



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA INTEGRAÇÃO LATINO-AMERICANA (UNILA)  
INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE ECONOMIA, SOCIEDADE E POLÍTICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA (PPGE)**

**INDÚSTRIA 4.0 EM ANÁLISE:  
ASPECTOS HISTÓRICOS, CONCEITUALIZAÇÃO E POLÍTICAS INDUSTRIAIS**

**JATNIEL MATEUS BISPO ZOTTIS**

**DISSERTAÇÃO**

Foz do Iguaçu  
2024

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA INTEGRAÇÃO LATINO-AMERICANA (UNILA)  
INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE ECONOMIA, SOCIEDADE E POLÍTICA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA (PPGE)**

**INDÚSTRIA 4.0 EM ANÁLISE:  
ASPECTOS HISTÓRICOS, CONCEITUALIZAÇÃO E POLÍTICAS INDUSTRIAIS**

**JATNIEL MATEUS BISPO ZOTTIS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Economia.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Luiz Medeiros da Silva

Foz do Iguaçu  
2024

JATNIEL MATEUS BISPO ZOTTIS

**INDÚSTRIA 4.0 EM ANÁLISE:**  
ASPECTOS HISTÓRICOS, CONCEITUALIZAÇÃO E POLÍTICAS INDUSTRIAIS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia da Universidade Federal da Integração Latino-Americana, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Economia.

**BANCA EXAMINADORA**

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Luiz Medeiros da Silva  
UNILA

Prof. Dr. Virginia Laura Fernandez  
UNILA

Prof. Dr. Rodrigo Cantu Souza  
UFPEL

Foz do Iguaçu, 28 de março de 2024.

Catálogo elaborado pelo Setor de Tratamento da Informação  
Catálogo de Publicação na Fonte. UNILA - BIBLIOTECA LATINO-AMERICANA - CENTRAL

Z89

Zottis, Jatniel Mateus Bispo.

Indústria 4.0 em análise: aspectos históricos, conceitualização e políticas industriais / Jatniel Mateus Bispo  
Zottis. - Foz do Iguaçu, 2024.

77 f.: il., color.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Integração Latino-Americana, Instituto Latino-Americano de Economia, Sociedade e Política, Programa de Pós-Graduação em Economia. Foz do Iguaçu - PR, 2024.

Orientador: Rodrigo Luiz Medeiros da Silva.

1. Revolução Industrial. 2. Automação Industrial - Indústria 4.0. 3. Automação Industrial – Digitalização de Indústrias. 4. Automação Industrial - Pilares da Indústria 4.0. 5. Tecnologia Industrial - Fundamentos e avanços. 6. Indústrias - Políticas Alemãs. I. Silva, Rodrigo Luiz Medeiros da. II. Título.

CDU 005.591.6:338.45

Dedico este trabalho a todos que junto  
comigo sonharam com esse momento.

*O caminho muda, e muda o caminhante  
É um caminho incerto, não um caminho errado  
Eu, caminhante, quero o trajeto terminado  
Mas, no caminho, mais importa o durante.*  
**Estevão Queiroga**

## RESUMO

Na última década tem-se identificado um processo de transformação na produção manufatureira, fruto da inserção de inovadoras tecnologias digitais que estão conduzindo as indústrias a uma transformação no modo de organizar o processo produtivo. Tendo em perspectiva a amplitude e relevância desse processo, apesar das controvérsias, muitos pesquisadores entendem que a sociedade moderna está adentrando em uma nova revolução industrial, e esse movimento tem sido chamado de “Indústria 4.0”. Nesse sentido, o objetivo do presente trabalho é compreender, através de extensa revisão bibliográfica, o movimento de digitalização da indústria em seus aspectos históricos, teóricos, técnicos e práticos. Para isso, em um primeiro momento, faz-se uma exposição das revoluções industriais desde seus primórdios, tentando compreender as especificidades que as definem e as conexões que as tornam um longo e complexo processo histórico. Posteriormente, se dedica esforços no sentido de definir a indústria 4.0 e apresentar seus conceitos e principais avanços tecnológicos. Na sequência, demonstra-se como a digitalização da indústria constitui um grande desafio ao planejamento econômico através da apresentação do caso alemão. Para então por fim, partindo de uma visão ampla, realizar-se um esforço de síntese quanto ao processo de digitalização da indústria.

**Palavras-chave:** Revolução Industrial. Indústria 4.0. Digitalização da Indústria. Pilares da Indústria 4.0. Avanços tecnológicos fundamentais. Políticas Industriais Alemãs.

## ABSTRACT

In the last decade, a transformation process has been identified in manufacturing production, resulting from the insertion of innovative digital technologies that are leading industries to a transformation in the way they organize the production process. Taking into perspective the breadth and relevance of this process, despite the controversies, many researchers understand that modern society is entering a new industrial revolution, and this movement has been called "Industry 4.0". In this sense, the objective of this work is to understand, through an extensive bibliographical review, the digitalization movement of the industry in its historical, theoretical, technical and practical aspects. With this focus, initially, we present an exposition of the industrial revolutions since their beginnings, trying to understand the specificities that define them and the connections that make them a long and complex historical process. Subsequently, efforts are made to define industry 4.0 and present its concepts and main technological advances. Next, we demonstrate that the digitalization of industry represents a challenge for economic planning through the presentation of the German case. Finally, in a broad vision, a synthesis effort can be made regarding the industry's digitalization process.

**Key words:** Industrial Revolution. Industry 4.0. Digitalization of Industry. Pillars of Industry 4.0. Fundamental technological advances. German Industrial Policies.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>9</b>
<b>2 REVOLUÇÕES INDUSTRIAIS: UM PROCESSO HISTÓRICO</b> .....	<b>11</b>
2.1 PRIMEIRA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL .....	11
2.2 SEGUNDA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL .....	15
2.3 TAYLORISMO .....	17
2.4 FORDISMO .....	19
2.5 TOYOTISMO .....	21
2.6 TERCEIRA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL .....	23
2.7 CONCLUSÃO .....	27
<b>3 INDÚSTRIA 4.0</b> .....	<b>30</b>
3.1 DEZ PILARES DA INDUSTRIA 4.0 .....	33
3.1.1 Internet das Coisas / Internet of Things (IoT) .....	35
3.1.2 Big Data .....	37
3.1.3 Robótica Autônoma .....	38
3.1.4 Manufatura Aditiva .....	40
3.1.5 Computação nas Nuvens .....	42
3.1.6 Cibersegurança .....	43
3.1.7 Simulação .....	43
3.1.8 Realidade Aumentada .....	44
3.1.9 Integração de Sistemas .....	45
3.1.10 Sistemas Ciber Físicos / Cyber-Physical Systems (CPS).....	46
3.2 FÁBRICAS INTELIGENTES / SMART FACTORIES .....	48
3.3 DESAFIOS DE IMPLEMENTAÇÃO .....	49
3.4 CONCLUSÃO .....	51
<b>4 POLÍTICAS INDUSTRIAIS PARA INDUSTRIA 4.0: O MODELO ALEMÃO</b> .....	<b>54</b>
4.1 CONTEXTO HISTÓRICO .....	56
4.2 SCHROEDER .....	60
4.3 DAUT E WILLCOX .....	64
4.4 HORN .....	66
4.5 CONCLUSÃO .....	68
<b>5 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>70</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>74</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Lima (2001) afirma que o advento de fases de avanço tecnológico impulsiona as mudanças sociais, alterando aspectos que vão desde o comportamento humano até a forma como determinada comunidade se relaciona e organiza economicamente. Essa realidade é uma constante ao longo da história, onde cada nova onda tecnológica desencadeia um efeito dominó de transformações em várias esferas da vida humana. De fato, novas tecnologias disruptivas podem ser consideradas catalisadoras de grandes movimentos na sociedade, moldando estruturas sociais e até mesmo valores culturais.

Ao longo da história, a tecnologia exibiu um comportamento evolutivo notável, inicialmente servindo principalmente a funções de subsistência, gradualmente alcançou uma posição de destaque como impulsionadora do progresso social e econômico; tanto que, já na fase mecanizada, se torna um aspecto central para o padrão de desenvolvimento. Esta relação entre progresso social, econômico e cultural com o avanço tecnológico é essencial para compreensão de muitos movimentos históricos. (HAYNE; WYSE, 2018)

Nesse sentido, é possível destacar alguns acontecimentos já na sociedade moderna, onde em decorrência de subseqüentes descobertas disruptivas o mundo sofreu profundas transformações estruturais; fases essas conhecidas como revoluções industriais. Ao estimular o crescimento e ampliar a produção, as novas tecnologias catalisaram o desenvolvimento industrial e comercial, auxiliando no próprio amadurecimento e consolidação do capitalismo. (PASQUINI, 2020)

Ao longo da última década, o avanço das tecnologias digitais tem sido responsável por uma profunda transformação na produção manufatureira. Essas inovações não apenas alteraram a forma como as empresas organizam a produção, mas também o modo de gerir, pensar, idealizar e planejar o processo produtivo. Essas mudanças não ficam restritas ao ambiente da planta industrial, pois geram transformações nas relações socioeconômicas, como por exemplo, no perfil de consumo, na dinâmica do mercado de trabalho e na construção de novos setores na economia. (STĂNCIOIU, 2017)

Tendo em perspectiva a magnitude e a importância desse fenômeno, muitos estudiosos afirmam que a sociedade contemporânea está entrando em uma nova revolução industrial, caracterizada pela digitalização dos processos industriais

e amplamente conhecida como "Indústria 4.0". Apesar das opiniões divergentes, há certa compreensão de que esta representa uma nova etapa na evolução da atividade industrial, inserida em um longo, contínuo e conexo processo histórico que remonta aos primórdios da sociedade moderna capitalista. (TEIXEIRA, 2019)

Nesse sentido, tem-se como objetivo no presente trabalho compreender, através de extensa revisão bibliográfica, o movimento de digitalização da indústria em seus aspectos históricos, teóricos, técnicos e práticos. De modo mais específico, apresentar o longo processo histórico de evolução da atividade manufatureira, conceitualizar a digitalização da indústria, expor os principais avanços tecnológicos centrais à indústria 4.0 e os seus desafios de implementação, demonstrar como a digitalização se constitui como um tema central no debate econômico e apresentar o modelo alemão de planificação industrial para digitalização.

Para isso, realizou-se uma subdivisão do trabalho em três capítulos. No primeiro, seguinte à presente seção de introdução, faz-se uma exposição das revoluções industriais desde seus primórdios, tentando compreender as especificidades que as definem e as conexões que as tornam um longo e complexo processo histórico. No segundo, foca-se especificamente na indústria 4.0, apresentando seus aspectos teóricos, como conceitos e definições, e práticos, expondo os avanços tecnológicos fundamentais e seus desafios de implementação. No terceiro, demonstra-se como a digitalização da indústria é um aspecto central ao planejamento econômico através da apresentação do caso alemão.

## 2 REVOLUÇÕES INDUSTRIAIS: UM PROCESSO HISTÓRICO

As revoluções ao longo da história nos remetem a um período de mudanças abrangentes em determinada sociedade, e as consequências dessas transformações desencadeiam mutações profundas em aspectos econômicos, sociais, culturais e políticos, redefinindo assim o curso da história. Tendo como recorte a sociedade capitalista moderna, uma sequência de ciclos econômicos percebidos como “revoluções” têm se destacado pois moldaram não somente a esfera econômica, ao estimular o crescimento e ampliar a produção, mas também catalisaram o desenvolvimento industrial e comercial, auxiliando no próprio amadurecimento e consolidação do capitalismo; suas consequências ecoaram além do domínio econômico e redelinearam a trajetória da história. Essas são as Revoluções Industriais.

### 2.1 PRIMEIRA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

No início do século XVIII, na Inglaterra, o processo produtivo se organizava em pequenas manufaturas, geralmente familiares, em que os trabalhadores artesãos fabricavam seus produtos, mesmo que com o auxílio de certos maquinários, através de processos manuais que tinham como principal matriz energética a força humana, animal e hidráulica; de modo que, os processos industriais tinham uma alta relação de tempo por unidade produzida. Naquela época, a produção se distinguia por sua natureza caseira, artesanal e descentralizada, distribuída entre inúmeras pequenas unidades produtoras; com poucas exceções nas quais famílias mais abastadas tinham sido capazes de ampliar a capacidade produtiva, mas mantendo a característica artesanal. (SANTOS, 2022)

Entretanto, um conjunto de inovações tecnológicas, ao ocasionar diversas mudanças estruturais na organização da produção, transformou a indústria inglesa afetando diretamente a sociedade e a economia. Em tal magnitude que, neste período, do final do século XVIII, se dá início à Primeira Revolução Industrial. Tempo histórico marcado por substanciais transformações nos mais diversos setores da sociedade, encostando intimamente no cotidiano da população em geral e transformando essencialmente a dinâmica social, econômica e política. Modificações

tão profundas que ocasionaram a transição do capitalismo comercial para o capitalismo industrial. (LIMA; NETO, 2017)

Dentre as tantas invenções que caracterizam o período, uma se destaca ao ponto de ser considerada um marco histórico que data o início da revolução. Na década de 1760, James Watt elaborou a primeira máquina a vapor realmente eficiente, que tinha um melhor aproveitamento energético e a capacidade de gerar movimento circular - antes este tipo de maquinário já era utilizado, mas para fins pouco relevantes para a eficiência da produção, apenas como bomba para extrair água de minas e, através de quedas d'água artificiais, gerar energia hidráulica. (CAVALCANTE, 2019)

Esse mecanismo foi capaz de recharacterizar a produção fabril ao transformar a matriz energética de trabalho físico para força mecânica. A máquina a vapor trabalha com a conversão de energia térmica, derivada da queima de carvão, em energia mecânica. Deste modo, foi possível substituir os métodos tradicionais de trabalho, como a dependência de animais, força humana ou o aproveitamento da energia da água. Ao transformar o calor liberado pela combustão do carvão em movimento mecânico, o motor a vapor ofereceu uma solução muito eficiente e versátil para diversas aplicações, dinamizando a atividade industrial ao possibilitar a fabricação de uma ampla variedade de bens de forma mais rápida e eficiente, transformando radicalmente a maneira como as tarefas eram executadas e organizadas. (PASQUINI, 2020)

A indústria têxtil, grande símbolo desta fase, foi a primeira a inserir a nova tecnologia ao longo do processo produtivo, inserindo teares mecânicos e outros equipamentos. Assim, iniciando uma mecanização da produção que conduziu este setor a um desenvolvimento expressivo que deu à Inglaterra uma extraordinária vantagem no comércio mundial dos tecidos de algodão e a impulsionou a uma fase de grande e contínuo crescimento econômico caracterizado pela mecanização geral da indústria. (SAKURAI; ZUCHI, 2018)

Os produtos que antes eram fabricados através de processos manuais passaram a ser produzidos por máquinas, tendo-se assim um grande aumento de produtividade ao se reduzir a relação de tempo por unidade produzida; este processo caracteriza a passagem da manufatura à maquinofatura. É importante destacar que houve diversas invenções que são relevantes para esse tempo, e auxiliaram na: “ampliação da substituição da energia humana e animal pela

inanimada [...]; a aceleração da troca da capacidade humana por instrumentos mecânicos; e a descoberta e/ou melhoria de métodos de obtenção e elaboração de matérias primas.” (DATHEIN, p.1, 2003). Entretanto, a máquina a vapor é a mais relevante e emblemática justamente por ser essencial na substituição da matriz energética da atividade industrial que passa a ser de fonte inanimada.

Dentre essas importantes inovações, está o importante desenvolvimento da indústria do ferro, que se aproveitou do advento técnico da utilização do carvão mineral para elaboração do metal ampliando sua capacidade produtiva especialmente na fabricação de vagões e trilhos. Nesta fase também se sucedeu o princípio da produção de pontes e barcos de ferro, que junto com as locomotivas a vapor revolucionaram os meios de transporte ao possibilitarem a redução de custos e tempo de viagem, e o aumento da capacidade de carga. Estas inovações são diretamente responsáveis pelo surgimento de uma economia global ao dinamizarem as logísticas das atividades industriais e facilitarem o intercâmbio de conhecimento e serviços. (DATHEIN, 2003)

Como visto, o aspecto tecnológico é essencial para compreender as transformações de capacidade produtiva e o crescimento econômico ocorrido na Inglaterra no século XVIII que inauguraram a Primeira Revolução Industrial, mas este evento tão complexo não pode ser reduzido a apenas um grande desenvolvimento dos mecanismos tecnológicos aplicados à produção. Trata-se de uma Revolução que transformou drasticamente a ordem social, econômica e política, assim como a cultura e a própria forma de agir e pensar do homem na Inglaterra, na Europa e, por fim, no mundo. (LIMA; NETO, 2017)

“A Revolução Industrial [...]: consolidou o capitalismo; aumentou de forma rapidíssima a produtividade do trabalho; originou novos comportamentos sociais, novas formas de acumulação de capital, novos modelos políticos e uma nova visão do mundo; e talvez o mais importante, contribuiu de maneira decisiva para dividir a imensa maioria das sociedades humanas em duas classes sociais opostas e antagônicas: a burguesia capitalista e o proletariado” (CAVALCANTI, SILVA, 2011, p.4)

Um fenômeno muito marcante desta época é a intensa urbanização da população e o surgimento das grandes cidades. Com os motores a vapor, as plantas industriais não necessitavam mais estar ao alcance de rios e quedas de água para conseguirem energia hidráulica, de modo que se deslocaram para locais mais centrais e/ou estratégicos para logística. (CAVALCANTE, 2019). Isto, somado

ao êxodo das populações rurais para a cidade, que é fruto do processo de expropriação da terra e da inserção de novas técnicas de trato da agricultura, que aumentaram a produtividade e reduziram a força de trabalho necessária. Esses três movimentos ocasionaram um grande processo de urbanização na Inglaterra que estimulou a produção de bens de consumo de massa, e gerou um excesso de força de trabalho desempregada e barata que ampliou o lucro da emergente burguesia. (OLIVEIRA, 2004)

Outras transformações relevantes também se destacam, como o avanço da medicina que reduziu a taxa de mortalidade, a criação de estruturas organizacionais e administrativas do Estado, a formação de sistemas públicos de educação infantil com fomento à alfabetização e a ampliação do poder de compra e do acesso a bens de consumo. De fato, a mecanização geral da indústria trouxe uma série de melhorias nas condições de vida. No entanto, ao retirar os meios de produção de milhões de trabalhadores rurais, expôs relevante parte desta população à condição de miséria em centros urbanos desestruturados e despreparados para receber essa grande massa em êxodo. Este é um dos fenômenos sociais mais evidentes da Primeira Revolução Industrial, e que evidencia a intensificação da discrepância de renda entre os mais ricos e os mais pobres. (LIMA; NETO, 2017)

Tendo o exposto como base, é possível observar que esta revolução foi um marco histórico que transformou radicalmente a sociedade. Caracterizada pela transição de métodos de produção manuais para máquinas movidas a vapor, proporcionou um aumento significativo na produção e eficiência industrial. No entanto, não apenas revolucionou os processos produtivos com a ampla implementação da manufatura mecanizada, alterou profundamente a organização social, econômica e cultural; transicionando do capitalismo comercial para o capitalismo industrial e consolidando as classes sociais do modo de produção. A Primeira Revolução Industrial estabeleceu as bases para as subseqüentes transformações tecnológicas e econômicas, moldando a trajetória da civilização moderna.

Hobsbawm (1979), vai afirmar que a Primeira Revolução Industrial é a mais radical transformação da vida humana já registrada, pois as novas tecnologias inventadas ocasionaram modificações agressivas nos mais diversos setores da sociedade, encostando intimamente no cotidiano da população em geral e transformando essencialmente a dinâmica social, econômica e política.

