instituições educacionais, assim como outras instituições,³⁰ passem a contemplar e melhorar conteúdos associados às novas demandas, nas áreas de ciências físicas e biológicas, matemática, engenharia, tecnologias, comunicações, com ênfase nos novos e mais importantes requerimentos (criatividade, capacidade de reflexão crítica e de inovação, comunicação etc.), ou seja, com investimentos na promoção das novas competências necessárias à força de trabalho para que esse aspecto não se some às inúmeras dificuldades que muitas nações precisarão enfrentar com sucesso para não ficar ainda mais distantes dos padrões produtivos e tecnológicos daquelas mais

³⁰ Por exemplo, na Itália, a Federação Italiana de Trabalhadores Metalúrgicos promove a formação profissional como direito dos trabalhadores, e que deveriam ser incluídos no acordo coletivo nacional desse setor, abrindo um caminho mais setorial para a adaptação e/ou reciclagem dos trabalhadores de formas compatíveis com os novos requisitos das empresas ou do setor nesse contexto de profundas mudanças (Certeza, 2018).

desenvolvidas e que estão adiante nesses processos de profundas mudanças produtivas, tecnológicas, organizacionais, com níveis muito mais elevados de competitividade e de inserção nas cadeias globais de valor, aspectos decisivos no alcance e manutenção de padrões de vida, cultura e sociabilidade mais elevados.³¹

2. Impactos da automação e da manufatura avançada sobre o trabalho

No início da década de 2010, um estudo realizado por Erik Brynjolfsson e Andrew McAfee (pesquisadores do Massachusetts Institute of Technology [MIT]) deu visibilidade à ideia de que o desenvolvimento tecnológico – particularmente na área da eletrônica digital, do software, da robótica e da Inteligência Artificial – constituía potencial ameaça ao crescimento do emprego e dos salários (Brynjolfsson & McAfee, 2012). Simultaneamente à divulgação desse estudo, foram se concretizando várias iniciativas de modernização industrial, impulsionadas por governos na esfera da União Europeia, com particular destaque para a Indústria 4.0 do governo alemão (Saldivar et al., 2015).

No ano de 2013, um relatório da Oxford Marin School, sob responsabilidade de Carl-Benedikt Frey e Michael Osborne, calculou que 47% dos empregos existentes nos Estados Unidos são suscetíveis à automação, sendo apresentada uma série de previsões sobre a evolução de ocupações derivadas da automação de atividades naquele país. Suas estimativas mostram que quase 43% das ocupações estão ameaçadas devido ao impacto da chamada “informatização das ocupações”, particularmente na área do “aprendizado das máquinas” (*machine learning*), responsável por avanços no *software* de previsão e controle de processos (Frey & Osborne, 2013). Outras contribuições recentes têm estimado cifras diferentes, mas estudos como o do World Economic Forum (2013) e o da World Trade Organization (2017) convergem na proposição de que as novas tecnologias representam uma grave ameaça às ocupações atuais, com impactos negativos maiores nas atividades que pagam menores salários e exigem menor escolaridade.

Por outro lado, existem estudos que tendem a minimizar o impacto destes avanços tecnológicos, já que, de acordo com a história da tecnologia, as ocupações perdidas num setor

³¹ “Para ser capaz de atender aos padrões acima mencionados para a Indústria 4.0, os futuros funcionários devem aprender novas qualificações-chave, mas o sistema educacional também deve ser adaptado a essas novas condições de estrutura. Houve acordo no *World Economic Forum* 2016, por exemplo, que tanto as escolas quanto as universidades ‘não deveriam ensinar ao mundo como ele era, mas como será’. Novas estratégias de qualificação para países individuais são, portanto, necessárias. Eles devem incentivar o interesse dos alunos em matérias como matemática, tecnologia da informação, ciência e tecnologia quando ainda estão na escola, e professores com competência digital devem ensinar os alunos a pensar criticamente ao usar novas mídias e ajudá-los a alcançar uma compreensão fundamental de novos dispositivos digitais e de informação.” (Wisskirchen et al., 2017, p. 24, tradução nossa).

de atividade são compensadas pela criação de novos empregos ou ocupações em outros setores (Stewart, Depratim, & Cole, 2014).

Em recente pesquisa sobre a automação e seus impactos sobre o trabalho, a consultoria McKinsey examinou os postos de trabalho que podem ser automatizados até 2030 e os empregos que podem ser criados no mesmo período. Admitindo dificuldades em prever o futuro, a pesquisa oferece alguns insights sobre a transição que pode ocorrer na próxima década em termos dos empregos perdidos, dos empregos criados e da dinâmica da força de trabalho em face do desenvolvimento da manufatura avançada (Manyika, Lund et al., 2017).

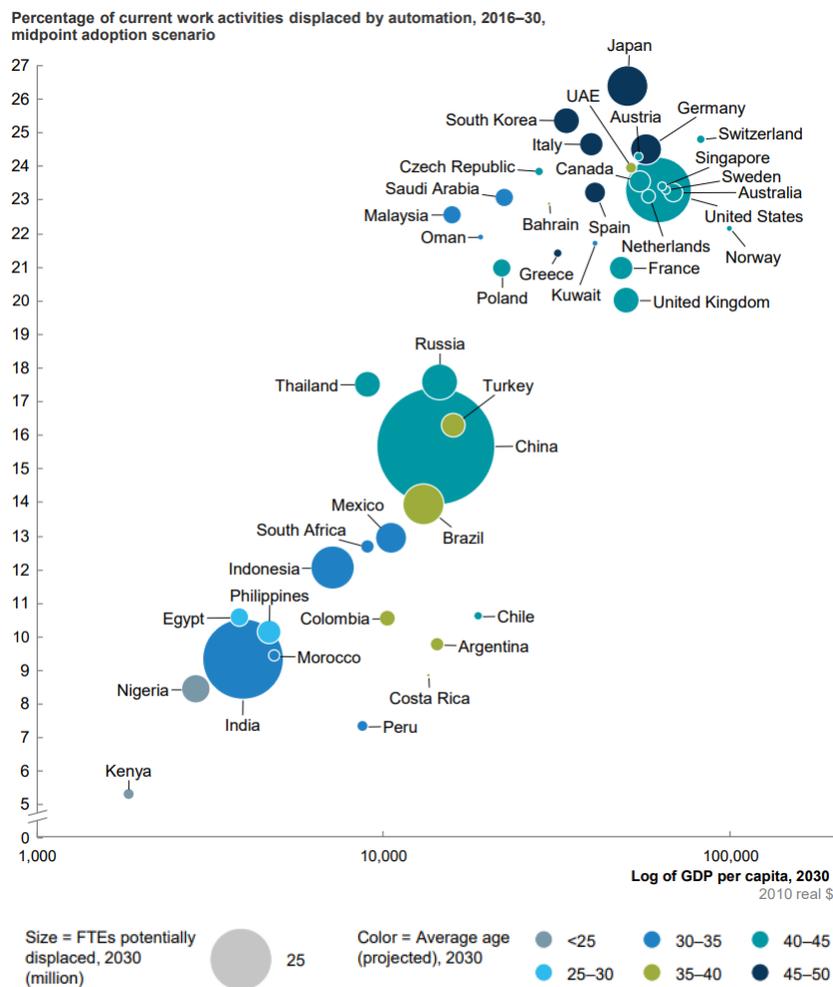
Entre as principais tendências, aponta que tecnologias de automação, incluindo inteligência artificial e robótica, afetarão 60% das ocupações no mundo, considerando que pelo menos 30% das tarefas em cada atividade poderão ser automatizadas até 2030. O impacto é maior em trabalhos técnicos e de média qualificação, nos quais cerca de metade de todas as tarefas poderão ser automatizadas. A pesquisa considera que mesmo havendo trabalho suficiente para garantir o pleno emprego até 2030, grandes transições estão à frente, ultrapassando uma escala de mudanças históricas de transições anteriores que atingiram a agricultura e a manufatura. Os cenários construídos sugerem que, em 2030, entre 75 milhões e 375 milhões de trabalhadores (3% a 14% da força de trabalho global) precisarão mudar de categoria ocupacional. Além disso, todos os trabalhadores precisarão se adaptar, pois suas ocupações evoluem lado a lado com máquinas cada vez mais capazes. Algumas dessas adaptações exigirão maior nível educacional, ou gastar mais tempo em atividades que exigem habilidades emocionais, criatividade, capacidades cognitivas de alto nível e outras habilidades relativamente difíceis de automatizar. O estudo aponta ainda que a continuidade da polarização da renda nos Estados Unidos e em outras economias avançadas poderá fazer a demanda por ocupações de alto salário crescer, enquanto a maioria das ocupações de salários médios tenderá a diminuir. Nesses termos, num cenário de crescimento da produtividade e da automação, a elevação do desemprego promoverá pressão descendente sobre os salários. Isso poderá ocorrer de forma diferente na China e em economias emergentes, onde ocupações de salário médio nos serviços e na construção, provavelmente, terão crescimento líquido, impulsionando a classe média emergente (Manyika, Lund et al., 2017).

