



**QUARTA
REVOLUÇÃO INDUSTRIAL:
A ERA DA MANUFATURA INTELIGENTE**

Autores:
Fabricio Ravell Silva Sousa
Laédna Souto Neiva
Laura Nunes de Menezes
Raimundo Nonato Pinheiro da Silva

Revisão Técnica:
Maria Isabel Brasileiro Rodrigues
Revisão Final:
Natália Brito Bessa
Normalização:
Ana Lúcia Lucio Pinheiro

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Cariri
Sistema de Bibliotecas

Q1 Quarta Revolução Industrial: a era da manufatura inteligente / Laédna Souto Neiva (org.); ilustrado por Laura Nunes de Menezes, Fabrício Ravell Silva Souza, Raimundo Nonato Pinheiro da Silva. - Juazeiro do Norte: Universidade Federal do Cariri, 2022.

88 p. il.; PDF.

ISBN 978-65-88329-34-4

1. Indústria 4.0. 2. Nova era industrial. 3. Manufatura inteligente. I. Neiva, Laédna Souto, II. Souza, Fabrício Ravell Silva. III. Silva, Raimundo Nonato Pinheiro da.

CDD 670.42

Bibliotecária: Glacínésia Leal Mendonça
CRB 3/ 925

A todos que amam a indústria e tudo que estiver relacionado a ela.

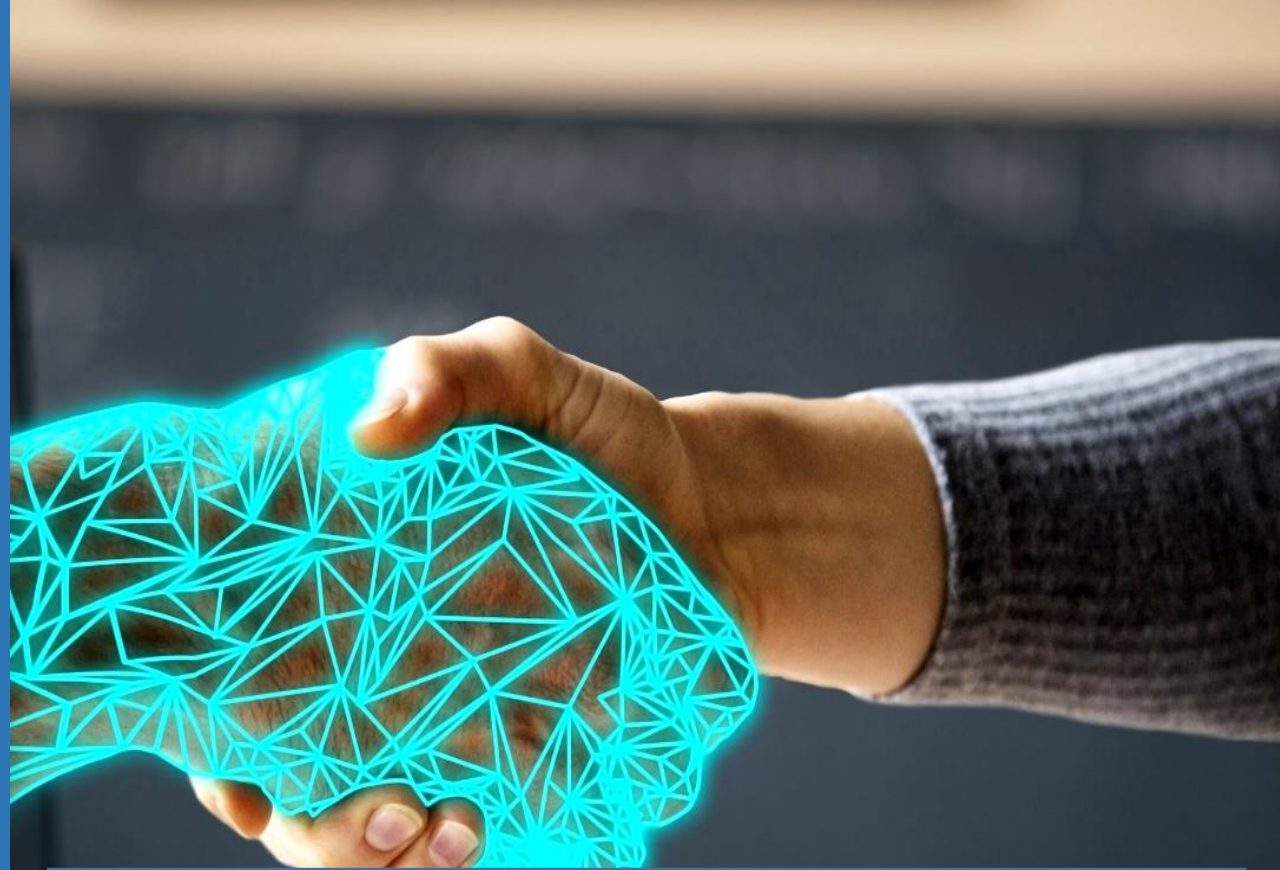


APRESENTAÇÃO

APRESENTAÇÃO

Esta obra nasce como o resultado do somatório de esforços de diferentes tipos, a começar por leituras e reflexões individuais que, em seguida, foram enriquecidas por diálogos, reuniões, debates, trocas de opiniões e momentos para administração de críticas ora construtivas, ora nem tanto. De autoria de um pequeno grupo de pesquisadores do curso de Engenharia de Materiais da Universidade Federal do Cariri, esta obra representa a materialização do desejo dos seus autores de popularizar a temática da quarta revolução industrial para o máximo possível de esferas da sociedade.