## 2.2 SEGUNDA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

No decorrer do século XIX, aproximadamente em 1860, a Revolução Industrial adentra em um tempo de novos impulsionamentos, tendo como fator fundamental dessa transformação o surgimento de novas tecnologias. Nesse cenário, destacaram-se descobertas paradigmáticas, como a revelação do potencial da eletricidade, a transição do ferro para o aço, o advento e progresso dos meios de transporte, bem como, posteriormente, dos meios de comunicação, além do desenvolvimento da indústria química, do petróleo e de outros setores. (FENERICK; VOLANTE, 2020)

O impacto que essas transformações e inovações geraram não apenas sobre a economia, mas na sociedade de modo geral foram significativas ao ponto de serem comparadas ao impacto que a mecanização inicial da indústria baseada na energia a vapor gerou na Inglaterra; por isso, demarcam o surgimento da Segunda Revolução Industrial. Contudo, a percepção clara de uma transformação substancial somente emergiu nas décadas iniciais do século XX; inicialmente, essas inovações não substituíram integralmente as práticas antigas, apenas começaram a se destacar, revelando seu potencial pleno posteriormente. (DATHEIN, 2003)

Nesse período, é crucial o papel desempenhado pela ciência e pelos laboratórios de pesquisa, cujos avanços foram aplicados de maneira concreta nas indústrias de modo a se identificar uma relação ainda mais intensa do sucesso do desenvolvimento com o avanço da ciência. Em meio a esses progressos, o surgimento da indústria química desperta a atenção, ao ter moldado substancialmente o curso do desenvolvimento econômico global. As novas descobertas viabilizaram a emergência e consolidação de novas indústrias, como a de plástico, de medicamentos, de insumos agrícolas, e de materiais para engenharia pesada. Surgiram novos setores e produtos que tiveram impactos profundos nas trajetórias de crescimento econômico dos países e no estilo de vida da população; o petróleo exemplifica com excelência isso ao se tornar matéria prima essencial para o sistema econômico. (CONCEIÇÃO, 2012)

Os novos conhecimentos não foram empregados apenas no desenvolvimento de inovadores produtos e matérias primas, mas também na administração científica do processo produtivo e das firmas. Tanto que, uma das

marca desta fase é advento das grandes empresas oligopolistas multinacionais e da expansão pelo mundo da mecanização geral da indústria, alcançando Estados Unidos, Japão e grande parte da Europa - como Bélgica, Itália, Rússia e a Alemanha (recém unificada) -; deste modo a Inglaterra deixou de ser o único polo industrializado. O capitalismo industrial nesse momento passa a se expressar em maior maturidade em distintas sociedades. (DA SILVA; GASPARIN, 2006)

Apesar da relevância que as inovações até aqui apresentadas tiveram, dentre as novas indústrias, a elétrica e a do aço são os pilares deste tempo. O surgimento dessas indústrias não só alterou a dinâmica econômica, mas também impulsionou inovações que moldaram a sociedade, transformando radicalmente a produção e influenciando profundamente o sistema econômico.

A eletricidade foi capaz de impactar o cotidiano de comunidades inteiras, posta sua capacidade de ser uma matriz energética de custo inferior, de fácil transmissão, de alta eficiência e de multi aplicabilidade. Refletindo não apenas no aspecto econômico, mas no ganho de qualidade de vida de parcela significativa da população. Isso gerou toda uma nova variedade de demandas, e por consequência, de produtos. Assim, se tem o surgimento de grandes conglomerados empresariais que investiram especialmente na transmissão e distribuição de eletricidade. (CONCEIÇÃO, 2012)

Por sua vez, a indústria do aço tem seu crescimento baseado na elaboração de novos processos de fabricação que ocasionaram significativa redução dos custos, viabilizando o uso desse metal em larga escala. Assim, tornou-se possível indústrias intensivas no uso de ferro, como a naval e a ferroviária, substituírem sua matéria prima. Este material possui diversas vantagens em relação ao ferro - como a durabilidade, resistência e maleabilidade - e por isso auxiliou no desenvolvimento da engenharia pesada a patamares não vistos antes ao permitir inúmeras novas possibilidades. (DATHEIN, 2003)

Mais especial que o impacto individual dessas indústrias, é a relação sinérgica que essas possuem, pois a aplicação da eletricidade esteve muito vinculada a utilização do aço na fabricação de novos maquinários para reestruturação das indústrias no processo de adaptação à inserção da nova matriz energética. Além disso, tem o forte impacto no fortalecimento da indústria mecânica, dando condições a criação de motores elétricos, amplamente usados no processo produtivo, e de motores a explosão, que vem a ser o motor do principal modal de

transporte do século XX, permanecendo assim até os dias atuais. (CAVALCANTE, 2019).

Esses avanços, como dito anteriormente, auxiliam no surgimento das grandes multinacionais que, para operacionalizar de forma adequada suas atividades globais, se destacaram em promover mudanças emblemáticas em diversas funções administrativas; fato este, tão relevante para compreensão do processo, quanto às inovações tecnológicas. As novas práticas organizacionais vieram no sentido de profissionalizar e especializar diversas atividades, como contabilidade, marketing, recursos humanos e gestão de projetos. Essas mudanças não apenas facilitaram as operações em larga escala das corporações, mas também geraram uma eficiência sem precedentes nas dinâmicas empresariais. (CONCEIÇÃO, 2012)

Essas mudanças vão de encontro também a grande oportunidade que nasce nesse período, a produção em larga escala e a possibilidade de atingir um grande número de consumidores. Nesse cenário, a produção foi ampliada exponencialmente, através da adoção da fabricação em série, o que trouxe grande eficiência operacional e gerou significativa redução nos custos por unidade produzida. A especialização do trabalho, levada ao extremo, definiu a dinâmica da Segunda Revolução Industrial. Esse movimento não só impulsionou a lucratividade, como moldou profundamente o curso da sociedade. (SANTOS, 2022).

Em especial, dois movimentos de gestão científica do trabalho se destacam, moldando os fundamentos da eficiência e organização na era industrial. O taylorismo e o fordismo emergem como marcos importantes para a história contemporânea. Cada um à sua maneira, influenciaram profundamente a forma como o processo produtivo era organizado, assim como, as dinâmicas sociais e as relações humanas.

### 2.3 TAYLORISMO

Na virada do século XIX para o XX, nesse período de transformação industrial, Frederick Winslow Taylor se destaca com uma formulação inovadora de gerência científica do processo produtivo, propondo a aplicação de métodos científicos às complexas dinâmicas da indústria. Sua filosofia se difundiu

mundialmente entre 1910 e 1920, consolidando-se em diversas nações. O taylorismo, ao sintetizar um conjunto de estratégias de organização e controle do trabalho, marcou um tempo de busca incessante pela maximização da produção. (RIBEIRO, 2015)

Taylor, tem como proposição central controlar os processos de trabalho para ampliar a produtividade através da definição de procedimentos operacionais padronizados via estrutura administrativa hierarquizada. Para tal, é necessária a subdivisão de funções e a gestão do tempo de realização dessas atividades, de modo que o trabalhador precisa ter disciplina e maestria na realização de uma tarefa específica dentro de todos os cronometrados processos de fabricação com minucioso controle das decisões individuais. Trata-se de realizar uma administração excelente dos tempos e movimentos do trabalhador; fato este, que o deixa alheio ao conhecimento da produção do bem, permitindo-lhe apenas o saber de certa fração. (DOS SANTOS, 2015)

Nesse sentido, vem a necessidade do surgimento de atividades de gerenciamento que planejem e analisem os elementos da produção de modo a estabelecer meticulosas normas e regulamentos para assegurar a máxima produção. O trabalhador encontrava-se subordinado à gestão, e tinha como principal função executar com excelência, em intervalos cronometrados, os planos e procedimentos estabelecidos pela direção. Os movimentos e processos padronizados refletem esse ambiente de extremo controle do trabalho para otimização da produção, assim como evidenciam o condicionamento da força de trabalho às exigências das máquinas. (DA SILVA; GASPARIN, 2006)

De modo geral, a estrutura organizacional taylorista do trabalho está fundamentada em alguns aspectos centrais que caracterizam o funcionamento do ambiente industrial. Em primeiro lugar, a adoção da subdivisão e especialização do trabalho, de onde se destaca a alienação da massa proletária ao domínio da produção do bem. Além disso, a análise rigorosa de tempos e movimentos, que se manifesta através da cronometragem e da padronização das formas de trabalhar. E por fim, na divisão bem definida entre as funções da gerência e dos trabalhadores, entre planejamento e execução; essa separação estratégica estabelece uma evidente dinâmica de poder. (FRANCO, 2011)

## 2.4 FORDISMO

O fordismo consiste num método de organização do processo produtivo que o empresário Henry Ford elabora e implementa no começo do século XX em fábricas de sua firma; um sistema de administração científica assim como o taylorismo. As semelhanças entre os dois movimentos são diversas, tanto que, o fordismo se apresenta como uma continuação do trabalho de Taylor, ao intensificar o controle do trabalho através da coletivização dos mecanismos de regulação propondo uma administração coletiva e não individual do trabalho. De modo geral, um método é o aprofundamento do outro, Ford desenvolveu mecanismos mais eficazes. (DA SILVA; GASPARIN, 2006)

A grande inovação que surge em termos técnicos é a implementação da esteira rolante que permitia que a realização das diversas tarefas individuais específicas definidas pela divisão do trabalho ocorresse de modo coletivo. Os elementos centrais do fordismo eram semelhantes aos de Taylor, - a especialização do trabalho, a cronometragem e os procedimentos padronizados -, entretanto, isso se expressava de uma forma distinta, socializada, via esteira. (BATISTA, 2008)

O que Ford vai fazer? Vai montar todo um aparato para levar peças, materiais, de um lugar para outro, sem a interveniência do trabalhador; ou seja, criar uma estrutura de trabalho morto que se responsabilize pelo 'serviço de transporte' e colocar o trabalhador em um posto de trabalho específico, fazendo um único movimento o tempo todo; não deve se deslocar; como ele diz, ir de um lado para outro não é ocupação remuneradora, produtiva; o trabalho tem que vir ao operário, e não o operário ao trabalho. (MORAES NETO, 1986, p.33)

O pensamento fordista vai além da organização do processo produtivo, não se limitando apenas à racionalização do trabalho, mas analisando diferentes aspectos do sistema produtivo, impactando as relações de trabalho, a distribuição de recursos e a própria estrutura socioeconômica; em decorrência disso, se destaca 'por propor soluções que encostam em aspectos além da produção. Essa abordagem se manifesta na produção em massa, na uniformização dos produtos e na busca pela eficiência em todos os aspectos da atividade industrial, consolidando o pensamento fordista como uma influência marcante na evolução da produção e organização industrial. (DO CARMO, 2011)

Com a inserção da esteira rolante, um problema trabalhista nasceu, pois o novo ritmo de trabalho era extremamente cansativo e desgastante; frente a insatisfação, Ford implementou uma relevante elevação dos salários. No entanto, o grande fator estratégico desta política foi gerar um aumento do consumo, estimulando a massificação da produção em série. Com a redução dos custos via aumento da produtividade, e aumento do poder de compra do proletariado, este modelo permitiu que diversos bens de capital, antes restritos a segmentos mais ricos, se tornassem acessíveis a grande parcela da população, (DOS SANTOS, 2015)

O fordismo representa acima de tudo a criação de uma nova forma de viver, a inauguração de um novo padrão de consumo que transforma profundamente as estruturas sociais. O estabelecimento desse paradigma produtivo que prezava pela fabricação em série de baixa customização e poucos modelos disponíveis, mas a um custo acessível, lança as bases a um setor industrial marcado pela produtividade e o lucro, assim como, a uma sociedade permeada por uma mentalidade consumista. Como afirma Ribeiro (2015, p.9), “a grande inovação no aspecto ideológico foi o reconhecimento explícito de que: produção de massa significava consumo de massa.”

Apesar de estar presente e em maturação desde a segunda década do século XX nos Estados Unidos, o modelo fordista se consolida de fato após a Segunda Guerra Mundial. A eficiência da produção em série foi de encontro com as necessidades impostas pela reconstrução da Europa, sendo um ambiente fértil para disseminação e implementação mundial deste paradigma produtivo. Essa universalização, dado o perfil do fordismo, não se reteve aos ganhos produtivos, influenciando todas as camadas sociais ao introduzir novos padrões de consumo e um estilo de vida consumista que visa a realização pessoal na conquista de bens. (BATISTA, 2008)

Sendo assim, é possível compreender a grande relevância histórica deste movimento, que nascendo como uma administração científica na produção, transformou as relações humanas e a dinâmica da sociedade ao redor de todo mundo de forma tão intensa que, em alguma medida, se perpetua até os dias de hoje. Além disso, se constituindo como peça central para a expansão e desenvolvimento do capitalismo ao redor do mundo. (FRANCO, 2011)

## 2.5 TOYOTISMO

Após a Segunda Guerra Mundial, a economia global passa por uma fase de grande expansão, conhecida como Era de Ouro do capitalismo. Dado o fracasso das duras sanções impostas pelos ganhadores ao fim da Primeira Guerra Mundial, na década de 40, havia um consenso sobre a necessidade de haver um esforço de reconstrução que auxiliasse determinados países a se desenvolverem economicamente; assim, se tornando um ambiente fértil para transferência de tecnologia e para disseminação e implementação mundial do fordismo. Como consequência, diversos países do mundo, em especial os da Europa Ocidental e o Japão, vivenciaram uma fase de crescente ampliação da produtividade e de subsequentes relevantes taxas de crescimento econômico. (CONCEIÇÃO, 2012)

Entretanto, no final dos anos 60 tem-se uma guinada abrupta no estável cenário que já se perpetuava por mais de duas décadas. Ribeiro (2015), traz destaque a saturação do mercado de bens duráveis, setor que, baseado na produção em série, tinha alavancado o glorioso desempenho econômico e passou a ter taxas decrescentes de consumo; o que impacta diretamente a lucratividade e a produtividade das firmas. Este cenário exigiu ajustes por parte das indústrias, o que conduziu as principais economias a reduções nos investimentos e no crescimento do PIB, assim como, um aumento significativo no desemprego; elemento característico da economia mundial desde então. Somado a isso, ainda se teve os choques do petróleo nos anos 1973 e 1979 que intensificaram as instabilidades macroeconômicas, especialmente com o aumento da inflação que, além de corroer o poder de compra da população, também exigiu um aumento dos juros gerando intensa queda nos investimentos já reduzidos.

Evidencia-se assim, um contexto econômico extremamente adverso, que exigiu do setor produtivo uma difícil mudança de abordagem, posta a rigidez intrínseca ao sistema fordista. Por isso, foi necessário o abandono da padronização em larga escala em prol da integração da tecnologia e da busca pela personalização de seus produtos. A superação desta situação exigia a implementação de estratégias flexíveis que pudessem resultar no aumento da produtividade, na melhoria da qualidade, e na inserção de novos produtos e processos. Nesse sentido, um sistema produtivo que vinha sendo desenvolvido nas fábricas da japonesa Toyota desde o pós segunda guerra, ia de encontro a essa demanda, e havia

amenizado os impactos da crise sobre os negócios dessa empresa. (FARAH JR., 2000)

Na fase de reestruturação do Japão depois da guerra, se manifestava um cenário adverso ao paradigma de produção fordista, o mercado consumidor japonês era pequeno, a demanda muito variada, o capital escasso e as leis trabalhista muito rígidas, o que tornava inviável o alinhamento a esse modelo de produção em larga escala. Frente a essa realidade, Eiji Toyoda e seu engenheiro Taiichi Ohno tiveram que criar métodos inovadores para se adaptarem às condições hostis. (WOMACK; JONES; ROOS, 1992)

As indústrias no molde fordista tinham por característica um problema de demora excessiva para troca dos moldes que davam forma às peças; por exemplo, para que determinada fábrica de carros mudasse o modelo produzido era necessário pausa de dias para a troca meticulosa dos moldes. Para tal, Ohno desenvolveu técnicas simples e eficientes para realizar a mudança do bem produzido, utilizando carrinhos para transportar as formas com maior facilidade e alguns mecanismos de ajuste simples que aceleraram os encaixes; deste modo, os próprios operários da linha podiam realizar esse trabalho antes tão especializado e dispendioso. Além disso, a interrupção da produção era permitida para correção de falhas, eliminando os desperdícios e tornando possíveis ajustes no decorrer do processo, de modo que se passou a corrigir rapidamente erros de produção. Com essas transformações, se tornou viável uma produção em menor escala e que atendia, a custo competitivo, as demandas variadas e específicas. (WOMACK; JONES; ROOS, 1992)

Outra mudança emblemática é a transformação do modo como o trabalhador se relaciona com a produção, ao contrário do fordismo, onde cada funcionário cumpria uma função específica, a Toyota passou a organizar os funcionários em equipes e a treinar todos para cumprirem todas as funções dentro de determinada parte do processo produtivo da qual este grupo era responsável; eliminando assim a necessidade de um supervisor, posto que este rodízio de tarefas gerava uma “auto supervisão”. O trabalho repetitivo e especializado continuou sendo característico nesse modelo, mas a força de trabalho passou a ser polivalente e multifuncional sendo capaz de transitar por diversas partes da linha de montagem sem perda de produtividade. (BATISTA, 2008)

A última transformação central a ser destacada está relacionada com o sistema de abastecimento. A Toyota viu a necessidade de extinguir os quarteirões de estoques, fato muito comum dentro do fordismo, pois isso seria muito oneroso - visto que a demanda deles era muito variada e por isso não necessitavam de tantas peças de um só modelo. Para tal, fortaleceram as indústrias de abastecimento, responsáveis por fornecer peças como faróis e componentes eletrônicos, terceirizando partes da produção. Desta forma, via simbiose entre a indústria de montagem e de abastecimento, teve-se uma redução significativa no custo operacional auxiliando na manutenção de uma posição competitiva frente ao mercado. (DO CARMO, 2011)

A partir dessas mudanças, a Toyota foi capaz de superar os desafios impostos pelas especificidades de seu tempo constituindo um sistema de produção Just-in-time por lotes, produzindo o produto certo, na quantidade exata para uma demanda específica, com o menor custo operacional, na máxima produtividade, com alto controle de qualidade e uso intenso de tecnologia.

Frente à crise econômica, os diversos conglomerados industriais, em busca de soluções para reverter a queda na produtividade e acumulação, voltaram sua atenção para a incorporação de algumas características do modelo toyotista. Essa adaptação resultou em um profundo processo de flexibilização no mundo do trabalho, onde as indústrias reconfiguraram suas estratégias. A padronização em larga escala foi gradualmente substituída pela integração de tecnologia e pela tentativa de personalização dos bens produzidos; ou seja, por um modelo que focava em atender demandas mais específicas através de lotes reduzidos. Esse redirecionamento estratégico, ao buscar superar os desafios econômicos, trouxe uma troca de paradigma produtivo hegemônico, e por consequência, uma série de transformações de esfera social, cultural e econômica. (RIBEIRO, 2015)

## 2.6 TERCEIRA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

Conceição (2012), argumenta que todo período de crise estrutural no modo de produção capitalista evidencia o esgotamento do regime tecnológico vigente, de modo que emerge a necessidade de mudanças institucionais e estruturais na sociedade, gerando um ambiente favorável para consolidação de uma

nova onda de inovações tecnológicas que transforma estruturalmente a organização da produção, e por consequência a sociedade e a economia. Nesse sentido, identifica-se que a partir dos anos 70 se tem o início da Terceira Revolução Industrial ou Revolução Técnico-Científica.

