

JOÃO BITENCOURT OLIVEIRA SIMÕES

“A 4° Revolução Industrial”

Monografia de Bacharelado em Ciências Econômicas

Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Atuária

PUC - São Paulo

Maió/2025

JOÃO BITENCOURT OLIVEIRA SIMÕES

A 4° Revolução Industrial

Trabalho de Monografia
para o Curso de Ciências
Econômicas da Faculdade
Pontifícia Universidade Católica de
São Paulo (PUC-SP).

Orientador: Pedro Hubertus Vivas Agüero

Faculdade de Economia, Administração, Contabilidade e Atuária
PUC - São Paulo
Maió/2025

Esta monografia foi examinada pelos professores abaixo relacionados e aprovada com nota final _____ (_____).

Data: ____ / ____ / ____

Assinatura do orientador:

Autorizo a disponibilização desta monografia para consulta pública e utilização como referência bibliográfica, mas sua reprodução total ou parcial somente pode ser feita mediante autorização expressa do autor, nos termos da legislação vigente sobre direitos autorais.

São Paulo, ____ de _____ de _____

Assinatura: _____

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais pelo apoio constante ao longo de toda a minha trajetória acadêmica e investimento na minha educação.

Ao professor Pedro Hubertus Vivas Agüero, meu orientador, expressei minha profunda gratidão pela orientação generosa e pelas contribuições para o desenvolvimento desta monografia.

À Pontifícia Universidade Católica de São Paulo – PUC-SP, agradeço pelo espaço de aprendizado, reflexão e crescimento. A todos que, de alguma forma, contribuíram para essa caminhada, o meu muito obrigado.

RESUMO

A Indústria 4.0 está promovendo uma transformação significativa na economia global, com reflexos diretos na competitividade industrial, no emprego e na distribuição de riquezas. Em termos econômicos, a revolução traz ganhos de eficiência e redução de custos, possibilitados pela automação, digitalização dos processos produtivos e pelo uso de tecnologias como inteligência artificial, Internet das Coisas (IoT) e Big Data. Um dos impactos mais evidentes da Indústria 4.0 é a reconfiguração das cadeias produtivas, com a introdução de novos modelos de negócios baseados em plataformas colaborativas e ecossistemas digitais, que possibilitam a produção de produtos mais personalizados e a custos reduzidos, gerando novas fontes de receita.

Contudo, esse processo de transformação econômica apresenta desafios consideráveis, como o alto custo inicial das tecnologias e a necessidade de requalificação da força de trabalho. Embora as tecnologias digitais e a automação aumentem a produtividade, há um risco de diminuição de postos de trabalho tradicionais, o que pode gerar desigualdades econômicas, especialmente em países em desenvolvimento, como o Brasil. A adaptação a esse novo cenário exige uma análise cuidadosa das condições do mercado de trabalho e das políticas públicas voltadas para a qualificação profissional.

Além disso, a globalização das cadeias produtivas, intensificada pela Indústria 4.0, coloca o Brasil em uma posição de necessidade de inovação tecnológica e investimentos em infraestrutura para competir com economias já avançadas nesse campo. A capacidade do país de se inserir de forma competitiva nesse novo cenário dependerá de sua habilidade em adotar um modelo de desenvolvimento industrial sustentável e inclusivo, que não apenas implemente novas tecnologias, mas também promova a geração de empregos qualificados.

Em síntese, a Indústria 4.0 tem o potencial de estabelecer um novo padrão econômico, focado na personalização e na eficiência, mas exige dos países em desenvolvimento, como o Brasil, a implementação de estratégias que integrem a inovação tecnológica com a criação de uma economia mais inclusiva e geradora de empregos de qualidade.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO
 - 1.1 Fundamentações
 - 1.2 Objetivo
 - 1.3 Hipótese
 - 1.4 Metodologia
 - 1.5 Revisão da Literatura Existente
2. ECONOMIA BRASILEIRA E INDÚSTRIA NACIONAL
 - 2.1 Apresentação
 - 2.2 Estado Atual da Indústria Nacional
 - 2.3 Indústria 4.0 no Brasil
 - 2.4 Perspectivas
3. O FUTURO DA INDÚSTRIA 4.0 NO BRASIL E NO MUNDO
 - 3.1 Apresentação
 - 3.2 O cenário Atual da Indústria 4.0
 - 3.3 Tecnologias – Inteligência Artificial
 - 3.4 Tecnologias – Robos Autônomos
 - 3.5 Tecnologias – Big Data
 - 3.6 As tecnologias no Brasil
4. PROPOSTA DE AÇÕES E POLÍTICAS
 - 4.1 Imagem Objetivo
 - 4.2 Mudanças legais e institucionais
 - 4.3 Política Econômica
 - 4.4 Ações da Sociedade
5. Conclusões Finais
6. Referências Bibliográficas

1. INTRODUÇÃO

1.1 Fundamentações

No período de uma nova revolução tecnológica, surge uma transformação que reflete significativamente no crescimento econômico mundial. A Indústria 4.0, também chamada de 4ª Revolução Industrial, se caracteriza pela integração do mundo digital com o físico em maior escala, trazendo transformações na linha de produção e no desenvolvimento econômico mundial. Dessa maneira, essa pesquisa tem o objetivo de analisar o vínculo entre a Indústria 4.0 e o crescimento econômico. Ao explorar os desafios, as oportunidades e os impactos dessa sinergia, consideramos a ligação de sistemas digitais, a aplicação de inteligência artificial na produção e a incorporação da Internet das Coisas (IoT) como um elemento fundamental para impulsionar a eficiência industrial e também o crescimento econômico. Esse estudo ultrapassa os limites convencionais, e se insere em um território de inovação e tecnologia entrelaçadas para construir um caminho industrial mais sólido e proveitoso, conseqüentemente, um crescimento econômico maior. Portanto buscamos entender esse processo e conseguir desvendar os desafios e conseqüências que serão gerados, e um dos desafios que será bem comentado é se essa revolução vai realmente gerar efetividades nos dias de hoje e como isso será recebido pelo mercado de trabalho que atualmente depende de alguns trabalhos manuais que podem ser substituídos por alta tecnologia.

1.2 Objetivo

O conceito de “Indústria 4.0” surgiu na Alemanha por volta do ano de 2011, essa palavra foi utilizada para se referir a uma nova maneira de produção industrial baseada na união das tecnologias digitais. Por meio do uso integrado de sistemas ciberfísicos, internet das coisas e computação em nuvem, o objetivo para isso era tornar as fábricas mais “inteligentes”, de um modo que elas seriam capazes de se adaptar às novas demandas do mercado que iriam surgir, fazer uma melhoria dos recursos e aumentar a eficiência e qualidade dos produtos. A 1ª Revolução Industrial ocorreu no ano de 1780, nesse período os antigos teares manuais foram trocados pelos mecanizados, na 2ª Revolução que foi no ano de 1870, foram criados os motores elétricos e começou a ser utilizado combustíveis derivados do petróleo, e na 3ª foi o avanço dos computadores e da robótica, englobados pela tecnologia em geral. Esse foi o caminho

até chegarmos na Quarta Revolução Industrial, onde as tecnologias são combinadas e temos grandes máquinas inteligentes nas indústrias.

A indústria 4.0 também conhecida como 4ª Revolução Industrial está ligada a diversos avanços na tecnologia, por exemplo a inteligência artificial, a internet das coisas, robótica e a “nuvem” do computador que vem fazendo com que os modelos de negócio em todo o mundo tenham uma evolução/modificação. Essas tecnologias citadas existem a muito tempo, porém a população se familiarizou com esses termos após uma participação maior na rotina das pessoas, algo que vem acontecendo por volta de 10 anos, essa nova revolução tem impacto enorme na produtividade por conta de conseguir aproveitar melhor os recursos disponíveis e também com uma escala muito maior. Porém ela tem de ser usada com muita sabedoria e isso vai ser um desafio para a gestão das empresas, terão que implementar os produtos e manter a cooperação das áreas necessárias para um ótimo funcionamento. No futuro, as vantagens e aplicações estarão presentes em diversos negócios o que vai trazer uma transformação ao mercado, isso por conta de a revolução formar diversos subsídios, o que pode ser citado é a utilização de linha de produção com aperfeiçoamento, comunicação ativa e um gerenciamento mais aprofundado. Estes e outros farão com que a performance dos processos seja melhorada e conseqüentemente diminua a frequência dos erros cometidos, que acabam resultando no desperdício de insumos, tempo e principalmente na queda do lucro. Porém como citado, esse cenário melhorará de maneira gradual e de acordo com um bom planejamento estratégico. Além disso, o quanto mais é popularizado essa revolução juntamente com o conceito, mais as coisas relacionadas irão ficar acessíveis. Desse modo, essas mudanças necessitarão de um capital humano altamente qualificado e apto a lidar com essas novas automações, e também que esteja preparado para agir de maneira estratégica, ágil e menos operacional. Mesmo não sendo algo recente, a 4ª revolução industrial não é algo muito conhecido no Brasil, segundo dados de 2018, apresentados pela ABDI, menos de 2% das organizações do Brasil estão situadas nesse assunto, o que é muito negativo pois a mesma afirma que a era 4.0 tem capacidade de movimentação de U\$15 trilhões nos próximos 15 anos, desse modo fica claro que o país está num estágio inicial e tem muito a evoluir nessa área de aderência ao conceito da indústria 4.0, pois as empresas em grande parte ainda seguem os modelos tradicionais de produção que não são otimizados e dependem de trabalho manual e conseqüentemente a intervenção humana. Porém estudiosos acreditam que essa

