



**UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL**  
**ÁREA DO CONHECIMENTO DE CIÊNCIAS SOCIAIS**  
**CURSO DE CIÊNCIAS ECONÔMICAS**

**ANA PAULA DE BASTIANI**

**INDÚSTRIA 4.0 NA ECONOMIA BRASILEIRA: IMPACTOS E DESAFIOS**

**CAXIAS DO SUL**

**2020**

**ANA PAULA DE BASTIANI**

**INDÚSTRIA 4.0 NA ECONOMIA BRASILEIRA: IMPACTOS E DESAFIOS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado como requisito para obtenção do Grau de Bacharel em Ciências Econômicas da Universidade de Caxias do Sul.

Sob orientação da Professora Ma. Lodonha Maria Portela Coimbra Soares.

**CAXIAS DO SUL  
2020**

**ANA PAULA DE BASTIANI**

**INDÚSTRIA 4.0 NA ECONOMIA BRASILEIRA: IMPACTOS E DESAFIOS**

Trabalho apresentado como requisito para a obtenção do Grau de Bacharel em Ciências Econômicas da Universidade de Caxias do Sul.

**Aprovada em:** \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

**Banca Examinadora**

---

Prof<sup>a</sup>. Ma. Lodonha Maria Portela Coimbra Soares  
Universidade de Caxias do Sul – UCS

Orientadora

---

Prof<sup>a</sup>. Ma. Jacqueline Maria Corá  
Universidade de Caxias do Sul – UCS

---

Prof<sup>a</sup>. Ma. Mônica Beatriz Mattia  
Universidade de Caxias do Sul – UCS

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a meus pais, que ao longo desta caminhada me apoiaram em todos os momentos, entendendo os momentos de ausência dedicados aos estudos, por acreditarem em minhas escolhas, incentivando-me nessa jornada, não medindo esforços para que eu pudesse realizar esse sonho, e também aos meus outros familiares que sempre me deram o suporte necessário.

A meu namorado Guilherme, que percorreu esta caminhada ao meu lado, sendo um grande companheiro tanto na vida como nos estudos, estando presente nos momentos mais felizes e mais difíceis que tive até aqui, muito obrigada por tudo.

Agradeço especialmente a minha orientadora Professora Lodonha Maria Portela Coimbra Soares pela dedicação e competência em suas orientações prestadas para a conclusão deste trabalho, me incentivando e colaborando no desenvolvimento de minhas ideias.

Muito obrigada aos meus amigos e colegas de curso, pelos momentos que vivemos no ambiente acadêmico, pelas trocas de experiências e saberes. Por fim, minha sincera gratidão a todas as pessoas citadas acima, e aqueles que me apoiaram e estiveram comigo ao longo desta caminhada.

*“Inteligência é a capacidade de se  
adaptar à mudança”*

**Stephen Hawking**

## RESUMO

Indústria 4.0 é um conceito que surgiu na Alemanha e remete a quarta revolução industrial. O principal diferencial dessa revolução é a digitalização de todos os processos e a utilização de novas tecnologias como robôs autônomos, internet das coisas, big data, manufatura aditiva e sistemas cyber-físicos. Esta monografia expõe algumas perspectivas sobre essa nova revolução industrial, na qual se investiga suas potencialidades, desafios e dificuldades para sua maior propagação no Brasil. Com a Indústria 4.0, se espera elevar os índices de produtividade, flexibilidade e inteligência dos meios de produção, assim resultaria em fábricas mais inteligentes e automatizadas. A fundamentação teórica dedicou-se ao estudo dos aspectos teóricos do desenvolvimento das revoluções industriais. A metodologia utilizada é teórico histórico para o capítulo 2, teórica descritiva para o capítulo 3 e teórica analítica para o capítulo 4. Pode-se concluir que a quarta revolução industrial já está acontecendo no Brasil, mas ainda há alguns desafios que precisam ser superados para que se possa afirmar que o Brasil, de fato, alcançou o patamar 4.0.

**Palavras-chave:** Revolução Industrial, Indústria 4.0, Inovação, Tecnologia, Desenvolvimento Industrial.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução e mudança das Revoluções Industriais .....	37
Figura 2 - Arquitetura dos Sistemas Ciber Físicos .....	40
Figura 3 - Comunicação máquina a máquina.....	44
Figura 4 - Processo da Impressão 3D.....	46

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Tecnologias com importante Potencial Transformador .....	35
Quadro 2 - Ondas longas de mudança tecnológica .....	37
Quadro 3 - Empresas que utilizam Tecnologias Digitais .....	49
Quadro 4 - Índice Global de Inovação .....	55

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Construção mundial de estradas de ferro, por décadas (em milhas) .....	22
Tabela 2 – Expectativa de redução de custos de produção de diversos setores industriais .....	51
Tabela 3 – Preocupações e dificuldades sobre a introdução da Indústria 4.0 .....	52
Tabela 4 – Principais barreiras que inibem a introdução da Indústria 4.0 nas indústrias brasileiras (em porcentagem).....	54

## LISTA DE SIGLAS

CPS	Ciber Physical Systems
IoT	Internet of Things
PwC	Pricewaterhouse Coopers
IoS	Internet of Services
M2M	Machine to Machine
AI	Artificial Intelligence
AR	Augmented Reality
PIB	Produto Interno Bruto
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
1.1	FORMULAÇÃO DO PROBLEMA DE PESQUISA .....	14
1.2	DEFINIÇÃO DAS HIPÓTESES .....	14
<b>1.2.1</b>	<b>Hipótese Principal .....</b>	<b>14</b>
<b>1.2.2</b>	<b>Hipóteses Secundárias .....</b>	<b>15</b>
<b>1.3</b>	<b>JUSTIFICATIVA DA ESCOLHA DO TEMA.....</b>	<b>15</b>
<b>1.4</b>	<b>DEFINIÇÃO DOS OBJETIVOS.....</b>	<b>16</b>
1.4.1	Objetivo Principal.....	16
1.4.2	Objetivos Secundários.....	16
1.5	METODOLOGIA.....	16
<b>2</b>	<b>AS REVOLUÇÕES INDUSTRIAIS.....</b>	<b>18</b>
2.1	PRIMEIRA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL .....	18
2.2	SEGUNDA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL .....	26
2.3	TERCEIRA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL.....	30
<b>3</b>	<b>A INDÚSTRIA 4.0: TECNOLOGIAS E PRINCIPAIS PILARES.....</b>	<b>33</b>
3.1	QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL E SUAS TECNOLOGIAS .....	34
3.2	PRINCIPAIS PILARES DA INDUSTRIA 4.0 .....	39
<b>3.2.1</b>	<b>Elementos fundamentais .....</b>	<b>39</b>
3.2.1.1	Sistemas <i>Ciber</i> Físicos.....	39
3.2.1.2	Internet das Coisas.....	40
3.2.1.3	Internet dos Serviços .....	42
<b>3.2.2</b>	<b>Elementos estruturantes.....</b>	<b>42</b>
3.2.2.1	Big Data.....	42
3.2.2.2	Comunicação Máquina a Máquina .....	43
3.2.2.3	Inteligência Artificial.....	44
<b>3.2.3</b>	<b>Elementos complementares .....</b>	<b>45</b>
3.2.3.1	Realidade Aumentada .....	45
3.2.3.2	Manufatura aditiva ou impressão 3D .....	45
<b>4</b>	<b>INDÚSTRIA 4.0: IMPACTOS E DESAFIOS NA ECONOMIA BRASILEIRA .....</b>	<b>46</b>
4.1	IMPACTOS DA INDÚSTRIA 4.0 NA ECONOMIA BRASILEIRA .....	47
4.2	DESAFIOS DA INDÚSTRIA 4.0 NA ECONOMIA BRASILEIRA.....	51

<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>57</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>59</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O tema Indústria 4.0 está crescendo significativamente em todo o mundo. O termo é objeto de discussão entre muitos especialistas da atualidade, como uma iniciativa de pesquisa da Alemanha. Criada em 2012, o Programa Industria 4.0 chama a atenção de empresas em todo o mundo, por implicar o que pode ser chamado de 4ª. Revolução Industrial.

A transformação digital é parte de um grande processo tecnológico e está interligada à aplicação da tecnologia digital em todos os aspectos da sociedade humana. O digital está ligado ao meio de conversão de informação analógica em formato digital, já a digitalização está associada à questão de transformar os métodos físicos em métodos virtuais, não existindo uma clara determinação e amplamente aceita para se definir a transformação digital.

A Indústria 4.0 é apontada como uma nova etapa da Revolução Industrial, que tende a impulsionar o crescimento e o desenvolvimento econômico. Com esta nova fase espera-se a capacidade de englobar diversas tecnologias que auxiliam na automação e digitalização de processos com um maior controle aos mecanismos de manufatura.

Diante do exposto, a presente monografia tem como objetivo indicar os potenciais benefícios na aplicação e desenvolvimento das técnicas da Indústria 4.0 na cadeia produtiva brasileira. São analisadas as tecnologias, os impactos e as adversidades para sua implementação na estrutura industrial. Ao decorrer do trabalho se expõe os possíveis impactos, expectativas e desafios assinalado pelos empresários brasileiros acerca desta Nova Revolução Industrial para a economia brasileira.

Esta monografia se divide em quatro capítulos, incluindo esta introdução e por fim a conclusão. No capítulo dois, será apresentado a fundamentação teórica das três primeiras revoluções industriais. Já no terceiro, será abordado sobre a indústria 4.0: suas tecnologias e principais pilares. O quarto capítulo apontará os impactos e desafios da Indústria 4.0 na economia brasileira.

## 1.1 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA DE PESQUISA

O desenvolvimento industrial teve início na segunda metade do século XVIII no Reino Unido, substituindo a mão de obra artesanal pelo trabalho assalariado com o uso de máquinas. Surgindo então a indústria e assim consolidando o processo de formação do capitalismo.

A Segunda Revolução Industrial ocorreu em meados do século XIX à meados do século XX, incluindo países como Japão, Estados Unidos e demais países da Europa, tendo seu fim na Segunda Guerra Mundial. As principais inovações desse período foram associadas ao uso da eletricidade, da química, do petróleo e do aço.

Já a Terceira Revolução Industrial é considerada a Revolução Tecnocientífica, teve seu início após a Segunda Guerra Mundial (séc. XX), nos países emergentes caracterizados por uma industrialização tardia e periférica, esse é o caso do Brasil. Esta fase da revolução, está ligada aos avanços tecnológicos e científicos.

O conceito de Indústria 4.0 representa o que se vivencia a partir do século XXI, a grande revolução industrial. A mesma, se caracteriza por englobar as mais altas tecnologias que permitem a fusão do mundo digital, físico e biológico. Esta Revolução é considerada uma grande oportunidade para o país crescer economicamente.

Diante do exposto, o presente trabalho pretende responder as seguintes indagações:

- a) Quais são as etapas do Desenvolvimento Industrial?
- b) O que é a Indústria 4.0?
- c) Quais são os impactos econômicos da Indústria 4.0 no Brasil?
- d) Quais são os pilares da Indústria 4.0?
- e) Quais são os desafios da Indústria 4.0 no Brasil?

## 1.2 DEFINIÇÃO DAS HIPÓTESES

### 1.2.1 Hipótese Principal

A Revolução Industrial a partir do século XXI, seus desdobramentos e a

introdução da Indústria 4.0, trouxe pouco impacto para a economia Brasileira, tendo em vista a heterogeneidade tecnológica do país.

### **1.2.2 Hipóteses Secundárias**

H1: O Desenvolvimento Industrial teve início no século XVIII e desde então vem sofrendo evoluções de grande impacto tecnológico.

H2: A Indústria 4.0 pressupõe novos paradigmas nas relações de produção e do trabalho baseados na aplicação sistemática de ambientes altamente tecnológicos, autônomos e virtualmente conectados.

H3: Com os avanços tecnológicos será possível um aumento da competitividade e produtividade.

H4: A implantação da Indústria 4.0 no Brasil, trará uma possível redução dos custos industriais.

H5: O conceito da Indústria 4.0 envolve as inovações tecnológicas nos campos de automação e tecnologia da informação para manufatura.

H6: Tornar a Indústria 4.0 realidade implicará a adoção gradual de um conjunto de tecnologias emergentes.

### **1.3 JUSTIFICATIVA DA ESCOLHA DO TEMA**

O presente trabalho é relevante, pois a indústria, especialmente a partir do século XXI, passou por transformações de inovação, gerando profundas mudanças econômicas e sociais.

A Indústria 4.0 é apontada como uma nova fase da revolução industrial, que tende a impulsionar o crescimento e desenvolvimento econômico. Esta nova etapa, traz transformações em todos os setores da sociedade, modificando assim o modelo de negócio, produção, consumo, transporte, entrega e a forma como se vive. Sendo assim, é necessário compreender como essa transformação digital muda em todos os aspectos o país no qual se vive, seja de modo social, cultural e econômico.

Desta forma, o trabalho se justifica por apresentar a Indústria 4.0, seus respectivos impactos e desafios na economia do país, baseando-se pelo estágio que o setor industrial brasileiro vivencia.

## 1.4 DEFINIÇÃO DOS OBJETIVOS

### 1.4.1 Objetivo Principal

Apresentar a evolução do Desenvolvimento Industrial, com foco na Indústria 4.0, seus impactos e desafios na economia brasileira.

### 1.4.2 Objetivos Secundários

1. Mostrar a evolução histórica das três primeiras revoluções industriais.
2. Caracterizar a Indústria 4.0.
3. Explicitar seus impactos econômicos no Brasil.
4. Analisar os pilares da Indústria 4.0.
5. Demonstrar seus desafios perante a economia brasileira.

## 1.5 METODOLOGIA

Para Fonseca (2002), *metodos* significa organização, e *logos*, estudo sistemático, pesquisa, investigação; ou seja, metodologia é o estudo da organização, dos caminhos a serem percorridos, para se realizar uma pesquisa ou um estudo, ou para fazer ciência. Etimologicamente, significa o estudo dos caminhos, dos instrumentos utilizados para fazer uma pesquisa científica.

Minayo (2007, p.44) define metodologia de forma abrangente e concomitante:

(...) como a discussão epistemológica sobre o “caminho do pensamento” que o tema ou o objeto de investigação requer; b) como a apresentação adequada e justificada dos métodos, técnicas e dos instrumentos operativos que devem ser utilizados para as buscas relativas às indagações da investigação; c) e como a “criatividade do pesquisador”, ou seja, a sua marca pessoal e específica na forma de articular teoria, métodos, achados experimentais, observacionais ou de qualquer outro tipo específico de respostas às indagações específicas.

Assim, para a realização deste estudo optou-se pelos caminhos metodológicos mais coerentes para alcançar aos objetivos propostos. No capítulo dois foi utilizado a pesquisa teórico histórico, com o objetivo de mostrar a evolução histórica das três primeiras revoluções industriais.