Considerando um universo heterogêneo de 46 países (Figura 1), o estudo demonstra que a proporção de "trabalho deslocado" pode variar em função de aspectos técnicos, econômicos e sociais específicos dos países e de suas estruturas produtivas. A proporção varia amplamente em todos os países, com as economias avançadas sendo mais afetadas pela automação do que as economias em desenvolvimento, principalmente por causa de taxas salariais maiores, que funcionam como incentivo para a automação.

Figura 1

Impacto da automação em vários países segundo nível de renda, demografia e estrutura industrial.

(% das atividades de trabalho deslocadas pela automação: cenário para 2016-2030)



Fontes: World Bank; Oxford Economics; McKinsey Global Institute analysis (extraída de Manyika, Lund et al., 2017, p. 3).

A McKinsey pondera que, mesmo com a automação, a demanda por trabalho poderia aumentar à medida que as economias crescessem, parcialmente impulsionadas pelo crescimento da produtividade possibilitado pelo progresso tecnológico (Manyika, Lund et al., 2017). Renda crescente e consumo, especialmente nos países em desenvolvimento, poderiam aumentar os cuidados de saúde para sociedades com transformações demográficas robustas que indicam o envelhecimento da população. Investimentos em infraestrutura, construção e energia em economias atrasadas, por exemplo, poderiam criar demanda por trabalho que poderia ajudar a compensar o deslocamento de trabalhadores.

A PricewaterhouseCoopers (PwC) também trata do impacto potencial da automação sobre o emprego no longo prazo no estudo *Will robots really steal our jobs?* (Hawksworth, Berriman, & Goel, 2018). Os autores constatam que avanços da Inteligência Artificial (AI, na sigla em inglês), da robótica e de outras formas de “automação inteligente” podem produzir forte interrupção nos mercados de trabalho. Para explorar isso analisa um conjunto de dados compilados pela OCDE que examina detalhadamente as tarefas envolvidas nos trabalhos de mais de 200.000 trabalhadores em 29 países (27 da OCDE, Singapura e Rússia) estimando a proporção de empregos existentes que podem ser de alto risco de automação até 2030 para cada um desses 29 países, em diferentes setores da indústria, diferentes ocupações dentro de indústrias e para trabalhadores de diferentes sexos, idades e níveis de escolaridade.

Também identifica como o processo de automação poderá avançar até 2030 em ondas sucessivas, a saber (Hawksworth, Berriman, & Goel, 2018, p. 1, tradução nossa):

1. *Onda de algoritmo*: focada na automação de tarefas computacionais simples e na análise de dados estruturados em áreas como finanças, informação e comunicações. Em fase adiantada de implementação.
2. *Onda de ampliação*: focada na automação de tarefas repetitivas, como preenchimento de formulários, comunicação e troca de informações por meio de suporte tecnológico dinâmico e análise estatística de dados não estruturados em ambientes semicontrolados, como drones aéreos e robôs em armazéns. Tal onda também está em andamento, mas é provável que chegue à plena maturidade na década de 2020.
3. *Onda de autonomia*: focada na automação do trabalho físico e na destreza manual e na resolução de problemas em situações dinâmicas do mundo real que exigem ações responsivas, como na fabricação e transporte (por exemplo, veículos sem motoristas). São tecnologias em desenvolvimento, que devem chegar à plena maturidade em escala econômica apenas na década de 2030.

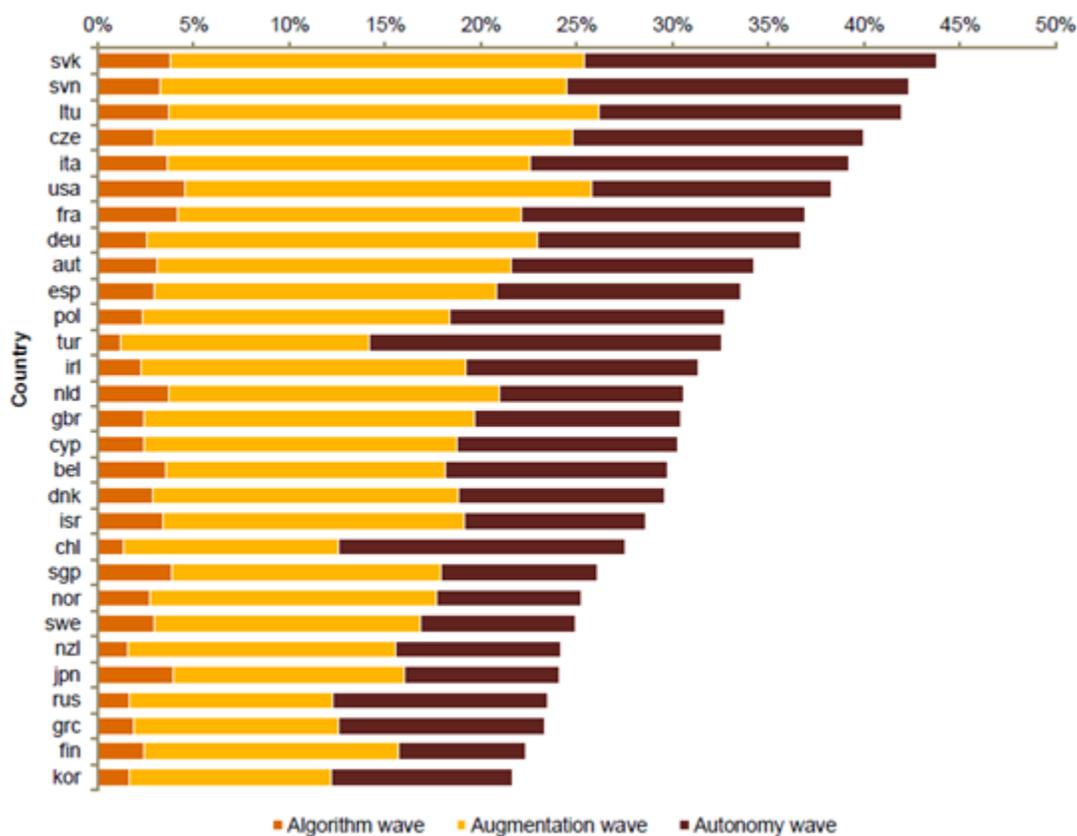
O estudo apresenta estimativas baseadas principalmente na viabilidade técnica da automação (Hawksworth, Berriman, & Goel, 2018). Assim, na prática, a extensão real da automação pode ser maior ou menor, devido a uma variedade de restrições econômicas, legais, regulatórias e organizacionais presentes nas diferentes realidades nacionais. Considera-se que se algo pode ser automatizado em teoria, isso não significa que seja economicamente ou politicamente viável na prática.

No conjunto, a PwC indica que, em meados da década de 2030, até 30% dos empregos poderiam ser automatizados nos 29 países selecionados. Todavia, a proporção estimada de empregos existentes com alto risco de automação no início da década de 2030 varia significativamente entre os países de acordo com as características de suas economias, mercado de trabalho e da força de trabalho. Essas estimativas variam entre 20% e 25% em

algumas economias nórdicas e do leste asiático, com níveis educacionais médios relativamente altos, para mais de 40% em economias da Europa Oriental, onde a produção industrial ainda é relativamente intensiva em mão de obra. Países como o Reino Unido e os Estados Unidos, com economias dominadas por serviços, mas também com forte presença de trabalhadores menos qualificados em tarefas rotineiras, podem ter forte automação no longo prazo em níveis intermediários da estrutura de emprego (Hawksworth, Berriman, & Goel, 2018).

Outra dimensão da questão se refere à evolução das taxas de automação em potencial nos países em relação às peculiaridades de cada uma das três ondas de automação (Figura 2). A PwC estima que ocorra durante a primeira onda um deslocamento relativamente baixo dos empregos existentes, de cerca de 3% no início dos anos 2020. Mas o deslocamento de empregos poderá aumentar em ondas posteriores, na medida em que essas tecnologias amadureçam e sejam implementadas em toda a economia de forma cada vez mais autônoma.