tendência fique cada vez mais forte, com o alinhamento de grandes potenciais que estão mais habituadas com o uso de tecnologia e inovação, a Fiesp já realizou uma pesquisa que comprova uma crescente referente as empresas saberem o que é a Era 4.0, já que os gestores estão começando a enxergar como uma grande oportunidade e não mais um risco, como viam antigamente. Portanto é apenas questão de tempo para as empresas aderirem a inclusão da nova revolução e se sintam capazes de inovar quando estiverem prontas para ser inseridas nisso, a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) crê que em 10 anos, 15% das empresas do setor de manufatura já tenham esse conceito inseridos nas suas atividades. Recentemente, foi criado um programa pela ABDI e pela FIESP que se chama “Programa Rumo a Indústria 4.0”, essa iniciativa foi lançada no último Fórum Econômico Mundial, realizado em São Paulo. De acordo com o site do programa, o objetivo é conseguir espalhar o verdadeiro conceito dessa época e as tecnologias da Indústria 4.0 em conjunto com as indústrias, e também definir o nível de maturidade que as empresas brasileiras têm hoje em dia e precisam ter para conseguirem inserir essas inovações e definir uma trajetória mais adequada para alcançar projetos e ações com tecnologias habilitadoras da indústria 4.0. Essa iniciativa deve destinar até R\$8,6 Bilhões em financiamentos a empresas e irão tentar zerar a alíquota de importação de robôs. Não é possível ainda saber o quanto irá impactar a iniciativa, visto que é muito recente, porém o lançamento do programa constitui um importante sinal para outras partes do governo, que poderiam influenciar a inovação. Em uma matéria para o Valor Econômico, Marcos Jorge, Secretário-executivo do Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços (Mdic), afirmou que é "urgente" modernizar a indústria. "Menos de 5% das empresas brasileiras podem ser conceituadas como 4.0, o que exige o apoio do governo. Nossa meta é aumentar esse índice para pelo menos 15% em até oito anos. A implementação completa da Indústria 4.0 enfrenta muitos desafios complicados que precisam ser superados para seu pleno aproveitamento. Um dos principais obstáculos é a segurança de dados, pois a interconectividade expõe informações a ameaças cibernéticas, exigindo proteção robusta para garantir a integridade dos processos industriais. Além disso, os altos custos de implementação são uma barreira, com investimentos necessários em tecnologia e treinamento, enquanto a escassez de profissionais qualificados em tecnologias emergentes como inteligência artificial e IoT limita a capacidade das empresas de avançar na transformação digital. Outra questão relevante é a resistência à mudança dentro das

organizações, que precisam adotar novas tecnologias e métodos de trabalho, enquanto a falta de padronização global em tecnologias e processos da Indústria 4.0 dificulta a interoperabilidade entre sistemas de diferentes fabricantes e setores. Esses desafios exigem uma abordagem colaborativa por parte de governos, empresas e sociedade para criar um ambiente propício à inovação e à adoção tecnológica.

1.3 Hipótese

A Indústria 4.0, com suas diversas tecnologias, representa uma revolução no setor produtivo global. A hipótese principal desta monografia é que a implementação estratégica da Indústria 4.0 pode ser uma oportunidade enorme para o crescimento econômico do Brasil e do mundo. Essas tecnologias têm o potencial de transformar processos produtivos manuais em um trabalho automatizado ou 100% automático, aumentando a eficiência e reduzindo custos operacionais, a adoção da Indústria 4.0 pode aumentar a produtividade das empresas, permitindo benefícios econômicos tanto para países industrializados quanto em desenvolvimento, por exemplo, o uso de big data e IA (inteligência artificial) pode otimizar cadeias de suprimentos, melhorar a qualidade dos produtos e personalizar a experiência do consumidor, promovendo um crescimento econômico sustentável e inclusivo. Para o Brasil, a Indústria 4.0 pode ser um meio de avanço para o desenvolvimento do país, com sua rica base de recursos naturais e economia diversificada, pode utilizar essas tecnologias para melhorar a competitividade de suas indústrias, do agronegócio à manufatura avançada. A transição para a Indústria 4.0 criará novos tipos de empregos e exigirá uma requalificação significativa da força de trabalho existente, isso requisitará um processo que pode desenvolver um capital humano mais qualificado, capaz de inovar e adaptar-se às novas demandas do mercado. Além dos ganhos econômicos, a 4ª Revolução Industrial oferece oportunidades para práticas mais sustentáveis, tecnologias como a IoT e a inteligência artificial podem monitorar e reduzir o consumo de energia e minimizar o desperdício, dessa maneira, a inovação contínua incentivada por um ambiente industrial avançado, pode levar a novas soluções tecnológicas que beneficiem o Brasil e o mundo no viés ambiental.

Portanto, a hipótese deste estudo é que a Indústria 4.0, ao ser implementada de forma abrangente e estratégica, pode ser uma grande oportunidade para impulsionar

o crescimento econômico do Brasil e do mundo, promovendo eficiência, produtividade, sustentabilidade e inovação.

1.4 Metodologia

O estudo começa fazendo uma descrição geral da economia brasileira, da indústria e em particular dos avanços da Indústria 4.0 no país, destacando sua evolução histórica e comparações com outros países

A seguir se busca analisar aquilo que é a Indústria 4.0 no país e seus impactos correspondentes, assim de suas consequências

Finaliza-se o trabalho apresentando propostas de ações e políticas para fortalecer a Indústria 4.0 no Brasil

1.5 Revisão da Literatura Existente

A revisão da literatura envolve a análise de alguns livros que são essenciais para a revisão de como anda a Indústria 4.0, além dos estudos de caso nos países atualmente. Os principais incluem:

KLAUS SCHWAB (2016), com sua teoria no livro “A Quarta Revolução Industrial”, sobre as mudanças previstas para acontecer ao longo do tempo, junto com o avanço da tecnologia.

ERIK BRYNJOLFSSON (2014), em seu livro “A Segunda Era das Máquinas”, apresenta a reinvenção das nossas vidas e da tecnologia, trazendo mudanças intensas como a adaptação das empresas e novas profissões criadas ou adaptadas.

2. ECONOMIA BRASILEIRA E INDÚSTRIA NACIONAL

2.1 Apresentação

A economia brasileira passou por diversas fases ao longo de sua história, influenciada por fatores políticos, sociais e econômicos. Durante o período de colônia, o Brasil era um grande produtor de produtos primários, como açúcar e ouro, que eram exportados para os países da Europa, quando aconteceu a chegada da família real portuguesa em 1808, houve uma abertura dos portos, impulsionando o comércio e preparando o caminho para a industrialização que estava por vir. No final do século XIX e início do século XX, o Brasil se consolidou como o maior produtor mundial de

café, o que trouxe muita riqueza, mas também uma economia dependente de um único produto. A industrialização efetiva começou a ganhar força com a política de substituição de importações na Era Vargas (1930-1945), que visava reduzir a dependência externa e fortalecer a indústria nacional. Durante a Ditadura Militar (1964-1985), o país experimentou um crescimento econômico acelerado, com investimentos em infraestrutura e indústria pesada, porém, essa expansão também gerou desequilíbrios econômicos e sociais, além de uma dívida externa significativa. A redemocratização nos anos 80 trouxe consigo reformas econômicas para enfrentar a inflação galopante e abrir a economia brasileira ao comércio internacional, em seguida veio a estabilização da moeda com o Plano Real em 1994 sendo um marco importante, trazendo mais estabilidade econômica e permitindo um crescimento mais sustentável nas décadas seguintes. Atualmente, a economia brasileira é diversificada, com contribuições significativas dos setores agrícola, industrial e de serviços. O Produto Interno Bruto (PIB) do Brasil é uma métrica-chave para avaliar o desempenho econômico, sendo que em 2023, por exemplo, o PIB cresceu cerca de 2,7%, impulsionado pela recuperação de diversos setores após a pandemia de COVID-19.