Já o capítulo três foi desenvolvido por meio de uma pesquisa teórica descritiva, na qual, se apresenta a abordagem teórica acerca da Indústria 4.0, suas tecnologias e seus principais pilares.

Segundo Silva e Menezes (2000, p. 21),

A pesquisa descritiva visa descrever as características de determinada população ou fenômeno ou o estabelecimento de relações entre variáveis. Envolve o uso de técnicas padronizadas de coleta de dados: questionário e observação sistemática. Assume, em geral, a forma de levantamento.

O capítulo quatro foi elaborado por meio de um estudo teórico analítico, onde são analisados os desafios e impactos da Indústria 4.0 na economia brasileira.

## 2 AS REVOLUÇÕES INDUSTRIAIS

A indústria tem passado por mudanças desde o século XVIII, em sua forma de atuação, gerando inovação e profundas mudanças sociais e econômicas.

Essas transformações, podem ser verificadas por meio de um processo de revoluções de técnicas de produção, que são conhecidas como Revoluções Industriais, que propiciaram crescimento da renda, produtos, serviços e avanços sociais (BRETTEL et al., 2014).

Diante do exposto, o presente capítulo tem por objetivo traçar um panorama das revoluções industriais.

### 2.1 PRIMEIRA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

No século XVIII, uma série de invenções transformou a indústria de algodão na Inglaterra e deu origem a um modo de produção - o sistema fabril. Considerada uma grande potência mundial, a Inglaterra foi o primeiro estado nação a transformar seu capital comercial em capital industrial. Vários fatores contribuíram para que a Inglaterra fosse pioneira na Revolução Industrial, um deles foi o surgimento da burguesia como classe social, geograficamente o território inglês era privilegiado, recursos naturais em excesso como o ferro, lã e carvão, entre outros fatores (LANDES, 2005).

A exploração de novos mercados ocorreu, pelo fato de os ingleses possuírem acesso ao comércio marítimo, acontecendo um aumento na zona de livre comércio. A Inglaterra acabou se tornando uma grande potência marítima, passando a investir seu acúmulo de capital nas fábricas.

Durante esses anos, outros ramos da indústria realizaram progressos e, juntos, apoiando-se mutuamente, possibilitaram novos benefícios, numa perspectiva cada vez mais ampla. Ocorreram inúmeras inovações, mas é possível agrupá-las em três princípios: a substituição da habilidade e do esforço humano pelas máquinas – rápidas, constantes, precisas e incansáveis; a substituição de fontes animadas de energia por fontes inanimadas, em especial a introdução de máquinas para converter o calor em trabalho, o que proporcionou ao homem acesso a um suprimento novo e praticamente ilimitado de energia; e o uso de matérias primas novas e muito mais abundantes, sobretudo a substituição de substâncias vegetais ou animais por minerais

(LANDES, 2005).

Sua transformação nos processos de produção artesanal e manufatureira para a produção fabril, foi evidentemente uma grande evolução. A máquina a vapor de James Watt<sup>1</sup>, é um dos principais elementos de ordem política e econômica que possibilitou o pioneirismo inglês. Ela foi construída em 1698 por Thomas Newcomen e, entre 1769 e 1782 foi aperfeiçoada por Watt, sua contribuição como geradora de energia foi fundamental para a indústria têxtil. A máquina de Watt possibilitou também um aumento de produtividade no transporte e na atividade mineral (DEZORDI, 2012).

Até a segunda metade do século XVIII, a Inglaterra era destaque na tecelagem de lã e com a evolução de novas máquinas o algodão foi criando espaço na indústria têxtil. As colônias auxiliaram com a matéria prima e demanda desses produtos.

Em 1760, a Inglaterra chegou a importar cerca de £2,5 milhões de algodão cru para alimentar uma indústria localizada na região rural de Lancashire, onde existia um conjunto de fábricas de produção de linho. Uma geração após, em 1787, o consumo de algodão cru elevou-se para £22 milhões, em termos de emprego e valor do produto, a fabricação do algodão só era menor do que a da lã. Meio século depois, a manufatura de algodão tornou-se a mais importante do reino, passando a ter um consumo de £366 milhões (LANDES, 2005).

O pioneirismo da Inglaterra na Revolução Industrial, se deu por conta de condições favoráveis tanto política quanto de mão de obra abundante. Porém, o desenvolvimento tecnológico foi essencial para grandes invenções interligadas.

Segundo Landes (2005, p 44) “a mudança tecnológica nunca é automática”, pois representa a substituição de métodos já estabelecidos, causando prejuízo ao capital investido e contratempos pessoais. É necessário haver uma combinação de fatores que incitem essa mudança e a possibilitem. Nesse sentido, Landes (2005) aponta dois fatores:

... (1) uma oportunidade de aperfeiçoamento em razão da inadequação das técnicas vigentes ou uma necessidade de aprimoramento criada por aumentos autônomos dos custos dos fatores; e (2) uma superioridade de tal ordem que os novos métodos fossem compensatórios para cobrir os custos de mudança (LANDES, 2005, p 44).

---

<sup>1</sup> James Watt (1736-1819) foi um engenheiro mecânico e matemático escocês. Aperfeiçoou a máquina a vapor inaugurando a era do vapor na Revolução Industrial na Inglaterra. Seu nome foi dado à unidade de potência de energia “o watt”.

Com isso, levando em consideração o último fator exposto, fica implícito que, as novas técnicas seriam suficientes para permitir que os produtores progressistas aumentassem seus preços e substituíssem os usuários dos métodos mais antigos e menos eficientes.

Em 1733, a lançadeira volante foi desenvolvida por John Kay<sup>2</sup> com o objetivo de aumentar a capacidade de tecer, antes desse invento, os tecelões produziam tecidos apenas do tamanho de seus braços e, após, foi possível confeccionar tecidos bem mais largos. Houve um desalinho entre a produção de tecidos e a produção de fios, pois a confecção de tecidos tinha se tornado mais rápida e eficaz, sendo assim, em 1767 foi criada a máquina de fiar, que podia fiar até 80 fios juntos (REZENDE, 2005).

Essa fase da Revolução Inglesa, foi marcada pela substituição da manufatura pela maquinofatura, ou seja, a produção artesanal foi trocada pela produção industrial. Assim, ocorreu a substituição da energia produzida pelo homem por energias como a vapor, eólica e hidráulica.

Com o aperfeiçoamento da máquina a vapor ocorrido em 1769, James Watt chegou à máquina de movimento duplo, com biela e manivela, que transformava o movimento linear do pistão em movimento circular. A revolução da fabricação de tecidos, ocorreu por conta da invenção do tear mecânico por Edmund Cartwright<sup>3</sup> em 1785, o tear era capaz de fazer o trabalho que 200 pessoas fariam, sendo supervisionado apenas por uma pessoa, trazendo a harmonização do tempo de produção de tecidos e de fios. Eli Whitney<sup>4</sup>, em 1793, criou o descaroçador de algodão nos Estados Unidos. Isso fez com que fosse inaugurada a fase de produção capitalista, permitindo assim, um considerável crescimento da produção com custos menores (SAES e SAES, 2013).

A modificação da produção, ocorreu devido as invenções que favoreceram a distribuição dos bens produzidos, possibilitando o melhor escoamento de matérias primas, havendo uma diminuição de tempo e aumento da produtividade.

Antes da Primeira Revolução Industrial, o carvão vegetal era o combustível

---

<sup>2</sup> O inglês John Kay (1704-1779) estudou até seus 14 anos, aprendeu com um fabricante a produzir palhetas para teares manuais. Continuou projetando melhorias em máquinas têxteis e em 1733 foi o inventor da lançadeira volante.

<sup>3</sup> Edmund Cartwright (1743-1823) foi um clérigo, poeta e inventor britânico que, patenteou o primeiro tear mecânico e montou uma fábrica em Doncaster, na Inglaterra, para fabricar tecidos.

<sup>4</sup> Eli Whitney (1765-1825) era um estadunidense formado em engenharia mecânica e inventor do descaroçador de algodão.

mais utilizado nas indústrias inglesas de siderurgia, este era proveniente da queima de madeira que estava entrando em escassez, devido ao crescimento acelerado da economia. Por emitir uma grande quantidade de enxofre, o carvão mineral não era uma opção considerável. Contudo, o mesmo, passou a ser manuseado em ambiente controlado, assim, aquecendo-o lentamente, sem ser queimado, o enxofre liberado se transformava no coque, transformando-se no carvão coqueificável, passando a ser utilizado pela indústria siderúrgica no final do século XVIII (REZENDE, 2005).

Para a economia, a utilização da máquina a vapor tornou o contexto da produção algo possível, impulsionando o setor de transportes com as ferrovias, aumentando assim a produção nas minas de carvão e ferro. Com isso, os ciclos produtivos das fábricas passaram a ser mais adequados à quantidade demandada.

Além do setor têxtil e siderúrgico, a mineração de carvão, também era um grande ramo produtivo inglês, apesar de não ter passado por nenhum processo de mecanização, em 1830 a produtividade de carvão que era de 16 milhões de toneladas anuais passou para 50 milhões em 1850. Com a redução do minério de ferro pelo coque, a indústria siderúrgica passou a utilizar outros processos metalúrgicos chamados de pudragem e a laminação (REZENDE, 2005).

Assim, a utilização das três técnicas de produção de ferro, as quais eram a fundição à coque, a pudragem e a laminação, aumentaram em grande medida a capacidade produtiva, principalmente, na Inglaterra. Com essas técnicas, era possível construir pontes, canos, tubos, utensílios domésticos, máquinas e ferramentas da indústria, entre outros. Com isso, a utilização do ferro foi generalizada em detrimento de materiais mais comuns à época, como a madeira.

Rezende (2005, p. 142) expõe: “A importância do ferro para aprimorar as máquinas, utensílios domésticos, pontes de ferro, equipamentos, elevando sua produção de 250 mil toneladas anuais em 1806, para 500 mil em 1820 e 700 mil em 1828”.

O setor siderúrgico, tinha como atividade principal a produção de ferrovias, em 1825 as primeiras estradas de ferro comerciais ligaram Stockton e Darlington e, em 1830 a Liverpool-Manchester. Em 1850, a produção de ferro chegou a uma quantidade de 2 milhões de toneladas anuais, isso foi possível devido a construção de uma rede ferroviária com mais de seis mil milhas de extensão (REZENDE, 2005). Na Tabela 1 é possível observar o ritmo de construção e a distribuição das estradas de ferro pelo mundo.

Tabela 1 - Construção mundial de estradas de ferro, por décadas (em milhas)

DÉCADAS	REINO UNIDO	EUROPA (MENOS REINO UNIDO)	ESTADOS UNIDOS	RESTO DO MUNDO
1840-1850	6.000	7.000	7.000	-
1850-1860	4.000	13.000	24.000	1.000
1860-1870	5.000	26.000	24.000	7.000
1870-1880	2.000	37.000	51.000	12.000

Fonte: Adaptado de Hobsbawm (2000), p.106.

A construção das ferrovias foi proveniente da indústria inglesa, os financiadores de sua produção foram os capitalistas que prosperaram na Revolução Industrial. Os investimentos nas estradas de ferro ocorreram devido ao fato de a indústria inglesa não conseguir absorver todo o excedente de capital.

Segundo Adam Smith<sup>5</sup>, em seu livro *As Riquezas das Nações*, destaca que o sistema capitalista deu origem às ciências econômicas e expressa o funcionamento de um sistema produtivo nascente, contribuindo com isso, uma base teórica e filosófica para as grandes transformações econômicas e sociais em curso. No livro, Smith ressalta que para o ganho de produtividade é essencial a divisão social do trabalho, obtendo assim, a riqueza de um país.

Smith (1996), argumentou três benefícios da divisão social do trabalho. Primeiro, para a ampliação da quantidade e qualidade do produto é necessário a especialização do operário. Segundo benefício, economia de tempo, passando assim, cada trabalhador exercer apenas uma etapa da produção.

Geralmente, uma pessoa se desconcentra um pouco ao passar de um tipo de trabalho para outro. Ao começar o novo trabalho, raramente ela se dedica logo com entusiasmo; sua cabeça está em outra, como se diz, e por um tempo ela fica sem o foco necessário (SMITH, 1996, p.69).

E, por último, o terceiro benefício foi a invenção e o aprimoramento das máquinas, facilitando o trabalho humano. Segundo Smith (1996), as grandes máquinas utilizadas nas indústrias manufatureiras, foram inventadas por operários comuns. Os primórdios da Revolução Industrial foram um tanto primitivos, tecnicamente, devido à falta de interesse das pessoas pela busca de conhecimentos tecnológicos. Portanto, foi um processo simples, mas, capaz de produzir resultados

<sup>5</sup> Adam Smith (1723-1790) foi um filósofo e economista britânico nascido na Escócia. É o pai da economia moderna, e é considerado o mais importante teórico do liberalismo econômico. Autor de *Uma Investigação Sobre a Natureza e A Causa da Riqueza das Nações*, a sua obra mais conhecida.

espetaculares (HOBBSAWM, 2000).

Assim, se evidencia que a riqueza de uma nação é constituída pela organização social do trabalho e não pela quantidade de ouro e prata em seu território, como era fundamentado no mercantilismo. Com isso, surgiu o trabalho assalariado, onde o trabalhador passou a ser um fator de produção vendendo sua mão de obra em troca de uma remuneração, levando a ocorrência da chegada das novas relações de trabalho. Diante disso, desapareceram as constituições medievais e as limitações da atividade econômica, tornando os homens de Estado seres fascinantes. No entanto, enquanto a máquina apequenava a força humana, o capital triunfava sobre o trabalho e criava uma nova forma de servidão.

A mecanização e a divisão do trabalho, fizeram com que decrescesse a força e a inteligência necessárias entre as massas, e a concorrência deprimisse seus salários ao mínimo da simples subsistência. O novo sistema ficou dividido em três elementos, o primeiro era a divisão da população ativa entre empregadores capitalistas e trabalhadores que possuíam apenas a força de trabalho, que vendiam em troca de salários. O segundo era a produção, uma combinação de máquinas especializadas com mão de obra humana especializada. O terceiro elemento era a dominação de toda a economia pela procura e acumulação de lucro por parte dos capitalistas (HOBBSAWM, 2000).

Smith (1996, p. 74) argumentava como o mercado funcionava através de interesses pessoais: “Não é da benevolência do açougueiro, do cervejeiro ou do padeiro que esperamos nosso jantar, mas da consideração que eles têm com seu próprio interesse.” Nesse caso, para que os produtores pudessem obter uma renda ou um salário para sua subsistência, eles despendiam seu trabalho para vender ao mercado seus produtos. Porém, a produção de subsistência não era relevante e não garantia o desenvolvimento econômico.

Nesse sentido, o mercado é formado por forças opostas, enquanto os produtores buscam vender o máximo ao maior preço, os consumidores procuram adquirir o maior volume a um preço mais acessível possível. Entretanto, isso caracteriza uma ordem natural do sistema econômico. Aonde a livre iniciativa e a concorrência são indispensáveis para a existência do comportamento dos agentes econômicos, isso é chamado de mão invisível (DEZORDI, 2012).