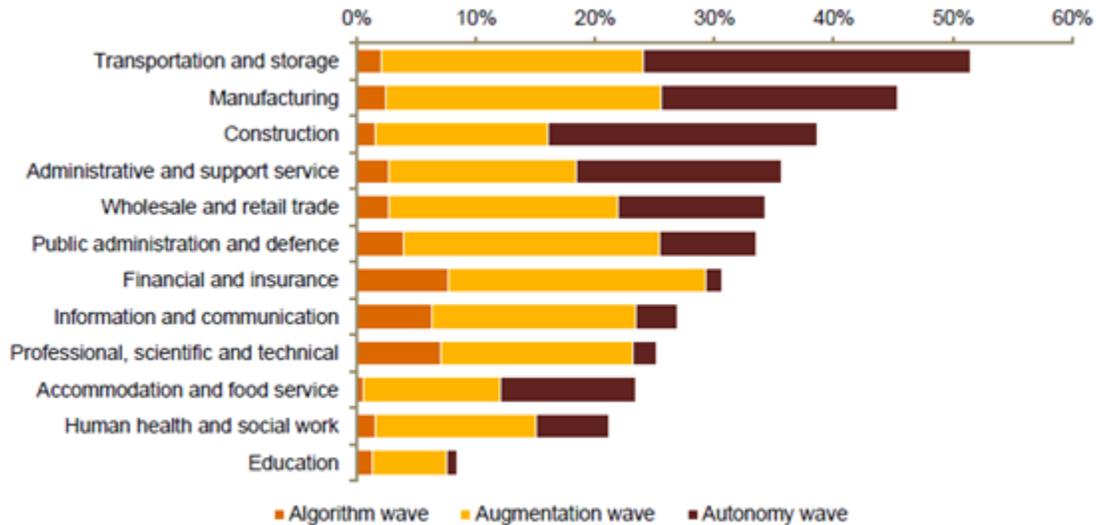
Figura 2
Taxas de automação potencial de trabalho nas três ondas, países selecionados
 (% de trabalhos com alto risco de automação em potencial)



Fonte: PIAAC data, PwC analysis (extraída de Hawksworth, Berriman, & Goel, 2018, p. 2).

No entanto, os trabalhos existentes em alguns países com taxas de automação de longo prazo relativamente baixas, como o Japão, podem ter taxas de automação relativamente altas no curto prazo, dado que as tecnologias algorítmicas (focadas na automação de tarefas computacionais simples e na análise de dados estruturados em áreas como finanças, informação e comunicações) já são mais amplamente usadas. Por outro lado, para um país como a Turquia, esses efeitos de curto prazo tendem a ser menores, mas as duas ondas posteriores de automação tendem a ter forte impacto no deslocamento de trabalhadores manuais, como motoristas e trabalhadores da construção civil (Hawksworth, Berriman, & Goel, 2018).

Figura 3
Taxas de automação potencial de trabalho nas três ondas, por setor econômico
 (% de trabalhos com alto risco de automação em potencial)



Fonte: PIAAC data, PwC analysis (extraída de Hawksworth, Berriman, & Goel, 2018, p. 3).

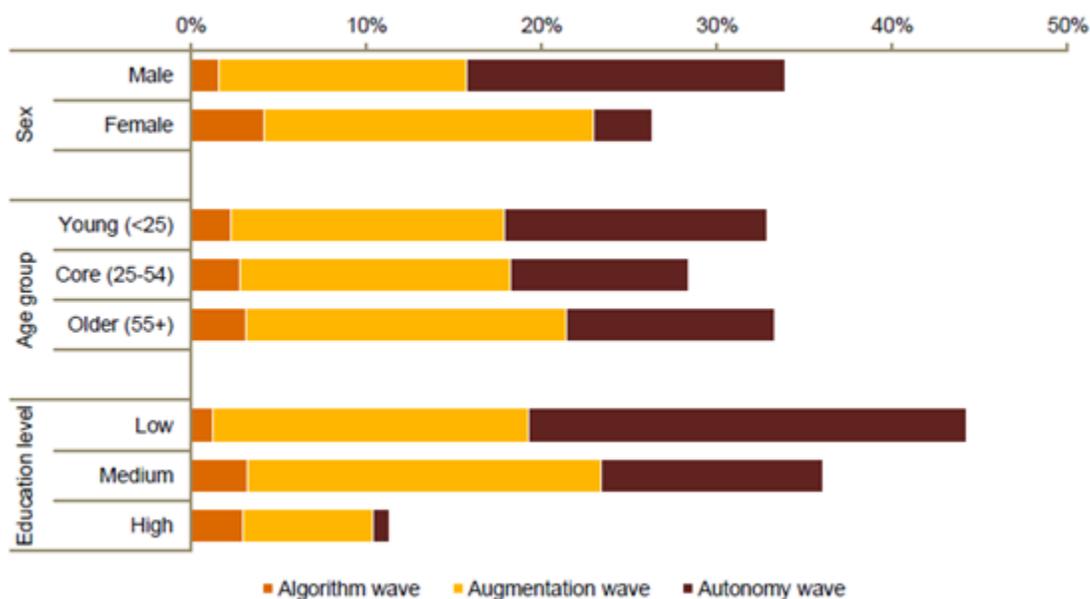
Abordando a questão por setores da economia (Figura 3), a PwC aponta que o transporte deve se destacar como um setor com alto potencial de automação no longo prazo, à medida que os veículos sem motoristas evoluam em grande escala na terceira onda de automação autônoma (que deve chegar à maturidade na década de 2030). No curto prazo, setores como serviços financeiros poderiam ser mais expostos, à medida que os algoritmos superam os humanos em uma gama cada vez maior de tarefas que envolvem a análise de dados puros. Merece destaque ainda que o estudo considera baixo o potencial de automação em setores como educação, saúde e serviços sociais. Tais setores com o menor potencial de automação serão mais atingidos na segunda onda de automação, particularmente pela

automação de tarefas repetitivas, como preenchimento de formulários, comunicação e troca de informações através de suporte tecnológico dinâmico e análise estatística de dados não estruturados em ambientes semicontrolados (Hawksworth, Berriman, & Goel, 2018).

Na primeira onda, o potencial de automação parece ser mais homogêneo em termos do nível educacional, segundo a PwC. Todavia, o avanço progressivo para a segunda e terceira onda amplia o potencial de automação para tarefas exercidas por trabalhadores com baixa e principalmente nível médio de educação (Figura 4).

Figura 4

Taxas de automação potencial de trabalho nas três ondas, por característica do trabalhador
(% de trabalhos com alto risco de automação em potencial)

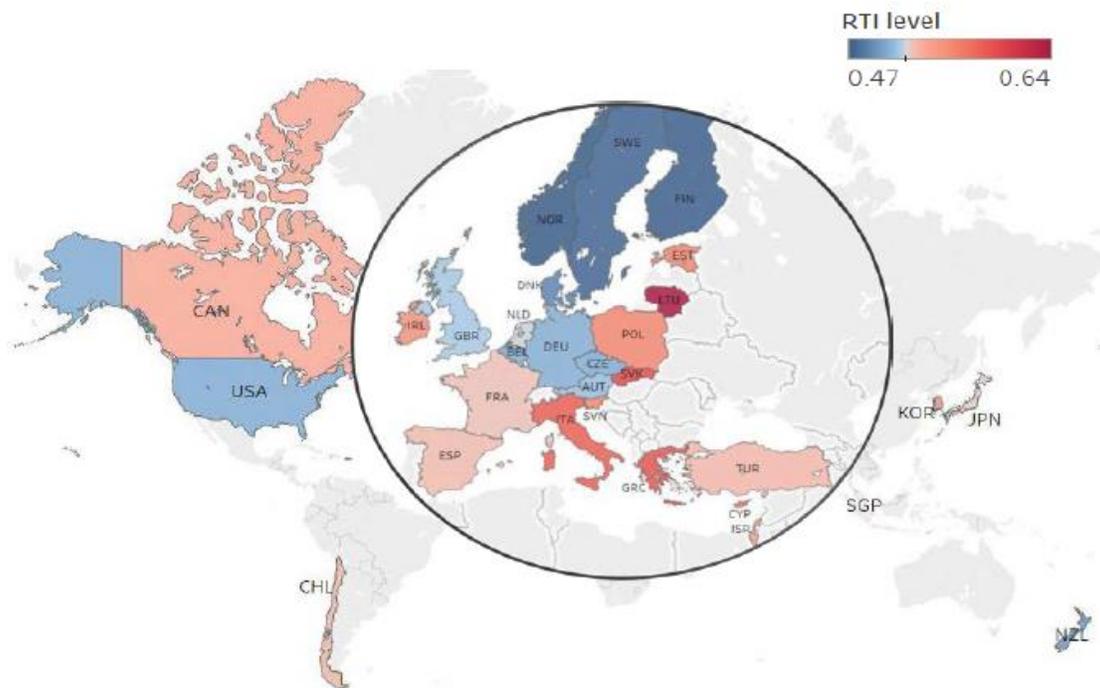


Fonte: PIAAC data, PwC analysis (extraída de Hawksworth, Berriman, & Goel, 2018, p. 4).