No período em questão, ocorreu significativo avanço no desenvolvimento de circuitos eletrônicos e de novas formas de compartilhamento de informações, que juntos impulsionaram o crescimento global da economia. A microeletrônica e a informática emergiram como elementos centrais, propiciando diversas transformações e inovações ao processo produtivo, assim como um profundo impacto nas relações sociais. (FENERICK; VOLANTE, 2020)

Nesse cenário, tem-se o surgimento de surpreendentes inovações que redefiniram completamente o panorama tecnológico e marcaram uma era de descobertas revolucionárias, como a utilização de robôs nas indústrias, o desenvolvimento de foguetes de longo alcance, o avanço na biotecnologia e a exploração da energia atômica. Muitos produtos que tocam intimamente o dia a dia da população também surgem, destacando-se a criação de computadores, internet, caixas eletrônicos, telefones celulares, sistemas de GPS, tecnologia automotiva e softwares inovadores. Essas inovações transformaram profundamente o mercado, influenciando desde a agricultura até as linhas de montagem, transformando até mesmo o perfil do consumidor ao automatizar muitas atividades cotidianas. (PASQUINI, 2020)

No âmbito da indústria, a principal transformação, além da implementação de um modelo toyotista, está na utilização de maquinários robotizados com softwares embarcados que reduzem significativamente a força de trabalho necessária ao longo do processo produtivo e ampliam a produtividade que, na década anterior, vinha reduzindo a taxas crescentes. Com a inserção da robótica, e a alta adaptabilidade da planta industrial à produção de uma gama diversa de bens, as práticas fordistas são abandonadas em prol de métodos mais flexíveis. (CAVALCANTE, 2019)

A nova maquinaria utilizada permite um alto grau de diferenciação do produto, atendendo ao consumo proposto neste cenário contemporâneo. A competição não se dará necessariamente pela quantidade produzida (em larga escala) de cada empresa, mas sim pela capacidade que cada uma conseguirá desempenhar em atender as diferentes nuances do consumo. As empresas que se destacam a partir dessa transição precisam tornar a

produção um processo menos rígido, conduzindo assim seus produtos às demandas específicas de consumo, previamente estudadas desenvolvendo produtos que se diferenciem dos demais e que também propiciem o sentimento de novidade e alteração constante, em um cenário caracterizado por um consumo cada vez mais específico (PAULO, 2019, p. 57)

As complexas inovações eletrônicas não apenas redefinem os parâmetros tecnológicos, mas também exercem um impacto profundo na gestão empresarial. Os avanços tecnológicos rápidos e dinâmicos capacitam os equipamentos a processar, armazenar, distribuir e transmitir informações rapidamente através dos novos métodos de compartilhamento de dados. Nesse cenário, as informações se transformam em mercadoria valiosa, tornando-se um recurso estratégico para impulsionar a inovação nos mecanismos de gestão. A integração eficiente desses dados tem como objetivo principal a redução de custos e o fortalecimento da capacidade competitiva das empresas. Deste modo, observa-se que a aplicação dessas tecnologias avançadas impulsiona não apenas a eficiência operacional, mas também a adaptação ágil das firmas às demandas de um ambiente empresarial em constante evolução. (FARAH JR., 2000)

As empresas, nesse período, expandem suas operações globalmente, estabelecendo filiais em locais estratégicos para usufruir de diversas vantagens, como a disponibilidade de matérias-primas abundantes, mão de obra mais barata, normas ambientais e trabalhistas mais brandas e um mercado consumidor mais amplo. Em conjunto, estabeleceram um método que dividia entre firmas partes da produção para maior especialização, formando assim conglomerados industriais interconectados, onde as empresas colaboram e realizam trocas para a complementação de seus produtos; muitas vezes numa relação matriz filial que facilitava inclusive as transferências de lucro. Esse processo resultou em uma nova divisão do trabalho em nível global onde diversos países assumiram novas funções especializadas, estando nos países centrais as atividades de alta complexidade tecnológica, melhor remuneração e menor risco ambiental, e nos países mais periféricos as atividades de menor complexidade, menor remuneração e maior risco ambiental, como as indústrias de base. (SANTOS, 2022)

O conjunto das transformações destacadas ocasiona uma série de reflexos sobre a sociedade, em especial, as mudanças no mercado de trabalho. Com o advento do toyotismo, as empresas buscam trabalhadores multifuncionais, flexíveis às demandas da firma e mais capacitados a se relacionar com a tecnologia

implementada na linha de produção; isto, somado ao fato de que com a presença da robótica se torna necessária uma redução da utilização de força de trabalho. Como os sistemas de produção ficam cada vez mais sofisticados, a cada dia, um menor número de indivíduos será capacitado a operá-los. Deste modo, a influência sobre o mercado de trabalho se manifesta por duas vias, quantitativa e qualitativa. Este processo gera um crônico e estrutural desemprego que é característico das economias capitalistas desde então. Suas implicações sociais são muitas, afetando diretamente as relações de poder e a estabilidade social, por conta da insegurança e insatisfação de grande parcela da população. (PASQUINI, 2020)

Neste período também se manifesta um fenômeno abrangente de integração econômica, social e cultural em escala mundial, a globalização, que é impulsionada pela intensificação dos fluxos de capitais, mercadorias, pessoas e informações, mas que não se retém a esfera produtiva. Este processo está intrínseco ao avanço tecnológico na comunicação e nos transportes, que reduziu as barreiras geográficas e conectou diversas partes do mundo de maneira mais eficiente, promovendo uma troca diversificada de ideias, valores e modos de vida. Deste modo, identifica-se fortes repercussões de dimensão cultural, especialmente com o surgimento do pós-modernismo que influencia intimamente a arte e os costumes de diversas sociedades, e foi capaz de gerar pontos de interconexão entre as novas gerações em um processo de homogeneização cultural. (FRÓIS, 2004)

Sendo assim, entende-se que a Terceira Revolução Industrial se constitui como um processo amplo e abrangente que ocasionou diversas mudanças estruturais na sociedade e na economia. Se caracterizando pela mudança de paradigma produtivo com a difusão do toyotismo como método de organização da produção, direcionando o foco da atividade industrial para atender as demandas mais específicas dos consumidores; tanto que a competição empresarial passa a se manifestar não pela escala, mas na qualidade e diferenciação de produtos. Somado a isso, também se destaca a robotização do processo produtivo e o surgimento da indústria microeletrônica com sua infinidade de novos produtos e serviços que tocam intimamente no bem-estar da população ao automatizar processos cotidianos, assim como encurtar as distâncias através dos novos mecanismos de comunicação. (FARAH JR., 2000)

## 2.7 CONCLUSÃO

As revoluções ao longo da história nos remetem a um período de mudanças abrangentes em determinada sociedade, e as consequências dessas transformações desencadeiam mutações profundas em aspectos econômicos, sociais, culturais e políticos, redefinindo assim o curso da história. Tendo como recorte a sociedade capitalista moderna, um conjunto de revoluções industriais moldaram não somente a esfera econômica, ao estimular o crescimento e ampliar a produção, mas também catalisaram o desenvolvimento industrial e comercial, auxiliando no próprio amadurecimento e consolidação do capitalismo.

No final do século 18, na Inglaterra, se deu o início ao que se denomina Primeira Revolução Industrial, tendo a invenção da máquina a vapor como marco histórico. Isto porque, esse mecanismo foi capaz de recharacterizar a produção fabril ao transformar a matriz energética de trabalho físico para força mecânica. Deste modo, dinamizando a atividade industrial ao possibilitar a fabricação de uma ampla variedade de bens de forma mais rápida e eficiente; em especial, se destaca os grandes avanços na indústria têxtil, esta que se tornou símbolo deste período. (MARTINS; ALMEIDA, 2018)

No entanto, não apenas revolucionou os processos produtivos com a ampla implementação da manufatura mecanizada, alterou profundamente a organização social, econômica e cultural; transicionando o capitalismo comercial para o capitalismo industrial e consolidando as classes sociais do modo de produção. A Primeira Revolução Industrial estabeleceu as bases para as subseqüentes transformações tecnológicas e econômicas, moldando a trajetória da civilização moderna. (SANTOS, 2022)

A Segunda Revolução Industrial alcançou sua consolidação ao introduzir o conceito de produção em série direcionado para o suprimento dos grandes mercados consumidores, fato este que somado ao advento da eletricidade marcam o princípio desse processo de mudança nas estruturas manufatureiras, da qual se tem como marco histórico o início da segunda metade do século XIX. (FENERICK; VOLANTE, 2020)

Nesse período, esse avanço exponencial da indústria e das inovações se espalhou pelo mundo atingindo diversos países da Europa, assim como o Japão e os Estados Unidos. Caracteriza-se essa fase especialmente pela

mudança na fonte de energia principal - que era o vapor e passou a ser a eletricidade e o petróleo -, pois através dessa transformação houve um considerável avanço na produtividade industrial. Somado a isso, é importante destacar a transição do ferro para o aço, e os avanços nas comunicações e nos transportes, com o advento do telefone e das ferrovias. (CARDOSO, 2016)

Em conjunto, movimentos de gestão científica do trabalho se destacam, em especial o fordismo que emerge como fator explicativo das profundas transformações sociais características do período. Ao racionalizar o processo produtivo com a divisão e especialização do trabalho na linha de montagem automatizada, o fordismo lança bases à sociedade de consumo em massa e generaliza o acesso aos produtos industrializados. (SAKURAI; ZUCHI, 2018)

Entretanto, após a Era de Ouro do capitalismo, tempo marcado pela crescente ampliação da produtividade e pelas subseqüentes relevantes taxas de crescimento econômico, o mundo passa por uma forte crise econômica que põe em dúvidas os métodos vigentes. Nesse contexto, o toyotismo surge como opção ao propor um modelo que focava em atender demandas mais específicas através de lotes reduzidos com alta produtividade, lucratividade e flexibilidade. Esse redirecionamento estratégico, ao buscar superar os desafios econômicos, trouxe uma troca de paradigma produtivo hegemônico, e por consequência, uma série de transformações de esfera social, cultural e econômica. (RIBEIRO, 2015)

No mesmo período, década de 70, se dá o início da Terceira Revolução Industrial, posto o esgotamento do regime tecnológico vigente. Esta, por sua vez, foi caracterizada pelo advento da eletrônica, da informática, da robótica e pela inserção destas na produção industrial. A aplicação destas tecnologias permitiu o surgimento de novos produtos e serviços que tocam intimamente no bem estar da população, especialmente através dos novos mecanismos de comunicação. (CONCEIÇÃO, 2012)

Tendo o exposto em consideração, é possível observar o fluxo contínuo de evolução entre as revoluções industriais. Este fato é importante pois estes processos envolvem uma evolução e expansão contínua que - apesar de possuir picos que caracterizam o marco histórico de cada período - não são fases desconexas, mas sim se constituem como um processo histórico longo e conexo que tem ocasionado grandes e expressivas transformações econômicas e sociais. (CAVALCANTE, 2019).

Outro fator interessante de se destacar é que cada um desses períodos é caracterizado pelo advento de novas tecnologias de caráter disruptivo que acabam por gerar um grande avanço nas inovações e alterar de modo agressivo a forma como a produção industrial está organizada; fato este, que acaba por transformar as relações econômicas e sociais vigentes naquele território. (PASQUINI, 2020). Nesse sentido, compreendendo a relevância que tecnologias disruptivas possuem para a ascensão das Revoluções Industriais, é possível observar que assim como o advento da força mecânica da máquina a vapor está para a Primeira Revolução Industrial, a eletricidade está para a Segunda Revolução Industrial, e a eletrônica e tecnologia da informação estão para a Terceira Revolução Industrial.

Entretanto, um fenômeno relevante tem sido foco de análise de diversos estudiosos. Na década de 2010, um notável processo de transformação da produção manufatureira tem se manifestado, resultado da integração de tecnologias digitais inovadoras. Essas tecnologias estão conduzindo as indústrias não somente a reconfigurar suas abordagens produtivas, mas também a repensarem seus métodos de gerenciamento, formulação de conceitos, e planejamento do processo produtivo. As influências dessas mudanças transcendem os limites das plantas industriais, impactando substancialmente as relações socioeconômicas e a dinâmica da sociedade. Este movimento tem sido chamado de “Indústria 4.0”, é considerado por muitos, apesar das controvérsias, como a Quarta Revolução Industrial; a qual, para compreensão, dedica-se o próximo capítulo (STANCIOIU, 2017)

### 3 INDÚSTRIA 4.0

Na última década tem-se identificado um processo de transformação na produção manufatureira, fruto da inserção de inovadoras tecnologias digitais que estão conduzindo as indústrias não apenas a uma transformação no modo de organizar a produção, mas também na forma de gerir, pensar, idealizar e planejar o processo produtivo. Essas influências, refletem inclusive em aspectos além da planta industrial ao gerar transformações nas relações socioeconômicas, como por exemplo, no perfil de consumo, na dinâmica do mercado de trabalho e na construção de novos setores na economia. (STANCIOIU, 2017)

Tendo em perspectiva a amplitude e relevância desse processo, muitos pesquisadores entendem que a sociedade moderna está adentrando em uma nova revolução industrial, e esse movimento tem sido chamado de “Indústria 4.0”. De modo geral, apesar das controvérsias, compreende-se essa como uma nova fase de evolução da atividade industrial, que faz parte de um processo histórico longo, contínuo e conexo que se desenrola desde os primórdios da sociedade moderna capitalista; vê-se esse novo ciclo como uma evolução natural dos sistemas industriais anteriores. (TEIXEIRA, 2019)

Este termo, ou apelido dado ao que acredita-se ser a quarta revolução industrial, tem como origem o nome dado a um inovador projeto estratégico de política industrial incluído, pelo governo alemão em 2012, no Plano High Tech 2020. Plano este, que tinha como principal objetivo implementar projetos de informatização da indústria capazes de conduzir a Alemanha à liderança global na produção de bens de mais alta complexidade tecnológica. Após isso, diversos países - como Estados Unidos, China, Coreia do Sul e Japão - também apresentaram planos de política industrial focados na manufatura inteligente, compreendendo a relevância da inserção de equipamentos “high tech” no processo produtivo. Os planejamentos desenvolvidos pelos países centrais para o setor industrial na última década tiveram, e continuarão, devidamente alinhados a essa nova fase de aperfeiçoamento das manufaturas. (LUCENA et al, 2020)

Na análise já apresentada de Conceição (2012), que defende que períodos de crise estrutural no sistema de produção capitalista revelam o esgotamento do atual regime tecnológico - gerando um ambiente favorável para consolidação de uma nova onda de inovações tecnológicas -, permite compreender

que esse movimento de evolução da atividade industrial surge como resposta às necessidades de seu próprio tempo.

Sob essa ótica, Santos e outros (2018), afirmam que a indústria 4.0 se revela como resposta a diversas demandas do setor comercial, como por exemplo: (1) a necessidade de lançar novos produtos rapidamente; (2) a busca por produtos personalizados; (3) a demanda por produtos cada vez mais específicos e personalizados. Como exposto por Hwang (2016, p.12), “no setor comercial, a rigidez está fora de moda, a flexibilidade está na moda; a rigidez está fora, a agilidade está em alta. A lentidão está fora e a rapidez está em alta.”

Do mesmo modo, em uma “via de mão dupla”, assim como as demandas do setor comercial geram confrontos ao setor produtivo via mudanças no perfil da demanda, o setor produtivo, por sua vez, ao andar em inovação na busca por ampliar a produtividade e a eficiência, gera influências sobre a referida demanda ao demonstrar capacidade de sustentar uma oferta cada vez mais flexível e adaptativa. Ficando assim claro como que a própria evolução contínua das tecnologias e da atividade industrial produz e responde as demandas advindas da sociedade. (SANTOS et al., 2018)

Dentro desse enfoque, no intento de sintetização do processo histórico, observa-se que assim como na Primeira Revolução Industrial a força mecânica gerada pelo vapor ocasionou uma desmantelamento do modelo de manufatura artesã em prol de um processo de industrialização; e na Segunda Revolução Industrial a força mecânica gerada pela eletricidade e petróleo desencadeou a massificação da indústria; e na Terceira Revolução Industrial a inserção da eletrônica e das tecnologias de informação no processo produtivo originaram uma automatização; na Quarta Revolução Industrial, ou na Indústria 4.0, a inserção da internet e inovadoras tecnologias digitais - em especial o advento da capacidade de conjecturar e analisar grandes bases de dados - estão desencadeando um processo de digitalização da indústria. “Os dados constituem o material desta quarta revolução industrial.” (BUHR, 2017, p. 5).

Posto isso, entende-se como central, característico e definidor da Indústria 4.0, um processo de digitalização das plantas industriais. Em primeira análise, talvez não pareça tão disruptivo a incorporação de novas tecnologias digitais no processo produtivo, no entanto, a concatenação de certos dispositivos e sistemas tem ampliado a flexibilidade e produtividade, melhorado a qualidade dos

produtos e reduzido os custos da manufatura; faz-se destaque especialmente à flexibilização da produção, que se trata de um aumento da capacidade que a planta industrial possui de se adaptar à fabricação de distintos bens. (STÂNCIOIU, 2017).

“[A Indústria 4.0] abrange um conjunto de tecnologias de ponta ligadas à internet com objetivo de tornar os sistemas de produção mais flexíveis e colaborativos. Nessa abordagem, as máquinas usam auto-otimização, auto-configuração e até mesmo inteligência artificial para completar tarefas complexas, a fim de proporcionar eficiências de custo muito superiores e bens ou serviços de melhor qualidade. Através da implementação generalizada de sensores no ambiente de produção, os mundos físico e virtual fundem-se, dando origem aos Cyber Physical Systems (CPS). Esses sistemas conectados através da Internet of Things (IoT) interagem uns com os outros, usando protocolos padrão baseados na internet, e analisam dados para prever falhas e adaptar-se às mudanças.”(SANTOS et al, p. 112, 2018)

Neste cenário, a internet está no centro do paradigma produtivo, a fabricação gira em torno das conexões entre os distintos aparelhos, maquinários e sistemas que estão empenhados no decorrer da linha de produção. Essas conexões acontecem em tempo real e geram um conjunto de informações que se tornam matéria prima central deste novo tempo. As máquinas são capazes de assimilar conhecimento e realizar a análise dessas bases de dados através do uso de inteligência artificial, e assim, é possível ter-se previsões mais assertivas sobre o processo produtivo - o que reduz a margem de erro e conseqüentemente custos. Os sistemas monitoram a linha de montagem garantindo que os parâmetros de produção pré-estabelecidos sejam cumpridos, reduzindo custos e ampliando a flexibilidade, a produtividade e a qualidade dos bens fabricados. Além disso, conseguem realizar autoanálises e informar a necessidade de manutenção preventiva aos técnicos, evitando desperdício de tempo e recursos. (RIBEIRO, 2018).

Exemplificando, ao inserir-se tecnologias digitais ao longo da cadeia produtiva, é possível, por exemplo, com um sistema de identificação de radiofrequência (RFID) nos produtos e peças, que as máquinas gestionem o estoque com alta eficiência, baixa margem de erro, pouca perda e com alta rotatividade, de modo que se evite o acúmulo de peças desnecessárias. Além disso, como cada peça pode ser distinguida, é possível identificar e isolar peças com defeitos enquanto ainda estão na linha de montagem; assim como, quando já estiverem com o consumidor final e apresentarem alguma irregularidade, serem facilmente

identificadas para reparo - este último aspecto é muito relevante para a indústria automobilística. (FILHO; MUSSIO, 2021)

Como demonstrativo da alta capacidade de flexibilização e adaptabilidade do processo produtivo, Eberhard Klotz<sup>1</sup>, relata que até 2016 as fábricas da Festo na Alemanha eram equipadas com máquinas modulares, que possuíam um sistema de controle central independente onde estavam definidas as ações que a máquina deveria realizar para produção de determinado lote de certo produto. Neste modelo de produção, para realizar a troca de lotes de produção eram necessárias horas para reprogramar as máquinas e reordenar certos aspectos do processo produtivo. No ambiente da Indústria 4.0 onde as máquinas, apesar de modulares, estão interconectadas em tempo real via protocolos de comunicação web, uma troca de lotes de produção pode ser realizada em menos de um minuto. Somado a isso, neste ambiente as máquinas além de possuírem alta flexibilidade, possuem alta adaptabilidade para inserção de novas tecnologias e novos produtos à planta produtiva.

Essa nova abordagem de organização da manufatura, que concretiza e unifica as possibilidades e tecnologias acima mencionadas, têm se manifestado através do surgimento de fábricas inteligentes, mais conhecidas como “smart factories”. São plantas industriais caracterizadas pela autonomização das tomadas de decisão, e que se constituem como a própria materialização da digitalização da indústria. A construção destas se dá especialmente via implementação de dez avanços tecnológicos fundamentais, os pilares da I4.0.

### 3.1 DEZ PILARES DA INDUSTRIA 4.0

Em meio a essa evolução e transição em andamento no setor industrial, diversos autores (RÜßMANN et al., 2015) (CARDOSO, 2016) (SANTOS et al., 2018) (BAHRIN et al., 2016) destacam a existência de nove avanços tecnológicos fundamentais, um conjunto de tecnologias que denominaram pilares da indústria 4.0; sendo estas: (1) Internet das Coisas, (2) Big Data, (3) Computação nas

---

<sup>1</sup> Informação verbal concedida por Eberhard Klotz, Head de Indústria 4.0 da Festo, em entrevista ao Valor Econômico. Disponível em: <<[https://youtu.be/9ce7P\\_SVlCo?list=LL](https://youtu.be/9ce7P_SVlCo?list=LL)>> Acesso em: 19 jun. 2023.