Portanto, se os governos proibissem a concorrência, isso afetaria o desenvolvimento da economia. Ao contrário disso, a livre concorrência expandiria a

oferta, reduzindo os preços e assim haveria um aumento da demanda pelo fato de o excesso de lucro de uma empresa monopolizada atrair novos produtores. Assim, os que tivessem o melhor preço e o melhor produto sobreviveriam, fazendo com que a mão invisível trouxesse um cenário de eficiência econômica.

Ao longo do século XVIII, surgiram muitas cidades no território inglês, tendo como objetivo transformar a Inglaterra num centro produtor e condutor das relações econômicas. Com os impactos da Primeira Revolução Industrial, a Inglaterra se transformou num território precisamente industrial, no qual sua população rural acabou se concentrando nas grandes cidades. “Gerou-se assim, o desenvolvimento da urbanização provocando um êxodo rural, onde em 1851, da população total 52% era rural, se reduzindo para 31% em 1881 e, em 1911, apenas 22%” (REZENDE, 2005, p.143).

As classes mais pobres foram as que mais sofreram por conta desta transformação ocorrida entre os séculos XVIII e XIX, o modo de produção capitalista levou a um nível de miséria extremo. Essa população, acabou sendo vista como um simples acessório da produção, já que não conseguiam voltar para o campo por não possuírem condições financeiras e sociais. Assim, os salários permaneciam baixos, pois havia muitos trabalhadores disponíveis (SAES e SAES, 2013).

Sem dúvida, a verdadeira pobreza era pior no campo, e especialmente entre os trabalhadores assalariados que não possuíam propriedades, os trabalhadores rurais domésticos e, é claro, entre os camponeses pobres ou entre os que viviam da terra infértil. Mas, de fato, a miséria – a miséria crescente, como pensavam muitos – que chamava tanto a atenção, tão próxima da catástrofe total como a miséria irlandesa, era a das cidades e zonas industriais onde os pobres morriam de forma menos passiva e menos oculta (HOBSBAWM, 2000, p. 226).

No início da Revolução Industrial, as jornadas de trabalho eram de quatorze a dezesseis horas por dia. Contudo, foi criado um conjunto de leis fabris para todos os ramos industriais, que se definia: “A regulamentação obrigatória da jornada de trabalho, estabelecendo duração, pausas, início e término, o sistema de turnos para crianças, a exclusão de todas as crianças abaixo de certa idade etc.” (MARX, 1985, p. 81).

A exploração capitalista pode ser entendida pela história da legislação fabril inglesa, já que todos da família poderiam ser empregados, existia um abuso extremo da mão de obra no interior das fábricas, tanto para homens, mulheres, jovens e

crianças com menos de oito anos.

Apesar das novas legislações terem sido criadas, nenhuma limitava o tempo de trabalho masculino maior de 18 anos. Em 1845, passou-se a investigar as condições de trabalho em diversos setores de produção, principalmente a produção de seda e o trabalho infantil. Pois, esta lei não permitia empregar crianças menores de 11 anos, mas permitia que crianças de 11 a 13 anos trabalhassem até 10 horas diárias. Para a produção de seda, os dedos macios das crianças eram fundamentais, a delicadeza do tecido exigia uma leveza de tato que somente podia ser assegurada por entrada precoce na fábrica (MARX, 1985).

Com a especialização de mão de obra, a indústria conseguiu fazer com a produtividade fosse ampliada, gerando riquezas para a sociedade. Entretanto, esta se dividiu em duas classes: os empresários capitalistas detentores dos fatores produtivos e, o proletariado que vendia sua força de trabalho para os capitalistas.

Para Schumpeter, o capitalismo é um método de mudança econômica que nunca poderia ser considerado estacionário. O motor capitalista se coloca em movimento com novos bens de consumo, novos métodos de produção e transporte, novos mercados e novas formas de organização industrial que a empresa capitalista cria e destrói. As inovações visam principalmente a criar novas necessidades de consumo, com isso, a composição dos gastos dos trabalhadores não permanece constante ao longo do tempo, pois depende dos novos hábitos e necessidades derivadas da oferta de novos produtos e serviços (TIGRE, 2006).

Schumpeter introduz assim uma nova definição de desenvolvimento, diferente das teorias econômicas, que consideravam o processo como derivado do contínuo acréscimo no tempo da oferta nacional de meios produtivos e de poupança, algo entendido por ele como crescimento. “Métodos diferentes de emprego, e não a poupança e os aumentos na quantidade disponível de mão de obra, mudaram a face do mundo nos últimos 50 anos” (SCHUMPETER, 1911, p. 50).

As grandes mudanças tecnológicas são acompanhadas de transformações econômicas, sociais e institucionais, pois a tecnologia necessita de regimes jurídicos, motivação econômica e condições político-institucionais adequados para se desenvolver. Para que a manufatura se tornasse realidade, foi preciso um processo de acumulação primitiva de capital, associado às revoluções burguesas europeias a partir do século XVI.

## 2.2 SEGUNDA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

A partir da segunda metade do século XIX, ocorre o que ficou conhecido como a Segunda Revolução Industrial, caracterizada pelo uso aço, da eletricidade e do petróleo, bem como pela industrialização dos principais países europeus, Japão, EUA e Rússia. A difusão das aplicações de tais recursos impulsionou a aceleração do ritmo industrial, descobrindo-se assim, o potencial de reduzir o tempo de fabricação como os custos de produtos, os quais poderiam ser consumidos em escala cada vez maior (HOBSBAWM, 2000).

Desde o início do século XIX, houve um contínuo melhoramento dos sistemas de transporte na Europa, em função do aumento da demanda e da unificação interna dos mercados nacionais. Os melhoramentos ocorreram na construção de estradas, aproveitamento de vias fluviais, e as ferrovias que exigiram um tempo maior para serem desenvolvidas.

Em 1913, a Inglaterra possuía vinte e três mil quilômetros de estradas de ferro, Alemanha, sessenta e dois mil; França, quarenta e oito mil; Rússia, sessenta e sete mil; e Estados Unidos, quinhentos e quarenta mil, considerando que, à exceção da Inglaterra, os demais países não possuíam linha ferroviária até o ano de 1840. Com a ampliação das estradas de ferro na Inglaterra, o transporte terrestre tornou-se mais importante a ponto de ultrapassar os números de comércio realizados pelo transporte fluvial (REZENDE, 2005).

Com os avanços técnicos da Segunda Revolução Industrial, a indústria siderúrgica substituiu o ferro pelo aço, tornando-se o material básico utilizado pelas indústrias. Os investimentos nas estradas de ferro continuaram por meio do aço.

Em 1856, Henry Bessemer<sup>6</sup>, desenvolveu o Conversor de Bessemer, este injetava uma corrente de ar no ferro durante seu estado de fusão, separando e eliminando impurezas, tornando-se um aço de alta qualidade. Com esse processo, a produção de aço se tornou mais barata, passando a ser produzido em grande escala (SAES e SAES, 2013).

Para o aperfeiçoamento industrial, foram realizadas diversas pesquisas científicas, resultando em grande parte dos avanços tecnológicos. Nesta fase, houve

---

<sup>6</sup> Henry Bessemer (1813-1898) foi um engenheiro metalurgista e inventor do Reino Unido. Criou o processo de Bessemer para a fabricação de aço, que patenteou em 1856.

um conjunto de novidades tecnológicas, alguns deles foram o petróleo, o motor a combustão, criação de usinas hidrelétricas, entre outros.

Do ponto de vista do pensamento econômico sobre indústria e tecnologia, esse período deu origem a duas correntes de interpretação sobre a dinâmica do sistema capitalista que são influentes. Por um lado, Karl Marx para elaborar sua teoria do valor do trabalho, retoma a tradição da escola clássica, especialmente Adam Smith e David Ricardo. Por outro, a partir dos princípios teóricos de equilíbrio geral estabelecidos por Leon Walras, começa a ser desenvolvida a teoria neoclássica.

Para Marx, as inovações em bens de capital e o aprofundamento da divisão social do trabalho, constituem a base técnica necessária para o processo de acumulação de capital. A *mais-valia* é o aumento de tempo de trabalho excedente representada por empresas capitalistas, feito por meio do aprimoramento do processo de produção e pela introdução de máquinas que substituem o “trabalho vivo” pelo “trabalho morto”. Já a economia neoclássica, é baseada no comportamento dos indivíduos e nas condições de equilíbrio, Walras ordenou de forma lógica o funcionamento da economia por meio de um modelo matemático de equilíbrio geral, formado por uma série de equações simultâneas. Ele propôs um mecanismo onde os preços e a quantidade são determinados de uma única forma. A *lei da oferta e da procura* determina os preços e as quantidades produzidas, funcionando como um sistema “automático” de regulação da economia (TIGRE, 2006).

A partir de 1866, com a substituição da força a vapor pela eletricidade e pelo petróleo, o sistema produtivo passou a utilizar a eletricidade como fonte de energia. Em 1876, Nikolaus Otto<sup>7</sup> desenvolveu o motor a combustão interna, tornando o uso do petróleo viável. Já 1879, Thomas Alva Edison<sup>8</sup> inventou a lâmpada incandescente, a qual na década de 1890, era fonte de iluminação (REZENDE, 2005).

Antes do fim do século XIX, deu-se início a criação da indústria automobilística e a expansão da produção petrolífera. Taylor<sup>9</sup> e Ford<sup>10</sup> foram os principais

---

<sup>7</sup> Nikolaus Otto (1832-1891) era alemão, foi o inventor do motor de combustão interna do ciclo de Otto (motor a álcool/ gasolina).

<sup>8</sup> Thomas Alva Edison (1847-1931) foi um empresário dos Estados Unidos que patenteou e financiou o desenvolvimento de muitos dispositivos importantes de grande interesse industrial.

<sup>9</sup> Frederick Winslow Taylor (1856-1915) foi um engenheiro mecânico estadunidense. Era técnico em mecânica e operário. É considerado "o pai" da Administração Científica.

<sup>10</sup> Henry Ford (1863-1947) foi um empreendedor e engenheiro mecânico estadunidense, fundador da Ford Motor Company, autor dos livros *Minha Filosofia de Indústria e Minha Vida* e *Minha Obra*.

representantes dessa nova forma de produção material dos bens de consumo. Ambos desenvolveram suas teorias e práticas numa sociedade capitalista, onde o predomínio burguês estava estabelecido na esfera econômica, o êxodo rural favoreceu o crescimento urbano, assim, o aumento da classe operária era consequência natural (TIGRE, 2006).

Assim, originou-se o taylorismo, movimento introduzido na concepção de que o domínio do trabalho pelo capital se dava através do controle das decisões tomadas no decorrer do processo produtivo. Taylor acerca de uma de suas experiências relata:

Schmidt começou a trabalhar, e durante todo dia, e a intervalos regulares, era dito pelo homem colocado acima dele para vigiar: agora junte a sucata e ande. Agora sente e descansa. Agora ande – agora descansa etc. Ele trabalhava quando lhe mandavam trabalhar, e descansar quando lhe mandavam descansar, e às cinco e meia da tarde tinha carregado 47,5 toneladas de carro (BRAVERMAN, 1977; p. 103).

Desta maneira, o taylorismo se caracteriza como uma forma avançada de controle do capital, ou seja, para elevar a produtividade do trabalho, o capital depende da habilidade do trabalhador. Segundo Taylor, isto só seria possível, se o trabalhador fosse controlado em todos os tempos e movimentos (TIGRE, 2006)

Em 1908 inicia-se a era do automóvel, Henry Ford deu início a sua produção em massa no Estados Unidos, com isso, a utilização em larga escala do petróleo, ocorreu por conta da invenção do combustível diesel e do motor a diesel, o qual era utilizado em locomotivas, navios e máquinas no interior das fábricas. Com o aperfeiçoamento da eletricidade, para obter rendimentos em escala, Ford desenvolveu uma linha de produção em série (MORAES NETO, 1991).

O fordismo, apresentou especificidades e caracterizava-se como uma socialização do taylorismo, visto que, enquanto Taylor procurava administrar a forma de execução de cada trabalho, Ford procedia de forma coletiva, ou seja, pela via da esteira.

Com isso, surgiu um capitalismo concentrador de riquezas, devido ao desenvolvimento das novas técnicas administrativas e das linhas de montagem associada à crescente necessidade de ampliação dos lucros. Assim, era comum o aparecimento de *trustes, monopólios e cartéis*<sup>11</sup>. Rezende (2005, p.147-148),

---

<sup>11</sup> Truste: estrutura empresarial na qual várias empresas, já controlando a maior parte do mercado, fundem-se para assegurar esse controle e assim influenciar os preços dos produtos. Monopólio: situação na qual existe

esclarece: “Esse capital concentrado, por sua vez, pelo domínio que ele exerce no mercado, dada a ausência de concorrência, faz com que ele possa maximizar seus lucros, estabelecendo, nesse sentido, os preços e controlando a oferta”.

Sendo assim, a concorrência entre os mercados era desestimulada pela concentração de capital das grandes indústrias, com isso maximizava os lucros para um número reduzido de fábricas que controlavam a oferta de produtos na economia.

Os cartéis e os trustes, referiam-se à utilização da ciência e ao gerenciamento dos negócios. Com o crescimento expresso das economias de produção capitalistas, a permissão do aumento de produtividade no interior das fábricas, se dava, através, de pesquisas de novas técnicas realizadas pela ciência. Assim, investindo parte de seus lucros, as empresas passaram a pagar técnicos pesquisadores e especializados em máquinas e ramos de produção (DEZORDI, 2012).

Com a ciência passando a ser incorporada diretamente no sistema de produção, o gerenciamento dos negócios passou a se especializar técnica e cientificamente, originando os gerentes profissionais, administradores e à separação entre os donos e os gestores da empresa. O que deu origem a teoria da agência que demonstra interesses conflitantes.

Outro marco da Segunda Revolução Industrial foi a chegada da indústria química, e, com ela, uma nova relação entre o homem e o meio natural foi criada, devido a manipulação dos elementos naturais pela indústria química, abrindo novas possibilidades para o setor produtivo. Essa indústria permitia que matérias primas fossem sintetizadas artificialmente em laboratório. “Anilinas, ácidos, tecidos e corantes sintéticos, alcalóides, explosivos, essências, medicamentos e plásticos são produzidos em grandes volumes, por essa nova indústria que ‘imita a natureza” (REZENDE, 2005, p. 147).

Para as economias capitalistas, o surgimento da indústria química e das linhas de produção foram importantes, pois isso exigiu uma reorganização dos investimentos produtivos. O capital investido tem um retorno mais longo, devido aos altos custos de ambas as transformações, incentivando a formação de sociedades anônimas e grupos de investimento que acabam concentrando o capital em grandes monopólios.

---

apenas um único produtor no mercado. Cartel: grupo de empresas independentes que formalizam um acordo para determinar preço e quantidade produzida.