O potencial de automação segundo a idade dos trabalhadores ocupados parece relativamente homogêneo, sendo que os jovens e mais velhos tendem a ser ligeiramente mais atingidos. Os mais velhos (acima de 55 anos) serão mais atingidos no curto e médio prazo, na primeira e segunda onda; os mais jovens (menores de 25 anos) serão mais atingidos no longo prazo, na terceira onda, focada na automação do trabalho físico e na destreza manual e na resolução de problemas em situações dinâmicas do mundo real que exigem ações responsivas. Segundo a PwC, a automação deverá afetar no longo prazo um pouco mais os homens, especialmente por causa do avanço de veículos autônomos e outras máquinas que

substituirão muitas tarefas manuais, onde a presença de homens empregados é maior. Durante as primeiras e segundas ondas, no entanto, as atividades atualmente desenvolvidas pelas mulheres poderão ter maior risco de automação devido à sua maior representação em funções administrativas e em outras funções meio (Hawksworth, Berriman, & Goel, 2018).

Figura 5
Níveis de intensidade de tarefa rotineira (RTI) para mulheres em países selecionados



Fonte: PIAAC survey; IMF staff calculations (extraída de Brussevich et al., 2018, p. 9).

Nota: O índice de intensidade de tarefa de rotina (RTI) é calculado usando informações sobre rotina, tarefas abstratas e tarefas manuais. As médias nacionais são calculadas usando pesos de amostragem específicos para cada país. O nível do índice varia de 0,45 a 0,61.

Um grupo de economistas do Fundo Monetário Internacional, preocupado com essa problemática do futuro do trabalho, abordou recentemente a questão com uma perspectiva de gênero. O estudo publicado pelo FMI revela um resultado interessante: a mecanização afeta proporcionalmente mais as mulheres do que os homens. Em um conjunto de 30 países (28 países da OCDE, mais Chipre e Singapura), os empregos exercidos pela força de trabalho feminina estão em maior perigo se comparados aos empregos ocupados pela força de trabalho masculina (Figura 5). O argumento é que as mulheres tendem a assumir mais ocupações rotineiras, independentemente do setor e do trabalho. E são precisamente essas tarefas

rotineiras que estão mais ameaçadas pelas novas tecnologias. Ou seja, a diferença de gênero não é explicada pela tendência de mais postos de trabalho desaparecerem nas fábricas, na agricultura ou no comércio, mas pela constatação de que em todos esses setores o pessoal que cuida de tarefas menos especializadas e mais rotineiras é mais numeroso (Brussevich et al., 2018).

A pesquisa aponta que, nos próximos anos, o varejo será um setor exposto a um alto risco de mecanização (é o caso, por exemplo, da função de “caixa de supermercado”) e que, dentro desse setor, as mulheres tendem a realizar uma proporção menor de tarefas abstratas e de gerenciamento (Brussevich et al., 2018). Tais posições com maior poder de decisão e mais protegidas da automação são ocupadas em maior proporção pelos homens.

O estudo do FMI estima que, nos 30 países selecionados, existem cerca de 26 milhões de mulheres cujos empregos serão ameaçados pela tecnologia ao longo das próximas duas décadas. Esse universo é formado por aqueles empregos com mais de 70% de probabilidade de serem automatizados. Transpondo os cálculos, chega-se à conclusão de que em todo o mundo haverá 180 milhões de empregos femininos ameaçados, seguindo os mesmos critérios. Isso significa que a tendência é que a eliminação de empregos exercidos pela força de trabalho feminina seja quase 20% superior à eliminação de empregos que afetará a força de trabalho masculina, considerando o número de homens e mulheres ocupados hoje. Note-se que o risco é maior para as mulheres mais velhas (com 40 anos ou mais), menos instruídas, que trabalham em posições de baixa qualificação, em pontos de venda, escritórios ou serviços, atividades tipicamente femininas (Brussevich et al., 2018).

Interessante que, no plano dos conflitos distributivos, a consultoria Bain & Company, em recente publicação, aponta que a demografia, a automação e a desigualdade, em conjunto, têm o potencial de remodelar dramaticamente o mundo do trabalho nos anos 2020, provocando uma ruptura econômica muito maior do que se experimentou nos últimos 60 anos (Harris, Kimson, & Schwedel, 2018). O relatório indica que o impacto do envelhecimento das populações, a adoção de novas tecnologias de automação e a crescente desigualdade provavelmente se combinam para dar origem a novos riscos e oportunidades de negócios. Nos Estados Unidos, por exemplo, espera-se uma nova onda de investimentos em automação que pode chegar aos US\$ 8 trilhões, podendo eliminar até o final da década de 2020 entre 20% e 25% dos empregos atuais no país, atingindo os trabalhadores de renda média a baixa. A automação irá remodelar a economia nacional, produzindo forte turbulência no mercado de trabalho, alterando profundamente o padrão de organização em muitos setores.

O mercado de trabalho para a classe média norte-americana, aponta o estudo, tende a erodir com as radicais transformações demográficas e tecnológicas, num quadro de ampliação das desigualdades de renda. A análise contínua dos lares americanos mostra que o

núcleo da classe média está agora localizado entre o 50º percentil e o 80º percentil de renda familiar – que denominam de “consumidores ambiciosos” (Harris, Kimson, & Schwedel, 2018). A consultoria afirma que a eliminação de empregos e a desigualdade crescente tende encolher a classe média, favorecendo a mudança de um modelo doméstico de três níveis (superior, médio e inferior) para uma estrutura basicamente de dois níveis (superior e inferior) – sendo que o afluyente representaria aproximadamente os 20% mais altos, e os restantes 80% ganhariam um nível de renda real médio mais baixo do que a classe média atual. Evidentemente, a erosão do grupo de consumidores pode ser menor em mercados onde a distribuição de renda é mais equilibrada.

Preocupada com as estratégias empresariais diante deste quadro, a Bain & Company recomenda que as empresas de bens de consumo e serviços cuidem de sua posição em toda a área socioeconômica, principalmente em economias nacionais com pior distribuição de renda. Concentrar-se no segmento afluyente, diz a consultoria, é uma opção estratégica ampla, já que esse grupo ganhará mais terreno com a automação. Todavia, este grupo também poderá enfrentar uma tributação cada vez mais pesada, especialmente a partir do final dos anos 2020 e nos anos 2030, assim como o comprometimento de sua renda poderá aumentar ao longo do tempo para itens com preços mais elevados. Neste cenário, o resultado é que a concorrência no nível afluyente da sociedade se tornará mais intensa (Harris, Kimson, & Schwedel, 2018).

Por outro lado, empresas que adaptarem seus modelos de negócios ao nível de renda mais baixo da população poderão encontrar novas oportunidades e um espaço competitivo menos lotado, desde que eles possam usar automação e segmentação para reduzir suas estruturas de custos. Tão importante quanto a automação será, para as empresas que se direcionarem para os 80% não-afluyentes, a deflação direta dos preços. Os clientes que lutam para comprar mercadorias voltadas para os ricos podem ser cada vez mais receptivos a alternativas mais baratas. Para as empresas americanas, modelos de custo desenvolvidos em mercados emergentes, como a China e a Índia, fornecerão lições importantes para as empresas que competem pela ampla camada de não afluyentes. Os países emergentes com ambições internacionais também podem encontrar oportunidades crescentes de vender produtos e serviços para este nível social nos países desenvolvidos. Como a automação prejudica as estratégias de crescimento lideradas pelas exportações com base nos custos do trabalho, economias mais atrasadas poderão usar também essa estratégia de redução de custos pela automação para acessar mercados de economias avançadas (Harris, Kimson, & Schwedel, 2018).

Por fim, o estudo sugere que a combinação de renda crescente e desigualdade de riqueza pode levantar questões sobre como os recursos são divididos entre aposentados do

baby boom e os milhares de trabalhadores em idade ativa. A pensão pública e os sistemas de saúde podem chegar ao ponto de ruptura na próxima década. Populações envelhecidas tendem a sobrecarregar os sistemas sociais como nunca. Com o aumento da desigualdade de renda e riqueza, o encolhimento da base de trabalhadores de classe média para tributar e o crescente número de aposentados dependentes de transferências, os recursos serão insuficientes para financiar totalmente as necessidades de todos os aposentados não-afluentes. A sustentação da renda dos não afluentes dependerá, cada vez mais, das transferências para apoiar um grupo ou outro (ativos e inativos), portanto, impondo desafios à capacidade de gasto dos governos e seus desdobramentos sobre o mercado de consumo para as empresas (Harris, Kimson, & Schwedel, 2018).

Uma dimensão importante do avanço das novas tecnologias, da Inteligência Artificial, da automação e da manufatura avançada é a transformação nas relações entre emprego e educação. Uma reportagem especial de *The Economist* (2017, January 14) colocou em tela de juízo tal dimensão, mostrando que as mudanças tecnológicas exigirão conexões mais fortes e mais contínuas entre educação e emprego. Nos países ricos, o vínculo entre aprender e ganhar tendeu a seguir uma regra simples: obter o máximo de educação formal possível no início da vida e colher as recompensas correspondentes pelo resto de sua carreira. A literatura sugere que cada ano adicional de escolaridade formal está associado a um aumento de 8% a 13% nos ganhos por hora.