Nuvens, (4) Robótica Autônoma, (5) Manufatura Aditiva, (6) Simulação, (7) Cibersegurança, (8) Realidade Aumentada, (9) Integração de Sistemas.

Entende-se que a devida implementação desses nove pilares é essenciais para a transição de um ambiente de produção tradicional para o ambiente digitalizado e flexível, pois lançam fundamento ao que se entende como fábrica inteligente e exploram os benefícios técnicos e econômicos da digitalização da indústria. De certo modo, essas tecnologias são definidoras da I4.0 e se constituem como parte essencial desta e de todo esse processo de evolução da atividade industrial. (FILHO; MUSSIO, 2021)

Nesta seção pretende-se realizar um esforço de explicação de cada um dos pilares, dedicando uma subseção para cada. Como será visto, algumas dessas tecnologias já fazem parte do atual padrão de produção, entretanto a grande mudança está nas tecnologias que estão sendo embarcadas a essas, o que as permitem transformar as relações tradicionais de produção. A figura abaixo apresenta os nove pilares, e especialmente, destaca a interconexão entre esses, aspecto relevante pois é o conjunto, a soma das tecnologias, que caracteriza a I4.0.

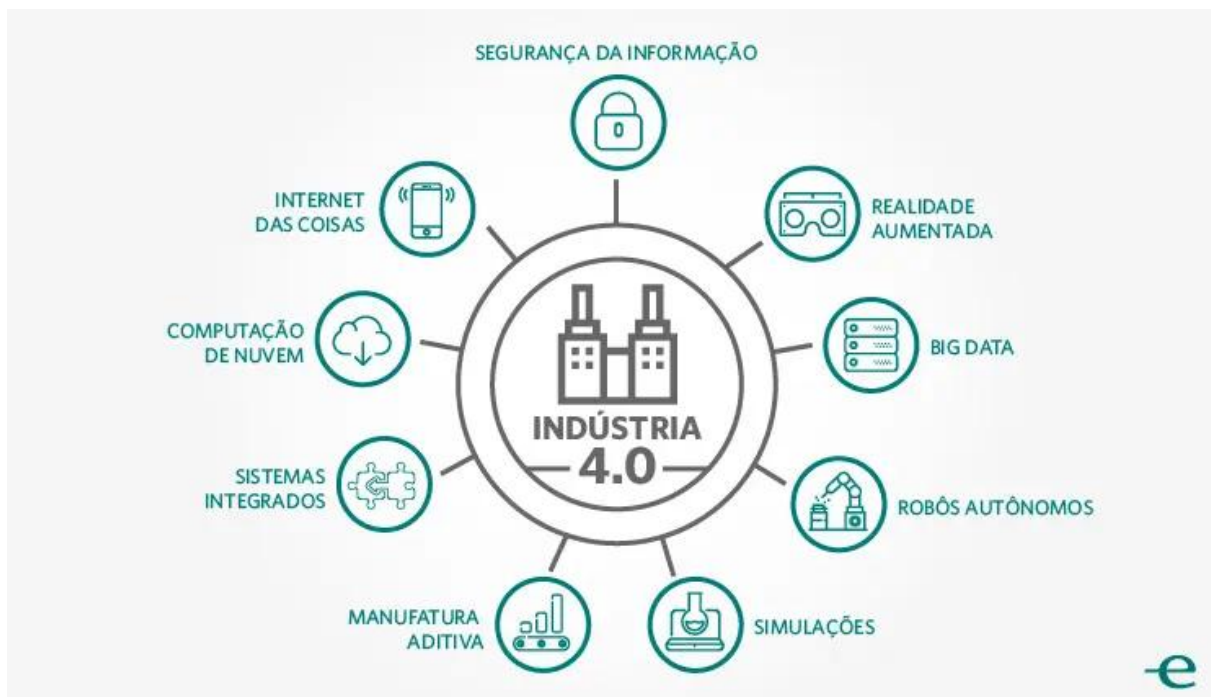


Figura 1 - 9 pilares da Indústria 4.0  
Fonte: LWT Sistemas<sup>2</sup>

<sup>2</sup> Figura obtida no portal LWT Sistemas. Disponível em: <  
“<https://www.lwtsistemas.com.br/2018/06/04/10-pilares-da-industria-4-0/>”> Acesso em: 16 ago. 2023.

Faz-se um adendo, pois baseado em (MARTINS; ALMEIDA, 2018), (HWANG, 2016) e (DA SILVA, 2018) vê-se os Sistemas Ciber-Físicos como basilar e essencial na implementação da I4.0. Por isso, se destinará uma subseção para a exposição dessa tecnologia assumida como um décimo pilar.

### 3.1.1 Internet das Coisas / Internet of Things (IoT)

A Internet das Coisas (IoT) emerge como uma tecnologia fundamental para a interseção entre o mundo real e virtual. Através de sensores inteligentes que se conectam, é possível a troca de informações e a coleta de dados em tempo real, que permite a integração de objetos e sistemas por meio de conexões em rede; assim como, o monitoramento do processo produtivo e, por consequência, a facilitação do desenvolvimento de ajustes automáticos das operações. Por meio de protocolos de internet próprios, os dispositivos com essas tecnologias embarcadas podem trocar informações de maneira autônoma; e com o processamento e aplicação desses dados, se identifica redução dos custos, melhoria da eficiência da produção e aperfeiçoamento da gestão de estoque, de modo que todo o processo produtivo e não apenas a linha de montagem se torna mais eficiente. (DIAS; LOPES, 2021)

De modo geral, a IoT se constitui por objetos tecnológicos embarcados em partes da manufatura que, ao estarem conectados à internet, são capazes de interagir um com o outro, concatenar e processar dados. Sendo que a análise desses dados - que é realizada por outras tecnologias que serão abordadas em outra subseção -, são capazes de trazerem benefícios não apenas para a indústria, mas para toda a cadeia de suprimento e conseqüentemente, a economia num todo. Como expresso por Vermesan e outros (2014, p.8), o objetivo principal da utilização da IoT é: “permitir que as coisas sejam conectadas a qualquer hora, em qualquer lugar, com qualquer coisa e qualquer pessoa, idealmente usando qualquer caminho/rede e qualquer serviço”.

A aplicação desses conceitos à indústria é o que tem dado origem às fábricas inteligentes, pois são manufaturas que ao possuírem máquinas, ferramentas e equipamentos “inteligentes” podem por exemplo memorizar o processo produtivo e

identificar possíveis erros ainda na linha de montagem. Além disso, diversas fábricas podem estar conectadas, via internet, umas com as outras, gerando assim complexos ecossistemas industriais que intercambiam informações e conhecimentos de forma autônoma, instantânea e eficiente. (SANTOS, 2019)

Entretanto, apesar de ser relevante compreender como a introdução das IoT's influenciam de modo macro, é relevante observar como suas implicações atingem aspectos simples tanto do processo produtivo quanto da vida cotidiana das pessoas. Por exemplo, baseado nas informações geradas pelos maquinários, é possível observar o desgaste de componentes e a degradação do próprio equipamento; o sistema é capaz de automaticamente identificar isso e informar ao responsável a necessidade de manutenção preventiva, evitando assim desperdícios de tempo e recursos, otimizando as operações. (DA SILVA, 2018).

Um equipamento que, representa a implementação desses conceitos, por já estar sendo amplamente utilizado, é o de identificação por radiofrequência (RFID - sigla em inglês), que consiste um pequeno item - que é embarcado em cada peça já no início do processo produtivo - do qual as estações de trabalho tanto humanas quanto robóticas podem, ao identifica-lo, ter acesso a informações concernentes a produção deste. Apesar de parecer algo simples, pois o QR Code e o código de barras também identificam produtos, o RFID é revolucionário pois ao funcionar via radiofrequência não necessita estar exposto na parte externa do item, e sendo um componente eletrônico, que se comunica com um protocolo próprio e criptografado, não pode ser alterado e é preservado mesmo após anos de uso pelo consumidor final; permitindo assim, que o fabricante tenha acesso às informações relevantes sobre o produto até mesmo após anos de uso. (BROWN, 2007)

Rüßmann e outros (2015), traz um exemplo de como essa tecnologia pode influenciar no processo produtivo:

Cada peça produzida receberá um código de identificação distinto ou até mesmo um pequeno microcomputador embarcado, do qual robôs autônomos retirarão informações que ditarão os próximos passos da produção. Essas instruções serão mais "objetivas" do que as atuais centradas em tarefas. O robô receberá instruções para fazer um furo em um determinado local, selecionar a ferramenta certa e determinar como atingir esse objetivo, em vez de obter instruções precisas para girar os diferentes segmentos do braço do robô. Ao perseguir sua diretriz mais objetiva, ele pode interagir com outros robôs para coordenar seus respectivos

movimentos de braço, de modo a maximizar a produção geral. Também pode funcionar lado a lado com os humanos (RÜßMANN et al., 2015, p. 8)

Sendo assim, em esforço de resumo, entende-se que a IoT desempenha um papel essencial na transformação da indústria 4.0, proporcionando a conexão entre o mundo físico e virtual. Através de sensores inteligentes, análises avançadas e automação inteligente, a IoT impulsiona a eficiência, a produtividade e a inovação nas operações industriais. À medida que esse conceito continuar a evoluir e a ser mais difundido e implementado no processo produtivo, a indústria moldará um futuro digitalizado, conectado, autônomo e flexível; muitos são os benefícios e oportunidades que surgirão dessa interação digital.

### 3.1.2 Big Data

O conceito de Big Data representa um conjunto de técnicas de tecnologia da informação utilizadas para trabalhar com grandes quantidades de dados, abrangendo aspectos de armazenamento, processamento, manipulação e análise. Aplicado na indústria, tem relação direta com a IoT, pois todos os dados produzidos pelos diversos sensores embarcados nas peças precisam não apenas serem armazenados, mas utilizados de modo a auxiliar no processo produtivo. Atualmente grande parte desses serviços têm sido oferecidos remotamente através da computação em nuvem. (BAHRIN et al., 2016)

Através das técnicas de Big Data, este vasto volume de dados provenientes de diversas fontes é processado em tempo real e contribui com informações que auxiliam na tomada de decisões e no planejamento estratégico das empresas. Traz consigo diversos reflexos positivos para a indústria ao auxiliar na redução de custos, do tempo de produção, na energia empenhada e na manutenção das máquinas. Somado a isso, através de padrões identificados na análise dos dados, é capaz até mesmo de prever produtos que possivelmente estão com defeitos e sugerir correções nos procedimentos. (CARDOSO, 2016)

Como destacado por Santos (2019), esse conjunto de técnicas ao se conectar com as mais variadas tecnologias da I4.0, se constitui como fundamental para implementação das referidas evoluções na indústria. Sendo uma estrutura de

computação instantânea, fornecida e gerenciada pela internet, acaba por desempenhar um papel de facilitadora nas fábricas inteligentes.

Em resumo, o Big Data transcende a simples manipulação de grandes volumes de dados, se constituindo como uma poderosa abordagem que influencia a indústria moderna num todo, ao impulsionar a autonomização e descentralização das tomadas de decisões, otimizando a produção e servindo como alicerce para a evolução da Indústria 4.0.

### 3.1.3 Robótica Autônoma

No modelo vigente de organização do processo produtivo, os robôs são utilizados para executar tarefas repetitivas, programados para realizar as mesmas atividades e obedecer aos mesmos parâmetros específicos para o qual foram produzidos; possuem uma programação fixa. Por outro lado, na I4.0, os robôs estão assumindo outra identidade, e se tornando autônomos, flexíveis e cooperativos. Neste modelo, os maquinários possuem a capacidade de compreender o ambiente e se adaptar às situações, realizando movimentos que não foram especificamente programados, tendo liberdade para efetivar decisões. Viabiliza-se assim uma linha de produção extremamente flexível que se adapta rapidamente a produção de itens distintos, permitindo que a indústria se ajuste a uma demanda cada vez maior por produtos customizados e lotes únicos. (TANTAWI et al., 2019)

Por exemplo, os equipamentos fixos de solda usados atualmente no processo de soldagem se desenvolverão em robôs industriais adaptativos que podem segurar e girar cada peça de acordo com os requisitos individuais dos robôs de soldagem. Como resultado, as empresas poderão produzir vários modelos de carros com diferentes estilos e designs de carroceria usando uma linha de produção flexível. (RÜßMANN et al., 2015, p.10)

Uma capacidade em especial se destaca ao pensar no ambiente industrial que implementa a robótica autônoma, a habilidade de trabalhar junto com seres humanos e outros maquinários sem que seja necessário áreas de serviço isoladas para cada agente produtivo. Por serem dotados de sensores, esses equipamentos podem adaptar seus movimentos à presença de um ser humano,

controlando autonomamente a velocidade e força de seus movimentos, e assim gerando um ambiente seguro. Fato interessante é que, por ter em si embarcado aspectos de IoT e big data, também são capazes de aprender com os seres humanos, aperfeiçoando seus movimentos e processos. (VERMESAN et al., 2014)

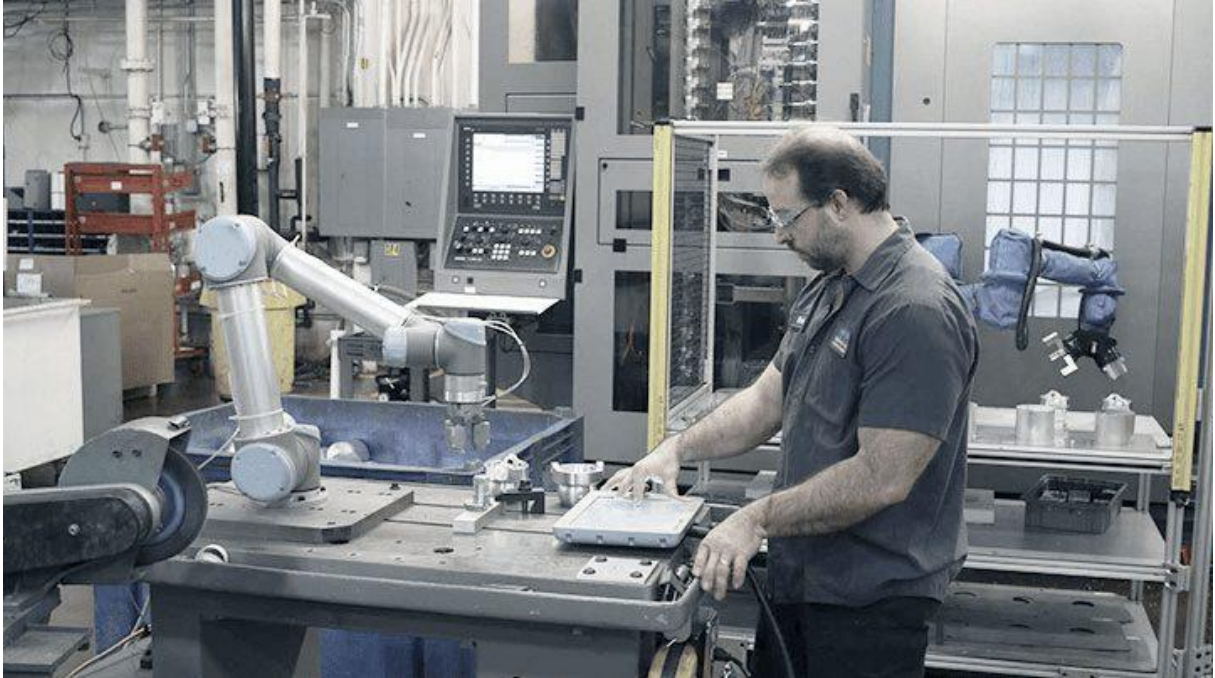


Figura 2 - Robótica autônoma  
Fonte: LWT Sistemas<sup>3</sup>

Nesse sentido, Bahrin e outros (2016) traz a destaque o Kuka LBR iiwa e o Bosch APAS, dois sistemas robóticos autônomos que foram pioneiros no mercado e estão sendo utilizados por diversas fábricas, especialmente na Alemanha. Estes equipamentos possuem um software que visa tornar seguro o ambiente de trabalho através de câmeras que fazem um mapeamento 3D da área, e com a implementação de protocolos avançados que ajudam a evitar incidentes com humanos. Outra funcionalidade que se sobressai é a capacidade de serem controlados remotamente, assim um funcionário pode desde sua residência solucionar problemas sem a necessidade de deslocamento e sem atrapalhar o andamento da produção por longos períodos. Estes robôs em destaque foram pioneiros, e uma nova geração já tem surgido, com mais tecnologias e funcionalidades embarcadas.

---

<sup>3</sup> Figura obtida no portal LWT Sistemas. Disponível em:<  
“<https://www.lwtsistemas.com.br/2020/01/06/robos-colaborativos/>”> Acesso em: 16 ago. 2023.

Em síntese, os robôs autônomos são máquinas aptas a executarem tarefas de maneira inteligente, sendo dotadas da capacidade de analisar as distintas situações a que são expostas, priorizando sempre a segurança, a versatilidade e a colaboração. Esses equipamentos dotados de IoT, Big Data e outras tecnologias, auxiliam no processo de amadurecimento e consolidação da I4.0. A constante evolução desses maquinários auxiliará o setor industrial especialmente na flexibilização da produção para atender a crescente demanda por lotes personalizados.

Exemplificando a polivalência da aplicação desses equipamentos, e a alta difusão desses bens, os primeiros cães-robôs vão começar a operar no Brasil na Itaipu Binacional, através de uma parceria da Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI) e o Parque Tecnológico Itaipu (PTI). Esses equipamentos, que ganharam notoriedade por serem usados pela polícia de Nova York, vão ser utilizados em operações autônomas e controladas que envolvem situações de risco, como inspeções a infraestruturas críticas.<sup>4</sup>

### 3.1.4 Manufatura Aditiva

A manufatura aditiva constitui-se como um método de fabricação que é realizado através de um processo de adição de material camada por camada, por um movimento de sobreposição sucessiva de camadas de material, ou seja, uma impressão tridimensional. Esta tecnologia é extremamente relevante pois, por ser intrinsecamente versátil, é capaz de produzir pequenos lotes de bens personalizados e complexos dispensando a necessidade de usinagem de peças em escala - tudo é criado digitalmente. A impressão 3D favorece o desenvolvimento de design únicos, de modo que além de flexibilizar a produção, também complexifica e especializa esta. As possibilidades são muitas, pois é possível fabricar desde pequenas e detalhadas engrenagens, até maquetes e próteses de membros do corpo humano. (CAVALCANTE, 2019)

Acredita-se que este tipo de produção poderá ser difundido e usado em grande escala, entretanto ainda existem muitas barreiras, tanto físicas, quanto

---

<sup>4</sup> Informação publicada pelo portal Bem Paraná. Disponível em: <<<https://www.bemparana.com.br/tecnologia/itaipu-recebe-caes-robos-que-vaio-atuar-em-inspecoes-de-ambientes-perigosos/>>>. Acesso em: 17 ago. 2023

de velocidade. Atualmente as impressoras não são tão grandes e por consequência as peças possuem uma limitação de tamanho, e esses equipamentos ainda não são tão exatos, de modo que a taxa de imprecisão está acima do adequado ao se pensar numa produção em larga escala. Outro aspecto, é a limitação de materiais que podem ser usados na construção dos itens, as impressoras não funcionam com qualquer insumo.(SANTOS et al., 2018)

Apesar disso, as perspectivas são boas, e esta tem sido uma tecnologia muito estudada pois é capaz de alterar intensamente as relações socioeconômicas vigentes, podendo descentralizar a produção, beneficiando regiões distantes dos grandes centros. A série “Periféricos” produzida pela Amazon Studios e pela Warner Bros explora essa possibilidade no cotidiano dos seus personagens que vivem em um ambiente futurista. Em uma cidade do interior, tem uma loja com manufaturas aditivas, e ao invés da população comprar certos bens em varejistas, compram uma espécie de pacote online que é direcionado a essa empresa local que fabrica o produto. Em um episódio da série, uma prótese de perna, está disponível rapidamente. Um aparelho escaneia, reconhece as medidas e projeta automaticamente o modelo que vai ser manufaturado para aquele indivíduo específico.