No entanto, o país enfrenta desafios significativos. A desigualdade de renda é alta, com uma distribuição de riqueza desigual entre as diferentes camadas da população. A infraestrutura também é um ponto crítico, com necessidades urgentes de investimento em transportes, energia e telecomunicações para apoiar o crescimento econômico sustentável. A indústria brasileira desempenha um papel crucial na economia, contribuindo para a geração de empregos e para a produção de bens manufaturados. Setores como automotivo, siderurgia, tecnologia e alimentos são essenciais para a economia nacional. No entanto, a competitividade internacional tem sido um desafio, com altos custos de produção, infraestrutura deficiente e complexidade tributária.

Apesar dos desafios, a indústria nacional também apresenta oportunidades significativas. A crescente demanda por tecnologias sustentáveis, como energias renováveis e automação industrial, abre novos horizontes para o crescimento e a inovação. Investimentos em pesquisa e desenvolvimento são essenciais para fortalecer a capacidade produtiva e melhorar a competitividade global das empresas brasileiras.

Em conclusão, a economia brasileira e a indústria nacional passaram por transformações significativas ao longo de sua história, enfrentando desafios e

aproveitando oportunidades para crescimento. Com políticas econômicas eficazes, investimentos em infraestrutura e inovação tecnológica, o Brasil pode fortalecer sua posição no cenário econômico global e promover um desenvolvimento mais inclusivo e sustentável para o futuro.

2.2 Estado Atual da Indústria Nacional

Atualmente, a indústria brasileira enfrenta uma série de desafios estruturais que impactam sua competitividade e desenvolvimento. Responsável por aproximadamente 20% do Produto Interno Bruto (PIB) do país, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a indústria abrange setores cruciais como automotivo, alimentos e bebidas, siderurgia, entre outros. Esses setores desempenham papéis fundamentais na economia nacional, desde a produção de bens de consumo até insumos essenciais para infraestrutura e construção civil.

No entanto, o cenário atual apresenta desafios significativos. O alto "Custo Brasil", que engloba uma carga tributária complexa, infraestrutura deficiente e burocracia excessiva, eleva os custos operacionais das empresas e diminui sua competitividade no mercado global. A infraestrutura inadequada, especialmente em transportes e energia, também limita a capacidade produtiva e eficiência da indústria, particularmente em regiões menos desenvolvidas do país. A indústria automobilística brasileira, por exemplo, é uma das maiores do mundo, mas enfrenta desafios como a recente escassez global de semicondutores, que afetou severamente a produção e exportação de veículos. Já o setor de alimentos e bebidas destaca-se pela sua importância na segurança alimentar e na balança comercial brasileira, enfrentando desafios logísticos e regulatórios que impactam sua capacidade de crescimento e exportação. Para enfrentar esses desafios e promover o crescimento sustentável, o Governo Federal lançou a Nova Indústria Brasil. Este plano estratégico visa revitalizar o setor industrial até 2033, com um investimento inicial de R\$ 300 bilhões até 2026. Coordenada pelo Ministério do Desenvolvimento, Indústria, Comércio e Serviços, a política industrial busca colocar a inovação e a sustentabilidade no centro do desenvolvimento econômico do país. Os recursos serão geridos por instituições como BNDES, Finep e Embrapii, sendo direcionados por meio de linhas de crédito especiais, financiamentos não-reembolsáveis e incentivos para pesquisa e

desenvolvimento. Cada uma das seis missões estratégicas da Nova Indústria Brasil tem metas claras, incluindo aumentar a produção nacional em setores prioritários como agricultura, saúde, tecnologias emergentes e indústria 4.0. Além disso, a política visa a digitalização de 90% das empresas industriais brasileiras até o final do período estipulado, com o objetivo de aumentar a eficiência operacional e a competitividade global. Também há um foco significativo em melhorar o ambiente de negócios, reduzindo o "Custo Brasil" por meio de iniciativas de desburocratização e reformas regulatórias que visam simplificar processos e reduzir os custos operacionais das empresas.

Em resumo, a Nova Indústria Brasil representa uma oportunidade estratégica para transformar e modernizar a indústria brasileira, fortalecendo sua posição no mercado global e impulsionando o crescimento econômico sustentável. Ao enfrentar os desafios estruturais atuais com investimentos robustos e políticas direcionadas, o Brasil busca consolidar-se como um protagonista na economia mundial do século XXI.

2.3 Indústria 4.0 no Brasil

Quase todos os países relevantes na cena industrial internacional implantaram políticas para promoverem a inserção de suas empresas e de seus sistemas industriais no novo ambiente, muito embora existam importantes diferenças entre os objetivos imaginados por esses esforços nacionais e os resultados alcançados efetivamente.

A percepção de que a microeletrônica era um setor estratégico percorreu as políticas nacionais em muitos países relevantes em termos industriais, mas poucos foram aqueles que conseguiram posicionar-se como fabricantes qualificados dos elementos básicos da eletrônica. Todos buscaram, poucos alcançaram. Entretanto, quase todos esses países, incluindo aqueles que não alcançaram os resultados almejados, foram capazes de absorver os elementos fundamentais da revolução microeletrônica, incluindo processos produtivos dotados de graus elevados de automação e eficiência. Esta herança da revolução microeletrônica é um alicerce fundamental para informar a reflexão sobre a nova fase de desenvolvimento produtivo – a Indústria 4.0. Diferentemente do que ocorreu na química e na metalomecânica, as duas bases da indústria do século XX, o Brasil não foi capaz de constituir um sistema industrial eletrônico. O país chegou a instalar, a partir de recursos próprios e

aportes externos significativos, as indústrias metalmecânicas e eletromecânicas e indústrias químicas de produtos de alto volume (as grandes commodities), mas não foi capaz de fazer o mesmo com a microeletrônica e a química fina. Ambos possuem, em comum, uma importância elevada da tecnologia e do ritmo de mudança tecnológica.

No caso da microeletrônica, a despeito de medidas de política industrial, quatro conjuntos de dificuldades bloquearam seu desenvolvimento. Em primeiro lugar, a base de mercado mais importante para essa indústria é a de eletroeletrônicos de consumo, que à época (anos 1980) já havia se tornado, em grande medida, uma indústria importadora-montadora após sua transferência para Manaus. Em segundo lugar, o eixo ligado à indústria de telecomunicações ensejou estratégias de cumprimento da lei com espaços apenas muito limitados para desenvolvimentos tecnológicos por parte de empresas locais. Em terceiro lugar, nos segmentos que seriam hoje considerados propriamente de informática, os equipamentos de grande porte, os minicomputadores e os computadores pessoais, ensejaram vertentes de política muito díspares e dificilmente integráveis de modo consistente. Por último, mas não menos importante, vários dos setores usuários de produtos de microeletrônica em nenhum momento viram as suas demandas contempladas e ofereceram grande resistência à política adotada.

Na medida em que se considere que a Indústria 4.0, sendo ou não uma ruptura, arranca das bases anteriores, das quais aproveita bases estruturais, elementos humanos e condições funcionais, o grau de desenvolvimento alcançado na etapa anterior representa uma alavanca ou uma trava para o aproveitamento das novas oportunidades que se descortinam. O perfil de consumo também é uma dimensão fundamental da Indústria 4.0 – e o consumo em bases contemporâneas, em um modelo típico de sociedades que alcançaram elevado grau de desenvolvimento social e material, se traduz em padrões de diferenciação muito elevados. Entre as promessas da Indústria 4.0 está o alcance de uma produção de “lotes unitários” (cada produto é único) a custos competitivos. Esse modelo produtivo está em sintonia com os padrões de consumo. Consumo totalmente diferenciado (produtos únicos) corresponde a uma produção que necessariamente precisa lidar com produção para cada demanda. O exame da realidade brasileira revela uma importante dificuldade também neste plano do consumo. O nível de renda médio brasileiro permitiria pensar que as diferenciações de consumo possíveis estariam em medida suficiente para

oferecer estímulos para o avanço da Indústria 4.0. Entretanto, o padrão distributivo brasileiro, extremamente concentrado, com amplas camadas das famílias brasileiras confinadas em espaços de consumo em que o elemento preço é o determinante principal das decisões de compra. É difícil imaginar um obstáculo maior do que esse para a implantação de modelos produtivos de Indústria 4.0 de forma ampla no Brasil.

A evolução das estruturas econômica e social brasileiras desde os anos em que se rompeu o crescimento baseado na indústria como articuladora das trajetórias do sistema econômico não favorece, assim, bases nacionais para a Indústria 4.0, seja no âmbito industrial e tecnológico, de um lado, seja, de outro lado, na esfera das ocupações, da renda e do consumo. As análises que têm sido feitas sobre a Indústria 4.0 e as oportunidades e os desafios que ela coloca para o Brasil têm se dedicado sobretudo aos temas tecnológicos e industriais. Essa abordagem coloca em evidência, sobretudo, a questão de se a indústria brasileira possui os meios técnicos e econômicos para desenvolver ou assimilar as novas tecnologias típicas da manufatura avançada. Sem pretender diminuir a importância desta abordagem, é necessário colocá-la ao lado de outras, que envolvem implicações para os diferentes espaços geo-econômicos do novo modelo industrial que se avizinha.