Muitos acreditam que a mudança tecnológica apenas reforça a necessidade de mais educação formal. De fato, os trabalhos compostos de tarefas de rotina que são de fácil automatização estão em declínio. Por outro lado, o número de empregos que exigem maior habilidade cognitiva vem crescendo e deverá crescer nos próximos anos. O mercado de trabalho estaria se transformando e aqueles com diplomas universitários ocuparão os empregos mais bem remunerados (The Economist, 2017, January 14).

Certamente esse fenômeno é concreto. Todavia, a realidade parece ser mais complexa, sugere a reportagem especial. Os retornos da educação, mesmo para os altamente qualificados, tornaram-se menos precisos. Entre 1982 e 2001, os salários médios obtidos pelos trabalhadores americanos com diploma de bacharel aumentaram em 31%, enquanto os salários dos que possuem o ensino médio completo não mudaram, de acordo com o *Federal Reserve* de Nova York. Mas nos 12 anos seguintes, os salários dos formados em faculdades caíram mais do que os de seus pares menos instruídos. Enquanto isso, os custos de matrícula nas universidades aumentaram de forma significativa. Assim, a decisão de ir para a faculdade ainda faz sentido para a maioria, mas a ideia de uma relação mecanicista entre educação e salários ficou desacreditada (The Economist, 2017, January 14).

Interessante mencionar que pesquisa realizada pelo Pew Research Center (*The state of American jobs*) mostrou que apenas 16% dos americanos acham que um curso de quatro anos prepara os alunos muito bem para um emprego bem remunerado na economia moderna. É possível que parte dessa percepção seja um efeito das consequências econômicas da crise financeira ou ainda simplesmente uma questão de suprimento: à medida que mais pessoas possuem diplomas universitários, o prêmio associado à escolaridade declina. Mas a tecnologia também parece estar complicando o quadro (Parker & Raine, 2016, cap. 5).

Três economistas de universidades canadenses (Beaudry, Green, & Sand, 2016) questionam suposições otimistas sobre a demanda por trabalhos não-rotineiros. No artigo "The great reversal in the demand for skill and cognitive tasks", argumentam que frente às mudanças no mercado de trabalho na virada do século, em particular por volta do ano 2000, a demanda por habilidade (ou, mais especificamente, por tarefas cognitivas frequentemente associadas à alta habilidade educacional) sofreu uma reversão.

Após um forte e contínuo aumento na demanda por habilidades nas décadas que antecederam o ano 2000, assistimos um declínio dessa demanda nos anos seguintes. Os economistas canadenses demonstram que, em resposta a essa inversão de demanda, os trabalhadores altamente qualificados desceram a escada ocupacional e começaram a realizar trabalhos tradicionalmente realizados por trabalhadores menos qualificados.

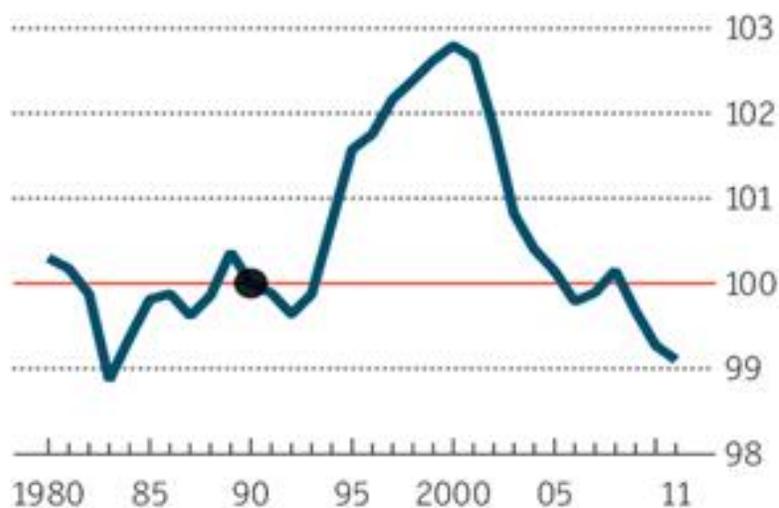
Esse processo de desqualificação, por sua vez, teve repercussão na estrutura de emprego: a concorrência com trabalhadores altamente qualificados deslocou os trabalhadores pouco qualificados ainda mais para baixo na escada ocupacional e, em alguns casos, para fora da força de trabalho. Frente a esse novo padrão, os autores sugerem que está ocorrendo uma mudança técnica, na qual ainda há um estoque de tarefas cognitivas pretéritas, mas não um fluxo de novas tarefas. Concretamente, oferecem uma nova interpretação da atual situação de emprego nos Estados Unidos (Beaudry, Green, & Sand, 2016).

Nas duas últimas décadas do século XX, a demanda por habilidades cognitivas aumentou à medida que a infraestrutura básica da nova era – a era da TI (computadores, servidores, estações de base e cabos de fibra ótica) – estava sendo construída. Com tal tecnologia estabelecida, essa demanda diminuiu. Assim, desde 2000, a parcela de empregos representada por postos de trabalho altamente qualificados nos Estados Unidos vem caindo (Figura 6). Como resultado, os trabalhadores com formação universitária estão assumindo empregos que são cognitivamente menos exigentes, deslocando trabalhadores menos instruídos (Beaudry, Green, & Sand, 2016).

A interpretação dos economistas canadenses indica que as novas tecnologias avançadas já estão atingindo o conjunto dos empregos nos Estados Unidos e não apenas

aqueles mais imediatamente sujeitos a padronização rotineira e a automação direta. Trabalhadores habilidosos e não qualificados estão sendo atingidos de formas distintas. Por um lado, sugerem que aqueles com melhor educação ainda são mais propensos a encontrar trabalho, mas agora com grande chance de que esse trabalho não seja compatível com sua elevada escolaridade formal. Por outro lado, submetidos à competição com os mais qualificados, aqueles que nunca chegaram à faculdade estão expostos à não inserção e à exclusão da força de trabalho. De forma mais radical, esse pessimismo pode ser visto também nas projeções de Carl-Benedikt Frey e Michael Osborne, da Universidade de Oxford que, em 2013, calcularam que 47% dos empregos existentes nos Estados Unidos são suscetíveis à automação (Frey & Osborne, 2013).³²

Figura 6
Intensidade cognitiva média das tarefas realizadas por empregados com educação superior.
Estados Unidos (1990=100)



Fonte: Beaudry, Green, & Sand (2016).

³² Um bom exemplo para expressar as dificuldades das projeções dos efeitos da automação sobre o emprego é o trabalho de James Bessen, economista da Universidade de Boston, aponta que para a heterogeneidades dos efeitos da automação em profissões específicas indicando que, por exemplo, desde 1980 o emprego tem crescido mais rápido em ocupações que usam computadores em comparação àquelas que não usam. Isso ocorre porque a automação tende a afetar as tarefas dentro de uma ocupação e não eliminar as tarefas na sua totalidade. A automação parcial pode realmente aumentar a demanda reduzindo os custos, diminuindo a demanda por trabalhadores em certos setores, mas expandindo em outros. Por exemplo, apesar da introdução do *scanner* de código de barras nos supermercados e no caixa eletrônico dos bancos, o número de caixas de supermercado e de caixas bancários cresceu nos Estados Unidos (Bessen, 2016, January 19).

Todavia, mesmo considerando que o processo de destruição do emprego não seja tão linear, deve-se considerar os fatos em andamento que evidenciam certas tendências bastante evidentes. Em artigo de 2017, Pascual Restrepo e Daron Acemoglu, discutem como as novas tecnologias e a automação tornarão a mão de obra redundante num movimento de destruição e criação de tarefas. Concretamente, entre 1996 e 2015, a parcela da força de trabalho americana em empregos de escritório de rotina caiu de 25,5% para 21%, eliminando 7 milhões de empregos. Entre 2007 e 2015, as vagas para trabalho de rotina não qualificado sofreram uma queda de 55% em relação a outros empregos. Evidentemente, consideram que a crise financeira de 2007-2008 intensificou o processo, mas sugerem que estamos diante de um movimento mais profundo de transformação (Restrepo & Acemoglu, 2017).

Não há dúvida que as dificuldades serão crescentes para todos os tipos de trabalhadores. Um diploma universitário ainda é um pré-requisito para muitos empregos, mas deixou de ser um passaporte de acesso para um bom emprego. No caso norte-americano, tratamos de um mercado de trabalho com um número crescente de trabalhadores autônomos. De acordo com o Bureau of Labor Statistics (BLS), a participação na força de trabalho de trabalhadores temporários, autônomos e pequenos empregadores com baixos rendimentos aumentou de 10,1% em 2005 para 15,8% em 2015.