Mesmo se tratando de uma ficção científica, é interessante observar os longínquos panoramas que esse mecanismo possui, e através da arte podemos vislumbrá-los. Estas hipóteses possuem lastro na realidade ao se observar as crescentes vendas de impressoras 3D para pessoas físicas que estão projetando e imprimindo em casa objetos personalizados para suas necessidades.



Figura 3 - Impressora 3D industrial  
Fonte: StyloUrbano<sup>5</sup>

### 3.1.5 Computação nas Nuvens

A computação nas nuvens consiste no conjunto de serviços fornecidos via acesso à internet, que torna desnecessária infraestrutura física no local para que o usuário faça uso do serviço. O principal serviço oferecido é o de armazenamento, e basicamente, através de qualquer dispositivo com conexão a internet o usuário tem como acessar seus arquivos que foram armazenados em servidores mantidos por algum provedor. Outro serviço que tem se tornado comum é o de licença de software, pois existem programas que os computadores pessoais não detêm hardware suficiente para realizar as atividades desejadas pelo usuário, então ele pode realizar esse serviço em um servidor e apenas receber o resultado. Esse serviço é muito comum em análise de big data, pois o conjunto de dados, por ser muito grande, exige computadores de alta performance para realizar as análises. (CARDOSO, 2016)

Este recurso tem sido utilizado pelo setor industrial especialmente para reduzir os custos com servidores e com o setor responsável apenas pela gestão dessas infraestruturas de TI. Inclusive, muitas empresas especializadas no

<sup>5</sup> Figura obtida no portal StyloUrbano. Disponível em:<  
“<https://www.stylourbano.com.br/massivit-3d-produz-impressora-3d-para-objetos-em-grande-escala/>”> Acesso em: 16 ago. 2023.

fornecimento de serviços em nuvem têm ganhado fatias relevantes de mercado, vendendo seu produto não apenas para as grandes indústrias, mas generalizando o acesso a softwares que antigamente estavam restritos a firmas com grande capacidade de investimento. As pequenas indústrias que antes não conseguiam despendar grandes gastos em infraestrutura necessários para inserir novas tecnologias no processo produtivo, podem acessar certos recursos via protocolos web. (CAVALCANTE, 2019)

### 3.1.6 Cibersegurança

Como é possível observar, dado todo o conteúdo exposto, a conexão web é central e definidora da I4.0, e isto, apesar de trazer diversas e relevantes modificações positivas, traz um risco às empresas caso ocorra alguma invasão virtual aos sistemas. Frente a isso, a cibersegurança se apresenta como artifício essencial na proteção dos sistemas digitais e, conseqüentemente, para a consolidação da I4.0. No mesmo passo que evoluem as tecnologias, e a conectividade aumenta, os sistemas de cibersegurança necessitam ser desenvolvidos. Na atual conjuntura, até mesmo usinas nucleares têm feito uso de sistemas online, e uma invasão a algum destes sistemas poderia significar uma catástrofe. (SANTOS, 2019)

Em decorrência desse fator, os países e empresas têm investido fortemente em cibersegurança, em busca de protocolos de comunicação confiáveis e invioláveis, assim como no desenvolvimento de mecanismos de identificação seguros que resguardem os acessos aos sistemas e os protejam de invasões. (SZULEWSKI, 2016)

### 3.1.7 Simulação

Outra ferramenta que tem sido muito utilizada no âmbito da I4.0 é a simulação virtual de cenários reais. Basicamente, essa abordagem se baseia na capacidade de gerar a simulação dos processos industriais. Ao inserir em softwares os parâmetros específicos da linha de produção em análise - definindo maquinários, processos, tipo de produto, entre outras informações pertinentes -, este é capaz de

extrair análises sensíveis. Todas as operações da fábrica podem ser virtualizadas e simuladas. Isto traz a possibilidade de testar as configurações dos equipamentos e a organização do processo industrial antes mesmo de implementá-lo. (CARDOSO, 2016)

Vermesan e outros (2014), traz a destaque um produto fornecido pela Siemen, conglomerado industrial alemão, que é uma máquina virtual - acessada via computação em nuvens - capaz de através dos dados do equipamento físico simular situações de usinagem de peças, identificando as configurações ideais para fabricação do item em questão, e reduzindo em até 80% o tempo necessário para configurar a máquina física. Outra aplicação que tem sido estudada é o uso de simulações em tempo real, em paralelo com a produção, para que os operadores possam ir testando as configurações e tomando decisões mais assertivas quanto aos próximos lotes que serão produzidos.

### 3.1.8 Realidade Aumentada

A realidade aumentada se apresenta como um mecanismo que torna “real” objetos virtuais, integrando os dois ambientes e auxiliando na cooperação entre humanos e máquinas ao gerar um enriquecimento da experiência visual e interativa do usuário. Esses equipamentos fazem uso da realidade concreta e a sobrepõem com informações digitais, como imagens, texto, animações e objetos 3D. As possíveis aplicações dessa tecnologia são muito diversas, e estão alargando o panorama da relação homem-máquina, permitindo por exemplo que um operário realizando um serviço de manutenção externa possa receber em seu campo de visão informações em tempo real sobre a manutenção do equipamento que está apresentando problemas, reduzindo assim custos e tempo despendidos em certas atividades. (SANTOS et al., 2018)

Nesse mesmo sentido, mas aplicado à linha de produção, um trabalhador que esteja fazendo uso de um óculos de realidade aumentada pode ser provisionado de informações a respeito do item que está produzindo, ou alertas de segurança, ou indicações em 3D do local onde a peça deve ser encaixada. Ou seja, sem a necessidade de uma tela, com liberdade de movimento e de modo extremamente interativo o operador pode ser auxiliado em suas atividades. Uma

aplicação muito comum tem sido o treinamento virtual, onde o trabalhador pode aprender e exercitar suas interações com as máquinas em um ambiente 3D virtual, compreendendo como deve proceder nas atividades de configuração, manutenção ou de emergência. (RüßMANN et al., 2015)



Figura 4 - Realidade aumentada  
Fonte: Portal Pessoal de Luiz Martins<sup>6</sup>

### 3.1.9 Integração de Sistemas

A integração de sistemas se trata do alinhamento dos distintos e complexos sistemas digitais empenhados no processo produtivo, conectando a linha de produção com os setores corporativos das empresas, facilitando assim o desenvolvimento de novos produtos. Além disso, este conceito não está restrito ao nível industrial, mas é aplicável a toda cadeia, conectando fornecedores, fabricantes e consumidores. Essa abordagem está superando as barreiras do modelo tradicional, permitindo que empresas alcancem um controle mais completo sobre seus processos, promovendo a colaboração entre parceiros e aproveitando os dados gerados via IoT. (BAHRIN et al., 2016)

<sup>6</sup> Figura obtida no portal pessoal de Luiz Bravo Martins no LinkedIn. Disponível em: <  
“<https://pt.linkedin.com/pulse/realidade-aumentada-na-industria-40-luis-bravo-martins>”> Acesso em: 16 ago.  
2023.

A grande barreira para consolidação de uma maior integração na cadeia produtiva é a dificuldade de comunicação que muitos equipamentos e sistemas possuem pela falta de um protocolo único de comunicação - os fabricantes utilizam padrões diferentes. Na própria unidade produtiva as dificuldades são menores, posto que usualmente as empresas se equipam com maquinários de uma mesma marca; o grande desafio de fato habita na integração da cadeia. (CARDOSO, 2016).

Tendo isto em consideração, neste pilar a maior barreira não é propriamente tecnológica, como no caso da manufatura aditiva, porque existe o conhecimento para gerar esses protocolos e alinhar parâmetros, falta regulamentação e diálogo para que a integração de sistemas possa continuar avançando.

### 3.1.10 Sistemas Ciber Físicos / Cyber-Physical Systems (CPS)

Como visto no decorrer do exposto, as interconexões entre as máquinas e agentes produtivos representam parte da essência dos conceitos da I4.0, sendo aspecto fundamental no processo de implementação desta. Nesse contexto, surgem os CPS que se caracterizam por conectar elementos computacionais, de comunicação e de controle com os componentes mecânicos e eletrônicos. Esses sistemas são responsáveis por coordenar o relacionamento da computação embarcada com as infraestruturas físicas, unindo estes em uma rede de comunicação. De modo geral, os CPS representam o elo entre o mundo real e o mundo virtual. (MARTINS; ALMEIDA, 2018)

Operando de modo autônomo, estes sistemas recebem os dados recolhidos pelos sensores, e através de big data e computação em nuvem armazenam e analisam esse conjunto de dados, identificando tendências, falhas, acertos, e possíveis ajustes. Essas informações auxiliam em uma tomada de decisão ótima e autônoma que é repassada aos maquinários ou aos agentes produtivos de modo a promover uma otimização do processo produtivo. Os CPS permitem que os softwares recebam as medições geradas por hardwares no mundo concreto, se tornando possível criar uma cópia do mundo real no âmbito digital; na sequência, possibilitam que esses softwares e outros mecanismos computacionais

se comuniquem novamente com o ambiente físico e que as análises realizadas e estimativas descobertas possam suscitar influência real no processo produtivo. (DA SILVA, 2018)

A implementação desses sistemas deve ser realizada ao longo de toda cadeia de valor, não ficando restrita apenas a uma planta industrial. A troca de dados é a característica mais importante de um CPS e a integração envolve todos os atores do processo, desde o princípio da cadeia de suprimento até o consumidor final. A comunicação entre os distintos sistemas é essencial e assim, se torna possível uma melhor compreensão do fluxo de materiais e vendas, aperfeiçoando as previsões de estoque e identificando, por exemplo, possíveis alterações inesperadas na produção ou nos preços. (HWANG, 2016)

Um exemplo do uso cotidiano dessa ferramenta são os veículos autônomos, que têm tido destaque na mídia ultimamente por já estarem sendo utilizados por empresas de serviços de transporte. Esses carros possuem um microcontrolador que recebe as medições de velocidade, aceleração, declive do trajeto, distância de objetos, aproximação de outros veículos, e demais dados pertinentes. Tendo acesso a esse conjunto de dados, os sistemas computacionais, - em especial a inteligência artificial -, vão tomando decisões autonomamente e enviando os comandos para o mundo físico de modo a conduzir o carro de modo seguro e eficiente<sup>7</sup>. Nesse mesmo sentido, é possível que uma geladeira identifique, via análise de imagem, itens que estão faltando e fazem parte do consumo comum do usuário; não apenas identificando, como informando-o em seu smartphone em um horário que usualmente ele retorna para casa.

Por fim, ressalta-se novamente a relevância das CPS para esse processo de digitalização não apenas da atividade manufatureira, mas da economia em um todo, do fornecedor ao consumo final. Martins e Almeida (2018, p.11) afirmam que “o objetivo essencial da indústria 4.0 é tornar não apenas as fábricas, mas todo o ecossistema industrial mais rápido, autônomo, eficiente e centrado no cliente”.

---

<sup>7</sup> Informação publicada pelo portal Kalatec. Disponível em: <<<https://blog.kalatec.com.br/sistemas-ciber-fisicos/>>>. Acesso em: 20 ago. 2023

## 3.2 FÁBRICAS INTELIGENTES / SMART FACTORIES

A aplicação dos conceitos apresentados até aqui nos distintos setores da economia, em especial na indústria, tem trazido um novo modelo de organização da manufatura que concretiza as possibilidades mencionadas nas subseções anteriores, e que têm se manifestado através do surgimento de fábricas inteligentes, mais conhecidas como “smart factories”. A reunião dos distintos pilares em um ambiente fabril origina essas plantas industriais “inteligentes” com alta flexibilidade e adaptabilidade, que são capazes de tomarem decisões operacionais ótimas autonomamente ao longo de toda cadeia produtiva. (STÂNCIOIU, 2017)

“A aplicação ampliada da IoT e de outras tecnologias da Indústria 4.0, como as técnicas de impressão em terceira dimensão ou fabricação aditiva e o uso da realidade aumentada, associadas à ampliação da capacidade de processamento e análise de dados por meio das tecnologias de big data, compõem os aspectos basilares desse novo tipo de fábrica: as smart factories.” (LUCENA et al., p. 118, 2020)

Neste novo modelo de indústria, as tecnologias auxiliam em distintos aspectos da produção, gerando uma série de benefícios às empresas. Além de reduzir custos ao evitar desperdícios, ampliar a velocidade da fabricação encurtando os prazos de produção, diminuir os erros de fabricação com aperfeiçoamento do controle de qualidade e aumentar a lucratividade com as reduções de custos, essas inovações desempenham um papel crucial na resolução descentralizada de problemas e no aprimoramento da eficiência da aplicação dos recursos. A adoção dessas tecnologias ainda possibilita a implementação de manutenção preditiva, onde é possível antecipar problemas, evitar paralisações indesejadas e reduzir os custos de manutenção. Outro benefício relevante está no âmbito administrativo, com o aprimoramento das gestões de estoques e otimização da logística que contribui para uma organização mais eficiente e para diminuição das despesas. Ademais, ainda se destaca a redução do tempo de desenvolvimento de novos produtos, fator que impulsiona a inovação e mantém as empresas na vanguarda do mercado competitivo. (MARTINS; ALMEIDA, 2018)

Da perspectiva do desenvolvimento sustentável, importantes benefícios também são identificados. Ribeiro (2018) apresenta a capacidade de as smart factories, através da análise de dados e do aperfeiçoamento dos processos da

cadeia produtiva, otimizarem o consumo energético e reduzirem a emissão de gases poluentes; a diminuição apontada apenas na utilização de veículos autônomos, que podem realizar uma rota com o consumo mais eficiente possível com uma margem de erro baixíssima, já demonstra significativo impacto. Somado a isso, ainda se têm a redução dos desperdícios de materiais e também a possibilidade, via RFID, de executar uma reciclagem mais eficiente pois cada componente pode ser identificado e rastreado após seu ciclo útil. Outro ponto extremamente relevante, está no desenvolvimento de novos materiais que poluem menos o ambiente e são de mais fácil reciclagem.

De modo geral, as fábricas inteligentes unificam as possibilidades e se constituem como mecanismo central de manifestação dos conceitos de I4.0. Essas instalações incorporam tecnologias como Internet das Coisas (IoT), impressão 3D, realidade aumentada e big data, formando ambientes fabris altamente flexíveis e adaptáveis, proporcionando ganhos no âmbito administrativo, produtivo e ambiental.

### 3.3 DESAFIOS DE IMPLEMENTAÇÃO

Apesar de todo o exposto, em termos simbólicos, nos causar certo otimismo e expectativas frente a estes largos e interessantes panoramas vislumbrados, pôr o todo em funcionamento é um processo complexo. Implementar os conceitos de I4.0 na totalidade, efetivando uma economia que tenha massificado as fábricas inteligentes e digitalizado a cadeia produtiva em inteireza é um caminho turbulento. Diversos são os desafios a serem enfrentados para que a quarta revolução industrial atinja maturidade e os conceitos de I4.0 estejam difundidos, posto que estes obstáculos transcendem a simples adoção de tecnologias avançadas.

Dias e Lopes (2021), ao abordar em seu trabalho essas dificuldades destacadas propõem uma interessante sistematização ao separar o que eles denominam “Barreiras para implantação da I4.0” em quatro clusters: as barreiras gerenciais, as barreiras tecnológicas, as barreiras trabalhistas e as barreiras financeiras. Nesse sentido, far-se-á uso desta metodologia no intuito de colaborar para a melhor compreensão do tema.

O contexto industrial revolucionário que tem sido apresentado, que preza pela autonomia, descentralização da tomada de decisões e flexibilidade da cadeia produtiva exige das empresas envolvidas nesse processo uma série de transformações no âmbito gerencial. Se faz necessário construir uma cultura corporativa que assuma a relevância dos princípios e conceitos da I4.0, defendendo os paradigmas dessa nova era industrial. Têm se constituído como um grande desafio implantar essa cultura organizacional frente a uma incapacidade de as lideranças exercerem uma coordenação central que impulse as transformações metodológicas necessárias e incentive, por exemplo, a capacitação profissional, às adaptações de processos, a formulação de novas práticas organizacionais e o desenvolvimento de alinhamento com os distintos agentes da cadeia produtiva. (DIAS; LOPES, 2021)

Evidentemente, esses desafios gerenciais não podem ser apenas compreendidos como uma incapacidade ou apatia das lideranças empresariais, pois de fato existem certos temores que emergem frente aos desafios tecnológicos. O ambiente da fábrica inteligente possui suas especificidades e problemas que são inerentes a sua própria característica. Os sistemas inteligentes implementados devem possuir a capacidade de se comunicar um com o outro, assim como de se conectar com outras plantas industriais e outras partes da cadeia produtiva. Entretanto, falta maturidade tecnológica e infraestrutura, os equipamentos disponíveis ainda não seguem protocolos de comunicação padrão e em muitos locais a internet disponível não corresponde às necessidades dos sistemas. Somado a isso, ainda se têm a preocupação com a cibersegurança, os agentes corporativos vivem uma sensação de insegurança, posta certa incapacidade de assegurar a inviolabilidade dos sistemas e a falta de devida regulamentação que proteja a propriedade intelectual garantindo a confidencialidade dos dados; preocupação esta que atinge tanto as empresas quanto aos clientes. (CARDOSO, 2016).

Outro aspecto que emerge como essencial para entender as incertezas do mercado e que se constituem como um grande desafio, são os aspectos trabalhistas. A falta de força de trabalho devidamente qualificada para instaurar os processos e interagir com os maquinários tem sido um grande problema em decorrência da escassez desses profissionais. Outro fator é a dificuldade que os operários já inseridos na indústria possuem para se adaptar aos novos conceitos, o que têm gerado certa resistência à mudança; e não apenas esses, como os novos

trabalhadores que estão se engajando no mercado de trabalho sem uma devida capacitação e cultura digital. A outra faceta deste desafio consiste nas incertezas da própria classe proletária quanto à manutenção dos seus postos de trabalho, visto que certas funções se tornarão extintas por meio da automação; em decorrência disso, muitas inseguranças surgem a respeito do subemprego e da informalidade. (BUHR, 2017)

Além de todo o exposto, se têm o mais evidente desafio, o alto nível de investimento necessário para desenvolver as capacidades e adquirir equipamentos sofisticados. Para construir esse ambiente de digitalização do processo produtivo é imperativo o investimento em máquinas de alta complexidade que tenham a capacidade de gerar e analisar dados, assim como de se comunicarem e efetivarem as tomadas de decisões ótimas. Implementar esse tipo de indústria envolve uma modificação relevante na planta industrial, adicionar apenas poucos novos maquinários não permite que estes funcionem em sua total capacidade e gerem todos os benefícios esperados. (TEIXEIRA, 2019). Além disso, ainda existem muitas máquinas instaladas que são consideradas produtivas, e as equipes no chão de fábrica estão adequadamente treinadas para operá-las. Os resultados atuais são satisfatórios para os acionistas, e isso reduz a urgência por por mudanças.<sup>8</sup>

Desta forma, se evidencia um longo percurso que existe para consolidação das diversas possibilidades apresentadas, muitos são os desafios de implementação existentes. Observa-se que o aspecto financeiro se destaca entre os desafios pois a superação dos outros depende em grande parte dos investimentos, além de que a essência das fábricas inteligentes está no acréscimo de novas tecnologias a linha de produção.