Um desafio ainda pouco discutido que a Indústria 4.0 impõe ao Brasil envolve a China. Diferentemente de muitos outros analistas, o sucesso industrial chinês deve-se sobretudo à sua capacidade de manter taxas de investimento – industriais e urbanas – muito elevadas, por um longo período de tempo. Os salários baixos, se algum dia cumpriram um papel relevante para o crescimento industrial e o desenvolvimento econômico chinês, não cumprem atualmente uma função relevante equivalente. Pode-se afirmar que o crescimento econômico da China está primordialmente vinculado à expansão da demanda e sobretudo do investimento.

O crescimento e o investimento da China, associados que estão a uma acelerada renovação da estrutura de capital fixo da economia, com rápido aprendizado, poderão alçar a China a uma condição superior na Indústria 4.0, afinal, os chineses surpreenderam a quase todos até aqui com um percurso que, em termos econômicos, pode ser considerado “sem falhas”. Basicamente a China, que hoje é a manufatura do mundo, seria o país para assumir, na Indústria 4.0, a liderança industrial também em termos tecnológicos? A resposta a essa pergunta, por enquanto, parece ser negativa: as vantagens que constituiu até aqui são largamente dependentes de volumes elevados de produção e custos baixos, enquanto a Indústria

4.0 promete custos relativamente baixos para produtos customizados. Promete, também, eliminar as eventuais vantagens que o custo de trabalho reduzido possa oferecer em alguns processos industriais – mesmo que esta vantagem seja muito questionável e tenha que ser relativizada quando se tem em vista que uma das maiores potências industriais ocidentais é precisamente a Alemanha, cujos salários estão entre os mais elevados no plano internacional. São dois os elementos decisivos para o argumento de que a China não poderá ocupar, no modelo da Indústria 4.0, o lugar de destaque (crescente) que vem ocupando ao longo dos últimos 25 anos: a reintegração espacial da produção e do consumo e a importância da diversificação produtiva e dos padrões mais sofisticados (individualizados) de consumo. Ao permitir a realocação espacial entre produção e consumo, a gigantesca máquina fabril chinesa perde inevitavelmente competitividade e importância, e a existência de padrões de consumo cada vez mais individualizados e customizados fragiliza ainda mais a posição manufatureira das empresas, das indústrias e dos países baseados no binômio escala-custo, como é o caso da China.

Existe uma implicação desta possível trajetória da Indústria 4.0 da China para o Brasil: para onde dirigirá a China a sua crescente sobrecapacidade, à medida que os mercados centrais, para onde ela destina hoje os seus grandes volumes de produção, se tornem menos acessíveis em razão da reintegração espacial produção-consumo propiciada pelo novo modelo industrial em construção tanto na Europa como nos EUA? A resposta a essa pergunta não pode ignorar que os mercados de menor poder aquisitivo ou empobrecidos das periferias do sistema global possuem padrões de consumo dependentes muito mais dos elementos ligados a preços do que dos elementos de qualidade e diferenciação. Tais mercados, como o brasileiro, são, por isso, alvos adequados para o redirecionamento que a indústria chinesa terá que fazer para ocupar suas sobrecapacidades. A estrutura industrial brasileira é considerada bastante diversificada. Essa proposição era certamente mais fiel à realidade ao final do longo período de expansão industrial que se encerrou entre o final dos anos 1970 e o início dos anos 1980 do que é hoje, após os dois movimentos – simultâneos – que provocaram o seu retardo: o avanço acelerado dos processos de transformação dos sistemas industriais nacionais e global e a prolongada crise doméstica, que tem impedido a sustentação dos investimentos industriais. Em que pesem os efeitos desses dois fatores, não são eles que representam o principal obstáculo para que o Brasil possa participar de modo ativo do movimento em direção à Indústria 4.0.

O Brasil possui certamente uma das mais internacionalizadas de todas as indústrias existentes no mundo. Desde os anos 1950, muito antes que os países asiáticos se tornassem receptores de fluxos relevantes de investimento direto estrangeiro, empresas de todas as origens geográficas implantaram no Brasil unidades de produção relevantes, precedidas ou não por fluxos comerciais de importação. Em muitos casos, a unidade brasileira é, ou foi durante muito tempo, a principal unidade implantada fora do país de origem da empresa. Este é um fator que joga a favor das possibilidades de o Brasil se tornar um locus para a Indústria 4.0, uma afirmação que se revela mais realista ainda se considerarmos o fato de que algumas das principais empresas que participam em posições de liderança das articulações em prol da nova indústria possuem unidades no Brasil.

A questão mais relevante, portanto, não é sobre as possibilidades que o Brasil tem ou não tem de participar da Indústria 4.0, mas sobre as modalidades dessa participação. É evidente que o modelo da Indústria 4.0 impõe um patamar mínimo muito elevado em termos de difusão das modernas tecnologias que a compõem, e que isso representa um desafio importante para muitas das empresas que compõem um sistema industrial combatido por muitos anos de instabilidade crônica e subinvestimento, como é o caso do Brasil. Entretanto, muitas das empresas transnacionais que compõem esse sistema estão em condições de internalizar para as suas filiais brasileiras os desenvolvimentos concebidos e implantados em seus centros principais – mesmo que o façam com defasagens. O mesmo pode ser dito das grandes empresas nacionais cujo porte as tornará clientes cobiçados por todos os principais provedores das soluções da Indústria 4.0. O quadro mais provável é que as empresas dos principais segmentos industriais consigam acompanhar a transição para o novo modelo industrial sem sobressaltos ameaçadores.

Mas a aspiração industrial brasileira pode se resumir a acompanhar o movimento global, na condição de importador de tecnologias, soluções, bens e serviços associados à Indústria 4.0, uma solução certamente pode contribuir para a modernização de plantas, empresas e segmentos industriais variados, mas ela está longe de aproveitar o potencial associado a um conjunto de novas tecnologias transformadoras do sistema industrial. Existem pelo menos duas perspectivas para examinarmos o potencial dessas tecnologias transformadoras: mercado e indústria. Quando se discutem as perspectivas do Brasil na Indústria 4.0 com profissionais ou equipes de grandes empresas provedoras de soluções 4.0, o mais comum é que elas

revelem a percepção de que o Brasil é um mercado com grande potencial para as suas soluções, mas é muito raro que associem o sistema industrial brasileiro ao desenvolvimento dessas soluções ou que se vejam partícipes do processo de criação de soluções no Brasil. Dito de outro modo: na Indústria 4.0 o Brasil é mercado, não é indústria; é cliente, não é produtor. E assim poderá permanecer se nada for feito para potencializar as oportunidades industriais existentes no mercado brasileiro e em outros mercados ao alcance das empresas brasileiras e das unidades locais de outras empresas.

São duas as vantagens imediatas da opção pelas soluções prontas, disponíveis globalmente uma vez que elas sejam viabilizadas pelas empresas e pelos consórcios que lideram o seu desenvolvimento: tempo e custo. Se uma configuração industrial e econômica foi concebida, implantada, testada e comprovada em um determinado ambiente (Alemanha, Estados Unidos, Japão, por exemplo), ela poderá ser estendida a outros espaços, e reproduzida com eventuais adaptações. Tal solução terá, também, a vantagem de seus componentes estarem regulados por preços internacionais, mesmo que no caso de países não cêntricos esses preços devam ser acrescidos dos custos adicionais típicos dessa condição. A opção por um desenvolvimento local mais forte envolve o ganho da produção local e o da mobilização de recursos existentes e da criação de novos. É mais do que trocar importações por produção local, por mais que ela envolva ganhos consideráveis. Trata-se de desenvolver novas competências, mobilizando conhecimentos existentes e produzindo novos, articulando essa produção com empresas existentes e novas. É evidente que o caminho da construção pode envolver custos de desenvolvimento, mas envolve também o desenvolvimento de competências tecnológicas e industriais. A disjuntiva entre uma opção e outra pode ser resumida em duplo binômio: prazo e custo mais favoráveis, de um lado, aprendizado e novas competências, de outro lado. Os parâmetros precisos desta decisão são desconhecidos e a rigor são muito difíceis de serem determinados. As vantagens associadas à solução externa podem desaparecer ao longo do tempo, se as curvas de aprendizado da opção pelo desenvolvimento local de soluções se mostrarem efetivas, mas esse resultado não está assegurado a priori e a experiência mostra que ele pode estar associado a fracassos importantes (como foi o caso do nosso Programa Nuclear), ao lado de sucessos dignos de nota (como no da Aeronáutica). Por outro lado, é também necessário considerar que as promessas de curvas de aprendizado muito ambiciosas e velozes podem esbarrar em

dificuldades intransponíveis que as frustrem, seja por razões internas (ao setor ou às empresas), seja por razões externas (estruturais e sistêmicas).