Num esforço recente de reflexão sobre o impacto das novas tecnologias sobre o trabalho, o African Development Bank Group (AfDB), o Asian Development Bank (ADB), o Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) e o European Bank for Reconstruction and Development (EBRD) organizaram um interessante estudo sobre o tema procurando apreender as especificidades das chamadas “economias emergentes”. Argumentam que de fato há um número crescente de estudos e iniciativas que estão sendo realizados para analisar o que essas mudanças significam em nosso trabalho, em nossa renda, no futuro de nossos filhos, em nossas empresas e em nossos governos. Todavia, ponderam que na maior parte dos casos, essas análises são conduzidas principalmente a partir da ótica das economias avançadas e muito menos na perspectiva das economias em desenvolvimento. No entanto, diferenças relativas à difusão tecnológica, de estruturas econômicas e demográficas, níveis de educação e padrões migratórios têm um impacto significativo no caminho que essas mudanças podem afetar os países em desenvolvimento e emergentes (AfDB et al., 2018).

O estudo destaca que as diferenças marcantes registradas nas estruturas econômicas geram contrastes igualmente acentuados na forma como os países são afetados pelo progresso tecnológico em termos de emprego. Por exemplo, os avanços na agricultura podem ser particularmente importantes na Ásia e na África, uma vez que lá essa atividade responde por uma porcentagem maior de emprego. Na África, 51% dos trabalhadores estão ocupados na agricultura, enquanto na Ásia a proporção é de 32%. Em outras regiões, a

porcentagem de emprego na agricultura é muito menor: apenas 16% na América Latina e Caribe e 10% nas economias em desenvolvimento que são membros do EBRD.³³

Os avanços na manufatura, como robótica e impressão 3D, são de maior importância nas regiões do EBRD, onde o percentual de emprego na indústria manufatureira é alto: 30%. Por fim, o que acontece no setor de serviços será particularmente decisivo para as regiões do EBRD e América Latina e Caribe, onde representa cerca de 60% do emprego total, algo não muito distante dos 70% registrados no mundo desenvolvido.

Embora as estimativas iniciais indicassem um maior potencial para automação em países emergentes, os cálculos mais recentes mostram diferenças menores e nenhum padrão claro por nível de renda dos países. Esclarecem que o potencial de automação parecia maior nas economias emergentes, dada sua especialização em ocupações com tarefas repetitivas, baixa qualificação e remuneração reduzida, o que significa que, com as tecnologias atuais, esse processo seria, por hipótese, mais fácil. Cálculos recentes do Banco Mundial, entretanto, mostraram maior potencial de automação na Ásia e na África: 73% e 71%, respectivamente (World Bank, 2016).

Novas estimativas indicam diferenças muito menores entre regiões e nenhum padrão baseado em renda. Por exemplo, as economias desenvolvidas e os países africanos podem ter o mesmo potencial de automação. Deve-se ressaltar que, embora alguns números iniciais apontassem a possibilidade de que a automação destruísse mais de metade dos postos de trabalho existentes, novos cálculos baseados em tarefas indicam que apenas 8% dos empregos nos países do EBRD e 9% nas economias desenvolvidas podem automatizar mais de 70% de suas tarefas (AfDB et al., 2018).

Tratando de especificidades regionais, estudo feito no âmbito da Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe (CEPAL) em 2017, intitulado "Políticas industriales y tecnológicas en América Latina", traz uma importante reflexão sobre os impactos das transformações tecnológicas contemporâneas na região (Cimoli et al., 2017). Em sua terceira parte, o documento destaca que, diferente do observado nos países desenvolvidos, ainda é incipiente o fenômeno da Indústria 4.0 na América Latina, região onde os mais importantes países ainda não alcançaram as capacidades mínimas em cinco tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0, a saber: conectividade, infraestrutura de armazenamento de dados, computação em nuvem, big data e internet das coisas (Castillo, Gligo, & Rovira, 2017).

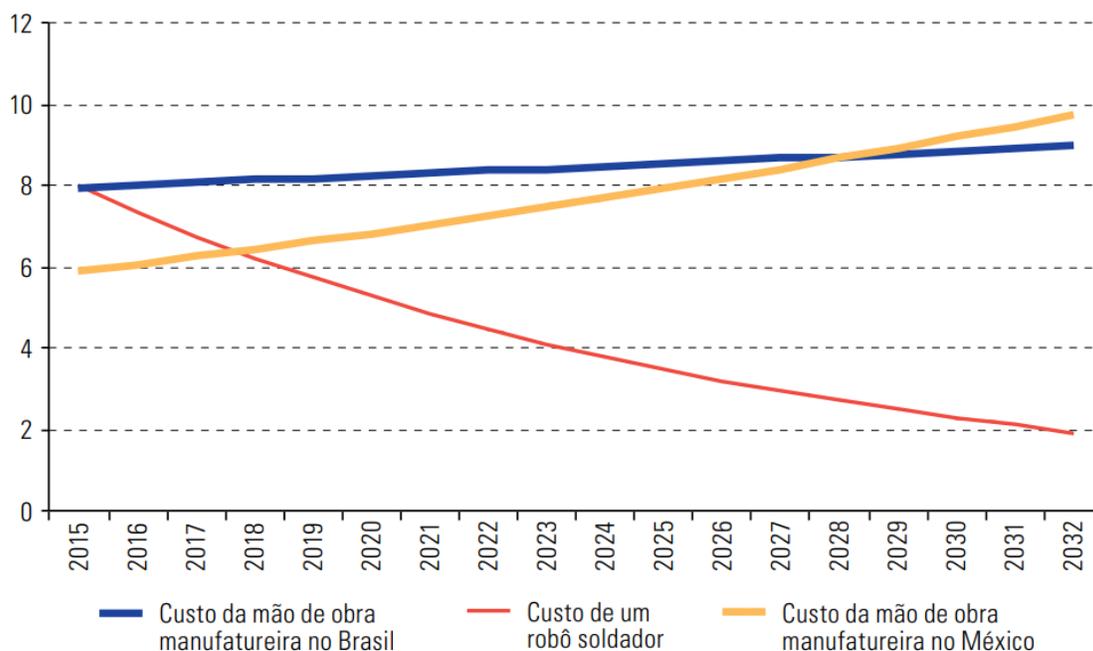
As atividades digitais mais frequentes dos usuários latino-americanos são relacionadas à "Internet do consumo", ou seja, o uso de redes sociais, jogos, vídeos, comunicações e comércio

³³ O European Bank for Reconstruction and Development engloba, além da Europa Central e Oriental, o Mediterrâneo Meridional e Oriental, a Ásia Central e a Mongólia.

eletrônico. Nos setores produtivos, o uso de tecnologias digitais é focado principalmente em ferramentas de comunicação e gestão e, em menor escala, nas ferramentas de automação e controle de processos produtivos (Katz, 2015). Esta baixa adoção de tecnologias digitais em atividades produtivas por parte das empresas explica que a contribuição econômica da “Internet da produção” não é significativa. A Indústria 4.0 nos países da região está em uma fase incipiente e o documento aponta para o risco de que a diferença seja acentuada nos próximos anos em comparação aos países desenvolvidos.

O atraso tecnológico na América Latina, expresso em um baixo nível de digitalização dos setores industriais, com diferenças nacionais, tem limitado os impactos das mudanças estruturais relativas à Indústria 4.0 sobre o emprego na região. Neste quadro latino-americano, a análise de Castillo, Gligo, e Rovira (2017) sugere que o impacto da Indústria 4.0 sobre o emprego na região ainda é incerto, mas há algumas estimativas preliminares.

Figura 7
Evolução do custo médio de um robô soldador e da mão de obra manufatureira, 2015-2032.
 México e Brasil (em dólares por hora)

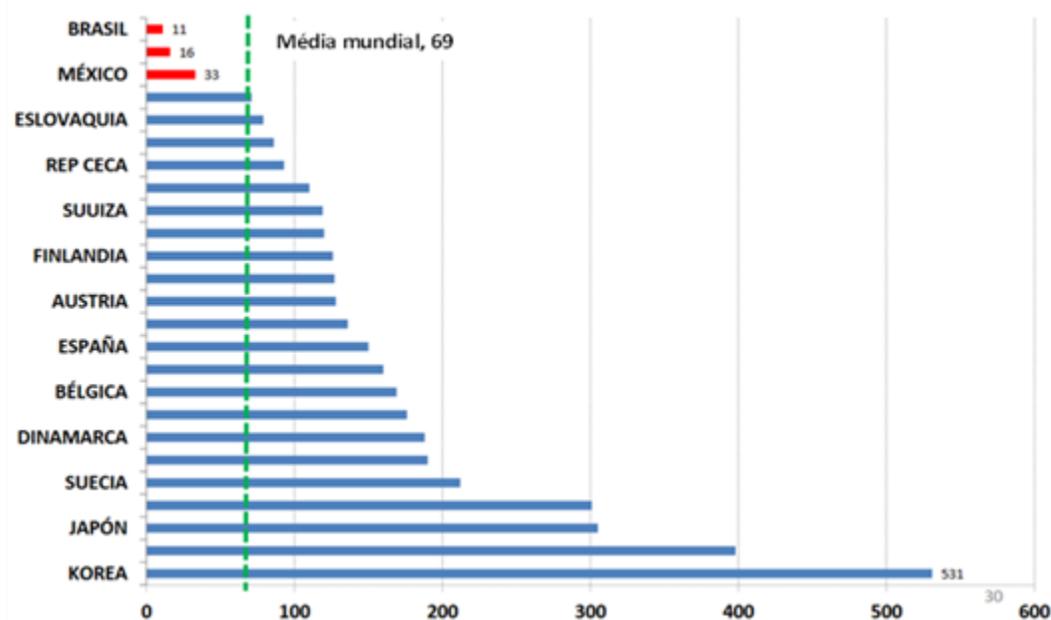


Fonte: International Federation of Robotics (IFR) (extraída de CEPAL, 2018, p. 16).