A Segunda Revolução Industrial se expandiu na Europa, Estados Unidos e Japão, ampliando a produção e a concorrência de grandes blocos econômicos entre os países.

### 2.3 TERCEIRA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

Após o fim da Segunda Guerra Mundial, iniciou-se a Terceira Revolução Industrial (meados do século XX), chamada também de Revolução Técnico-científica, dando destaque a genética, robótica, eletrônica, telecomunicações, entre outros. A utilização de recursos de telecomunicações e o avanço tecnológico possibilitaram o acesso remoto, compartilhamento, integração e, conseqüentemente, o processamento de dados à distância (REZENDE, 1997).

Com a produção em massa de diversos medicamentos e avanços da medicina, ocorreu o desenvolvimento da engenharia genética e biotecnologia. Apesar de outras fontes de energia já terem evoluído anteriormente, surgiu a energia atômica com uso de elementos radioativos, especialmente o urânio (REZENDE, 2005).

Desde os anos 1930, o mundo capitalista apoiou-se na intervenção estatal para sair da crise econômica desencadeada pela Quebra da Bolsa de Nova Iorque, que passou a regularizar, normatizar e produzir bens e serviços para a sociedade. Nos países emergentes, a crise de 30 também foi superada via intervenção do estado, que passou a atuar como sócio e investidor em projetos prioritários ao progresso dessas economias nacionais. Porém, no início dos anos 1970, o capitalismo sofreu com a crise do petróleo, a estagflação<sup>12</sup>, aumento das taxas de juros e a instabilidade financeira (RIFKIN, 2014).

A crise econômica em algumas economias capitalistas já vinha de longa data, um dos principais indicadores foi a queda da produtividade do trabalho. PINDICK e RUBINFELD (1994, p. 231) afirmam que:

No decorrer do período posterior à 2ª Guerra Mundial, dois aspectos têm se mostrado particularmente incômodos para os norte-americanos. Em primeiro lugar, nos Estados Unidos o crescimento da produtividade tem ocorrido de forma menos rápida que na maioria das outras nações desenvolvidas. Em segundo lugar, para todas as nações desenvolvidas, o crescimento da produtividade nos últimos vinte anos tem sido substancialmente mais baixo do que havia sido no período anterior.

---

<sup>12</sup> Estagnação econômica com alta dos preços.

Vários fatores contribuíram para o declínio da produtividade nas economias mundiais mais relevantes, um deles foi o desenvolvimento de novas tecnologias, o aparecimento de novas formas de gestão e de organização da produção e a internacionalização da vida econômica, tecnológica, política e cultural. Esse processo de internacionalização já vinha ocorrendo desde o século XVIII e ficou conhecido como globalização (REZENDE, 2005).

Com os governos garantindo os investimentos na infra-estrutura e na área social, a política apoiada pelos Estados Nacionais trouxe novas oportunidades, o que ocasionou na expansão do capital. As economias se mantinham em crescimento com essa ação estatal. Segundo REZENDE (1997, p. 305),

O Estado estaria fazendo nada mais que a manutenção do sistema capitalista, impedindo que se acumulassem prejuízos ou ocorressem crises, enquanto suas sociedades passariam a gozar de um melhor padrão de vida e de um menor nível de desemprego.

Na década de 70, a queda na demanda dos produtos industrializados fez com que as empresas das economias ocidentais passassem a ter seu quadro econômico agravado, o que aumentou o custo fixo e o excesso de capacidade ociosa. Com isso, buscaram diminuir seus investimentos e funcionários, aumento assim o índice de desemprego.

Para reduzir custos e aumentar a produtividade, novas alternativas tecnológicas foram procuradas, como a intensificação do uso da microeletrônica, automação e fechamento de fábricas consideradas inadequadas e caras. Nos anos 70 e 80, a concorrência japonesa obtinha melhores resultados, pois já havia antecipado uma série de mudanças de ordem tecnológica e organizacional desde a década de 50. HARVEY (1992, p. 140) afirma que: “A profunda recessão de 1973, exacerbada pela crise do petróleo, evidentemente retirou o mundo capitalista do sufocante torpor da “estagflação” e pôs em movimento um conjunto de processos que solaparam o compromisso fordista”.

A crise capitalista da década de 70, representa uma ruptura com o modelo econômico anterior. Essa ruptura representa o esgotamento do modelo fordista de produção, comentado na Segunda Revolução Industrial, o qual, tinha como base o padrão de produção e de consumo de massa, considerava que a simplificação das tarefas específicas por trabalhador era o sistema de trabalho mais adequado. Ou seja,

para um custo menor e maior consumo nas economias, se produzia em maior escala e de forma seriada.

A globalização do mundo expressa um ciclo de expansão do capitalismo, como modelo de produção e processo civilizatório de alcance mundial. Esse processo de amplas proporções envolve nações e nacionalidades, regimes políticos, economias e sociedades, entre outros. Caracterizando assim a emergência da sociedade global, como uma totalidade abrangente, complexa e contraditória (IANNI, 1997).

Para vários autores, o movimento que se acentuou na década de 80 foi de grandes transformações econômicas, sociais, culturais e técnicas, provocando profundas mudanças no interior das sociedades capitalistas, ficando caracterizado como revolução tecno-científica, não só nas atividades sócio econômicas como também nas rotinas fabris.

Nas principais economias capitalistas, as principais mudanças foram a indústria microeletrônica como novo paradigma tecnológico, terceirização do processo produtivo, competição via qualidade e diferenciação de produtos, organização de sistemas flexíveis, maior integração entre financiamento, fornecimento e produção, surgimento de empresas multi-industriais atuando em escala internacional. As tecnologias da informação (TI) na Indústria 3.0 modificaram o modo de transmissão das informações e da comunicação. Com isso, as indústrias transformaram sua gestão significativamente, usufruindo de dispositivos que melhoram a coleta e troca de dados. A utilização da TI não é utilizada somente para coleta de dados, mas também para organizá-los, processá-los, incluí-los e ordená-los, trazendo melhorias no desempenho das empresas (DIEHL e VARGAS, 1996).

Essas mudanças resultaram em uma nova forma de organização produtiva, presente em vários países de forma sincronizada, também requer a criação, expansão e manutenção de uma rede de parcerias e de cooperação em desenvolvimento de tecnologias e exportação.

Com os avanços da tecnologia, surgiu uma nova ordem econômica mundial, estes, permitiam através de redes de comunicação uma rápida mudança na capacidade dos equipamentos em processar, distribuir e armazenar informações. A inovação dos processos de telecomunicação, permitiu que o capitalismo se adaptasse a fim de atingir níveis elevados de competitividade internacional. Porém, essa expansão do capital não era possível de ser realizada em países e empresas que mantivessem suas economias vinculadas a uma estrutura empresarial rígida

(TAVARES, 1992).

Contudo, o que distingue essa transformação nos processos produtivos de modelos anteriores, são o aumento da capacidade competitiva das empresas, tanto pelas inovações em produtos e processos como pelas formas de gestão que viabilizavam a aplicação de um modelo sócio-técnico, trazendo novas vantagens competitivas para as empresas europeias (REZENDE, 2005).

No início dos anos 1990, a Europa ainda buscava um maior espaço econômico, tecnológico e político diante da concorrência americana e japonesa.

Na comunidade europeia o processo ainda não terminou. No rastro do desenvolvimento alemão e em competição limitada com a França e a Itália, entraram países de menor desenvolvimento relativo, como a Espanha e Portugal, que ainda estão longe de completar suas conversões industriais. O norte da Europa ainda não se integrou ao mercado comum [...] (TAVARES,1992).

As estratégias adotadas pelo Japão, Estados Unidos e Europa Ocidental, acabaram obrigando os demais países a adotar modelos semelhantes e capazes de aumentar suas inovações e capacidade competitiva, caso isso não ocorresse, correriam o risco de ficar marginalmente atrasados no processo de globalização (TAVARES, 1992).

A Terceira Revolução Industrial, mudou a relação entre as pessoas no mundo todo, com a criação da internet, as formas de comunicação e as informações passaram a ser difundidas instantaneamente. O campo científico foi modificado graças às invenções criadas, transformando a medicina.

Contudo, neste capítulo foram apresentadas as três primeiras Revoluções Industriais, onde o desenvolvimento da indústria foi exibido de modos diferentes em diversos países. Essas Revoluções Industriais, são conhecidas também como revoluções de técnicas de produção, por oferecer crescimento da renda, serviços, produtos e avanços sociais. Ainda que os benefícios sejam múltiplos, para que os resultados sejam alcançados, o crescimento da indústria também enfrenta muitos desafios.

O capítulo seguinte se exhibe a Indústria 4.0 suas tecnologias e principais pilares.

### **3 A INDÚSTRIA 4.0: TECNOLOGIAS E PRINCIPAIS PILARES**

A denominada Indústria 4.0 está viabilizada pela utilização da internet para

realizar a comunicação entre máquinas e entre pessoas, por meio de amplas redes de comunicação, em um sistema chamado cyber-físico, tendendo a disparar o desenvolvimento e o crescimento econômico (BRETTEL et al., 2014).

Com isso, espera-se a propensão de englobar múltiplas tecnologias que facilitam a digitalização e automação de processos com uma verificação maior aos mecanismos de manufatura.

Diante do exposto, o presente capítulo tem por objetivo apresentar a Indústria 4.0, também conhecida como a Quarta Revolução Industrial, suas tecnologias e seus principais pilares.

### 3.1 QUARTA REVOLUÇÃO INDUSTRIAL E SUAS TECNOLOGIAS

A Nova Revolução, foi apresentada pela primeira vez, numa feira de Hannover em 2011. Em outubro de 2012, os responsáveis pelo projeto, elaboraram um relatório que sugeria a implementação deste novo período produtivo nos mais diversos setores industriais alemães. Em abril do ano seguinte, nesta mesma feira em que se iniciou o projeto, foi apresentado um projeto final, no qual se expandiu a ideia de que o setor produtivo pudesse conter sistemas cibernéticos, máquinas e redes inteligentes aptas a propiciar maior autonomia e eficiência produtiva (BÜRKNER et al., 2016).

As três primeiras revoluções industriais foram marcadas pela produção em massa, a eletricidade, as linhas de montagem e a tecnologia da informação, fazendo com que o desenvolvimento econômico ocorresse com a competição tecnológica. A Indústria 4.0, por sua vez, procura alcançar um alto nível de eficácia operacional, produtividade e automação dos sistemas produtivos.

Weyer *et al.* (2015) apresenta um conceito de Indústria 4.0 como máquinas, dispositivos, módulos de produção e produtos organizados em um sistema cyber-físico. Contudo, estes conceitos podem ainda se estenderem para um ponto de vista da cadeia de valor e administração desta cadeia durante o período de vida dos produtos ou ainda como um conjunto de conceitos e tecnologias aplicados na sua organização.

[...] a Quarta Revolução Industrial pode ser melhor descrita como uma mudança na lógica de fabricação para uma abordagem de valor cada vez mais descentralizada e auto-reguladora, habilitada por conceitos e tecnologias como CPS, IoT, computação em nuvem ou manufatura aditiva e

fábricas inteligentes, de modo a ajudar as empresas a atender a produção futura requisitos (SACOMANO et al., p. 25, 2018).

No início do século XXI, as transformações digitais passaram a se caracterizar pela presença de computadores, smartphones e tablets com acesso à internet, surgindo com isso as redes sociais. Nesse contexto, o mercado começou a se preparar para uma geração de consumidores digitais, com base em estratégias de marketing e análise de grandes bases de dados.

Diante do desenvolvimento de tantas tecnologias, a procura por produtos personalizados, com alta qualidade e custos reduzidos está se tornando cada vez maior. Os dispositivos inteligentes ligados à rede, formam as novas estruturas de produção, onde os produtos obtêm capacidade de comunicação com os sistemas de produção (CHENG et al., 2015).

A Indústria 4.0 representa uma nova fase da produção industrial, com um conjunto extenso de transformações que incidem sobre os processos produtivos, sobre todas as etapas da cadeia de valor, do desenvolvimento do produto ao pós-venda e descarte, passando por novos modelos de negócios.

Quadro 1 - Tecnologias com importante potencial transformador

TECNOLOGIA	IMPACTO
Internet das Coisas	Facilita o monitoramento dos fornecedores e do uso dos produtos pelos consumidores, antecipando manutenções e fornecimento de peças de reposição ao longo da cadeia.
Algoritmos e Sistemas baseados em Inteligência Artificial	Otimizam os recursos e realizam adaptações nos processos produtivos em tempo real. Interfaces avançadas homem-máquina e robôs realizam as tarefas com maior precisão, segurança e efetividade.
Computação em nuvem	Habilita o controle dos equipamentos e dispositivos a distância.
Big Data e Analytics	Auxiliam nos processos de tomada de decisão, antecipando tendências e demandas, além de possibilitar a criação de novos produtos.
Impressoras 3D	Agilizam a elaboração de protótipos e reduzem o tempo de lançamento de produto no mercado.

Fonte: Elaborado pela autora com base de dados da CNI (2018)

A Indústria 4.0 está baseada na integração de tecnologias de informação e

comunicação, permitindo que a produtividade, qualidade, flexibilidade alcance novos patamares, sendo possível para a indústria a geração de novas estratégias e modelos de negócio.

O termo inovação pode ser definido como uma ideia, uma prática ou um objeto percebido como novo pelo indivíduo. Nas visões neo-schumpeterianas, os conceitos de inovação são definidos como fatores que proporcionam uma maior competitividade em uma determinada indústria. Diversos setores industriais são estimulados pela produção inovadora, podendo impactar positivamente, as atividades econômicas de determinado país (KUPFER, 1996).

Portanto, quando as empresas integram em suas atividades qualquer novidade na produção de mercadorias ou serviços, elas são consideradas inovadoras. Esta adaptação é relativa ao cenário da globalização, onde para se diferenciar de seus concorrentes as empresas buscam atingir vantagens competitivas duradouras.

Esse novo paradigma tecnológico se aplica quando um determinado setor modifica sua estrutura produtiva por meio de tecnologias emergentes ou existentes, reorganizando suas relações dentro da indústria e no mercado no qual está inserido. Estas mudanças apresentam que, não apenas a estrutura técnica alterou, mas que houve modificações socioeconômicas e, com isso, afetou diretamente toda atividade econômica (TIGRE, 2006).

Freeman (1974) resgata o estudo dos ciclos econômicos de Schumpeter, mostrando como a difusão de inovações está no centro dos movimentos cíclicos da economia mundial. Nelson e Winter (1982), apoiados em Schumpeter, Penrose, Simon e Marris, iniciaram uma linha de investigações, visando a incorporação de questões tecnológicas das teorias da firma. Essa corrente de pensamento é conhecida como neoschumpeteriana ou evolucionista (TIGRE, 2006).

No Quadro 2, pode-se observar que o processo de transformação da firma consiste em uma explicação largamente endógena da mudança ou bifurcação da atividade principal. O sentido das bifurcações e entrada de novos ramos de negócios, podem ser entendidos através da diferenciação entre ativos primários e secundário. A mudança das competências principais é determinada por oportunidades tecnológicas com as quais a firma se defronta.