Um elemento importante associado à opção mais autônoma envolve o conjunto de transbordamentos (spill-overs) decorrentes do desenvolvimento de novas competências. A chamada reinvenção da roda é uma expressão caricatural que não descreve a riqueza envolvida no aprendizado, esteja ele associado a simples mimetismo ou exija doses de engenharia reversa. Os caminhos do aprendizado são longos e eles envolvem etapas de reprodução deficiente e de reprodução proficiente antes que possam atingir estágios de autonomia e criatividade. O reconhecimento do potencial dessa trajetória, entretanto, não deve levar à escolha automática da opção mais autônoma, pois ela envolve custos que demandam dimensionamento (tentativo) ex ante e acompanhamento sistemático ao longo do percurso. É crucial que a escolha entre as duas opções seja informada. As vantagens e desvantagens de cada uma das opções – e das combinações possíveis entre elas – precisam ser consideradas por todas as partes envolvidas, incluídas aquelas que são os ganhadores diretos da opção “pacote pronto” e não têm ganhos diretos na opção do desenvolvimento de curvas de aprendizado coletivas pelo sistema industrial local. É possível sustentar que existem ganhos indiretos associados ao enriquecimento da estrutura produtiva e aos fluxos de renda e consumo decorrentes, mas dificilmente uma estratégia empresarial individual pode sobrepor esses ganhos difusos àqueles que são decorrentes de vantagens diretas e imediatas (como as decorrentes da opção “pacote pronto” testado e com riscos mínimos). Os ganhos diretos podem prevalecer nas opções empresariais dos setores que não são fornecedores, mas usuários.

A persuasão desses interesses usuários por empresas e segmentos industriais beneficiários diretos da opção mais autônoma envolve o reconhecimento liminar de que as vantagens desta opção são tudo menos automáticas; e que elas só podem ser efetivamente construídas se a estratégia a ser implantada for capaz de explicitar o enfrentamento dos custos associados, a sua diluição no sistema e a sua superação ao longo do tempo. Os exemplos das dificuldades brasileiras em tratar esta matéria de modo apropriado têm contribuído sobremaneira para criar, no empresariado, nos poderes públicos e na sociedade de uma maneira geral, anticorpos mais ou menos automáticos contra toda e qualquer proposta que possa ser considerada um custo imediato, mesmo que ela possa, sob outra perspectiva, ser um investimento de retorno potencialmente muito favorável. O maior fracasso possível de uma política de

desenvolvimento ou de uma política industrial é a perda de sua legitimidade perante a sociedade e, mais grave ainda, perante amplos segmentos do empresariado, mesmo quando esses segmentos são produto – consciente ou não – de políticas análogas que foram adotadas no passado. Em que pese estas dificuldades, há espaço para avanços e para a constituição de uma estratégia brasileira para a Indústria 4.0. O Brasil possui empresas e instituições com condições de construir uma estratégia consistente e vigorosa em direção à Indústria 4.0. O seu sistema de ciência dá sinais de vitalidade importantes. No âmbito da tecnologia, apesar de tantos observadores continuarem a ver apenas a metade vazia do copo, os sinais de vigor são crescentes e cada vez mais promissores, com resultados que mostram o longo caminho já percorrido e resultados cada vez mais robustos. Existem pelo menos dois grandes avanços cuja importância não é devidamente apreciada. O primeiro refere-se à demografia da inovação: mais e mais atores, privados e públicos, das mais diversas áreas, estão mobilizados pela e para a inovação. O segundo é de natureza institucional: para além das barreiras que tantos transtornos causam aos atores (empresas, instituições, indivíduos), o aprendizado tem ajudado as empresas a identificarem os caminhos mais apropriados para a viabilização de seus projetos e das suas estratégias. Nesse espaço destaca-se a iniciativa da Confederação Nacional da Indústria de promover, com o apoio financeiro do BNDES, a criação dos Institutos SENAI de Inovação, distribuídos pelo território nacional e vocacionados para competências específicas. O tecido empresarial, mesmo após tantos anos de instabilidades e crises, possui uma elevada diversidade e um grau de integração muito apreciável. Ao seu lado, atuando de forma muito complementar e integrada, a Embrapii vem também propiciando o aumento do número e da qualidade dos projetos de desenvolvimento tecnológico da indústria, em produtos e processos. Existem cadeias produtivas muito dinâmicas e mesmo nos segmentos mais rarefeitos do complexo eletrônico-informático existem competências e esforços que já produziram resultados concretos e promissores para o futuro. A mobilização deste conjunto de elementos para a construção de uma estratégia nacional para a Indústria 4.0 exige como preliminar a viabilização de uma agenda compartilhada, o Brasil quer ter um sistema industrial. Um sistema industrial é muito mais do que algumas áreas de excelência, mesmo que elas sejam numerosas. Um sistema industrial possui encadeamentos múltiplos ao longo de cadeias e vetores transversais que perpassam várias cadeias. Quando um destes vetores, articulado em um nó específico, gera

progresso tecnológico, ele gera também a capacidade de transmitir esse efeito a outros segmentos, a outras cadeias. Avanços pontuais alimentam avanços gerais. Fortalecem-se as cadeias e fortalecem-se os vetores transversais. O sistema industrial ganha vigor e solidez. Uma estratégia articulada para a Indústria 4.0 pode ser um caminho promissor para que o Brasil reencontre o caminho do seu desenvolvimento e de uma estabilidade alicerçada no crescimento da produção e dos investimentos.

2.4 Perspectivas

A Quarta Revolução Industrial representa uma fase de transformação intensa e acelerada no cenário global, prevendo avanços significativos no curto e médio prazo. Este movimento é impulsionado por tecnologias como inteligência artificial, internet das coisas (IoT), computação em nuvem, big data e manufatura aditiva, que estão redefinindo não apenas os processos industriais, mas também os modelos de negócios e interações sociais. No âmbito tecnológico, a digitalização completa dos processos industriais promete aumentar a eficiência operacional e a personalização em massa de produtos e serviços. Máquinas conectadas e sistemas ciberfísicos permitem uma produção mais flexível e adaptável às demandas do mercado, enquanto a automação inteligente melhora a precisão e reduz custos.

A sustentabilidade é outro pilar crucial da Indústria 4.0. A adoção de práticas de produção mais limpas e eficientes, como a economia circular e o uso de materiais recicláveis, está se tornando uma prioridade. Tecnologias como manufatura aditiva não apenas reduzem resíduos, mas também facilitam a criação de produtos personalizados de maneira econômica. Além disso, a Quarta Revolução Industrial está moldando novos modelos de negócios baseados em ecossistemas digitais e plataformas colaborativas. Empresas estão se unindo em redes integradas para oferecer soluções completas e melhorar continuamente seus produtos com base em dados em tempo real. Isso não só impulsiona a inovação, mas também cria novas oportunidades de mercado e expansão global.

Entretanto, esse avanço não está isento de desafios. Questões como segurança cibernética, privacidade de dados e o impacto social da automação precisam ser cuidadosamente abordadas. A requalificação da força de trabalho para

lidar com tecnologias emergentes é essencial para mitigar o impacto negativo no mercado de trabalho e garantir uma transição suave para uma economia digitalizada. Em conclusão, as perspectivas da Quarta Revolução Industrial para o futuro imediato são extraordinariamente positivas, oferecendo oportunidades sem precedentes para melhorias significativas na eficiência, sustentabilidade e inovação. Para maximizar os benefícios dessa transformação digital, é fundamental um compromisso conjunto entre governos, indústrias e sociedade civil para desenvolver e implementar tecnologias de forma ética, responsável e inclusiva. Assim, podemos construir um futuro digital que seja não apenas avançado tecnologicamente, mas também justo e sustentável para todos.

3. O FUTURO DA INDÚSTRIA 4.0 NO BRASIL E NO MUNDO

3.1 Apresentação

A Indústria 4.0 ainda mantém a expectativa dos estudiosos bem alta de uma maneira positiva, a estimativa é que esse mercado tenha uma taxa anual de crescimento de 20% até 2032, dessa maneira as tecnologias juntamente com os produtos que estão envolvidos no tema superem a geração de U\$114,3 Bi, que foi gerado em 2023 de acordo com um estudo realizado pela Global Market Insights. Para o nosso país, em 2018, no começo dessa nova era, as empresas que adotaram essas novas tecnologias foram de apenas 2%, segundo a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), nesse período os avanços não foram muitos significativos pois até mesmo em um cenário mundial, a industrialização não teve grande desenvolvimento nesses últimos anos.