### 3.4 CONCLUSÃO

Em um esforço de síntese, observa-se que na última década se pôs em prática um processo de digitalização da atividade industrial, através da introdução de um conjunto de novos dispositivos e sistemas que tem transformado a

---

<sup>8</sup> Informação publicada no portal pessoal de Rodrigo Portes no LinkedIn. Disponível em: <<https://pt.linkedin.com/pulse/10-obst%C3%A1culos-para-implementa%C3%A7%C3%A3o-da-ind%C3%BAstria-40-brasil-portes>> Acesso em: 19 ago. 2023.

forma de gerir, pensar, idealizar e planejar o processo produtivo; destacando-se em especial os dez avanços tecnológicos fundamentais, os pilares da I4.0. A aplicação desses conceitos à indústria tem dado origem às fábricas inteligentes, ampliando a flexibilidade e produtividade, melhorando a qualidade dos produtos, diminuindo os erros de fabricação, reduzindo os custos da manufatura e aumentando a lucratividade. Um ambiente industrial caracterizado pela alta flexibilidade e adaptabilidade, assim como pela capacidade de autonomamente tomar decisões operacionais ótimas ao longo de toda cadeia produtiva. (MARTINS; ALMEIDA, 2018)

Entretanto, se faz relevante também destacar que apesar de no presente trabalho haver certo enfoque às aplicações na cadeia produtiva, os conceitos de I4.0 transcendem a ótica da fabricação e promovem mudanças complexas no conjunto da sociedade. Novas demandas, novos negócios, novos produtos, novos empregos, novos processos e novas oportunidades caracterizam esse período e geram uma transformação de mentalidade. Não apenas a forma como organizamos a produção está sendo modificada, mas também em como vivencia-se as relações econômicas. Profundos são os impactos sociais e econômicos esperados com a evolução e massificação da I4.0. (SANTOS et al., 2018)

Como exemplo pode-se citar, a noção de customização em massa que tem se desenvolvido, posta a alta flexibilidade e adaptabilidade da produção que permite a realização de encomendas em menor escala. Isto tem gerado crescente transformação no comportamento e nas preferências dos consumidores e assim, modificado o perfil da demanda que passa a ser mais customizado e específico. (MORRAR, 2017). Cada vez mais os indivíduos têm buscado o consumo de itens personalizados aos seus gostos, hoje no McDonald's, empresa emblemática do período fordista de massificação do consumo, o cliente pode através de uma tela interativa modificar o hambúrguer que está comprando conforme sua preferência.

Outro fator de extrema relevância são as diversas transformações que já ocorreram e ainda acontecerão no mercado de trabalho, em especial as que se relacionam com as competências para o posto e com a extinção de determinadas funções; já se identifica dificuldade de força de trabalho com baixo nível de cultura digital em conseguir encontrar emprego, assim como, excedente de profissionais de qualidade em funções com redução de postos de trabalho. (BUHR, 2017). A economia global desde a década de 70, com a Terceira Revolução Industrial, já

apresenta um crônico problema de desemprego estrutural que pode ser intensificado com a massificação dos conceitos da I4.0.

Posto o grau de impacto sob a economia, a sociedade, inclusive sob a mentalidade do indivíduo e a forma como esse se relaciona com o meio, têm-se difundido a concepção de que o mundo está passando por uma nova revolução industrial caracterizada pela digitalização da indústria. Essa ideia tem sido amplamente difundida e trabalhada por diversos autores (MARTINS; ALMEIDA, 2018) (BUHR, 2017) (HWANG, 2016) (MORRAR, 2017) (STĂNCIOIU, 2017); contudo, existem contrapontos.

Outros autores, (LUCENA et al, 2020) (HIRSCH-KREINSEN, 2016), apresentam o argumento de que a I4.0 se constitui como um aprofundamento e intensificação da terceira revolução. O aspecto central do argumento se encontra no fato de que as tecnologias e avanços surgidos em meio a esse movimento são fundamentalmente de eletrônica, tecnologia da informação e comunicação. Ou seja, o vetor central da suposta quarta revolução estaria seria a mesma da terceira.

Analisar um fato histórico tão emblemático enquanto o mesmo ainda está em sua gênese é desafiador e complexo posta as incertezas e conjecturas inerentes ao tema. Nesse sentido, Horn (2017) defende que a massificação dos conceitos da I4.0 conduz claramente a uma possível transição de paradigma produtivo, dado o caráter disruptivo, inovador e transformador desse movimento. No entanto, é complexo mensurar os reais impactos que a digitalização da indústria trará à sociedade.

“Em princípio, a mudança fundamental resultante da introdução de Sistemas Ciberfísicos e da Internet das Coisas e dos Serviços no ambiente produtivo afeta diretamente a fábrica. Esse é seu campo de expressão imediato. Porém, se este processo vier a se desdobrar em todas as suas possibilidades, replicando o que a história da evolução da indústria a partir do século XVIII nos ensinou, a conjectura de que os movimentos de modificação da indústria extrapolem os seus muros não é desprezível. (HORN, 2017, p.53)

#### 4 POLÍTICAS INDUSTRIAIS PARA INDÚSTRIA 4.0: O MODELO ALEMÃO

Entendendo o atual momento histórico como disruptivo, dado às grandes transformações tanto já ocorridas como vislumbradas, é natural que se olhe para história na busca por referências e inspirações que auxiliem a compreender melhor o presente e se posicionar para o futuro. Nesse sentido, um questionamento muito relevante surge quanto ao posicionamento assumido pelo Estado frente aos processos e movimentos vinculados à digitalização da indústria; esta discussão, de extrema complexidade, posta a grande diversidade de perspectivas quanto a forma como o governo deve interferir na economia. Suzigan (2006) propõe uma simplificação ao dividir dois grupos com essas diferentes visões, (1) os autores de extração liberal e (2) os autores neoschumpeterianos, desenvolvimentistas e da economia evolucionária.

Em relação aos primeiros, estes se baseiam na compreensão de que ao Estado está reservado a função de promover um ambiente institucional e jurídico que dê condições às ações dos mecanismos de mercado; tendo assim como base a não intervenção do Estado nas atividades econômicas, a livre concorrência e a autorregulação. Vertentes mais rígidas defenderão que cabe apenas ao mercado responder às demandas dos agentes, enquanto o governo apenas condiciona o ambiente; entretanto, perspectivas mais brandas compreendem que o setor público deve atuar no sentido de corrigir falhas ou imperfeições de mercado, agindo através de políticas de perfil horizontal, atingindo a economia num todo de modo a não dar preferências a setores específicos. (ERBER; CASSIOLATO, 1997)

Por outro lado, o segundo grupo, se caracteriza por questionar os pressupostos de equilíbrio e autoajustes do mercado, entendendo que faz parte do papel do Estado promover políticas e estabelecer instituições que vão estimular o setor industrial e impulsionar o desenvolvimento econômico. Sendo assim, os mecanismos públicos devem agir de modo ativo, investindo em infraestruturas, fornecendo financiamento e estabelecendo regulamentações; auxiliando assim a indústria a induzir o crescimento econômico, a ultrapassar barreiras tecnológicas e a dinamizar suas atividades. Nessa perspectiva cabe ao Estado um papel central como condutor ou mediador do processo de desenvolvimento econômico, estabelecendo planos e estratégias para alcançar os objetivos postos. (SUZIGAN, 2006)

Apesar das discórdias teóricas, existem fatos históricos que são relevantes para a discussão. Cimoli e outros (2007) afirma que no capitalismo moderno todas as experiências históricas de desenvolvimento econômico ocorreram em um ambiente com ativo apoio governamental, que se posicionava com proteção de mercado, subsídios, estabelecendo regulamentações, fundando instituições e promovendo políticas industriais de cunho estratégico. Esse fato se valida tanto em experiências primárias quanto em processos de industrialização e desenvolvimento mais tardios.

Na Inglaterra é possível se observar, já no século XVI, políticas ativas para proteção da manufatura nacional que fizeram parte da agenda governamental por três séculos até quando sua liderança econômica se fez incontestável. Do mesmo modo com outros países ocidentais, como a França, a Alemanha e os Estados Unidos que induziram um processo de industrialização através de restrições a importações e grandes incentivos estatais a esse setor. Em casos mais recentes, é possível se destacar o Japão, a Coreia do Sul e a China, que seus governos, seguindo a mesma perspectiva, promoveram investimentos em setores estratégicos, assim como disponibilizaram créditos e subsídios acessíveis, participando ativamente do planejamento e execução das estratégias de desenvolvimento. (CORONEL et al., 2014). Sendo assim, a partir de uma perspectiva historicista - característica das vertentes do segundo grupo destacado -, compreende-se a ação do Estado como essencial para o processo de desenvolvimento econômico.

Dentre as diversas ferramentas que o governo possui, a política industrial se destaca por seu perfil amplo e pela profundidade de seu impacto sobre a atividade manufatureira. Suzigan (2006, p. 165) afirma que a política industrial se constitui como “uma ponte entre o presente e o futuro, entre as estruturas e as instituições que existem e aquelas que estão em processo de constituição e desenvolvimento”.

As políticas industriais, concebidas como estratégias governamentais, desempenham um papel crucial na promoção do desenvolvimento econômico ao fomentar a atividade industrial e aumentar as taxas de crescimento econômico, gerando divisas, difundindo tecnologias e expandindo oportunidades de emprego; assim como, promovendo aumentos significativos de produtividade, tanto em termos de capital quanto de trabalho, desencadeando externalidades positivas

na economia como um todo. Esse aumento de eficiência produtiva não apenas viabiliza o crescimento sustentável, mas também propicia melhorias no salário real, favorece a acumulação de capital e, por fim, contribui para o aprimoramento do bem-estar social. (SUZIGAN; FURTADO, 1996)

Assim, consideram-se como parte de uma política (ou estratégia) industrial os seguintes elementos: planejamento geral indicativo, formalização de diretrizes e objetivos, organização institucional específica, articulação com a política macroeconômica, targeting de indústrias ou tecnologias específicas, instrumentos e políticas auxiliares (políticas de comércio exterior, financiamento, políticas de fomento, políticas de regulação e competição), investimentos em infraestrutura econômica e de ciência e tecnologia, sistema educacional e treinamento de mão-de-obra e formação de recursos humanos especializados. (SUZIGAN; FURTADO, 1996, p.4)

Trazendo a destaque o enfoque do presente trabalho, desde os primórdios do movimento de digitalização da indústria, os governos dos distintos países têm agido de forma ativa para a rápida maturação destes avanços; tanto que, a origem do nome Indústria 4.0, está no nome dado a um projeto estratégico de política industrial incluído, pelo governo alemão em 2012, no Plano High Tech 2020. Na sequência, diversos países também apresentaram planos de política industrial focados na manufatura inteligente, como os Estados Unidos, a China, a Coreia do Sul e o Japão. Tanto que os planejamentos industriais desenvolvidos pelos países centrais na última década estiveram devidamente alinhados a essa nova fase de aperfeiçoamento das manufaturas. (LUCENA et al, 2020)

#### 4.1 CONTEXTO HISTÓRICO

Apesar de o modelo alemão não se encaixar estritamente dentro de uma escola, e possuir características de perspectivas diferentes coexistindo, é fato que a Alemanha é um dos países com política industrial de perfil mais incisivo, organizado e ativo; tendo o Estado nacional, como um dos atores centrais dessas iniciativas, atuando como um grande mediador e impulsionador. (HORN, 2017)

O setor industrial alemão, recebe apoio do Estado por meio de uma gama de instituições que auxiliam no financiamento, no desenvolvimento de novas capacidades técnicas, no fortalecimento do sistema educacional, no suporte a pesquisa e inovação, e especialmente na luta para manutenção da posição

competitiva frente a concorrência internacional. Instituições essas já tradicionais no contexto manufatureiro alemão, posto que grande parte possui várias décadas de história - estando em funcionamento desde o período após a Segunda Guerra Mundial. (DAUT; WILLCOX, 2016)

Nesta fase, de grande reconstrução, foi considerado que o setor privado num todo necessitava de um forte apoio do Estado tanto para reorganizar infraestruturas, como para auxiliar as empresas a alcançarem vantagem competitiva frente ao mercado externo. Para tal, estabeleceu-se um modelo de gestão de ampla participação da sociedade civil, com forte presença do setor produtivo e dos sindicatos no desenvolvimento e implementação de iniciativas. Assim, foi desenvolvido um conjunto de políticas industriais que tiveram como base a regulamentação do mercado de trabalho, o fortalecimento do sistema bancário e o investimento em ciência, pesquisa e tecnologia. (BALESTRO et al., 2019))

No contexto do mercado de trabalho, estabeleceram acordos que estipularam elevado padrão de segurança social e grandes restrições às demissões de funcionários. Incentivando assim, vínculos laborais de longo prazo, que além de reduzirem a inconstância e insegurança do mercado de trabalho, estimularam as empresas a investirem na capacitação de seus funcionários, ampliando significativamente o grau de competência da força de trabalho do país nas décadas subsequentes. Esse sistema dificultou que as indústrias se mantivessem competitivas internacionalmente via redução dos custos salariais, exigindo, por consequência, que estas buscassem soluções alternativas, fato que ajudou o setor industrial alemão a se desenvolver e modernizar. (CHANG et al., 2013).

Em relação ao sistema bancário, o governo alemão desempenhou um papel fundamental no fortalecimento da capacidade deste, visando facilitar o financiamento de longo prazo para o setor privado, especialmente o industrial. Essa iniciativa visava não apenas promover investimentos, mas também assegurar a estabilidade no sistema financeiro, criando um ambiente propício para o crescimento econômico sustentável. Ao longo dos anos, a Alemanha estabeleceu vários bancos públicos - ou de sociedade mista -, cujas operações e mandatos foram sendo ajustados conforme as mudanças nas necessidades das indústrias. Essas instituições financeiras desempenharam um papel crucial na adaptabilidade do setor bancário às dinâmicas transformações econômicas e asseguraram o apoio contínuo ao desenvolvimento industrial. Um exemplo a ser citado é o Banco para

Reconstrução criado em 1947 para financiamento da indústria e que, apesar de ter seu modo de operação alterado, ainda segue auxiliando no desenvolvimento industrial. (HORN, 2017)

Por sua vez, acerca do investimento em ciência e pesquisa, o governo alemão fundou institutos de pesquisa e fortaleceu o sistema educacional, tendo como objetivo gerar uma força de trabalho altamente qualificada, assim como, auxiliar a indústria no desenvolvimento de novos produtos. Entretanto, até a década de 1970 os recursos não tinham como foco o desenvolvimento tecnológico, eram destinados a poucos projetos de tecnologias-chave. A guinada ocorreu em 1972 com a criação do Ministério Federal de Pesquisa e Tecnologia (BMFT), quando setores mais intensivos em tecnologia - como o aeronáutico, o de telecomunicações e de bens de capital -, se tornaram o foco da política industrial alemã, visando assim ampliar a capacidade de inovação e se alinhar a um perfil de produtora de bens de alta complexidade tecnológica. Um dos pilares da atuação governamental foi a Associação Fraunhofer, fundada em 1949, e que é ainda hoje uma das principais ferramentas do governo alemão para desenvolvimento tecnológico. (CHANG et al., 2013).

Este modelo com uma atuação mais ativa do Estado nacional sofre - fruto da crise econômica característica do período - uma mudança de orientação nas décadas de 80 e 90, com um abandono de políticas relacionadas a um perfil intervencionista no mercado, em benefício de uma perspectiva de extração liberal. Neste período, em razão das dificuldades econômicas, sociais e políticas, o país era visto como o "enfermo da Europa" - nessa época ocorreu o processo de reunificação pós queda do muro de Berlim e a dissolução da URSS. Frente a esse conturbado contexto, na segunda metade da década de 90 a Alemanha intensificou suas iniciativas se alinhando novamente a sua longa tradição de política industrial, com um modelo pensado para o crescimento da indústria inovadora voltada para exportação e caracterizada pela gestão com ampla participação da sociedade civil. (BALESTRO et al., 2019)

A partir dos anos 2000, a Alemanha protagonizou uma significativa transformação econômica, consolidando seu papel como uma potência econômica central, dinâmica, avançada, inovadora e competitiva no cenário global. Diversos fatores contribuem para esse desempenho, destacando-se o contexto macroeconômico europeu e a superioridade tecnológica alemã. Com o surgimento

da União Europeia e do mercado comum, os mecanismos desenvolvidos no decorrer das décadas para proteger a competitividade da indústria trouxeram uma significativa vantagem para as exportações. Reforçando assim a orientação exportadora característica de sua tradição manufatureira implementada a partir dos anos 50. (DAUT; WILLCOX, 2016). Nesse sentido, trazendo evidência a esse perfil do modelo alemão, no período de 1990 até 2014, o setor industrial foi responsável em média por 90% das exportações. (HORN, 2017)

Apesar do fato de a taxa de câmbio nominal alemã ter tornado as exportações mais competitivas ao se manter desvalorizada em relação aos demais países europeus, Storm e Naastepad (2014) afirmam que a grande vantagem esteve na avançada capacidade industrial, que não se destacava apenas em produtividade e inovação, como também na qualidade do produto; posto que a indústria alemã estava alinhada ao estado da arte na produção de bens de alta complexidade tecnológica e alto valor agregado.

Como reflexo desse processo, a Alemanha assume um papel de liderança econômica global na primeira década do século XXI, apesar das subseqüentes quedas da produção manufatureira em diversos países centrais, como a França e o Reino Unido. Nesse período, a indústria alemã apresentou contínuas taxas de crescimento sendo capaz de manter percentualmente constante sua participação na composição do PIB. No Gráfico 1 é possível observar como que o valor adicionado bruto (VAB) da indústria no produto total do país se mantém em um coeficiente estável. (HORN, 2017)

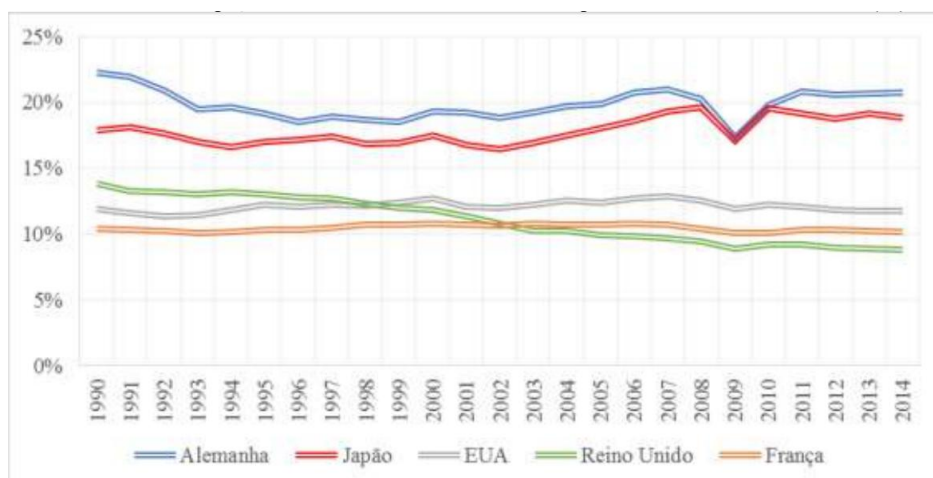


Figura 5 – Participação do VAB da Indústria no PIB em Países Selecionados  
Fonte: Horn (2017)

A partir de 2006, a Alemanha passa a ter um movimento de reordenação de sua política industrial, começando um processo de alinhamento à digitalização da indústria, que se torna característico da política industrial desenvolvida até hoje; movimento este, que será enfoque de análise nas seções seguintes. Nesse sentido, se trouxe a apresentação das raízes históricas, das tradições da política industrial e dos recentes desdobramentos de sua economia para auxiliar na compreensão da nova estratégia industrial em vigor. Apesar de se sustentarem nos marcos da tradição existente - fazendo uso de conceitos, instituições e mecanismos históricos -, no atual alinhamento têm-se uma intensificação da promoção de setores intensivos em tecnologia especialmente os vinculados à microeletrônica. (ARBIX et al., 2018)

No objetivo de trazer luz a essa reordenação de política industrial e entender os mecanismos desenvolvidos por este país que se destaca por sua liderança na implementação de conceitos de digitalização da indústria, selecionou-se três estudos. Como critério de escolha, levou-se em consideração, além da qualidade do material, a complementaridade de informação, de modo a evitar redundâncias e apresentar o tema de modo mais amplo. Nas seções seguintes se fará uma exposição sistemática de cada trabalho, sendo estes: “Germany’s Industry 4.0 strategy Rhine capitalism in the age of digitalisation” de 2016 do autor Wolfgang Schroeder; “Reflexões críticas a partir das experiências dos Estados Unidos e da Alemanha em manufatura avançada” publicado em 2016 por Gabriel Daudt e Luiz Daniel Willcox; “A Estratégia Alemã para a Indústria Digital” produzido pela Lara Stumpf Horn em 2017.