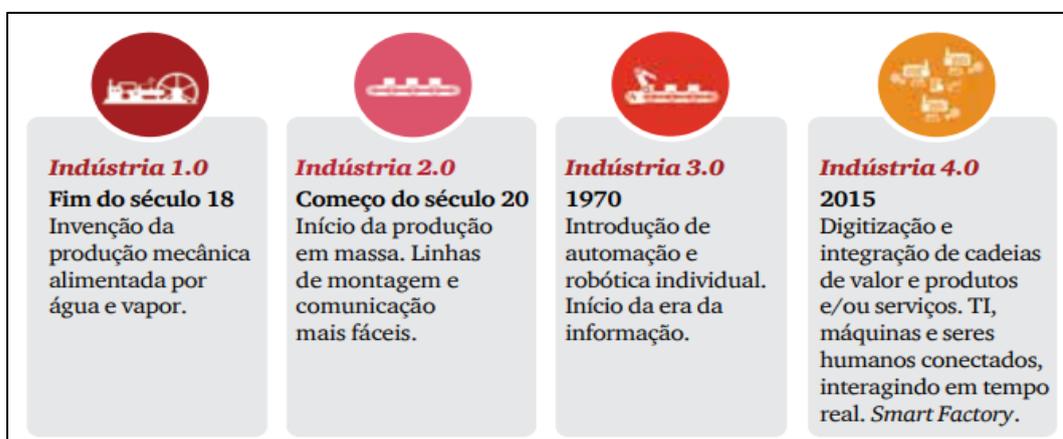
Quadro 2 - Ondas longas de mudança tecnológica

ONDAS	CARACTERÍSTICAS DA INFRAESTRUTURA DOMINANTE		
	C&T e Educação	Transporte e Com.	Energia
1. Primeira R. I. (1780-1830)	Aprender - fazendo, sociedades científicas	Canais, estradas de carroças	Roda-d'água (moinhos)
2. Segunda R. I. (1830-1880)	Engenheiros mecânicos e civis	Estrada de ferro, telégrafo	Energia a vapor
3. Idade da Eletricidade (1880-1930)	P&D industrial, química e eletricidade, laboratórios nacionais	Ferrovias (aço) e telefone	Eletrecidade
4. Idade da Produção em Massa - Fordismo - (1930-1980)	P&D industrial (empresas e governo) em larga escala. Educação de massa	Rodovias e rádio	Petróleo
5. Idade da Micrieletrônica (1980)	Rede de dados, redes globais de P&D; treinamento contínuo	Redes convergentes de telecomunicações em multimídia	Petróleo e gás
6. Tecnologias Ambientais, Saúde	Biotecnologia, genética, nanotecnologia	Telemática, teletrabalho	Energia renovável

Fonte: Adaptado de Freeman (1997)

Na Primeira Revolução Industrial, foi possível observar o novo paradigma com a inclusão da máquina a vapor, onde a mecanização da produção provocou rupturas nos processos produtivos. Com a Segunda Revolução Industrial a ideia permaneceu a mesma, com mais máquinas e equipamentos, deu-se o início da produção e consumo em massa. Enquanto a Terceira Revolução Industrial focava-se na automação individual de máquinas e processos, a Indústria 4.0 foca na integração de ecossistemas digitais com parceiros da cadeia de valor e na digitalização de todos os ativos físicos, gerando, analisando e comunicando dados. Na figura 1 podem ser observada essas evoluções:

Figura 1 - Evolução e mudança das Revoluções Industriais



Fonte: PwC Brasil (2016)

A produção em massa da Indústria 2.0 evoluiu para uma customização em

massa na Indústria 4.0. Esta customização pode ser definida como a produção de bens ou serviços que atendem indústrias com desejos específicos e, com a grande agilidade e flexibilidade das empresas, os custos para uma customização em massa são reduzidos e chegam muito próximos dos custos de uma produção em massa sem customização (CHENG et al., 2015).

A Indústria 4.0 usufrui de dispositivos e tecnologias que possibilitam o desenvolvimento de diversas oportunidades traduzidas em novos produtos ou serviços. Essas aplicações são capazes de oferecer vantagens e proporcionam uma abordagem vasta tanto no nível técnico quanto no nível organizacional.

Estas tecnologias podem colaborar de variadas formas para a melhoria do desempenho do processo de manufatura. A utilização dessas tecnologias da Indústria 4.0, permite a modificação do gerenciamento das operações de manufatura, resultando em sua descentralização e uma maior união vertical e horizontal, tornando as fábricas mais complexas e inteligentes (BRETTEL et al., 2014).

Para Wang e Wang (2016), as tecnologias digitais associadas à Indústria 4.0, possuem grande relevância no processo de fabricação, porém as suas utilizações não são limitadas. Algumas dessas tecnologias são a Internet of Things, Big Data e Cyber Physical Systems.

Devido às melhorias realizadas nos processos industriais e tecnológicos, o nível da renda está se elevando, os maiores índices desse crescimento são de países em desenvolvimento, os quais concentraram capacitações tecnológicas e, por meio das inovações aumentaram a dinâmica industrial.

A competição fez com que a indústria aumentasse seu dinamismo, essa competitividade é demonstrada como resultado evolutivo do processo de concorrência capitalista. Contudo o termo competitividade pode ser definido como: “[...] a capacidade de a empresa formular e programar estratégias concorrenciais, que lhe permitam ampliar ou conservar, de forma duradoura, uma posição sustentável no mercado” (KUPFER, p. 367, 1996).

As inovações criadas para a o sistema produtivo nos setores econômicos, são o principal meio de desenvolver a economia, com isso, a indústria é capaz de alcançar altos índices de produtividade. Para executar esta transformação estão acessíveis uma variedade de tecnologias, muitas destas com propósitos similares.

A denominada Indústria 4.0 está viabilizada pela utilização da internet para realizar a comunicação entre máquinas e entre pessoas, por meio de amplas redes

de comunicação, em um sistema chamado cyber-físico, tendendo a disparar o desenvolvimento e o crescimento econômico. Com isso, espera-se a propensão de englobar múltiplas tecnologias que facilitam a digitalização e automação de processos com uma verificação maior aos mecanismos de manufatura (BRETTEL et al., 2014).

## 3.2 PRINCIPAIS PILARES DA INDÚSTRIA 4.0

Os elementos formadores da Indústria 4.0 são chamados de pilares, eles são divididos em elementos base ou fundamentais, elementos estruturantes e os elementos complementares. São diversas as tendências e tecnologias facilitadoras que compõe esses pilares, fazendo com que a indústria se fortaleça em termos de eficiência e produtividade.

### 3.2.1 Elementos fundamentais

Os elementos fundamentais são considerados a base tecnológica da Indústria 4.0, entre eles estão os Sistemas *Ciber* Físicos (CPS), a Internet das Coisas (IoT) e de Serviços (IoS).

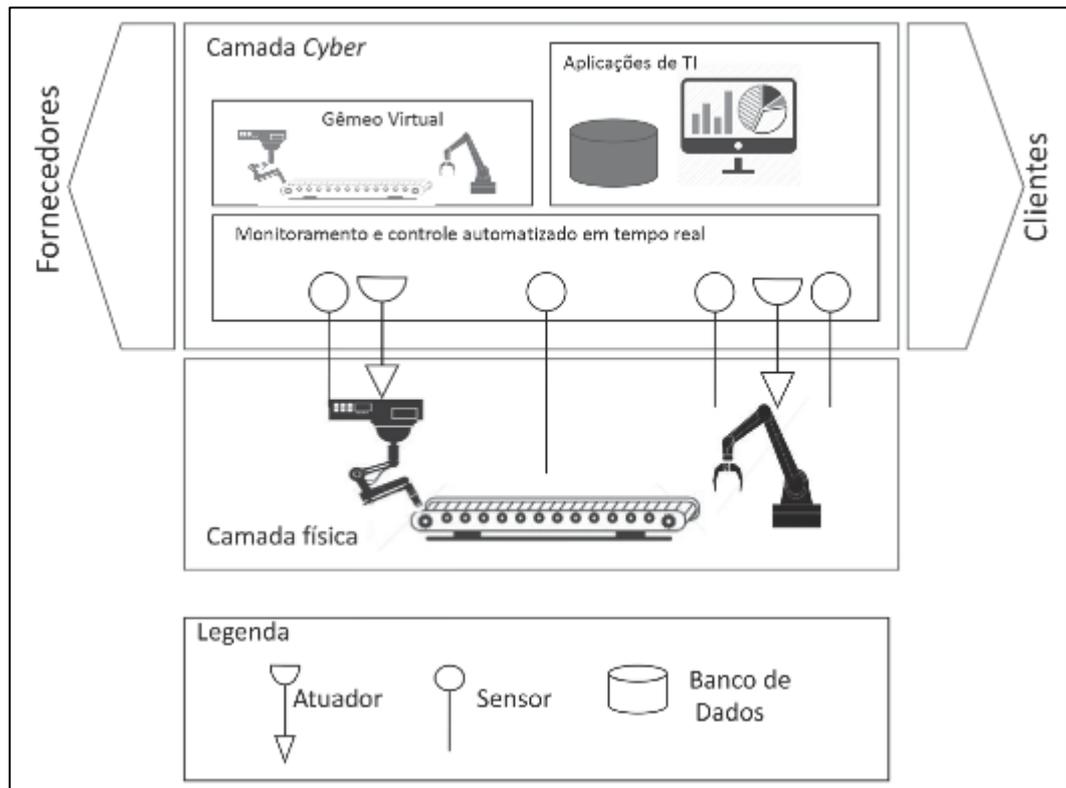
#### 3.2.1.1 Sistemas *Ciber* Físicos

Sistemas *Ciber* Físicos ou *Cyber-Physical Systems* (CPS), resultou da evolução tecnológica dos computadores, implementando sistemas de informação e automação, tornando possível a troca de informações, acompanhamento do processo produtivo e execução de comandos a distância e em tempo real. Podem ser definidos também como interligações entre os componentes físicos, virtuais e digitais, ou seja, os sistemas de comunicação e controle estão conectados aos sistemas naturais e humanos (WANG; WANG 2016).

A figura 2 ilustra a arquitetura dos Sistemas *Ciber* Físicos, a camada física é responsável pela realização das operações de transformação da realidade que, no caso de processos produtivos, pode ser entendida como máquinas operatrizes, esteiras transportadoras, robôs, braços mecânicos, fornos entre muitos outros. A camada *Ciber* é composta por aplicações da tecnologia da informação de múltiplas

funções.

Figura 2 - Arquitetura dos Sistemas *Ciber* Físicos



Fonte: Indústria 4.0 (2018)

A Indústria 4.0 tem buscado aprimorar o legado deixado pela Indústria 3.0, agregando o mundo digital com o mundo físico, permitindo o mundo real atuar no sistema produtivo, comunicando dados em tempo real, possibilitando que a comunicação em sistemas de produção seja feita em qualquer lugar.

### 3.2.1.2 Internet das Coisas

A Internet das Coisas ou Internet of Things (IoT), é a responsável por conectar a indústria 4.0, ela pode ser definida como redes de eletricidade, sensores e softwares que levam o ambiente físico e o digital estarem conectados. É por meio da internet sem fio que esse sistema incorporado se conecta, podendo ser estabelecido em quatro camadas, sendo elas a detecção, a rede, o serviço e a interface (KANG, 2016).

A IoT se destaca por ser mais que um mecanismo de interligação entre o meio natural e o virtual, pois proporciona maior otimização nos processos produtivos de uma organização, por meio de controle remoto. Diferente dos sistemas ciber físicos,

a IoT é responsável por coletar informações no espaço físico, com isso, conecta diversos produtos entre si, já os CPS fazem uso de nuvens, mecanismos e sensores para ajustar algo físico.

Segundo Belluzzo e Galípulo (2016) “a IoT tem a capacidade de desenvolver o processo de aprendizagem das máquinas e equipamentos e contribui para o mecanismo de interconexão das pessoas (por meio da Internet)”. Seu papel é significativo neste novo desenvolvimento industrial, pois provoca um aumento nos processos de inovação. Além disso, é indispensável para as novas fábricas estarem multiconectadas e habituadas às constantes modificações no processo produtivo e, essencialmente, para terem flexibilidade e agilidade nas principais linhas de montagens e produção dos produtos.

A IoT proporciona conexão entre tecnologias variadas em um modelo de produção com aplicação da CPS, no qual máquinas e humanos estão conectados num processo de conhecimento que amplia a produtividade da manufatura. A todo momento coleta, simula, modela e analisa dados para melhorias de procedimentos industriais e os tornam mais efetivos e flexíveis (BELLUZZO e GALÍPOLO, 2016).

O novo conceito de produção industrial encaminha-se para uma digitalização de processos produtivos, maiores facilidades de inserção de produtos e serviços no mercado, ganhos superiores de produção em escala e escopo e redução considerável dos custos (OCDE, 2015). A IoT se identifica como muito eficaz em expandir a competitividade dos setores industriais, sendo relevante para incrementar valia e alterar a situação das mais variadas firmas na Cadeia Global de Valor.

O resultado de toda cadeia produtiva relacionada à IoT é algo que exhibe benefícios econômicos e sociais para as empresas. Porém, alguns dispositivos apresentam mais vantagens aos fabricantes do que aos consumidores. Esses são beneficiados para aprimorar seu marketing e otimizar sua estrutura de vendas, porém os clientes pouco se favorecem com seus dispositivos conectados em uma grande rede. Ela simplifica a comunicação e melhora de ganhos e de receitas em variadas áreas da economia.

No desenvolver das aplicações das novas tecnologias voltadas para produção industrial, têm-se os sistemas computacionais de alta capacidade e qualidade no processamento de dados. Estes conceitos estão totalmente introduzidos e interconectados em vastas redes com IoT, Big Data e CPS. Segundo Coelho (2016) “a estrutura de produção tende a promover a independência da atuação humana e

abre espaço para o processo de robotização e automação industrial, por meio de AI”.

### 3.2.1.3 Internet dos Serviços

A Internet de Serviços ou Internet of Services (IoS), é considerada uma evolução da IoT, ou seja, são serviços disponibilizados por meio da internet ou internamente à empresa.

Empresas vão usar a Internet para construir e fornecer um grande número de novos tipos de serviços que vão além da reserva de voos ou compra de livros. Serviços que estão disponíveis na Web em separado serão combinados e ligados entre si, resultando em serviços agregados de valor acrescentado (SACOMANO et al, p. 35, 2018).

Esses tipos de serviços são o campo de estudo da IoS, em vez de comprar a máquina, a indústria tem a possibilidade de comprar apenas o serviço que ela oferece e, quando as máquinas necessitam de manutenção, este pode ser solicitado pelo próprio equipamento.