Porém, um dado que podemos destacar já que fazemos parte de um país com dimensão enorme traz muito destaque para esses novos tempos, o mercado nacional da Indústria 4.0 no Brasil, tem a probabilidade alta de atingir 6.230,29 milhões de dólares até 2027, crescendo 10,91% ao ano nesse período, segundo a estimativa da IndustryARC.

3.2 O cenário atual da Indústria 4.0

O cenário atual da 4ª Revolução Industrial no Brasil e no mundo demonstra uma transformação significativa com impacto direto na economia e nas condições de emprego. Globalmente, o mercado de Indústria 4.0 deve crescer cerca de 145% até 2028, impulsionado pela digitalização e automação em setores como petróleo, alimentares e energéticos. Europa e América do Norte lideram em adoção dessas tecnologias, enquanto a América Latina ainda representa apenas 7,2% do mercado mundial. No Brasil, a Indústria 4.0 movimentou US\$ 1,77 bilhão em 2022 e projeta-se que esse valor cresça para US\$ 5,62 bilhões até 2028, com uma taxa anual de crescimento de 21%. A implementação de tecnologias como IoT, inteligência artificial e robótica é mais evidente em setores estratégicos, e as empresas brasileiras têm investido para aumentar a competitividade e reduzir custos. Porém, desafios como a infraestrutura digital deficiente e a falta de mão de obra qualificada ainda limitam o avanço em comparação com países desenvolvidos.

O desenvolvimento das tecnologias 4.0 também revela oportunidades no setor de empregos. Apesar de promover uma redução nas vagas operacionais tradicionais, há uma crescente demanda por profissionais com competências técnicas em automação e análise de dados. Iniciativas públicas e privadas para qualificação de trabalhadores se tornaram fundamentais para mitigar os efeitos da automação sobre o desemprego e para aproveitar as oportunidades oferecidas pela revolução industrial digital no país. Essa evolução no Brasil sugere um futuro promissor para a Indústria 4.0, especialmente se houver maior incentivo e investimento em infraestrutura e educação técnica. A tecnologia 5G e as novas plataformas de digitalização são componentes-chave que prometem facilitar essa transição e posicionar o Brasil de maneira mais competitiva no cenário global.

3.3 Tecnologias – Inteligência Artificial

O termo Inteligência Artificial (IA) se refere ao desenvolvimento de sistemas computacionais que tem a capacidade de realizar tarefas que normalmente exigiriam inteligência humana para conclusão, como aprendizado, raciocínio, reconhecimento de padrões, compreensão de linguagem e tomada de decisões. A ideia de máquinas inteligentes impressionavelmente remonta à antiguidade, com histórias e mitos sobre autômatos, inclusive esse conceito moderno surgiu no século XX, especialmente com o matemático Alan Turing, que criou o Teste de Turing em 1950 para determinar se uma máquina pode exibir comportamento inteligente indistinguível do humano.

O termo "Inteligência Artificial" foi criado em 1956, na Conferência de Dartmouth, por pesquisadores como John McCarthy e Marvin Minsky. Nas décadas de 1950 e 1960, foram desenvolvidos os primeiros programas de IA para resolver problemas matemáticos e para uma máquina poder jogar xadrez. Após um início promissor, a IA enfrentou períodos de estagnação chamados "invernos da IA" durante os anos 1970 e 1980, devido a limitações tecnológicas e falta de recursos da época.

Nos anos 1990 e 2000, avanços em computação e algoritmos, como redes neurais, trouxeram a IA de volta ao foco, com marcos como o Deep Blue, computador da IBM que venceu o campeão mundial de xadrez em 1997. A partir da década de 2010, o crescimento dos dados (Big Data), maior capacidade computacional e

avanços em machine learning e deep learning permitiram a aplicação em larga escala da IA em diversas áreas.

Hoje, a IA é amplamente utilizada em saúde (diagnóstico por imagens, medicina personalizada e desenvolvimento de medicamentos), indústria (automação de processos, manutenção preditiva e robótica avançada), varejo e marketing (personalização de ofertas, chatbots e análise de comportamento do consumidor), tecnologia (assistentes virtuais como Alexa e Siri, reconhecimento de voz e visão computacional), transporte (veículos autônomos e sistemas de gerenciamento de tráfego) e economia e finanças (análise de riscos, negociação automatizada e prevenção de fraudes).

Atualmente, a IA tem evoluído com destaque para os modelos de linguagem e IA generativa, que geram texto, imagens e até música, sendo usados em educação, atendimento ao cliente e criação de conteúdo. Ao mesmo tempo, o crescimento da IA levantou questões éticas, como privacidade, vies algorítmico e impacto no emprego. Governos e organizações estão trabalhando em regulamentações para garantir o uso seguro e responsável da tecnologia.

Para o futuro, as perspectivas incluem integração com tecnologias como Internet das Coisas (IoT) e computação quântica, desenvolvimento de IA superinteligente que poderia ultrapassar a inteligência humana em diversas áreas, além do crescimento na automação de tarefas complexas e aumento da produtividade global.

3.4 Tecnologias – Robôs Autônomos

Os robôs autônomos são máquinas projetadas para operar sem intervenção humana constante, utilizando principalmente: inteligência artificial, sensores avançados e algoritmos para executar tarefas com precisão. Esses robôs têm sido cada vez mais usados para auxiliar os humanos, especialmente na substituição ou complementação da mão de obra em diversos setores.

A ideia de robôs começou com alguns mecânicos, mas os robôs autônomos modernos surgiram com os avanços da robótica e da IA no século XX. Hoje, eles desempenham papéis fundamentais na automação industrial, trabalhando em fábricas

para montagem, soldagem e transporte de materiais, reduzindo custos e aumentando a eficiência. Na agricultura, robôs ajudam no plantio, colheita e monitoramento de safras, enquanto no setor de logística realizam triagem, transporte e entrega de produtos de forma mais rápida e segura. Além disso, na saúde, robôs autônomos auxiliam em cirurgias de alta precisão, transporte de medicamentos e até no cuidado de pacientes. Em ambientes perigosos, como usinas nucleares ou zonas de desastres, esses robôs realizam tarefas que seriam arriscadas ou impossíveis para humanos. Robôs humanoides estão sendo usados em funções de atendimento e suporte, interagindo diretamente com pessoas em hotéis, hospitais e até residências.

Com o avanço contínuo, a automação robótica tem gerado impacto significativo na mão de obra, substituindo tarefas repetitivas ou perigosas, mas também criando novas oportunidades em áreas como programação, manutenção e design de sistemas. No entanto, há preocupações com a substituição de empregos humanos e a necessidade de requalificação profissional. O futuro dos robôs autônomos promete maior integração em setores como construção civil, transporte com veículos autônomos e serviços domésticos. Esses robôs continuam a evoluir, tornando-se mais adaptáveis e colaborativos, trabalhando lado a lado com humanos para aumentar a produtividade e a segurança no trabalho.

3.5 Tecnologias – Big Data

O termo Big Data refere-se ao conjunto de dados extremamente grandes e complexos que não podem ser processados ou analisados de maneira convencional com ferramentas tradicionais de gerenciamento de dados. Esses dados são gerados a uma velocidade, volume e variedade imensos, e podem vir de diversas fontes, como transações online, sensores, dispositivos conectados, redes sociais, imagens, vídeos, entre outros. O conceito de Big Data começou a ganhar relevância na década de 2000, com o crescimento exponencial da digitalização e da internet, que passaram a gerar grandes volumes de dados. Inicialmente, os sistemas tradicionais não eram capazes de processar ou armazenar tamanhos tão grandes de dados, mas, com a evolução de tecnologias como Hadoop e Spark, foi possível desenvolver soluções que permitem lidar com essas enormes quantidades de informação.

Hoje, Big Data é utilizado para uma infinidade de aplicações, principalmente em áreas como marketing, saúde, finanças, educação, e logística. No marketing, empresas utilizam Big Data para analisar o comportamento do consumidor, criando campanhas personalizadas e aprimorando a experiência do cliente. Na saúde, é usado para prever surtos de doenças, personalizar tratamentos e até para desenvolver novos medicamentos com base em grandes volumes de dados clínicos. No setor financeiro, Big Data auxilia na detecção de fraudes e na análise de risco, enquanto na logística, é utilizado para otimizar rotas e melhorar a gestão de estoques. O impacto do Big Data é ainda mais visível em áreas de inteligência de negócios, onde empresas e governos usam a análise de grandes volumes de dados para tomar decisões mais informadas e estratégicas. Por exemplo, governos podem usar Big Data para melhorar a gestão de recursos, planejar políticas públicas e responder a emergências de forma mais eficiente. No setor energético, Big Data é crucial para otimizar a distribuição de energia e melhorar a eficiência dos sistemas de energia renovável.