## 4.2 SCHROEDER

Nesta seção se fará um esforço em apresentar o estudo “Germany’s Industry 4.0 strategy Rhine capitalism in the age of digitalisation” produzido por Wolfgang Schroeder. O autor inicia seu trabalho apresentando alguns aspectos contextuais nas primeiras seções, começando a apresentar os aspectos de política e planejamento industrial a partir da quarta seção até a sétima onde concluiu seu esforço; frente a isso, a síntese que se propõe leva em consideração esta parte destacada.

Sabe-se que qualquer política ou planejamento desenvolvido deve ter como foco responder a determinadas questões, nesse sentido, Schroeder (2016) apresenta alguns riscos e oportunidades que esse processo de digitalização da indústria traz sob a economia e a sociedade, separando-os em quatro domínios: produtividade e competitividade; segurança de dados; desenvolvimento do emprego; e qualificação. Estas questões se constituem como aspecto central da composição do contexto do tempo presente, e por isso, devem ser levados em consideração na construção dos planejamentos de política industrial.

O primeiro domínio representa alguns dos grandes potenciais da I4.0, pois traz à reflexão as otimistas previsões quanto ao impacto que as mudanças podem trazer sobre a economia. Estima-se um crescimento médio de 2% ao ano, entre 2016 e 2025, em setores industriais chaves, assim como, um impacto positivo de 20 a 30 bilhões de euros por ano sobre o PIB; estes fatores, exemplificam e representam os ganhos de âmbito produtivo que são os motores que estimulam os agentes a buscar a digitalização. Por sua vez, o segundo domínio se refere à questão da segurança de dados, que talvez seja um dos debates mais sensíveis do âmbito da I4.0, posto que os ataques cibernéticos são capazes de gerar prejuízos relevantes através do roubo de patentes, do sequestro de dados confidenciais, da invasão de contas bancárias, entre outros artifícios. Isso tem feito com que a falta de segurança digital seja o principal receio dos indivíduos, empresas e governo quanto a implementação de determinados conceitos e tecnologias.

Em relação ao terceiro domínio, voltado para o aspecto do emprego, o autor, para evidenciar o tamanho do desafio, apresenta drástica estimativa que afirma que, em decorrência da automatização, 42% da força de trabalho alemã está empenhada em profissões que podem ser perdidas nos próximos vinte anos; ou pela redução da demanda de trabalhadores ou pela extinção da função. Entretanto, o ponto central de análise não deve ser apenas quantitativo, deve levar em consideração aspectos qualitativos do mercado, pois a digitalização apesar de reduzir a procura por profissionais de qualificação média, aumenta a procura de trabalhadores de qualificação superior, havendo estimativa de aumento de 6% para o período de 2015-2025. Nesse sentido, já se apresenta o quarto domínio, que diz respeito às mudanças na competência do trabalhador que, frente aos novos requisitos que os avanços tecnológicos exigem, deve desenvolver habilidades que antes não se faziam tão relevantes. Esses quatro domínios representam partes

significativas e relevantes do contexto alemão e por isso são questões que devem ser respondidas pelas políticas industriais.

Tendo esses domínios como base, o autor afirma que apesar de I4.0 ser uma ideia revolucionária, por característica intrínseca à própria dinâmica, sua implementação é evolutiva. Para que esse processo de digitalização - inicialmente da indústria, e futuramente de toda sociedade - atinja maturidade, uma série de competências se faz necessárias em termos institucionais, jurídicos e tecnológicos, para que as oportunidades sejam aproveitadas e os riscos amenizados. O processo já está em curso, entretanto, apesar das grandes expectativas por parte de diversos agentes, a dinâmica exige certa progressividade contida que não condiz com a velocidade esperada. Muitos são os desafios e barreiras a serem vencidas, por isso se faz necessário a existência de projetos de referência que apresentem e exemplifiquem métodos e práticas de excelência que tornem as oportunidades mais palpáveis ao investidor e a população; aumentando-se desta forma, a aceitação dos conceitos e do processo.

Nesse sentido, na Alemanha, diversos atores - setor privado, setor público, sindicatos e comunidade científica -, têm se mobilizado na promoção de iniciativas pró I4.0, como atividades de inovação e padronização. Em especial se destaca o papel do Estado como mediador e condutor da política industrial, promovendo a criação de infraestruturas, fornecendo incentivos financeiros e assumindo papel de liderança nas principais iniciativas; se destaca o papel dos ministérios, na interlocução entre os agentes para definição de metas e estratégias, assim como, no apoio institucional e financeiro para o cumprimento dos acordos. São seis os ministérios que estão representando uma política abrangente de digitalização e integrando esse esforço, cada qual tendo seus objetivos específicos, sendo eles os ministérios de: Assuntos Econômicos e Energia; Trabalho e Assuntos Sociais; Educação e Pesquisa; Transportes e Infraestruturas Digitais; Interior; Justiça e Proteção do Consumidor.

Entretanto, apesar das iniciativas anteriores, o autor entende que a primeira mobilização profunda ocorreu apenas em 2015 com o surgimento da “Aliança para o Futuro da Indústria”. Nesse acordo conduzido pelo Ministério da Economia, diversas instituições privadas, públicas e de representação sindical, se comprometeram em tornar a I4.0 um projeto comum, alinhando interesses, coordenando avanços e intensificando a implementação dos conceitos. Mesmo com

as diversas iniciativas já existentes, inclusive com participação de distintos representantes, esta aliança se apresenta como um aprofundamento das atividades.

Frente a isso, se faz interessante compreender a posição que os distintos atores assumem. O setor privado, tem buscado promover iniciativas que tornem reais as oportunidades vislumbradas, desenvolvendo mecanismos que auxiliem a Alemanha a se tornar liderança tecnológica mundial, financiando pesquisas de alta complexidade tecnológica e combatendo grandes desafios, como a questão da segurança de dados. Em sua atuação política, tem se posicionado na busca por incentivos financeiros para ampliação de sua competitividade frente a um mercado mais tradicional que possui investimentos amortizados, assim como, na reformulação das relações de trabalho, prezando por normas que reduzam as regulamentações e aumentem a flexibilização, permitindo maior dinamismo à economia.

Por sua vez, os sindicatos, se destacam pela busca de contenção de danos e previsão de possíveis problemáticas, para tal atuam especialmente na defesa da implementação de uma cultura de educação ao longo da vida, onde o ensino não estaria restrito ao ambiente escolar e as empresas, através da estabilidade do emprego, exerçam uma educação continuada; assim, seria possível proteger os trabalhadores de baixa qualificação, que são os mais afetados pelos avanços. Finalizando, o governo alemão, tem se posicionado como um agente mediador e condutor desse processo, dando suporte aos avanços da I4.0, apoiando projetos de pesquisa que trabalham com inovação tecnológica, assim como, coordenando instituições de incentivo que financiam projetos-piloto. Sua atuação está muito interligada a fornecer as condições necessárias, seja estabelecendo infraestruturas necessárias, concedendo incentivos financeiros, reformas institucionais, entre outros.

Por fim, o autor conclui que a Alemanha está pondo em prática, baseada em conceitos de sua tradição, uma estratégia abrangente de digitalização gradual da indústria que se manifesta especialmente no desenvolvimento de novas tecnologias disruptivas; entretanto, esse processo ainda é de certo modo incipiente, sendo necessária uma intensificação das iniciativas através da promoção de planejamentos, redução das incertezas e combate aos preconceitos. Apesar disso, a estratégia até aqui posta em prática tem se destacado por compreender a I4.0 não apenas como um projeto de ganhos financeiros e crescimento da capacidade

industrial, mas como um projeto de inovação social que busca ampliar o bem-estar social, e nisso, se faz essencial a abordagem incremental e evolutiva do processo.

### 4.3 DAUT E WILLCOX

Gabriel Daudt e Luiz Daniel Willcox apresentam em seu trabalho “Reflexões críticas a partir das experiências dos Estados Unidos e da Alemanha em manufatura avançada” apresentam diversas considerações quanto ao futuro da indústria e a manufatura avançada dos EUA, mas para o fim pretendido para esta seção, se fará uma síntese do capítulo “A indústria 4.0 da Alemanha: Um breve contexto geral e a “obsessão” pela competitividade”.

A partir de 2006, a Alemanha passa a ter um movimento de reordenação de sua política industrial, começando um processo de alinhamento à digitalização da indústria, tendo como objetivo: (1) ampliar a vantagem competitiva de sua manufatura em relação ao exterior, (2) aprofundar sua posição de exportador de bens de alto valor agregado, (3) fortalecer o perfil de avançada capacidade industrial mantendo-se como líder mundial na produção de bens de alta tecnologia, (4) consolidar seu posicionamento geopolítico central diante do ascenso de países emergentes, (5) posicionar sua indústria transformadora como a principal utilizadora e fornecedora mundial de tecnologias de produção digitalizadas. Nesse sentido, as principais iniciativas implementadas se manifestam através da High-Tech Strategy.

Esta iniciativa se constitui como a primeira a reunir distintos agentes para definir uma agenda em comum e planejar políticas e projetos que auxiliassem na implementação dos conceitos da digitalização e na concretização das oportunidades. Seguindo uma visão ampla e inclusiva, o Estado, a comunidade científica, e grandes empresas, coordenaram esforços no desenvolvimento de tecnologias habilitadoras capazes de responder às demandas do próprio tempo presente.

O autor traz que o método de trabalho definido pelos agentes destacados se caracteriza por responder a certos desafios, que se constituem como grandes temas que são as áreas de atuação da High-Tech Strategy; sendo estes: (1) energias e mudanças climáticas, (2) saúde; (3) mobilidade; (4) segurança; (5) comunicação. Deste modo, os projetos desenvolvidos para avanço das tecnologias

habilitadoras de alguma forma se relacionam com essas temáticas, tentando corresponder às necessidades de cada área. Como visto, a Alemanha tem como objetivo consolidar sua posição global central, e um dos métodos cruciais é se tornar o principal fornecedor de soluções para essas demandas globais advindas destas temáticas.

Para tal, foi estruturado um modelo de trabalho no qual as iniciativas individuais dos distintos organismos e instituições concentram esforços em objetivos específicos que se enquadram dentro de alguns dos grandes temas. Esses programas, por serem voltados para o futuro, podem ser duradouros, e se subdividem em diversos projetos menores de missão orientada que fazem parte deste esforço de desenvolvimento. O autor traz como exemplo dez projetos emblemáticos vinculados a High-Tech Strategy, onde se fica claro a vinculação direta que possuem com os grandes temas, sendo estes: (1) Cidades neutras em CO<sub>2</sub>, e energeticamente eficientes; (2) Vida independente em idade avançada; (3) Fontes renováveis, como alternativa ao petróleo; (4) Mobilidade sustentável; (5) Transformação inteligente da oferta de energia; (6) Serviços baseados na internet para a indústria e negócios; (7) Tratamento de doenças e medicina individualizada; (8) Segurança para identificação; (9) Saúde, prevenção efetiva e dieta saudável; (10) Indústria 4.0. Esta última que, ao trabalhar em inovações no processo produtivo, adquiriu proporções midiáticas ao ponto de ser tratada como um sinônimo para o processo de digitalização da indústria.

Deste modo, o autor conclui que a política industrial alemã a partir de 2006 se manifesta através do desenvolvimento de tecnologias habilitadoras que respondem a demandas sociais e econômicas representadas em grandes temas definidos como centrais; isso se dá através do apoio a uma grande gama de projetos de inovação tecnológica que elaboram novos produtos, processos e serviços. A High-Tech Strategy 2006, investiu anualmente quatro bilhões de euros em diversas iniciativas, e posteriormente, na sua versão de 2010, passou a empregar seis bilhões de euros por ano em incentivos.

Entretanto, volta-se a afirmar que o desenvolvimento dessas tecnologias não se constitui como objetivo final, este é um mecanismo utilizado para que a Alemanha reforce sua posição de liderança global, mantenha-se competitiva internacionalmente no longo prazo e se torne a principal fornecedora de soluções de alta tecnologia. Nesse sentido, o autor apresenta uma reflexão de extrema valia que

elucida os objetivos alemães, ao trazer a discussão o fato de que comumente a China é citada como a “fábrica do mundo”, mas geralmente não se pensa em qual país que possui capacidade de construir essa “fábrica do mundo”, e este é a Alemanha.

#### 4.4 HORN

No trabalho “A Estratégia Alemã para a Industria Digital”, a autora Lara Stumpf Horn se dedica inicialmente a expor aspectos quanto a relação da tecnologia e o crescimento econômico, assim como, a relevância das políticas industriais. Para esta seção se utilizará como foco de revisão a seção “Iniciativas políticas e atores: a estratégia alemã para a Indústria 4.0”, onde a autora se destaca ao trazer grande enfoque ao emblemático projeto “Industrie 4.0”, que é mecanismo fundamental da do modelo alemão.

A High-Tech Strategy lançada em 2006 se constituiu como a primeira iniciativa minimamente relevante a reunir distintos agentes em prol de um plano nacional para digitalização da indústria e da sociedade. Em um aprofundamento do plano inicial, em 2010 foi lançado o High-Tech Strategy 2020, onde se intensificou processos e parcerias já estabelecidos, tornando mais efetivas os projetos e iniciativas que vinham sendo construídas; nesse momento, se estabelecem os cinco grandes campos de atuação. Visando a concretização das estratégias estabelecidas, em 2012, foi apresentado o High-Tech Strategy Action Plan, onde definiram dez Projetos Futuros, que trazem soluções e respondem às demandas advindas dos campos de atuação; um desses projetos é o Industrie 4.0.

Tendo o Ministério de Pesquisa e Educação e do Ministério de Assuntos Econômicos e de Energia na coordenação, o programa em questão foi desenvolvido na busca de desenvolver mais rapidamente artifícios que tangem intimamente o processo produtivo, visando tornar reais as oportunidades vislumbradas quanto à planta industrial. Mais especificamente, o projeto vislumbrava a concretização de fábricas inteligentes, e para isso desenvolveu iniciativas capazes de desenvolver as tecnologias chaves ainda incipientes; nesse espectro, investiu-se por exemplo no desenvolvimento de sistemas cyber físicos, tecnologias 3D, e robótica autônoma.

Seguindo a longa tradição alemã de cooperação entre os diversos setores da sociedade, a Indústria 4.0 se caracteriza pela ampla participação de distintas instituições em suas atividades; o autor traz a destaque algumas que se evidenciam. Por exemplo, o DFKI, centro alemão de pesquisa para inteligência artificial, que realizou a primeira demonstração em laboratório - uma pequena fábrica montada - quanto a real capacidade de os conceitos de digitalização impactarem positivamente o ambiente industrial. Outro organismo é a Fraunhofer-Gesellschaft, instituto de pesquisa de desde 2012, coordena projetos piloto relacionados a administração flexível envolvendo dezenas de organizações parceiras.

Dentre essas várias instituições envolvidas na Indústria 4.0, um consórcio promovido por três associações gerou um acordo extremamente relevante, o Plattform INDUSTRIE 4.0, que surgiu objetivando: (1) incentivar as implementações comerciais dos avanços técnicos desenvolvidos por projetos do escopo da I4.0, assim, tirando as possibilidades do campo das ideias; (2) ampliar a padronização em âmbito nacional e internacional, promovendo iniciativas de alinhamento. Em relação a este segundo ponto, acordos de cooperação foram assinados com os Estados Unidos, Japão, França e China, elaborando padrões comuns. Quanto ao primeiro objetivo, este se manifestou especialmente através da criação de mecanismo que tornassem as tecnologias mais acessíveis e didáticas a setores mais resistentes à implementação a nível comercial, como pequenas e médias empresas. Como fica evidente, este programa possui um caráter amplo e objetivos complexos, tanto que é dirigido por um comitê formado por representantes de alto escalão do governo, das empresas, dos sindicatos e da comunidade científica.

No intuito de alcançar os objetivos postos, utilizaram como método a formação de cinco grupos de trabalho - divididos cada qual ao cuidado de uma temática específica - responsáveis por mediar os debates, prover as condições estruturais e estimular as pesquisas relacionadas ao seu tema central. O primeiro grupo de trabalho tem como função a concatenação dos distintos trabalhos vinculados a I4.0, assim como, fomentar as atividades de padronização e normatização. O segundo, é responsável por identificar necessidades de pesquisa e fornecer recomendações e incentivos quanto à superação de obstáculos e à implementação da I4.0.

Por sua vez, o terceiro grupo de trabalho, tem como foco desenvolver soluções para segurança de dados e sistemas, desde a conscientização quanto a perigos e responsabilidades, até o desenvolvimento de protocolos e tecnologias. Quanto ao quarto grupo, este trabalha na discussão de aspectos jurídicos da I4.0, como questões de propriedade intelectual, direito civil, direito do trabalho e segurança de dados, buscando chegar em consensos quanto aos princípios que devem guiar essas questões. Por fim, o quinto grupo, tem como função elaborar soluções e mediar os debates em torno das problemáticas trabalhistas, tentando, em conjunto com um apoio ao avanço da atividade industrial, auxiliar na qualificação da força de trabalho, na defesa dos direitos e na ampliação do bem-estar dos trabalhadores.

Dando continuidade ao planejamento de longo prazo, em 2016, o governo alemão já lançou a Digital Strategy 2025, outro aprofundamento da High-Tech Strategy, onde reordena prioridades, institui novos mecanismos e reitera o compromisso dos distintos atores quanto ao avanço da digitalização. Identificando como uma das principais dificuldades a adesão por partes da sociedade e das empresas, buscou incentivar a inserção das pequenas e médias empresas nas iniciativas, não necessariamente para implementação imediata, mas preparando essas indústrias para um processo de transformação; compreendendo o perfil contínuo e gradual do avanço. Apenas do escopo dessa estratégia, o governo alemão concedeu mais de um bilhão em subsídios entre 2017 e 2019.

Tendo o exposto como base, o autor destaca a forte presença do Estado como ponto essencial na compreensão do desenvolvimento dos conceitos da digitalização. Posição que fica claro ao se observar que todas grandes iniciativas possuem a coordenação e a influência de mecanismos governamentais, desde a primeira versão da High-Tech Strategy até a Digital Strategy 2025, passando com destaque pelo principal projeto elaborado no período, a Plattform Industrie 4.0, que tornou-se uma das maiores redes mundiais para a digitalização da indústria.

#### 4.5 CONCLUSÃO

Em esforço de síntese, pode-se observar que o governo alemão ao longo de sua história, de modo geral, tem se caracterizado por ter um papel central

na condução do desenvolvimento industrial; partindo da compreensão que sua atuação se faz necessária para, no mínimo, gerar um ambiente propício ao crescimento. Deste modo, diversas instituições e organismos surgiram ao longo dos anos para incentivo do ensino, da pesquisa e para fornecer apoio financeiro às distintas atividades que auxiliassem o avanço industrial. A partir da segunda metade dos anos 2000, essa influência do Estado, e o esforço das demais instituições, passou a ser concentrada para o fomento de um processo de digitalização da indústria. Diversos projetos e estratégias foram e estão sendo desenvolvidas nesse período, e assim, auxiliando na evolução das capacidades produtivas da Alemanha, na ampliação da produtividade, e na construção da habilidade de esse setor industrial corresponder às demandas próprias de seu tempo; aspecto destacado no capítulo anterior. (BALESTRO et al., 2019)

Se faz necessário à análise, entendermos que é de extrema relevância um país - que se posiciona como uma das principais lideranças globais pelo menos desde o começo deste século - possuir a mais de dez anos como objetivo de sua política industrial, como objeto de sua atuação e como principal estratégia para alcançar suas principais metas, o incentivo ao aprofundamento da digitalização.