## 3.2.2 Elementos estruturantes

Os elementos estruturantes são os que dão suporte à Indústria 4.0, nem todos são necessários, porém, na medida que a indústria vai se encaminhado para ser 4.0 eles estarão presentes em várias de suas aplicações, alguns deles são a Big Data, Comunicação máquina a máquina e a Inteligência Artificial.

### 3.2.2.1 Big Data

Chama-se de Big Data, grandes quantidades de dados que são armazenados instantaneamente, esses dados são resultantes da existência de milhões de sistemas ligados a rede (IoT), possibilitando a otimização da qualidade e melhoramento das atividades produtivas dentro da Indústria 4.0 (HERMANN et al., 2016).

Este grande conjunto de dados precisa ser analisado e estruturado para que seja enquadrado dentro de uma estrutura racional, ou seja, já contam com análises feitas por vários métodos estatísticos. Essas análises ajudam a aprimorar a gestão e orientam a tomada de decisões estratégicas nas empresas.

A incorporação de variados dispositivos ligados na rede coleta, armazena e troca amplos fluxos de informações, proporcionando a utilização de uma alta capacidade de processamento. Isto favorece ao Big Data, um papel essencial no mundo crescentemente digitalizado e multiconectado.

Conforme Coelho (2016, p. 1-65)

...esta tecnologia demonstra uma vasta eficiência de processamento de dados, não apenas no volume, mas sim na qualidade e velocidade na modificação das informações, tornando possível o aumento do aprendizado de máquinas, de processos e na própria etapa inovativa das firmas.

Com todo este contexto de conexão e integração virtual, o processamento de dados se torna elevado, principalmente tratando-se de dados em estruturas produtivos. O Big Data é uma “análise baseada em grandes conjuntos de dados que surgiu recentemente no mundo da manufatura, onde otimiza a qualidade da produção, economiza energia e melhora o serviço do equipamento” (Rubmann et al., 2015, p. 5). Ou seja, o processamento de dados é necessário para o aperfeiçoamento da atividade industrial, melhoramento da dinâmica das atividades produtivas e aumento da eficiência e a produtividade.

A realidade aumentada, a necessidade de alto processamento de dados é importante, pois será por meio do Big Data que os dados são acessados, analisados e implantados pelas fábricas digitais. Estas têm auxiliado no lançamento de novos produtos, bem como ajudado a desenvolver novas etapas produtivas mais eficientes (PLACERES, 2016).

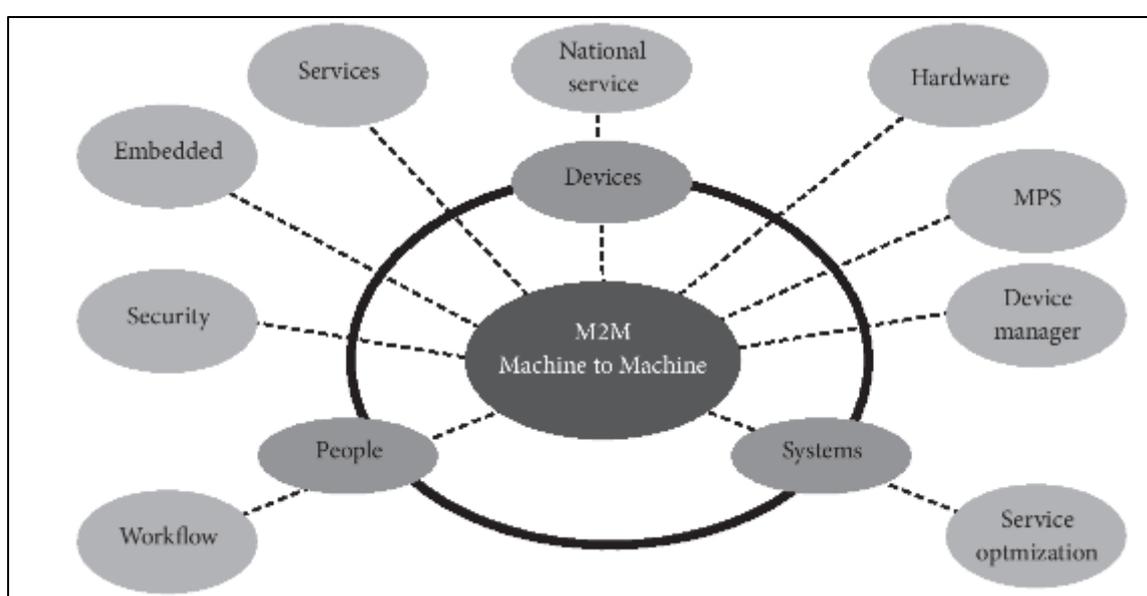
A IoT, aliada ao Big Data, coopera para o aprendizado e introdução sistemas produtivos mais eficazes e colabora para otimizar a interconexão dos mais diversos dispositivos na rede. Outra tecnologia a ser combinada com o Big Data é o armazenamento em nuvem que também estará interconectada com o IoT, propiciando juntas uma ampliação exponencial no nível de processamento de dados. Este mecanismo eleva a sinergia durante o processo produtivo, além de conduzir um acúmulo do efeito aprendizado na unidade de produção. Esta tecnologia desponta com bastante relevância nesta etapa com possibilidades de compartilhamento de dados via IoT aos mais diversos dispositivos multiconectados (OCDE, 2017).

### 3.2.2.2 Comunicação Máquina a Máquina

Comandado por Sistemas *Ciber* Físicos, a comunicação máquina a máquina ou em inglês *Machine to Machine* (M2M), pode ser definida como um sistema produtivo altamente automatizado, que além de passarem dados e informações para fora do ambiente de produção, são programados também para compartilhar esses dados e informações com o restante dos equipamentos (CULLINEN, 2013).

Na figura abaixo pode-se entender como a comunicação entre máquinas pode ser feita:

Figura 3 - Comunicação máquina a máquina



Fonte: Indústria 4.0 (2018)

A *Machine to Machine*, também é definida pela comunicação entre duas máquinas, podendo ser também a transferência de dados de um dispositivo a um computador central, essa transferência pode ocorrer por rede com ou sem fio. Esse processo baseia-se em geração dos dados, transmissão dos dados, análise dos dados e tomada de decisão.

### 3.2.2.3 Inteligência Artificial

O objetivo da Inteligência Artificial ou, em inglês, *Artificial Intelligence* (AI), é fazer com que as pessoas interajam com os dispositivos e sistemas computacionais de maneira inteligente. É considerada a área da ciência da computação, onde são

estudadas as formas de criar máquinas inteligentes, que possam reagir e agir de forma muito parecida com o ser humano (SALESFORCE,2016).

A tecnologia da informação busca aumentar a capacidade dos computadores resolverem problemas complexos auxiliando o ser humano. Com isso, a inteligência artificial passaria a fornecer sugestões às necessidades de decisões e controlar processo de produção.

### **3.2.3 Elementos complementares**

Os elementos completares são considerados como acessórios para a Indústria 4.0, mas, não deixam de serem importantes para a mesma, pois complementam os outros elementos. Há muitos elementos complementares, os principais são a realidade aumentada e a manufatura aditiva.

#### **3.2.3.1 Realidade Aumentada**

A realidade aumentada ou *Augmented Reality* (AR), é composta pelo mundo real com objetos virtuais, auxiliando na cooperação entre seres humanos e máquinas. Podem suportar uma variedade de serviços, como informações de manutenção em campo, além de incorporar novas interfaces homem-máquina. Estes sistemas estão em estágio inicial, porém estudos apontam que no futuro o uso dessa tecnologia será muito mais amplo, reduzindo a dependência e melhorando o controle da qualidade (BAHRIN et al., 2016).

A tecnologia da realidade aumentada possibilita reduzir defeitos, retrabalho e inspeção redundante, através de informações intuitivas e combinando a inteligência do operador com a flexibilidade do sistema, aumenta a eficiência do trabalho manual, ao mesmo tempo que melhora a qualidade do trabalho.

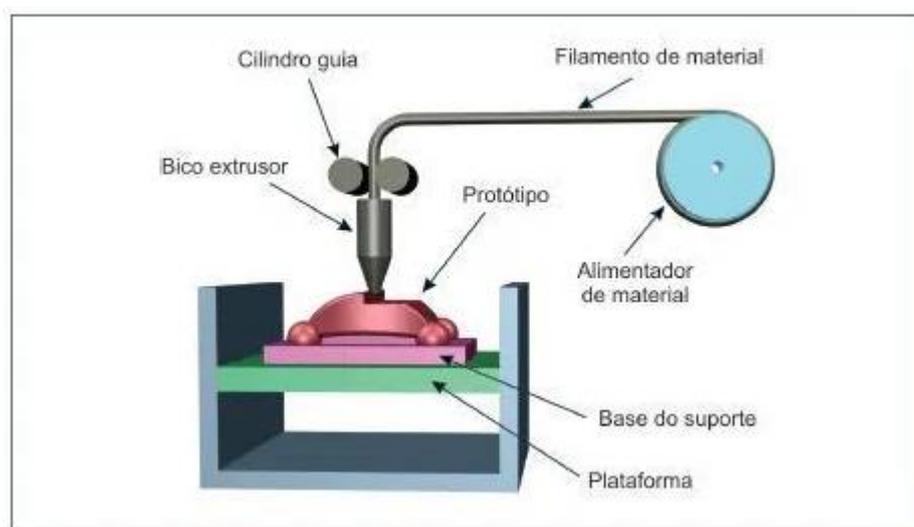
#### **3.2.3.2 Manufatura aditiva ou impressão 3D**

Precursora da impressão 3D, a manufatura aditiva não é recente, esta tecnologia foi inventada em 1984, consistindo num processo de impressão de objetos a partir da deposição de variados materiais em camadas. Esse processo agiliza a

produção de determinadas peças no local em que serão utilizadas, tornando possível a fabricação dessas peças em um lugar com a impressora 3D comandada de outro lugar (MARQUES, 2014).

Na Figura 4 pode-se observar como é o processo de funcionamento de uma impressora 3D:

Figura 4 - Processo da Impressão 3D



Fonte: Tecnoblog (2020)

As impressoras 3D fabricam peças de diversos tipos de materiais, ou seja, podem ser metálicos, plásticos ou de concreto, sendo capaz de construir edifícios com o uso dessa tecnologia juntamente com outras técnicas construtivas. Além disso, elas são capazes de confeccionar próteses humanas e de animais, calçados e vários outros produtos (MARQUES, 2014).

No próximo capítulo se exhibe os impactos e desafios para a economia brasileira na implantação da Indústria 4.0 segundo as empresas brasileiras.

#### **4 INDÚSTRIA 4.0: IMPACTOS E DESAFIOS NA ECONOMIA BRASILEIRA**

Os processos da Indústria 4.0 estão associados as denominadas indústrias inteligentes, o desenvolvimento dessa nova revolução tem se apresentado consideravelmente presente nas indústrias de transformação, as quais utilizam tecnologias otimizando suas atividades e garantindo resultados precisos em comparação com as empresas que não estão inseridas no modelo da Indústria 4.0.

Os resultados de países como o Brasil se encontram distantes dos índices apresentados por outros países, os quais muitos são considerados grandes potências econômicas quando se trata da Indústria 4.0. Portanto, há uma grande necessidade das organizações brasileiras com baixa aplicação de processos tecnológicos em se adaptar e desenvolver seus processos (SACOMANO et al, 2018).

Este capítulo aborda os impactos e desafios apontados pelas empresas acerca da introdução da Indústria 4.0 no setor produtivo industrial. Estes dados são referentes à pesquisas realizadas pela CNI em 2016 e um relatório publicado pela PwC (2016) sobre os impactos e desafios a serem enfrentados pelas companhias brasileiras para incorporar as novas técnicas produtivas. Essa apresenta informações sobre as principais tecnologias que podem aumentar a produtividade do setor industrial, exibindo as principais barreiras internas e externas à implantação dos processos de digitalização da economia.

#### 4.1 IMPACTOS DA INDÚSTRIA 4.0 NA ECONOMIA BRASILEIRA

A Indústria 4.0 aponta uma série de tecnologias que modificam os modelos de produção e consumo das corporações e da sociedade do futuro. Nos padrões produtivos são causados impactos relevantes na produtividade, na taxa de emprego, nas habilidades a serem desenvolvidas, na distribuição de renda da sociedade, nos mercados, no bem-estar social e no meio ambiente (OCDE, 2017). Estas novas tecnologias se apresentam e integram rapidamente ao estilo de vida das sociedades.

As tecnologias cooperam para que haja aumento nos índices de produtividade e da competitividade da indústria, contudo, a geração de emprego causa certo incômodo para a sociedade. No futuro haverá a necessidade de formação, capacidade, conhecimento técnico e uma série de habilidades em conjunto de um profissional, que atualmente é usual. Ou seja, os novos profissionais necessitariam de outros meios de treinamento para adquirir e desenvolver as novas destrezas das fábricas inteligentes.

Segundo o MDIC<sup>13</sup> (2018), o mercado de trabalho brasileiro será impactado pela Indústria 4.0 devido as demandas e ofertas por profissionais. Para isso, serão destinados recursos para 1,5 mil professores de educação profissional e tecnológica

---

<sup>13</sup> Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços

em Indústria 4.0, através de uma parceria entre o MDIC e o MEC<sup>14</sup> com a Comissão Europeia. Ficou proposto também, que o Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID), juntamente com o Ministério do Trabalho (MTb) e MDIC estabeleceriam a mudança no perfil dos empregos a partir da Indústria 4.0, com o objetivo de ajudar os trabalhadores brasileiros a se ajustarem às mudanças no mercado de trabalho (MDIC, 2018)

Outros estudos, entretanto, apontam que nos EUA grande parte do desemprego é consequência da incorporação de tecnologia poupadora de mão-de-obra. Este fato provoca um problema estrutural na geração de emprego, devido à condição de automação industrial provocando cada vez mais desempregados no mundo (MCKINSEY, 2017). Segundo McKinsey (2017) aponta em seu relatório, há muito espaço para a automação ocupar dentro dos setores industriais, porque são poucas as ocupações que podem ser totalmente automatizadas. Segundo este, a automatização do trabalho reduz a demanda de trabalho de baixa qualificação profissional, exigindo trabalhos com maior grau de formação profissional, mais produtivo e com maior nível de remuneração.

Essa revolução do 4.0, tende a largar a produção em massa para alcançar a customização em massa. Conforme Coelho (2016, p. 16), esta pode ser determinada como:

...um processo de produção de bens ou serviços que atendam desejos específicos e individuais a custos reduzidos, muito próximos dos custos de produção em massa sem customização, só possível com uma grande agilidade e flexibilidade da empresa.

O impacto no setor industrial seria a elaboração de produtos mais dinâmicos e mais inteligentes para atender às novas exigências do mercado consumidor. As empresas que buscam se desenvolver e obter destaque dentro da economia do país, deverão se adequar diante dos novos processos, almejando não somente o crescimento financeiro, mas também posições de destaques no mercado.