Entretanto, a utilização de Big Data também levanta questões importantes sobre privacidade e segurança, uma vez que grandes volumes de dados podem incluir informações pessoais sensíveis. Além disso, há desafios relacionados à qualidade dos dados e à necessidade de ferramentas e profissionais especializados para analisar essas informações de maneira eficaz. O futuro do Big Data está ligado ao uso crescente de tecnologias como inteligência artificial, machine learning e computação em nuvem, que permitirão processar e analisar ainda mais rapidamente esses grandes volumes de dados, abrindo caminho para inovações em áreas como cidades inteligentes, saúde preditiva e automação de processos. Com o tempo, a análise de Big Data deve se tornar cada vez mais acessível, permitindo que mais organizações e até indivíduos aproveitem o poder dessa tecnologia para tomar decisões mais precisas e informadas.

3.6 As Tecnologias no Brasil

No Brasil, a Indústria 4.0 começou a ser aplicada de forma mais visível no início da década de 2010, principalmente em setores como automóveis, eletroeletrônicos e bens de consumo. Embora o país tenha experimentado um crescimento na adoção dessas tecnologias, a transição foi mais lenta comparada a países desenvolvidos

devido a questões de infraestrutura, altos custos de implementação e falta de qualificação especializada em novas tecnologias. Contudo, algumas empresas de grande porte, especialmente no setor automobilístico e em grandes indústrias de manufatura, começaram a implementar sistemas avançados de automação e análise de dados para otimizar a produção e reduzir custos.

As primeiras áreas afetadas pela Indústria 4.0 no Brasil foram: automação de processos industriais, com a introdução de robôs e sistemas automatizados para aumentar a capacidade de produção e reduzir erros humanos; adoção de sistemas de IoT e Big Data para otimizar a cadeia de suprimentos e a gestão de recursos; e impressão 3D e prototipagem rápida, especialmente em setores como engenharia e medicina. No agronegócio e na indústria automobilística, essas tecnologias permitiram a integração de sensores para monitoramento remoto, rastreamento de veículos e previsão de falhas em maquinários.

Atualmente, a Indústria 4.0 tem transformado a produção no Brasil de forma mais visível, especialmente em grandes empresas e em alguns polos industriais estratégicos. A aplicação de tecnologias como inteligência artificial, aprendizado de máquina e robôs autônomos tem permitido uma melhoria na produtividade e na competitividade da indústria nacional, apesar dos desafios econômicos e de infraestrutura. A otimização de processos industriais, com a utilização de Big Data para tomar decisões mais rápidas e baseadas em dados, se reflete em um aumento da produtividade e da qualidade do produto, além de uma redução de custos operacionais. O setor agrícola brasileiro tem adotado tecnologias como sensores, drones, IoT e inteligência artificial para melhorar a produtividade, monitorando as condições climáticas, o uso de pesticidas e a colheita de forma mais eficiente. No setor energético, a utilização de sistemas inteligentes para a gestão de energia tem promovido maior eficiência e uma melhor gestão dos recursos naturais, especialmente no setor de energia renovável. Contudo, o Brasil ainda enfrenta desafios em relação ao financiamento dessas tecnologias e à qualificação da mão de obra para lidar com as novas ferramentas. A implementação da Indústria 4.0 tem sido desigual, com grandes empresas adotando as tecnologias mais rapidamente, enquanto pequenas e médias empresas enfrentam dificuldades em adotar essas inovações. No entanto, as políticas públicas de incentivo à inovação, como o programa Indústria 4.0 do governo

brasileiro, e a parceria com universidades e centros de pesquisa, têm sido importantes para a aceleração do processo de transformação.

Nos próximos anos, espera-se que a Indústria 4.0 tenha um impacto ainda mais profundo no Brasil, transformando a forma como as empresas operam e criando novas oportunidades, mas também novos desafios. A automação deve continuar a reduzir a necessidade de mão de obra em setores que realizam tarefas repetitivas ou perigosas, o que pode gerar uma substituição de empregos em setores menos qualificados, se não houver uma forte política de requalificação da força de trabalho. No entanto, ao mesmo tempo, novas oportunidades de trabalho surgirão em áreas como programação, manutenção e design de sistemas. Além disso, espera-se uma maior adoção de robôs colaborativos, IA e sistemas de logística inteligentes em diversos setores. O uso de veículos autônomos e cidades inteligentes, por exemplo, deve se expandir, com maior utilização de IoT para otimizar o tráfego e os recursos urbanos. No agronegócio, as tecnologias de Indústria 4.0 devem continuar a impulsionar a eficiência, enquanto na saúde, é esperada uma transformação nos processos de diagnóstico e tratamentos personalizados, com o auxílio de IA e sistemas ciberfísicos.

Portanto, a Indústria 4.0 no Brasil promete grandes transformações, tanto para a economia quanto para o mercado de trabalho. O país precisará investir em inovação, qualificação profissional e infraestrutura para garantir que as vantagens dessa revolução tecnológica sejam plenamente aproveitadas. Com o avanço das tecnologias, o Brasil poderá não apenas aumentar sua competitividade no mercado global, mas também resolver questões internas como produtividade e sustentabilidade.

4.0 PROPOSTAS DE AÇÕES E POLÍTICAS

4.1 Imagem objetivo

A construção de uma imagem objetivo para a revolução econômica e tecnológica deve considerar uma transformação ampla, estruturada em três pilares principais: inovação, sustentabilidade e inclusão social. Essa transformação busca não apenas impulsionar a economia, mas também reduzir as desigualdades sociais e regionais, um dos maiores desafios enfrentados pelo Brasil. É necessário, portanto, que o objetivo seja promover uma economia que seja ao mesmo tempo digital, verde e inclusiva. O Brasil, como uma nação com uma grande diversidade socioeconômica e territorial, precisa adotar estratégias que garantam que os avanços tecnológicos da Indústria 4.0 beneficiem toda a sociedade, especialmente as populações em situação de vulnerabilidade. Para isso, é necessário criar um ambiente propício à inovação, com investimentos em infraestrutura tecnológica, educação e capacitação profissional.

A imagem objetivo deve, então, passar pela formação de uma economia moderna, diversificada e resiliente, que aproveite as tecnologias emergentes não apenas para fortalecer setores-chave como manufatura, serviços e agronegócio, mas também para criar novos setores e oportunidades de emprego de qualidade. Essa visão exige políticas públicas que incentivem a equidade no acesso a recursos tecnológicos e educacionais, garantindo que a transição para a Indústria 4.0 não exclua qualquer grupo ou região do país.

4.2 Mudanças legais e institucionais

A revolução econômica e tecnológica do Brasil está diretamente ligada a uma série de mudanças legais e institucionais. Essas mudanças são essenciais para garantir que o ambiente legal e regulatório seja compatível com as necessidades da Indústria 4.0 e com o novo paradigma econômico que se está formando. Uma das reformas mais urgentes no Brasil é a tributária, visando simplificar e modernizar o sistema, além de promover uma distribuição mais justa da carga tributária. Atualmente, a alta complexidade do sistema tributário brasileiro é um dos principais

obstáculos à competitividade das empresas, especialmente as pequenas e médias. O sistema também não está adequadamente alinhado com os modelos de negócios da economia digital, o que dificulta a implementação de tecnologias inovadoras em muitos setores.

Além disso, é fundamental fortalecer as instituições regulatórias e fiscalizadoras para garantir que a transição para a Indústria 4.0 ocorra de maneira ética, transparente e sustentável. A criação de políticas públicas de incentivo à inovação, por meio da redução de impostos para empresas que investem em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), e a promoção de uma governança mais eficiente são passos importantes. A infraestrutura jurídica e institucional também precisa ser modernizada para lidar com os desafios do novo ambiente econômico digital, como a proteção de dados e a regulamentação da inteligência artificial. A mudança institucional deve, ainda, passar pela capacitação contínua dos profissionais responsáveis pela implementação e fiscalização dessas políticas, para que possam lidar com a complexidade das tecnologias emergentes. Isso inclui a criação de organismos de fomento à inovação, como incubadoras de startups, parcerias entre universidades e empresas, e programas de incentivo a pesquisas que atendam às necessidades do setor produtivo.

4.3 Política econômica

A política econômica no Brasil, considerando os desafios da Indústria 4.0, precisa ser orientada por um modelo de desenvolvimento inclusivo e sustentável. A atual estrutura econômica, embora tenha mostrado crescimento em certos setores, ainda enfrenta problemas graves de baixa produtividade e desigualdade na distribuição de renda. Segundo dados do IBGE, o Brasil experimentou uma recuperação econômica no ano de 2023, com o PIB crescendo 2,9%, atingindo R\$ 10,9 trilhões. No entanto, o investimento como percentual do PIB foi inferior a 20% em 2023, o que demonstra que a economia ainda depende de uma retomada mais robusta de investimentos. A política econômica brasileira precisa, então, dar maior ênfase à reforma estrutural, com políticas fiscais e monetárias que incentivem o aumento dos investimentos produtivos, especialmente em áreas como infraestrutura, educação e tecnologia. A criação de incentivos fiscais e linhas de crédito com juros baixos para empresas que

investem em inovação, P&D e novos modelos de negócios será essencial para o crescimento sustentável.