Em setores tradicionais da estrutura produtiva latino-americana, o potencial de substituição de trabalhadores é bastante significativo. Tomando duas das maiores economias da região – México e Brasil –, a queda do custo de um robô soldador em comparação ao custo

horário em dólar do trabalho industrial nesses países, na próxima década, oferece um exemplo deste potencial (Figura 7). O limitado uso dos chamados “robôs multipropósito” nos países mais avançados da indústria manufatureira da região, como Brasil e México, também demonstra tal potencial (Figura 8).

Figura 8
Número de robôs multipropósitos para cada 10.000 empregados na Indústria manufatureira, 2015



Fonte: International Federation of Robotics (IFR).

Não somente na indústria manufatureira. A baixa adoção de tecnologias digitais em processos de atividades produtivas, que até o momento tem afetado limitadamente o emprego industrial na região, parece ter grande espaço de avanço na próxima década no setor de serviços. A evolução do padrão de automação, inicialmente voltada para a execução de tarefas comuns, para tecnologias plurifuncionais, com a incorporação de robôs colaborativos – “Cobots” – um dos pilares da Indústria 4.0 e da inteligência artificial, abre um campo de transformação enorme para a produção de bens, e fundamentalmente, na oferta de serviços.

Importante destacar que – em consonância com as formulações apresentadas no estudo da CEPAL (Cimoli et al., 2017) – o AfDB, o ADB, o BID e o EBRD (2018), ao tratarem da realidade de países periféricos (na Europa central e oriental, além da Ásia e da Mongólia), sugerem impactos diferenciados da automação sobre o emprego em estruturas econômicas muito distintas. Todavia, também indicam – como na análise dos economistas cepalinos – que

os avanços na manufatura, com a robótica e a impressão 3D, são de maior importância onde o percentual de emprego nesse setor é alto: 30%. Mais ainda, como afirmado anteriormente, as inovações no setor de serviços serão particularmente decisivas para a “região EBRD” e a América Latina e Caribe, onde este setor responde por cerca de 60% do emprego total (porcentagem que está gradualmente se aproximando da média verificada em países desenvolvidos).

Considerações finais

O Brasil apresenta uma experiência nacional que deve ser vista com bastante atenção na América Latina, hoje e nos próximos anos. Trata-se da experiência mais bem-sucedida de industrialização na região ao longo do século XX. Decorrente disso, uma estrutura social com participação importante das novas classes médias e uma estrutura ocupacional que, se por um lado traz marcas profundas do atraso secular do país, por outro, expressa mudanças em direção à configuração de uma sociedade urbana, industrial e continental. Note-se que, até a sua integração ao processo de globalização, o país contou com importante participação do emprego industrial na estrutura ocupacional, com reflexos na montagem de um setor de serviços complexo e heterogêneo, articulados à estrutura produtiva e que passou a abrigar uma elevada porcentagem do emprego total.

Porém, a indústria brasileira tem ocupado uma posição marginal no novo cenário mundial e tem ficado bastante defasada no que se refere ao desenvolvimento tecnológico, com sérias limitações que dificultam o pleno desenvolvimento da Indústria 4.0 no país. Por isso, a transição para um novo paradigma industrial tem sido feita de modo restrito, baseada na incorporação de elementos da Indústria 4.0 por meio da importação de máquinas e sistemas operacionais que configuram “ilhas de modernidade” (IEDI, 2017, julho 21, p. 2).

Apesar das incertezas quanto ao ritmo de assimilação das inovações (automação) e seus impactos diversos sobre o trabalho ao longo do tempo, em estruturas econômicas e sociais distintas entre os países, o Brasil pode ser um dos países periféricos mais propensos a sofrer impactos das novas tecnologias, aqui tratadas em termos de emprego. Como visto, empregos nos quais predominam tarefas rotineiras e em atividades meio, que exigem qualificação mediana, são aqueles que tendem a ser mais atingidos pela automação avançada. A estrutura de emprego brasileira conta com forte presença desses empregos, diferentemente de outros países periféricos com estruturas produtivas mais atrasadas e menos diferenciadas. Outra frente atingida pela automação avançada é o transporte e a logística. Em um país continental como o Brasil, estes são setores densos na estrutura econômica e intensivos em emprego. Poderão ser atingidos sobremaneira pela automação avançada.

Para estimular o debate sobre os desafios e os desdobramentos da Indústria 4.0 no contexto nacional, é importante mencionar um estudo realizado pelo IPEA, que estimou as probabilidades de automação de postos de trabalho no Brasil (Albuquerque et al., 2019). As evidências sugerem que boa parte das ocupações pode passar por um processo de automação nos próximos anos, e que algumas profissões possuem maior risco de serem afetadas. Ademais, isso pode resultar em persistência de elevado nível de desemprego, principalmente se não forem adotadas políticas de emprego endereçadas para enfrentar o novo cenário.

Utilizando a base de dados da Relação Anual de Informações Sociais (RAIS), o estudo classificou os empregados formais de acordo com suas habilidades e competências (e o nível educacional exigido), definindo cinco “zonas de trabalho” conforme o grau de complexidade e o nível de preparação requerido. O pressuposto é que, “quanto mais complexa é uma ocupação em termos de nível de preparo, menor é a probabilidade de automação dessa ocupação” (Albuquerque et al., 2019, p. 15). Há indícios de que os trabalhadores substituídos por máquinas já estão sendo deslocados para uma zona de menor complexidade.

De acordo com a estimativa feita pelo IPEA, 54,45% dos empregos formais no Brasil, em 2017, tinham uma probabilidade de automação alta ou muito alta. Tal porcentagem correspondia a quase 25 milhões de trabalhadores, que poderiam ficar em uma situação ocupacional bastante vulnerável ao avanço das inovações tecnológicas na década seguinte. Evidentemente, é difícil prever qual será o ritmo de difusão da manufatura avançada no país, mas é possível desenhar diferentes cenários baseados no comportamento das empresas. De qualquer modo, é provável que os segmentos mais prejudicados sejam os de trabalhadores com baixa qualificação profissional que exercem funções rotineiras de baixa complexidade.

Nos últimos anos, no Brasil também se formou um consenso de que o impacto das inovações tecnológicas sobre o emprego é heterogêneo, podendo variar de acordo com o ritmo das mudanças na organização do trabalho, as características estruturais do setor econômico, a participação relativa de ocupações com maior risco de automação, e o maior ou menor dinamismo da economia nacional ou regional. Por isso, um diagnóstico detalhado a respeito que permita identificar as profissões mais ameaçadas e os segmentos sociais mais vulneráveis é essencial para os formuladores de políticas públicas.

Finalizando, convém mencionar duas proposições derivadas da análise feita por Nübler (2016), que podem auxiliar na reflexão aqui proposta sobre o caso brasileiro: 1) Os impactos das inovações tecnológicas sobre os empregos e as relações de trabalho não podem ser determinados *a priori*, inclusive porque podem ser ampliados ou diminuídos por políticas públicas e por regulação social; 2) As consequências não intencionais da transição para um novo padrão produtivo podem beneficiar alguns segmentos e prejudicar outros, dependendo do modo como elas são entendidas e equacionadas em cada sociedade.