O pioneirismo e vanguardismo alemão quanto ao desenvolvimento dos conceitos da I4.0 o tornaram referência para demais países que desejam planificar um processo de digitalização da indústria. Por isso, este caso se constitui como central para não apenas tornar mais concreto as diversas abstrações e oportunidades vislumbradas, mas para compreender como a digitalização da indústria e da sociedade se constituem como um tema central ao debate público.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente trabalho, partiu-se da compreensão de que, ao longo da história, o avanço tecnológico esteve diretamente ligado ao progresso social, econômico e cultural. Essa realidade é uma constante ao longo da história da humanidade, cada nova onda tecnológica desencadeia um efeito dominó de transformações em várias esferas da vida humana. (LIMA, 2001). Tendo como recorte a sociedade capitalista moderna, é possível destacar alguns movimentos históricos nos quais, em decorrência de subseqüentes avanços tecnológicos, o mundo sofreu profundas transformações estruturais; fases essas conhecidas como revoluções industriais. Ao estimular o crescimento e ampliar a produção, as novas tecnologias catalisaram o desenvolvimento industrial e comercial, auxiliando no próprio amadurecimento e consolidação do capitalismo. (PASQUINI, 2020)

Nesse sentido, dedicou-se o capítulo dois a apresentação dessas revoluções. A primeira, datada no final do século 18, teve como grande tecnologia disruptiva a invenção da máquina a vapor, esta que foi capaz de recharacterizar a produção fabril ao transformar a matriz energética de trabalho físico para força mecânica, assim, dinamizando a atividade industrial e alterando profundamente a organização social, econômica e cultural de diversos países. (MARTINS; ALMEIDA, 2018). A segunda, já na segunda metade do século XIX, se destacou pela expansão global e pelo advento da eletricidade que ocasionou uma mudança na fonte de energia principal, passando do vapor para a eletricidade e o petróleo; fatos que trouxeram considerável avanço na produtividade industrial. (CARDOSO, 2016).

Posteriormente, no século XX, outro aspecto se destacou, o surgimento de movimentos de gestão científica do trabalho, como o taylorismo e o fordismo, que através de seus métodos lançam bases à sociedade de consumo em massa, à produção em série e generalizam o acesso aos produtos industrializados; esse paradigma produtivo acabou sendo amplamente difundido e caracterizando distintas sociedades. (SAKURAI; ZUCHI, 2018). Entretanto, após a Era de Ouro do capitalismo, o mundo passa por uma forte crise econômica onde o toyotismo surge como opção se tornando o paradigma produtivo hegemônico, e por consequência, ocorrem uma série de transformações de esfera social, cultural e econômica. (RIBEIRO, 2015). Nesse mesmo período, década de 1970, se dá o início da Terceira Revolução Industrial, posto o esgotamento do regime tecnológico vigente. Esta, por

sua vez, foi caracterizada pelo advento da eletrônica, da informática, da robótica e pela inserção destas na produção industrial; fato que traz um novo período de significativos ganhos de produtividade e transformações sociais. (CONCEIÇÃO, 2012)

Desta forma, é possível observar que os movimentos em destaque envolvem uma evolução e expansão contínua, não são fases desconexas, mas sim se constituem como um processo histórico longo e conexo que tem ocasionado grandes e expressivas transformações econômicas e sociais.(CAVALCANTE, 2019).

Nesse sentido, compreendendo a relevância que tecnologias disruptivas possuem para a ascensão das Revoluções Industriais, é possível observar que assim como o advento da força mecânica da máquina a vapor está para a Primeira Revolução Industrial, a eletricidade está para a Segunda Revolução Industrial, e a eletrônica e tecnologia da informação estão para a Terceira Revolução Industrial. Muitos estudiosos têm destacado o surgimento de um novo movimento que denominam como Quarta Revolução Industrial, e que está firmado na capacidade de conjecturar e analisar grandes bases de dados.

Ao longo da última década, observa-se o desenvolvimento de um processo de digitalização da atividade industrial caracterizado pela introdução de um conjunto de novos dispositivos e sistemas que tem transformado a forma de gerir, pensar, idealizar e planejar o processo produtivo; destacando-se em especial os dez avanços tecnológicos fundamentais, os pilares da I4.0. A aplicação desses conceitos à indústria tem dado origem às fábricas inteligentes, baseadas na alta flexibilidade e adaptabilidade, assim como na capacidade de autonomamente tomar decisões operacionais ótimas ao longo de toda cadeia produtiva. (MARTINS; ALMEIDA, 2018).

Somado a isso, é importante observar como os conceitos da I4.0 transcendem o ambiente industrial ao promoverem mudanças complexas na sociedade. Novas demandas, novos negócios, novos produtos e novos empregos geram uma transformação de mentalidade. Espera-se não apenas uma mudança na forma como se organiza a produção, mas também em como vivencia-se as relações econômicas. Profundos são os impactos sociais e econômicos esperados com a evolução e massificação da digitalização. (SANTOS et al., 2018).

Entretanto, apesar de diversos autores tratarem esse movimento como uma nova revolução industrial - posto o grau de impacto socioeconômico -, esta visão não é um consenso na comunidade acadêmica. Outros autores acreditam

que a I4.0 se constitui como um aprofundamento e intensificação da terceira revolução, pois as tecnologias e avanços surgidos em meio a esse movimento são fundamentalmente de eletrônica, tecnologia da informação e comunicação. Analisar um fato histórico tão emblemático enquanto o mesmo ainda está em sua gênese é desafiador e complexo posta as incertezas inerentes ao tema. Independente de qual posição seja verdade, fato é que a digitalização da indústria e as diversas tecnologias que estão surgindo tem apresentado um potencial disruptivo, inovador e transformador, tanto que se constituem como pauta central do debate econômico nos distintos países.

Desde os primórdios do movimento em questão, os governos dos distintos países têm agido de forma ativa para a rápida maturação destes avanços tecnológicos fundamentais; tanto que, a origem do nome Indústria 4.0, está no nome dado a um projeto estratégico de política industrial incluído, pelo governo alemão em 2012, no Plano High Tech 2020. Na sequência, diversos países também apresentaram planos de política industrial focados na manufatura inteligente, como os Estados Unidos, a China, a Coreia do Sul e o Japão. Os planejamentos industriais desenvolvidos por esses países na última década estiveram devidamente alinhados a essa nova fase de aperfeiçoamento das manufaturas. (LUCENA et al, 2020)

Dentre essas nações, o modelo alemão se destaca em seu pioneirismo e vanguardismo quanto ao desenvolvimento dos conceitos da I4.0, fato que o tornou referência para os demais países que desejam planificar um processo de digitalização da indústria. Por isso, este caso se constitui como central, não apenas para tornar mais concreto as diversas abstrações e oportunidades vislumbradas, mas também para compreender como a digitalização da indústria e da sociedade se constituem como um tema central ao debate público.

O governo alemão, de modo geral, ao longo de sua história se caracteriza por assumir uma posição central na condução do desenvolvimento industrial; partindo da compreensão que sua atuação se faz necessária para, no mínimo, gerar um ambiente propício ao crescimento. Deste modo, diversas instituições e organismos surgiram ao longo dos anos para incentivo do ensino, da pesquisa e para fornecer apoio financeiro às distintas atividades que auxiliassem o avanço industrial. A partir da segunda metade dos anos 2000, essa influência do Estado, e o esforço das demais instituições, passou a ser concentrada para o

fomento de um processo de digitalização da indústria. Diversos projetos e estratégias foram e estão sendo desenvolvidas nesse período, e assim, auxiliando na evolução das capacidades produtivas da Alemanha. (BALESTRO et al., 2019)

Assumindo esta perspectiva, este país tem assumido, no cenário internacional, um papel extremamente relevante como fornecedor de soluções high-tech, em especial de sistemas cyber-físicos e robótica autônoma. Seu modelo de gestão com ampla participação dos diversos agentes sociais, tendo o Estado como condutor e gestor desse processo de desenvolvimento, tem sido referência para demais nações. (DAUT; WILLCOX, 2016)

Acredita-se que este movimento de digitalização da indústria ainda está em um estágio incipiente e por isso afirmações mais categóricas quanto ao que este processo se constitui ainda são de difícil constatação; inclusive, grande parte dos benefícios vislumbrados permanecem no campo das ideias e necessitam de grandes desenvolvimentos tecnológicos e institucionais para se concretizarem. Entretanto, independentemente de ser uma revolução industrial ou não, é fato que a indústria 4.0 está em processo de implementação e por isso é imprescindível que países de renda média, como o Brasil, se alinhem a essa tendência. Não necessariamente aderindo a qualquer avanço tecnológico, mas debatendo o tema e desenvolvendo políticas que gerem um ambiente seguro para a sociedade. É de suma importância compreender essa evolução não apenas a partir da visão dos ganhos financeiros, é necessário tratar esse processo como um mecanismo de inovação social capaz de trazer uma série de benefícios para a população. Por isso, a atuação do Estado deve estar no incentivo aos avanços tecnológicos, mas também na regulação de certas questões, como a proteção de dados e os direitos trabalhistas.

## REFERÊNCIAS

- ARBIX, G.; MIRANDA, Z.; TOLEDO, D.; ZANCUL, E. Made in China 2025 e Industrie 4.0 A difícil transição chinesa do catching up à economia puxada pela inovação. *Tempo Social*, São Paulo, v. 30, n. 3, p. 143-170.
- BALESTRO, M.; TONI, J.; BOTELHO, A.J. Germany's innovation manufacturing: a path to knowledge-intensive economy. *Revista Pós Ciências Sociais*, São Luís, v.18, n.2, p. 333-354, 2021.
- BAHRIN, M.A.K.; OTHMAN, M.F.; AZLI, N.H.N.; TALIB, M.F. Industry 4.0: a review on industrial automation and robotic. *Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering)*, Skudai, Malásia, v. 78, n. 6-13, p. 137-143, 2016.
- BATISTA, E. Fordismo, taylorismo e toyotismo: apontamentos sobre suas rupturas e continuidades. *Anais III Simpósio Lutas Sociais na América Latina*, UEL, Londrina, 2008.
- BROWN, D. RFID Implementation. Nova York, EUA: McGRAW-Hill Communications, 2007.
- BUHR, D. Social Innovation Policy for Industry 4.0. Alemanha: Friedrich-Ebert-Stiftung, 2017.
- CARDOSO, M.O. Indústria 4.0: a quarta revolução industrial. Curitiba: UTFPR, 2016.
- CAVALCANTE, I.M. Indústria 4.0 e suas Perspectivas Futuras para o Brasil: uma revisão sistemática da literatura. Bananeiras: UFPB, 2019.
- CIMOLI, M.; DOSSI, G.; NELSON, R.R.; STIGLITZ, J. Instituições e Políticas Moldando o Desenvolvimento Industrial: uma nota introdutória. *Revista Brasileira de Inovação*, Rio de Janeiro, v.6, n.1, p.55-85, 2007.
- CHANG, H.-J.; ANDREONI, A.; KUAN, M. L. International industrial policy experiences and the lessons for the UK. Londres: Government Office of Science, 2013.
- CONCEIÇÃO, C.S. Da Revolução Industrial à Revolução da Informação: uma análise evolucionária da industrialização da América Latina. Porto Alegre: Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Economia, UFRGS, 2012.
- CORONEL, D.A.; AZEVEDO, A.F.Z.; CAMPOS, A.C. Política industrial e desenvolvimento econômico: a reatualização de um debate histórico. *Revista de Economia Política*, São Paulo, v. 34, n. 1, p. 103-119, 2014
- CUOGO, F. C. Reflexo da Terceira Revolução Industrial na sociedade informacional e sua relação com a educação à distância. Ijuí/RS: UNIJUI, 2012.
- DA SILVA, D.A.G. Indústria 4.0 com foco nos Sistemas Cyber Físicos. Ponta

Grossa/PR: UTFPR, 2018.

DA SILVA, M.C.A.; GASPARIN, J.L. A segunda revolução industrial e suas influências sobre a educação escolar brasileira. Universidade Estadual de Maringá, 2006.

DAUT, G.; WILLCOX, L.D. Reflexões críticas a partir das experiências dos Estados Unidos e da Alemanha em manufatura avançada. BNDES Setorial, Rio de Janeiro, v.44, p.5-45, 2016

DATHEIN, R. Inovação e Revoluções Industriais: uma apresentação das mudanças tecnológicas determinantes nos séculos XVIII e XIX. DECON/UFRGS, Porto Alegre, 2003.

DIAS, I.M.; LOPES, S.F. Framework de integração entre as tecnologias, princípios e dimensões dos projetos da I4.0 no contexto de uma mineradora. Ouro Preto/MG: UFOP, 2021.

DO CARMO, R.G. Resenha do livro: PINTO, G. A. A organização do trabalho no século 20: taylorismo, fordismo e toyotismo. 2ª edição. São Paulo: Expressão Popular, 2010. Revista HISTEDBR On-line, Unicamp, Campinas, n.44, p. 325-327, 2011.

DOS SANTOS, C.P. Trabalho, Controle e Subordinação: o taylorismo-fordismo como modo de organização da autoridade do capital no século XX. Revista Eletrônica de Ciências Sociais, Juiz de Fora, v. 8, n. 19, p. 106-120, 2015

ERBER, F.S.; CASSIOLATO, J.E. Política industrial: teoria e prática no Brasil e na OCDE. Revista de Economia Política, São Paulo, v. 17, n.2, p. 195-224, 1997.

FARAH JR., M.F. A Terceira Revolução Industrial e o Novo Paradigma Produtivo: Algumas Considerações sobre o Desenvolvimento Industrial Brasileiro nos Anos 90. Revista FAE, Curitiba, v.3, n.2, p.45-61, 2000.

FENERICK, J.,A.; VOLANTE, C.R. A Evolução das indústrias, os benefícios da automação e as perspectivas do mercado da robótica no Brasil e no mundo. Revista Interface Tecnológica, Taquaritinga, v. 17, n. 1, p. 734-745, 2020.

FILHO, C.R.S.; MUSSIO, S.C. Os Entraves para a Transição da Indústria 4.0: a realidade no Brasil e na Espanha. Fatecnológica, Jahu/SP, v. 15, n. 1, p. 64-78, 2021.

FRANCO, T. Alienação do Trabalho: despertencimento social e desrenraizamento em relação à natureza. CADERNO CRH, Salvador, v. 24, n. spe 01, p. 171-191, 2011.

FRÓIS, K.P. Globalização e Cultura a identidade no mundo de iguais. Cadernos de Pesquisa Interdisciplinar em Ciências Humanas, Florianópolis, v. 5, n. 62, p. 1-9, 2004.

HAYNE, L.A.; WYSE, A.T.S. Análise da evolução da tecnologia: uma contribuição para o ensino da ciência e tecnologia. Revista Brasileira de Ensino de Ciência e

Tecnologia, Ponta Grossa, v. 11, n. 3, p. 37-64, 2018.

HIRSCH-KREINSEN, H. "Industry 4.0" as Promising technology: Emergence, semantics and ambivalent character. *Soziologisches Arbeitspapier*, Dortmund/DE, n. 48, 2016.

HOBBSAWM, E. J. *Da Revolução Industrial Inglesa ao Imperialismo*. 2.ed. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 1979.

HORN, L.S. *A Estratégia Alemã para a Indústria Digital*. Porto Alegre: UFRGS, 2017.

HWANG, J.S. The Fourth Industrial Revolution (Industry 4.0): Intelligent Manufacturing. *SMT Magazine*, Nashua/USA, v.31, n. 7, p. 10-15, 2016

LIMA, E. C.; NETO, C, R, O. Revolução Industrial: considerações sobre o pioneirismo Industrial inglês. *Revista Espaço Acadêmico*, Maringá, n. 194, p. 102-113, 2017.

LIMA, K.M. *Determinismo Tecnológico*. XXIV Congresso Brasileiro da Comunicação, Campo Grande, 2001.

LUCENA, F.A; ROSELINO, J.E.; DIEGUES, A.C. A Indústria 4.0: uma análise comparativa entre as experiências da Alemanha, EIA, China, Coreia do Sul e Japão. *Geosul, Florianópolis*, v. 35, n. 75, p. 113-138, 2020.

MARTINS, N.F.S.; ALMEIDA, E.V. A Revolução Industrial e a Indústria 4.0. *Anais do Conic-Semesp UNIP, Jaguariúna*, v.6, 2018.

MORAES NETO, B.R. *Maquinaria, taylorismo e fordismo: a reinvenção da manufatura*. *Revista de Administração de Empresas*, Rio de Janeiro, v. 26, n. 4, p.31-34, 1986.

MORRAR, R.; ARMAN, H.; MOUSA, S. The Fourth Industrial Revolution (Industry 4.0): A Social Innovation Perspective. *Technology Innovation Management Review*, Singapura, v.7, n.11, p. 12–20, 2017

OLIVEIRA, E.;M. *Transformações no Mundo do Trabalho, da Revolução Industrial aos nossos dias*. *Revista Caminhos da Geografia, Uberlândia*, v.6, n. 11, p. 84-96, 2004.

PASQUINI, N. C. *Revoluções Industriais: uma abordagem conceitual*. *Revista Tecnológica da Fatec - Americana, Americana*, v. 8, n. 1, p. 29-44, 2020

PAULO, S.F. *A Terceira Revolução Industrial e a estagnação da acumulação capitalista*. *Revista Mundo Livre, Campos dos Goytacazes*, v.5, n.2, p. 54-77, 2019.

RIBEIRO, A.F. *Taylorismo, fordismo e toyotismo*. *Revista Lutas Sociais, PUC-SP, São Paulo*, vol.19, n.35, p.65-79, 2015.

RIBEIRO, J.M. *O Conceito da Indústria 4.0 na Confecção: Análise e Implementação*.

Braga, Portugal: Universidade do Minho, 2018.

RÜßMANN, M.; LORENZ, M.; GERBERT, P.; WALDNER, M; JUSTUS, J.; ENGEL, P.; HARNISCH, M. Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries. The Boston Consulting Group (BCG), Munique/DE, 2015.

SAKURAI, R.; ZUCHI, J.D. As Revoluções Industriais até a Indústria 4.0. Revista Interface Tecnológica, Taquaritinga, v. 15, n. 2, p. 480-491, 2018.

SANTOS, B. P.; ALBERTO, A. LIMA, T.D.F.M.; CHARRUA-SANTOS, F.M.B. Indústria 4.0 - Desafios e Oportunidades. Revista Produção e Desenvolvimento, Rio de Janeiro, v.4, n.1, p.111-124, 2018.

SANTOS, F.L.A. A estratégia chinesa frente a Indústria 4.0, uma análise comparativa. Sorocaba: UFSCAR, 2019.

SANTOS, G.G. A Indústria 4.0 e seus Reflexos nas Lutas pelos Direitos Trabalhistas. Campinas: PUC, 2022.

SUZIGAN, W. Experiência histórica de política industrial no Brasil. Revista de Economia Política, São Paulo, v. 16, n. 1, p. 3-19, 1996.

SUZIGAN, W.; FURTADO, J. Política Industrial e Desenvolvimento. Revista de Economia Política, São Paulo, v. 26, n. 2, p. 163-185, 2006.

STĂNCIOIU, A. The Fourth Industrial Revolution: industry 4.0. Revista Fiabilitate si Durabilitate - Fiability & Durability, Târgu Jiu, Romênia, n. 1, 2017.

STORM, S.; NAASTEPAD, C.W.M. Europe's Hunger Games: Income Distribution, Cost Competitiveness and Crisis Get access Arrow. Cambridge Journal of Economics, v. 39, n. 3, p. 959-986, 2014

SZULEWSKI, P. Concepts of industrial automation products for Industry 4.0. Mechanik Journal, Poznań/PL, n. 6, p. 574-578, 2016.

TANTAWI, K.H.; SOKOLOV, A.; TANTAWI, O. Advances in Industrial Robotics: From Industry 3.0 Automation to Industry 4.0 Collaboration. 4th Technology Innovation Management and Engineering Science International Conference (TIMES-iCON), Bangkok/TH, 2019, p. 1-4.

TEIXEIRA, R.L.P; BRITO, M.L.A; TEIXEIRA, C.H.S.B.; SILVA, P.C.D. Os discursos acerca dos desafios da siderurgia na indústria 4.0 no Brasil. Brazilian Journal of Development, Curitiba, v. 5, n. 12, p. 28290-28309, 2019.

VERMESAN, O.; FRIESS, P. Internet of Things Applications – From Research and Innovation to Market Deployment. Gistrup/DK: Rivers Publishers, 2014.

WOMACK, J.P.; JONES, D.T; ROOS, D. O Surgimento da Produção Enxuta. In: \_\_\_\_\_. A máquina que mudou o mundo. Rio de Janeiro: Campus, 1992.