Em 2018, a CNI realizou uma pesquisa com as grandes empresas brasileiras, para obter dados sobre o uso das tecnologias digitais. Ainda que em estágio inicial de implantação das tecnologias, 73% das grandes empresas industriais já se encontram dentro da Indústria 4.0. São treze opções de tecnologias, onde pelo menos uma é

---

<sup>14</sup> Ministério da Educação

adotada por essas grandes empresas. No quadro abaixo, nota-se o percentual de empresas que utilizam tecnologias digitais (CNI, 2018).

Quadro 3 - Empresas que utilizam tecnologias digitais

FOCO	TECNOLOGIA	UTILIZA %
<b>Processos de produção / gestão dos negócios</b>	Automação digital sem sensores, uso de Controlador Lógico Programável (CLP)	30
	Automação digital com sensores para controle de processo	46
	Automação digital com sensores com identificação de produtos e condições operacionais	23
	Coleta, processamento e análise de grandes quantidades de dados (big data) da empresa	21
	Monitoramento e controle remoto da produção com sistemas do tipo MES e SCADA	19
	Manufatura aditiva, robôs colaborativos (cobots)	13
	Sistemas inteligentes de gestão, como comunicação M2M (máquina-máquina), gêmeo digital (Digital Twin) e inteligência artificial (IA)	9
<b>Desenvolvimento de produto</b>	Sistemas integrados de engenharia para desenvolvimento e manufatura de produtos	37
	Prototipagem rápida, impressão 3D e similares	16
	Simulações/ análise de modelos virtuais para projeto e comissionamento (Elementos Finitos, Fluidodinâmica Computacional etc.)	13
<b>Produto / novos modelos de negócio</b>	Coleta, processamento e análise de grandes quantidades de dados (big data) sobre o mercado; monitoramento do uso dos produtos pelos consumidores	9
	Utilização de serviços em nuvem associados ao produto	16
	Incorporação de serviços de serviços digitais nos produtos (Internet das Coisas ou Product Service Systems)	11

Nota: A soma dos percentuais supera 100% devido a possibilidade de múltiplas respostas.

Fonte: Elaborado pela autora com base em dados da CNI (2018)

A tecnologia mais utilizada pelas empresas é a automação digital com sensores para controle de processos (46%). Sistemas integrados de engenharia para desenvolvimento e manufatura de produtos fica em segundo lugar com 37%. As tecnologias que são pouco utilizadas nos processos de produção e gestão dos negócios são as que permitem linhas mais flexíveis, como a Automação digital com sensores com identificação de produtos e condições operacionais (23%). Já as tecnologias digitais aplicadas a desenvolvimento de produtos são utilizadas por 58%

das empresas, esse percentual cai para 33% quando se trata das tecnologias voltadas para produto e novos modelos de negócios.

No Quadro 2, pode-se observar o baixo percentual do uso de tecnologias mais avançadas, tais como manufatura aditiva; robôs colaborativos; sistemas inteligentes de gestão; simulações e análises de modelos virtuais; e internet das coisas, para isso é necessária uma transformação maior no modo de produção e modelo de negócios, logo o baixo percentual de empresas que utilizam destas tecnologias.

A maior parte das indústrias brasileiras ainda está no processo inicial de incorporação das tecnologias digitais. As empresas industriais brasileiras têm priorizado tecnologias para aumentar a eficiência do processo de produção e melhorar a gestão dos negócios, na transição para a Indústria 4.0. Entre as grandes empresas que utilizam tecnologias digitais, a grande maioria (90%) usa pelo menos uma tecnologia voltada para o processo de produção ou a gestão dos negócios (CNI, 2018).

As firmas procuram combinar computação em nuvem (Big Data e IoT), sensores multiconectados e sistemas computacionais em uma tentativa de alterar seus modelos de negócios. A PwC realizou uma pesquisa em 2016, com nove setores diferentes da indústria, 2 mil empresas em 26 países, 32 delas no Brasil, para investigar as opiniões das empresas sobre o avanço da Indústria 4.0 (PwC, 2016).

Tabela 2 expõem dados referentes à expectativa dos entrevistados na redução de custos em alguns setores industriais. Assim, as informações proporcionam que, em média a redução de custos varia em torno de 3,2% e 4,2% por ano. O setor com mais capacidade de diminuição do custo é o setor de papel e embalagens com um percentual de 4,2% por ano.

Tabela 2 – Expectativa de redução de custos de produção de diversos setores industriais

Setores	(%) Redução de Custos*	US\$ Redução de Custos**
Aeroespacial, defesa e segurança	3,7%	9,00
Automotivo	3,9%	28,00
Químico	3,9%	49,00
Eletrônico	3,7%	62,00
Engenharia e Construção	3,4%	78,00
Florestas, papel e embalagem	4,2%	28,00
Manufatura Industrial	3,6%	52,00
Logística e Transporte	3,2%	61,00

Fonte: Elaborado pela autora com base em dados da PwC (2016)

\*Em porcentagem por ano

\*\*Em Bilhões de US\$ por ano

Analisando a Tabela 2, outros setores com elevada capacidade de redução de custo é o de engenharia e construção e eletrônico, com uma diminuição em torno de US 78 e US 62 bilhões de dólares por ano, respectivamente. A soma total a ser comprimida com custos de produção pode alcançar a cifra de US 420 bilhões de dólares por ano. Os setores como logísticos e transporte, manufatura indústria e químico, também possuem elevadas condições na redução de custos de produção.

#### 4.2 DESAFIOS DA INDÚSTRIA 4.0 NA ECONOMIA BRASILEIRA

As revoluções econômicas e industriais, tem trazido novos desafios e determinando novas abordagens dentro das organizações. Para as indústrias será uma transformação a longo prazo, pois além do investimento de capital exigido, será preciso investir no desenvolvimento de novas competências e de uma cultura digital na organização (ALKAYA, 2015).

Para que as indústrias consigam ultrapassar esses desafios, serão necessários alguns requisitos importantes como, responder às questões de segurança e proteção digital, formação e desenvolvimento profissional, processos e organização do trabalho, entre vários outros. Embora algumas empresas já tenham iniciado o processo de introdução das tecnologias pertencentes a Indústria 4.0, a eficiência e a eficácia dos recursos têm dificultado o percurso de transição das empresas.

O desenvolvimento da Indústria 4.0 no Brasil envolve desafios que vão desde

os investimentos em equipamentos que incorporem essas tecnologias, à adaptação de layouts, adaptação de processos e das formas de relacionamento entre empresas ao longo da cadeia produtiva, criação de novas especialidades e desenvolvimento de competências, entre outras. O cruzamento de informações que permite conectar o pedido de compra, a produção e a distribuição de forma autônoma, sem que pessoas precisem tomar decisões a todo o momento, por exemplo, exigirá novas formas de gestão e engenharia em toda a cadeia produtiva (CNI, 2018).

A tabela a seguir distingue alguns desafios e problemas que geralmente são encontrados pelos empresários para incorporação de processos de digitalização dos processos produtivos. Nota-se que as principais dúvidas sobre a incorporação residem sobre a falta de clareza de como realizar os processos de integração digital e a falta de líderes que conheçam e se adequem aos processos digitais. Segundo relatório da PwC (2016), outra incerteza que está em torno de 40% dos entrevistados, é em relação aos retornos sobre o investimento, tanto no Brasil quanto no mundo. A necessidade de grandes volumes de capital para realizar o investimento é relevante, pois 29% dos entrevistados (Brasil) apontam esta dificuldade.

Tabela 3 - Preocupações e dificuldades sobre a introdução da Indústria 4.0

PREOCUPAÇÕES E DIFICULDADES	GLOBAL	BRASIL
Falta de Clareza nas operações digitais e suporte / liderança de alta administração	40%	39%
Incerteza quanto aos benefícios econômicos sobre os investimentos digitais	38%	39%
Necessidade de grande financiamento	36%	29%
Talentos insuficientes	25%	16%
Falta de padrões digitais, normas e certificações	21%	3%
Expansão lenta das tecnologias de infraestrutura básica	18%	26%
Os parceiros de negócios não são capazes de colaborar em torno de soluções digitais	16%	26%
Preocupação com a perda de controle da propriedade intelectual da empresa	14%	6%

Fonte: Elaborado pela autora com base de dados da PwC (2016).

A pesquisa realizada pela PwC (2016), apresenta as expectativas para as empresas adquirirem os novos modelos de digitalização da produção. As perspectivas, segundo entrevistados, para introdução destas tecnologias pelos empresários brasileiros são bastante otimistas, apesar do estágio de desafios. Ela expõe grandes desafios a serem superados devido ao fato de que a estrutura das

corporações e a infraestrutura digital brasileira se apresentam com desvantagens com os modelos globais.

Como pode-se observar na Tabela 3, os maiores desafios para a Indústria 4.0 em relação ao mundo, está na falta de talentos necessários para execução dos processos digitais na economia, juntamente com a falta de padrões digitais e certificações estão na casa de 25 e 21%, respectivamente. Para a situação brasileira estes percentuais baixam para 3 e 16% simultaneamente, entretanto, o argumento dos brasileiros é que há uma expansão lenta da infraestrutura básica para as novas tecnologias e falta de parceiros para realizar os investimentos (26%).

No relatório apresentado pela PwC (2016), é assinalado que grande parte dos empreendimentos que adotaram uma ou mais tecnologias da Indústria 4.0 as introduziram para otimização de técnicas produtivas e redução dos custos. Os maiores benefícios ocorrem a partir da implantação dos modelos interativos que se concentram nos setores com maiores intensidades tecnológicas e nas corporações maiores. Os dados expõem que as maiores expectativas para incorporação deste progresso tecnológico estão próximas a ganhos de eficiência produtiva e melhorar os índices de competitividade das empresas entrevistadas (PwC, 2016).

Na pesquisa feita pela CNI (2016), foram apresentadas as barreiras que inibem a introdução da Indústria 4.0 nas indústrias brasileiras, a introdução na adoção de tecnologias digitais nos processos produtivos apresentados na Tabela 4, a principal dificuldade notada pelos entrevistados reside nos elevados custos para utilização das tecnologias nos processos. Aliada a esta questão, estão conectados o fato de haver dificuldades a serem enfrentadas na infraestrutura de TI adequadas. A complexidade dos modelos digitais depende da utilização de redes com elevado potencial na transmissão de dados que as TI podem propiciar.

Tabela 4 - Principais barreiras que inibem a introdução da Indústria 4.0 nas indústrias brasileiras<sup>15</sup> (em porcentagem)

Resposta	Pequena	Média	Grande	Alta	Média-Alta	Média-Baixa	Baixa
Infraestrutura de TI inapropriada	19	22	16	26	23	18	18
Dificuldade para interagir novas tecnologias e <i>softwares</i>	17	22	21	12	23	18	20
Alto Custo de implantação	60	64	71	74	69	63	62
Risco para segurança da informação	4	6	10	8	6	6	6
Falta de clareza na definição do retorno sobre o investimento	21	23	29	18	26	22	25
Estrutura e cultura da empresa	27	24	24	21	24	27	25
Sem resposta	27	27	22	21	21	26	27

Fonte: CNI (2016)

Notas: A soma dos percentuais supera 100% devido à possibilidade de múltiplas respostas.

- (1) Os resultados são médios ponderados dos portes de empresa. Os pesos se encontram na metodologia da Sondagem Industrial, disponível no site: [www.portaldaindustria.com.br/estatisticas/sondagem-industrial/](http://www.portaldaindustria.com.br/estatisticas/sondagem-industrial/)
- (2) Classificação elaborada pela CNI, com base em OECD. ISIC REV. 3 Technology Intensity Definition, 2011, disponível no relatório de divulgação desta pesquisa.

Os problemas são maiores nas corporações de grande porte e em geral nas empresas com alta e médio-alta intensidade tecnológicas. As empresas também apontam que há grandes dificuldades de integração das novas tecnologias e softwares nas estruturas implantadas. Para que estas tecnologias se empreguem de modo dinâmico na produção industrial é relevante um grande fluxo de investimentos em TIC. Estas dificuldades em se promover uma melhor articulação entre centros de pesquisas e companhias resultam em um grande desafio a ser superado para difusão da Indústria 4.0 no Brasil.

Ainda, pode-se observar que uma grande parte dos entrevistados argumenta para a falta de clareza no retorno dos investimentos. Outro fator relevante é fato de não haver estrutura ou de cultura de não utilização destas tecnologias por parte das firmas. Isso mostra os desafios de adequação e incorporação do paradigma tecnológico de produção digitalizada. Para estas questões as pequenas empresas e as de médio-baixa e baixa intensidade tecnológicas expõem a maior parte das dificuldades associadas à aquisição destas novas tecnologias. Uma gama grande de entrevistados respondeu que não faz parte a estrutura da companhia ou não tem respostas sobre o assunto.

Este estudo apresentado pela CNI em 2016 elucidou alguns desafios e

<sup>15</sup> Esta pesquisa contou com a resposta das empresas de até três itens respondidos pelos empresários, portanto, as somas das porcentagens superam o valor de 100%.

dificuldades para implantar a nova fase da industrialização no Brasil. Há muitos desafios que a indústria terá que enfrentar e superar para que se possa dizer que a Indústria 4.0 está acessível. A concorrência entre as empresas levanta a necessidade de estratégias globais para se manterem no mercado. Neste contexto, muitas organizações já estão percebendo a importância de se planejar para a automação e digitalização, investindo em novas tecnologias a fim de promover uma manufatura mais inteligente.

Um dos desafios enfrentados pelas indústrias é o desenvolvimento de fornecedores, assim como as empresas precisam adotar mudanças nos processos existentes, os fornecedores também precisarão se adaptar a essa modernização. O Brasil tem caído no ranking de eficiência da inovação, este índice busca avaliar critérios de performance de diferentes países no quesito inovação, são avaliados o crescimento da produtividade, investimentos em pesquisa e desenvolvimento (P&D), dentre outros tópicos. No quadro a seguir é mostrado alguns países mais inovadores:

Quadro 4 - Índice Global de Inovação

Posição	País
1º	Suíça
2º	Suécia
3º	Países Baixos
4º	EUA
5º	Reino Unido
6º	Dinamarca
7º	Singapura
8º	Alemanha
66º	Brasil

Fonte: Universidade Cornell, INSEAD e OMPI (2019)

Uma questão apontada no relatório da CNI (2016), está associado à dificuldade de encontrar tecnologias e parcerias para introdução dos modelos produtivos digitais, isso está ligado tanto aos clientes quanto aos fornecedores. Por sua vez, a falta de linhas de financiamento para inserir no setor produtivo as novas tecnologias dificulta os processos de digitalização produtiva do setor industrial brasileiro.

Segundo o Presidente Executivo do SEBRAE, Carlos Melles (2019),

“Para enfrentar obstáculos, temos de compreender o problema. O Índice Global de Inovação oferece-nos indicadores de informação que nos mostram

onde se encontram os maiores desafios à inovação no Brasil. Neste sentido, o SEBRAE tem uma importante missão: Ajudar o Brasil a reencontrar o crescimento, sendo que esta reconstrução passará necessariamente pelas micro e pequenas empresas, que representam 98,5% da atividade formal do país”.