O Brasil também precisa alinhar sua política de comércio exterior com as novas tendências globais, aproveitando o potencial de inserção na economia digital global. A promoção de exportações de produtos e serviços tecnológicos, além de novos setores emergentes, pode ampliar as oportunidades de crescimento. A melhoria das infraestruturas logística e digital também deve ser prioridade para reduzir o custo Brasil, que impacta a competitividade das empresas brasileiras no mercado global. Uma reforma tributária que reduza a complexidade do sistema, simplifique o pagamento de impostos e estimule a adoção de tecnologias de ponta por empresas nacionais deve ser considerada urgente. A implementação de políticas de incentivo ao investimento em capital humano também será crucial, pois a capacitação e a adaptação da força de trabalho às novas demandas do mercado de trabalho será um dos principais motores do crescimento.

4.4 Ações da sociedade (empresas, trabalhadores, academia)

A transformação econômica proposta pela Indústria 4.0 exige a ação conjunta de vários atores da sociedade: empresas, trabalhadores e a academia. Para as empresas: Esse setor empresarial tem um papel central na adaptação à nova realidade tecnológica. As empresas precisam adotar uma postura proativa em relação à inovação, investindo em tecnologias digitais, inteligência artificial, big data e automação. Empresas de todos os tamanhos devem se engajar no desenvolvimento de novos produtos e serviços, integrando as novas tecnologias de maneira estratégica em seus processos produtivos. Além disso, é importante que adotem práticas empresariais responsáveis, incluindo a sustentabilidade ambiental e o cumprimento de normas éticas de negócios. As grandes empresas devem agir como líderes em inovação, criando ambientes colaborativos e estimulando as pequenas e médias empresas a seguir seus exemplos.

Já os trabalhadores: A força de trabalho precisa ser preparada para as mudanças que vêm com a Indústria 4.0. Para isso, a educação e a capacitação são

fundamentais. Programas de requalificação devem ser implementados, com foco em habilidades tecnológicas, pensamento crítico e capacidade de adaptação. O Brasil ainda sofre com uma grande disparidade na qualidade da educação, o que limita o acesso das populações mais vulneráveis a empregos de qualidade nas áreas de tecnologia. Programas de educação profissional e técnica devem ser reforçados, alinhados às necessidades do mercado de trabalho moderno.

E para a parte Acadêmica: As universidades e centros de pesquisa têm a responsabilidade de gerar e disseminar conhecimento que auxilie na implementação das políticas públicas e das estratégias empresariais para a Indústria 4.0. Além disso, devem promover a inovação por meio de parcerias com o setor privado e apoiar o desenvolvimento de novas tecnologias. A academia também desempenha um papel essencial na formação de novos profissionais e na produção de conhecimento que subsidie a regulamentação de novas tecnologias, como inteligência artificial e blockchain.

Uma colaboração mais estreita entre o setor privado, o governo e as universidades será essencial para criar um ecossistema de inovação que incentive o desenvolvimento de soluções para os desafios econômicos, sociais e ambientais do Brasil. O fomento à pesquisa aplicada e à transferência de tecnologia para a indústria será um dos principais mecanismos para garantir que o Brasil consiga competir em um mercado global cada vez mais digitalizado e tecnológico.

5. Conclusões Finais

Este trabalho teve como objetivo principal analisar os desafios e as perspectivas econômicas da inserção do Brasil na Indústria 4.0, com enfoque na formulação de políticas públicas, econômicas e institucionais que permitam ao país se beneficiar das transformações tecnológicas em curso. A partir da revisão teórica e da contextualização da realidade brasileira, observou-se que o país enfrenta sérios obstáculos estruturais que limitam sua capacidade de adaptação ao novo paradigma tecnológico-industrial. Entre os principais entraves, destacam-se a baixa taxa de investimento em pesquisa e desenvolvimento (P&D), a carência de infraestrutura digital, a escassez de mão de obra qualificada e a ausência de uma política industrial coerente e de longo prazo. Esses fatores contribuem para a manutenção de uma economia de baixa produtividade, fortemente dependente da exportação de commodities e com frágil inserção nas cadeias globais de valor.

No entanto, o Brasil apresenta também oportunidades estratégicas que podem ser exploradas para alavancar sua integração na Indústria 4.0. A existência de polos tecnológicos, a maturidade de certos setores industriais (como o agronegócio digitalizado), e a atuação de universidades e centros de pesquisa com alto potencial de inovação constituem uma base relevante sobre a qual se podem construir políticas mais eficazes. Com base nesse diagnóstico, foram apresentadas propostas de ações e políticas públicas estruturadas em quatro eixos principais: construção de uma imagem objetivo para a política industrial baseada em sustentabilidade, inclusão e competitividade; mudanças legais e institucionais que simplifiquem o ambiente de negócios e incentivem o investimento em inovação; diretrizes de política econômica orientadas ao estímulo à produtividade, à digitalização da indústria e à qualificação da força de trabalho; e articulação entre empresas, trabalhadores e academia, promovendo redes de cooperação tecnológica e a difusão de conhecimento.

Conclui-se que a Indústria 4.0 representa uma oportunidade histórica para o Brasil redefinir sua estratégia de desenvolvimento econômico e tecnológico. Contudo, essa transição não ocorrerá de forma automática nem homogênea. Ela exigirá planejamento de longo prazo, coordenação entre políticas públicas e privadas e,

sobretudo, o engajamento de todos os setores da sociedade na construção de um projeto nacional de transformação produtiva e digital.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, Thays de. Nova política industrial tem R\$ 300 bilhões previstos para financiamento até 2026. Agência Gov, 2024. Disponível em: <https://agenciagov.ebc.com.br/noticias/202401/nova-politica-industrial-tem-r-300-bilhoes-previstos-para-financiamento-ate-2026>. Acesso em: 24 abr. 2025.

A VOZ DA INDÚSTRIA. Principais avanços na indústria brasileira com a Indústria 4.0. São Paulo, 2024. Disponível em: <https://avozdaindustria.com.br/contato-voz-da-industria>. Acesso em: 24 abr. 2025.

BRYNJOLFSSON, Erik; MCAFEE, Andrew. A segunda era das máquinas: trabalho, progresso e prosperidade numa época de tecnologias brilhantes. Rio de Janeiro: Alta Books, 2014.

DINO. Brasil pode crescer até 21% na Indústria 4.0 até 2028. Estado de Minas, 2024. Disponível em: <https://www.em.com.br/mundo-corporativo/2024/08/6924038-brasil-pode-crescer-ate-21-na-industria-4-0-ate-2028.html>. Acesso em: 24 abr. 2025.

FERNANDES, Marcella. Mercado de Indústria 4.0 pode chegar a US\$ 5,62 bilhões no Brasil até 2028. CNI – Portal da Indústria, 2024. Disponível em: <https://noticias.portaldaindustria.com.br/noticias/competitividade/mercado-de-industria-40-pode-chegar-a-us-562-bilhoes-no-brasil-ate-2028/>. Acesso em: 24 abr. 2025.

FREITAS, Eduardo de. Indústria contemporânea no Brasil. Brasil Escola, 2023. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/brasil/a-industria-contemporanea-no-brasil.htm>. Acesso em: 24 abr. 2025.

MELO, Victor. Indústria 4.0: o que é, conceitos e impactos no Brasil. Geofusion, 2024. Disponível em: <https://geofusion.com.br/blog/industria-40-brasil/>. Acesso em: 24 abr. 2025.

REVISTA ECONOMIA. ¿Cómo la IA y Analítica de Datos han mejorado las evaluaciones crediticias y contribuyen con la reducción de casos de fraude? Lima, Peru: Revista Economía, 2023. Disponível em:

<https://www.revistaeconomia.com/como-la-ia-y-analitica-de-datos-han-mejorado-las-evaluaciones-crediticias-y-contribuyen-con-la-reduccion-de-casos-de-fraude/>. Acesso em: 24 abr. 2025.

REVISTA ECONOMÍA. El Big Data, un aliado clave para un futuro energético sostenible. Lima, Peru: Revista Economía, 2023. Disponível em: <https://www.revistaeconomia.com/el-big-data-un-aliado-clave-para-un-futuro-energetico-sostenible/>. Acesso em: 24 abr. 2025.

SCHWAB, Klaus. A quarta revolução industrial. São Paulo: Edipro, 2016.

SENAI. A Indústria 4.0 chegou no Brasil. Brasília, DF: SENAI – Blog Tecnologia e Informação, 24 nov. 2022. Disponível em: <https://blog-tecnologia.senairs.org.br/a-industria-4-0-chegou-no-brasil>. Acesso em: 24 abr. 2025.