Referências

African Development Bank Group (AfDB), Asian Development Bank (ADB), Banco Interamericano de Desarrollo (BID), European Bank for Reconstruction and Development (EBRD) (2018). *El futuro del trabajo: Perspectivas regionales*. <http://dx.doi.org/10.18235/0001059>

Albuquerque, P. H. M., Saavedra, C. A. P. B, Morais, R. L., Alves, P. F., & Yaohao, P. (2019). Na era das máquinas, o emprego é de quem? Estimaco da probabilidade de automaco de ocupaes no Brasil. [Texto para Discusso, n. 2457], Instituto de Pesquisa Econmica Aplicada (IPEA). https://www.ipea.gov.br/portal/images/stories/PDFs/TDs/190329_td_2457.pdf

Autor, D. H. (2015). Why are there still so many jobs? The history and future of workplace automation. *Journal of Economic Perspectives*, 29(3), 3–30. <https://doi.org/10.1257/jep.29.3.3>

Harris, K., Kimson, A., & Schwedel, A. (2018). *Labor 2030: The collision of demographics, automation and inequality*. Bain & Company, Macro Trends Group. https://www.bain.com/contentassets/fa89826544934e429f7b6441d6a5c542/bain_report_labor_2030.pdf

Beaudry, P., Green, D. A., & Sand, B. M. (2016). The great reversal in the demand for skill and cognitive tasks. *Journal of Labor Economics*, 34(S1), S199–S247. <https://doi.org/10.1086/682347>

Bessen, J. (2016, January 19). The automation paradox: When computers start doing the work of people, the need for people often increases. *The Atlantic*. <https://www.theatlantic.com/business/archive/2016/01/automation-paradox/424437/>

Brussevich, M., Dabla-Norris, E., Kamunge, P., Karnane, C., Khalid, S., Gaspar, V., & Kochhar, K. (2018). Gender, technology, and the future of work. [IMF Staff Discussion Notes, SDN 18/07], International Monetary Fund. <https://www.imf.org/en/Publications/Staff-Discussion-Notes/Issues/2018/10/09/Gender-Technology-and-the-Future-of-Work-46236>

Brynjolfsson, E., & McAfee, A. (2012). *Race against the machine: How the digital revolution is accelerating innovation, driving productivity, and irreversibly transforming employment and the economy*. Digital Frontier Press.

Bughin, J., Hazan, E., Lund, S., Dahlstrm, P., Wiesinger, A., & Subramaniam, A. (2018). Skill shift: Automation and future of workforce. [MGI Discussion Paper, May 23, 2018], McKinsey Global Institute. <https://www.mckinsey.com/featured-insights/future-of-work/skill-shift-automation-and-the-future-of-the-workforce>

Castillo, M., Gligo, N., & Rovira, S. (2017). La poltica industrial 4.0 en la Amrica Latina. In M. Cimoli et al. (Eds.), *Polticas industriales y tecnolgicas em Amrica Latina* (pp. 549-572). Comisin Econmica para Amrica Latina y el Caribe (CEPAL). https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/42363/4/S1700602_es.pdf

Certeza, R. A. (2018). The Palea struggle against outsourcing and contractualization in the airline industry in the Philippines. [GLU Working Papers, No. 52], Global Labour University. https://global-labour-university.org/fileadmin/GLU_Working_Papers/GLU_WP_No.52.pdf

Cimoli, M., Castillo, M., Porcile, G., & Stumpo, G. (Eds.) (2017). *Políticas industriales y tecnológicas em América Latina*. Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/42363/4/S1700602_es.pdf

Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe (CEPAL) (2018). *A ineficiência da desigualdade*. Síntese. [LC/SES.37/4]. <https://www.cepal.org/pt-br/publicaciones/43569-ineficiencia-desigualdade-sintese>

Frey, C.-B., & Osborne, M. (september, 2013). The future of employment: how susceptible are jobs to computerisation? *Technological Forecasting and Social Change*, (114), 254–280. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2016.08.019>

Hawksworth, J., Berriman, R., & Goel, S. (2018). *Will robots really steal our jobs? An international analysis of the potential long term impact of automation*. Pricewaterhouse-Coopers (PwC). https://www.pwc.com/pt-br/kiadvanyok/assets/pdf/impact_of_automation_on_jobs.pdf

Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial (IEDI) (2017, julho 21). Indústria 4.0: Desafios e oportunidades para o Brasil. *Carta IEDI*, (797), 1–23. https://www.iedi.org.br/cartas/carta_iedi_n_797.html

Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial (IEDI) (2017, setembro 1). Indústria 4.0: O futuro da indústria. *Carta IEDI*, (803), 1–11. https://www.iedi.org.br/cartas/carta_iedi_n_803.html

Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial (IEDI) (2017, setembro 29). Indústria 4.0: A política industrial da Alemanha para o futuro. *Carta IEDI*, (807), 1–29. https://www.iedi.org.br/cartas/carta_iedi_n_807.html

Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial (IEDI) (2017, dezembro 11). Indústria 4.0: O plano estratégico da manufatura avançada nos EUA. *Carta IEDI*, (820), 1–38. https://www.iedi.org.br/cartas/carta_iedi_n_820.html

Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial (IEDI) (2017, dezembro 29). Indústria 4.0: Políticas e estratégias nacionais face à nova revolução produtiva. *Carta IEDI*, (823), 1–13. https://www.iedi.org.br/cartas/carta_iedi_n_823.html

Katz, R. (2015). *El ecosistema y la economía digital en América Latina*. Editorial Ariel y CEPAL. <https://www.cepal.org/es/publicaciones/38916-ecosistema-la-economia-digital-america-latina>

Manyika, J., Chui, M., Bughin, J., Dobbs, R., Bisson, P., & Marrs, A. (2013, May). *Disruptive technologies: Advances that will transform life, business, and the global economy*. Mckinsey Global Institute. <https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-digital/our-insights/disruptive-technologies>

Manyika, J., Chui, M., Miremadi, M., Bughin, J., George, K., Willmott, P., & Dewhurst, M. (2017, January). *A future that works: automation, employment and productivity*. Mckinsey Global Institute <https://www.mckinsey.com/featured-insights/digital-disruption/harnessing-automation-for-a-future-that-works/de-DE>

Manyika, J., Lund, S., Chui, M., Bughin, J., Woetzel, J., Batra, P., Ko, R., & Sanghvi, S. (2017, December). *Jobs lost, jobs gained: workforce transitions in a time of automation*. McKinsey Global Institute. <https://www.mckinsey.com/featured-insights/future-of-work/jobs-lost-jobs-gained-what-the-future-of-work-will-mean-for-jobs-skills-and-wages>

National Science and Technology Council (NSTC) (2012). *A national strategic plan for a advanced manufacturing*. Executive Office of the President of the United States. https://www.energy.gov/sites/prod/files/2013/11/f4/nstc_feb2012.pdf

Nübler, I. (2016). New technologies: A jobless future or golden age of job creation? [ILO Research Department Working Paper, No. 13], International Labour Office. https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---dgreports/---inst/documents/publication/wcms_544189.pdf

Organização Internacional do Trabalho (OIT) (2015). *O futuro do trabalho: Iniciativa do centenário*. [Conferência Internacional do Trabalho, 104ª Sessão, Relatório do Diretor-geral. Relatório 1], Genebra. https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---europe/---ro-geneva/--ilo-lisbon/documents/publication/wcms_715123.pdf

Parker, K., & Raine, L. (2016). *The state of American jobs*. Pew Research Center. <https://www.pewresearch.org/social-trends/2016/10/06/the-state-of-american-jobs/>

Restrepo, P., & Acemoglu, D. (2018). The race between man and machine: Implications of technology for growth, factor shares and employment. *American Economic Review*, 108(6), 1488–1542. <https://doi.org/10.1257/aer.20160696>

Saldivar, A. A. F., Li, Y., Chen, W. N., Zhan, Z. H., Zhang, J., & Chen, L. Y. (2015). Industry 4.0 with cyber-physical integration: A design and manufacture perspective. [21st International Conference on Automation and Computing: Automation, Computing and Manufacturing for New Economic Growth]. Institute of Electrical and Electronics Engineers. <https://doi.org/10.1109/IConAC.2015.7313954>

Stewart, I., Debapratin, D., & Cole, A. (2014). Technology and people: The great job-creating machine. <https://www2.deloitte.com/tr/en/pages/technology/articles/technology-and-people.html>

The Economist (2017, January 14). Lifelong learning is becoming an economic imperative. [Special Report]. <https://www.economist.com/special-report/2017/01/12/lifelong-learning-is-becoming-an-economic-imperative>

Wisskirchen, G., Biacabe, B. T., Bormann, U., Muntz, A., Niehaus, G., Jiménez Soler, G., von Brauchitsch, B. (2017). *Artificial intelligence and robotics and their impact on the workplace*. IBA Global Employment Institute (IBA GEI), International Bar Association. <https://www.ibanet.org/Article/NewDetail.aspx?ArticleUId=012a3473-007f-4519-827c-7da56d7e3509>

World Economic Forum (WEF) (2013). *The future of jobs* (Vol. 5, Executive summary). <https://doi.org/10.1177/1946756712473437>

World Economic Forum (WEF) (2016). *The future of jobs. Employment, skills and workforce strategy for the Fourth Industrial Revolution*.

https://www3.weforum.org/docs/WEF_Future_of_Jobs.pdf

World Trade Organization (WTO) (2017). Impact of technology on labour market outcomes. In *World Trade report 2017: Trade, technology and labour* (pp. 74–103).

https://www.wto-ilibrary.org/trade-monitoring/world-trade-report-2017_63827fc5-en

Recebido em 23 de outubro de 2021.

Aprovado em 29 de novembro de 2021.