Segundo pesquisa realizada pela PwC (2017), tanto empresas brasileiras como empresas globais apontam que seu maior desafio não é a implementação da tecnologia certa, e sim a falta de cultura digital e de habilidades em sua organização. As empresas necessitam desenvolver uma cultura digital robusta e ter certeza de que a mudança é impulsionada por uma liderança clara da alta administração.

Grandes transformações normalmente não são confortáveis para as pessoas, com as tecnologias digitais tornando-se commodities rapidamente, o sucesso depende de como os líderes conduzem e comunicam a transformação, além da qualificação dos funcionários para implementar produtos e serviços digitais.

Questões de segurança de dados também são apontadas como um desafio a ser superado pelas empresas brasileiras, devido ao aumento de dispositivos inteligentes conectados à rede. A integração de diversos dados em diferentes sistemas por meio da rede de computadores não é simples, quanto mais o acesso à informação é ampliado, mais as trocas de dados são arriscadas (EUROPEAN PARLIAMENT, 2017).

A organização do trabalho exigirá mudanças para que se possa produzir num ambiente 4.0, este deverá ser adaptável ao nível dos processos de forma a suportar a flexibilidade necessária para fornecer produtos personalizados com custos reduzidos. Serão necessários também, novas interfaces homem-máquina que permitam novos modos de interação adaptados às novas restrições de trabalho.

Os desenvolvimentos tecnológicos têm ajudado as organizações industriais a lidar com a necessidade de se tornarem mais competitivas. No entanto, são necessárias medidas adicionais que garantam que recursos financeiros alcancem à todas as empresas com necessidade de financiamento para a inovação.

No próximo capítulo se exhibe as considerações finais sobre este trabalho em conjunto com os impactos dessa nova fase de desenvolvimento industrial e os desafios para a economia brasileira.

## 5 CONCLUSÃO

O presente trabalho foi elaborado com o intuito de apresentar a Indústria 4.0, onde verificou-se que a mesma tende a proporcionar melhorias no processo manufatureiro, proporcionando estruturas produtivas mais inteligentes, autônomas e eficientes. Essa nova revolução vem contribuindo para o desenvolvimento de novos modelos de negócios em novos mercados, com maior dinamismo. Contudo, têm-se que há impactos na estrutura econômica e social capazes de afetar tanto as relações entre fornecedores, produtores e consumidores, quanto à geração de empregos. Eles alteram o modo de formação de mão de obra, pois tendem para acúmulo de múltiplos conhecimentos.

Os possíveis benefícios da Indústria 4.0 estão relacionados com o setor manufatureiro mais dinâmico e multiconectados que favorecem o desenvolvimento e a difusão de novas tecnologias aos mais diversos setores da economia. As novas técnicas tendem a se tornar mais inteligentes e mais otimizadas, além disso, proporcionariam muitos impactos socioeconômicos desde a geração de renda e emprego até relacionamento entre homem e máquina. Também se expõe a possibilidade de novos modelos de negócios, permitindo uma nova organização das corporações em estruturas produtivas menores e mais produtivas.

Para que seja possível a implantação das técnicas que favorecem o dinamismo e automação, é necessário um fluxo de investimentos, dado que se espera que a estrutura produtiva seja alterada para modelos digitais de manufatura avançada. Por se encontrarem em um ambiente corporativo multiconectado, os novos trabalhadores tendem a apresentar multiformações profissionais, o que alteraria a dinâmica do mercado de trabalho. Estas modificações resultariam em maiores ganhos e melhorias na condição de vida destes novos profissionais.

As perspectivas sobre essa nova revolução são de uma estrutura produtiva menos rígida e mais flexível, comparada aos modelos atuais. Tem-se a expectativa de que as novas fábricas sejam inteligentes, multiconectadas e autônomas, encaminhando-se para a redução de custos de produção e um constante processo de aprendizagem e elevação nos índices de produtividade. Além disso, como resultado de diminuição de trabalhos repetitivos e pouco qualificados, espera-se o surgimento de novos postos de trabalhos e novas áreas com maior nível de formação e dinâmica, proporcionando maiores rendimentos.

Outro detalhe abordado nesta monografia, está associado aos empregos atuais, nos próximos anos muitas atividades tendem a se reduzirem, devido à necessidade de novas habilidades desenvolvidas e a formação profissional atual não auxilia neste desenvolvimento profissional.

As potencialidades, com o uso das novas tecnologias, requerem um desafio elevado no Brasil. Um dos grandes problemas enfrentados pelas empresas está na falta de investimentos em infraestrutura, principalmente nas tecnologias da Indústria 3.0, que ainda não se desenvolveram adequadamente no território brasileiro.

Esta monografia considera importante a implantação das tecnologias da Indústria 4.0 no Brasil, porém com base em evidências apresentadas, verifica-se que há muitos desafios a serem enfrentados e, por isso, é possível dizer que a hipótese principal deste trabalho foi validada parcialmente, pois a Indústria 4.0 encontra-se ainda em fase de implantação.

Processos cada vez mais integrados e feitos sem intervenção humana estão cada vez mais comuns e isso tem melhorado a vida das pessoas em geral. O acesso a informações tem aumentado a cada dia e o dinamismo do mercado também. O Brasil tem grande potencial em desenvolver novas tecnologias e se tornar mais competitivo no mercado, aplicando os conceitos da Indústria 4.0 em múltiplos setores. Essa transformação digital será necessária e um importante passo para a competitividade.

Acredita-se que o presente trabalho possa estimular a outros estudantes da área e apreciadores do assunto a desenvolver trabalhos de pesquisa tanto para desenvolvimento de trabalhos de levantamento bibliográfico como este, quanto de projetos para a área, que tenha mais foco em determinada melhoria ou benefício da indústria 4.0. É possível também uma futura análise e comparação do conteúdo aqui exposto e o cenário pós a consolidação da nova revolução industrial.

## REFERÊNCIAS

ALKAYA, E.; BOGURCU, M; ULUTAS, F.; DEMIRER, G.N. **Adaptation to climate change in industry: emproving resource efficiency through sustainable production applications.** Water Environment Research, v.87, n.1, p.14–25, 2015.

Disponível em:  
<<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.2175/106143014X14062131178952>>.

Acesso em: 15 nov. 2020.

BAHRIN, M.; OTHMAN, F.; AZLI, N.; TALIB, M. **Industry 4.0: A review on industrial automation and robotic.** Journal Teknologi, v. 78, n.6-13, p.137–143, 2016.

BRAVERMAN, Harry. **Trabalho e capital monopolista.** Rio de Janeiro: Zahar, 1977.

BRETTEL, M. et al. How Virtualization, Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape: An Industry 4.0 Perspective. **International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering**, v. 8, n. 1, p. 37-44, Novembro 2014.

BÜRKNER, H.-P. et al. **Transformation delivering and sustaining breakthrough perfomance.** Boston: The Boston Consulting Group, Inc, 2016.

CHENG C.; GUELFIRAT, T.; MESSINGER, C.; SCHMITT, J.; SCHNELTE, M.; WEBER, P. **Semantic degrees for industrie 4.0 engineering: deciding on the degree of semantic formalization to select appropriate technologies.** Nova York: ACM New York, 2015. p.1010–1013.

CNI - Confederação Nacional da Indústria. (2016). **Os desafios da Indústria 4.0 no Brasil.** Disponível em:

<<https://www.portaldaindustria.com.br/publicacoes/2016/8/desafios-para-industria-40-no-brasil/>>. Acesso em: 15 nov. 2020.

CNI - Confederação Nacional da Indústria. (2016). **Indústria 4.0: novo desafio para a indústria brasileira.** Disponível em: <<http://conexaotrabalho.portaldaindustria.com.br/>>. Acesso em: 25 out. 2019.

CNI - Confederação Nacional da Indústria. (2018). **Investimentos em Indústria 4.0.** Disponível em: <<https://www.portaldaindustria.com.br/estatisticas/pqt-investimentos-em-industria-40/>>. Acesso em: 15 nov. 2020.

COELHO, P. N. M. **Rumo à Indústria 4.0.** Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia e gestão Industrial pela Universidade de Coimbra. Coimbra, p. 1-65. 2016. Disponível em: <<https://eg.uc.pt/bitstream/10316/36992/1/Tese%20Pedro%20Coelho%20Rumo%20%C3%A0%20Industria%204.0.pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2020.

COUTINHO, Luciano; FERRAZ, João Carlos. **Estudo da competitividade da indústria brasileira.** São Paulo: Papyrus, 1994.

CULLINEN, M. **Machine to machine Technologies: unlocking the potential of a \$1 trillion industry.** Washington, DC: Carbon War Room, 2013.

DEZORDI, L. L. **Fundamentos de Economia.** 1ª. ed. rev. Curitiba, PR: IESDE Brasil, 2012.

DIEHL, Isani; VARGAS, Paulo Roberto. Paradoxos da globalização: da pressuposição do fim do estado-nação à realidade do retorno do estado. **Estudos do CEPE.** Santa Cruz do Sul, n. 3/4, p. 91-124, jan./dez. 1996.

EUROPEAN PARLIAMENT. **Industry 4.0.** União Europeia, 2016.

GALÍPOLO, G.; BELLUZZO, L. G. **A nova revolução industrial.** Jornal Valor Econômico, Brasília, Novembro 2016.

HARVEY, David. **A condição pós-moderna.** São Paulo: Loyola, 1992.

HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. Design principles for industrie 4.0 scenarios. In: **Hawaii International Conference on Systems Science**. 2016.

HOBBSAWM. Eric J. **Da revolução inglesa ao imperialismo**. 5. ed. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 2000.

IANNI, Otavio. **A era do globalismo**. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 1997.

INDÚSTRIA 4.0. **Agenda brasileira para a Indústria 4.0**. (2018). Disponível em: <<http://www.industria40.gov.br/>>. Acesso em: 15 nov. 2020.

LANDES. David S. **Prometeu Desacorrentado**. Transformação tecnológica e desenvolvimento industrial na Europa ocidental de 1750 até os dias de hoje. Rio de Janeiro: Elsevier Editora, 2005.

KANG, H. S. Smart manufacturing: Past research, present findings, and future directions. **International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology**, v.3, n. 1, p. 111-128, 2016.

KUPFER, D. Uma abordagem neo-schumpeteriana de competitividade industrial. **Ensaio FEE**, Porto Alegre, v. 1, n.17, p. 355-372, 1996.

MARQUES, K. **Manufatura Aditiva: o futuro do mercado industrial de fabricação e inovação**. São Carlos: EESC-USP, 2014.

MARX, K. **O capital**. V. I, tomo 1. São Paulo: Abril Cultural, 1983.

MCKINSEY. (2017). **O futuro do mercado de trabalho: impacto em empregos, habilidades e salários**. Disponível em: <<https://www.mckinsey.com/featured-insights/future-of-work/jobs-lost-jobs-gained-what-the-future-of-work-will-mean-for-jobs-skills-and-wages/pt-br#>>. Acesso em: 14 nov. 2020.

MDIC. Ministério da Indústria, Comércio Exterior e Serviços. (2018). **MDIC e ABDI lançam Agenda Brasileira para a Indústria 4.0 no Fórum Econômico Mundial**.

Disponível em: <<http://www.mdic.gov.br/index.php/ultimas-noticias/3133-mdic-e-abdi-lancam-agenda-brasileira-para-a-industria-4-0-no-forum-economico-mundial>>.

Acesso em: 15 nov. 2020.

MORAES NETO, Benedito Rodrigues de. **Marx, Taylor, Ford. As forças produtivas em discussão.** São Paulo: Brasiliense, 1991.

OCDE. **Manual Oslo:** Diretrizes para coleta e interpretação de dados sobre inovação. 3ª. ed. [S.l.]: Finep, 1997.

OCDE. **The Next Production Revolution: Implications for Governments and Business.** OCED Publishing. Paris, p. 1-442. 2017.

PINDYCK, Robert S.; RUBINFELD, Daniel L. **Microeconomia.** São Paulo: Makron Books, 1994.

PLACERES, C. **Manufatura Avançada:** A era das fábricas inteligentes. Piracicaba, 6 Outubro 2016. p. 122-142.

PwC. PricewaterhouseCoopers Brasil Ltda (2016). **Indústria 4.0: Digitização como vantagem competitiva no Brasil.** Disponível em: <<https://www.pwc.com.br/pt/estudos/servicos/consultoria-negocios/2016/pwc-industria-4-digitizacao-vantagem-competitiva-brasil-16.html>>. Acesso em: 15 nov. 2020.

PwC. PricewaterhouseCoopers Brasil Ltda (2017). **O Futuro da Indústria: quebrando as barreiras e ampliando as fronteiras.** Disponível em: <<https://www.pwc.com.br/pt/sala-de-imprensa/noticias/pwc-aponta-os-principais-desafios-da-industria.html>>. Acesso em: 15 nov. 2020.

REZENDE, Cyro. **História Econômica Geral.** São Paulo: Contexto, 2005.

RÜBMANN, M. et al. **Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries.** Boston Consulting Group. Boston, p. 20. 2015.

SACOMANO, J. Benedito; GONÇALVES, R. Franco; SILVA, M. Terra; BONILLA, S. Helena; SÁTYRO, W. Cardoso. **Indústria 4.0: conceitos e fundamentos**. São Paulo: Blucher, 2018.

SAES, Flávio Azevedo Marques de; SAES, Alexandre Macchione. **História econômica geral**. 1. ed. São Paulo: Saraiva, 2013.

SALESFORCE BRASIL. **O que é cloud computing? Entenda a sua definição e importância**. São Francisco, 2016.

SCHUMPETER, J. A. **Capitalismo, Socialismo e Democracia**. Rio de Janeiro: Fundo de Cultura, 1911.

SMITH, Adam. **A Riqueza das Nações: investigando sobre sua natureza e suas causas**. São Paulo: Nova Cultural, 1996.

TAVARES, Maria da Conceição. Ajuste e reestruturação nos países centrais. **Economia e Sociedade**. Campinas, n.1, p.59-67, ago. 1992.

TAYLOR, Frederic W. **Princípios da administração científica**. São Paulo: Atlas, 1980.

TECNOBLOG. (2020). **Impressão 3D**. Disponível em: <<https://tecnoblog.net/?s=impress%C3%A3o+3d>>. Acesso em: 15 nov. 2020.

TIGRE, P. B. **Gestão da Inovação: a economia da tecnologia no Brasil**. Rio de Janeiro: Campus, 2006.

WANG, L.; WANG, G. Big data in cyber-physical systems, digital manufacturing and Industry 4.0. **International Journal of Engineering and Manufacturing (IJEM)**, v. 6, n. 4, p. 1-8, 2016.

Weyer, S., Schmitt, M., Ohmer, M., Gorecky, D. **Towards Industry 4.0 – Standardization as the Crucial Challenge for Highly Modular, Multi-vendor**

**Production Systems.** IFAC-PapersOnLine, p. 579-584, 2015.