Considerando que os fundamentos e conceitos da nova era industrial ainda são pouco difundidos e compreendidos por grande parte da sociedade, inclusive por membros da comunidade acadêmica, muito embora os mecanismos característicos e/ou consequências do advento desta atual revolução digital já se apresentem como uma realidade inegável para alguns aspectos da vida cotidiana, para muito além das organizações fabris, percebeu-se que a hora para corroborar com a literatura é agora levando este assunto a todos aqueles que se sentirem interessados no tema.



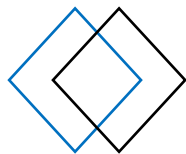
Considerando ainda o senso de obrigação que as instituições de ensino possuem no que se refere a formação de recursos humanos, produção e difusão de conhecimentos para toda a extensão da sociedade, mais uma vez, se percebeu a pujante necessidade de se produzir um material literário sobre a temática objeto de reflexão desta obra a fim de se contribuir para a promoção de um maior entendimento sobre a mesma.

APRESENTAÇÃO

Integrando uma ampla gama de tecnologias e domínios que, inevitavelmente, requerem mudanças nos processos de inovação, produção, logística e serviços dentro da sociedade; a quarta revolução industrial, também conhecida pelo termo Indústria 4.0, trata-se de um movimento que propõe, literalmente, uma revolução digital que consiste na operação conjunta de diferentes tecnologias que alicerçam e permitem a interação de informações emitidas por diferentes sistemas industriais em tempo real, sem intervenção humana ou com o mínimo possível desta, em alguns casos fundindo características dos mundos real e virtual, tudo isto a fim de otimizar a eficiência produtiva das corporações de natureza industrial. O modelo de Indústria 4.0 encontra-se em diferentes níveis de implantação e/ou operação ao redor do mundo, diferenciando-se, basicamente, de um país para outro, em função de aspectos relacionados à aptidão econômica e industrial e, sobretudo, ao nível de investimento em educação de cada país bem como ao nível de escolaridade média da população economicamente ativa do mesmo.

Alinhado a esse contexto, este trabalho tem como objetivo apresentar às comunidades acadêmicas e industriais um compilado de informações, com base na literatura, sobre os princípios, conceitos fundamentais, requisitos e desafios que este novo e emergente cenário industrial apresenta e vem impondo ao mundo moderno. Com base nas informações reunidas nesta obra ficou concluído que assim como as primeiras revoluções industriais, já experienciadas pela humanidade, a quarta revolução industrial afetará radical e irreversivelmente tanto o *modus operandi* de se trabalhar quanto a forma de se viver em sociedade, uma vez que o advento desta nova era industrial afetará não apenas os ambientes fabris, mas todas as esferas da sociedade. O leitor irá perceber, ao longo da leitura, que os pontos altos desta nova era industrial são, portanto, a necessidade de capacitação de recursos humanos qualificados à altura do que se faz necessário para este momento bem como as promessas de economia e celeridade para os sistemas fabris.

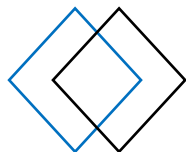
Boa leitura!



Sumário

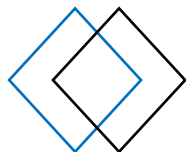
1	INTRODUÇÃO.....	09
2	JUSTIFICATIVA.....	12
3	METODOLOGIA.....	16
4	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	19
4.1	Histórico das Revoluções industriais.....	20
4.1.1	<i>Primeira Revolução Industrial (1760 - 1870)</i>	22
4.1.2	<i>Segunda Revolução Industrial (1870 - 1950)</i>	24
4.1.3	<i>Terceira Revolução Industrial (1950 - 2011)</i>	26
4.1.4	<i>Quarta Revolução Industrial (Atualmente)</i>	29
4.2	Tecnologias habilitadoras da quarta revolução industrial.....	34
4.2.1	<i>Manufatura aditiva</i>	34
4.2.2	<i>Internet das Coisas (IoT)</i>	35
4.2.3	<i>Internet of Services (IoS)</i>	37
4.2.4	<i>Inteligência artificial</i>	37
4.2.5	<i>Sistema físico-cibernético (cyber-physical systems)</i>	38
4.2.6	<i>Big data analytics</i>	39





4.2.7	<i>Computação em nuvem</i>	40
4.2.8	<i>Robótica avançada</i>	41
4.2.9	<i>Fábricas inteligentes</i>	42
4.3	Indústria 4.0 pelo mundo: relatos e experiências	47
4.3.1	<i>Países em estágio inicial de implantação da Indústria 4.0</i>	49
4.3.1.1	<i>Estudo de caso de um PME Tcheca</i>	49
4.3.1.2	<i>Estudo de caso em indústrias Indianas</i>	52
4.3.1.3	<i>Estudo de caso da Rússia</i>	54
4.3.2	<i>Países em estágio avançado de implantação da Indústria 4.0</i>	56
4.3.2.1	<i>Estudo de caso de indústrias da Coreia do Sul</i>	56
4.3.2.2	<i>Estudo de caso em indústrias do Centro-Oeste dos EUA</i>	58
4.3.2.3	<i>Estudo de caso em indústrias da Alemanha</i>	60
4.3.2.4	<i>Estudo de caso em indústrias da China</i>	61
4.4	Indústria 4.0 no Brasil	62
4.4.1	<i>Uma breve explanação sobre a indústria perante o mundo</i>	64
4.4.2	<i>Estágio de implantação da Indústria 4.0 no Brasil</i>	65

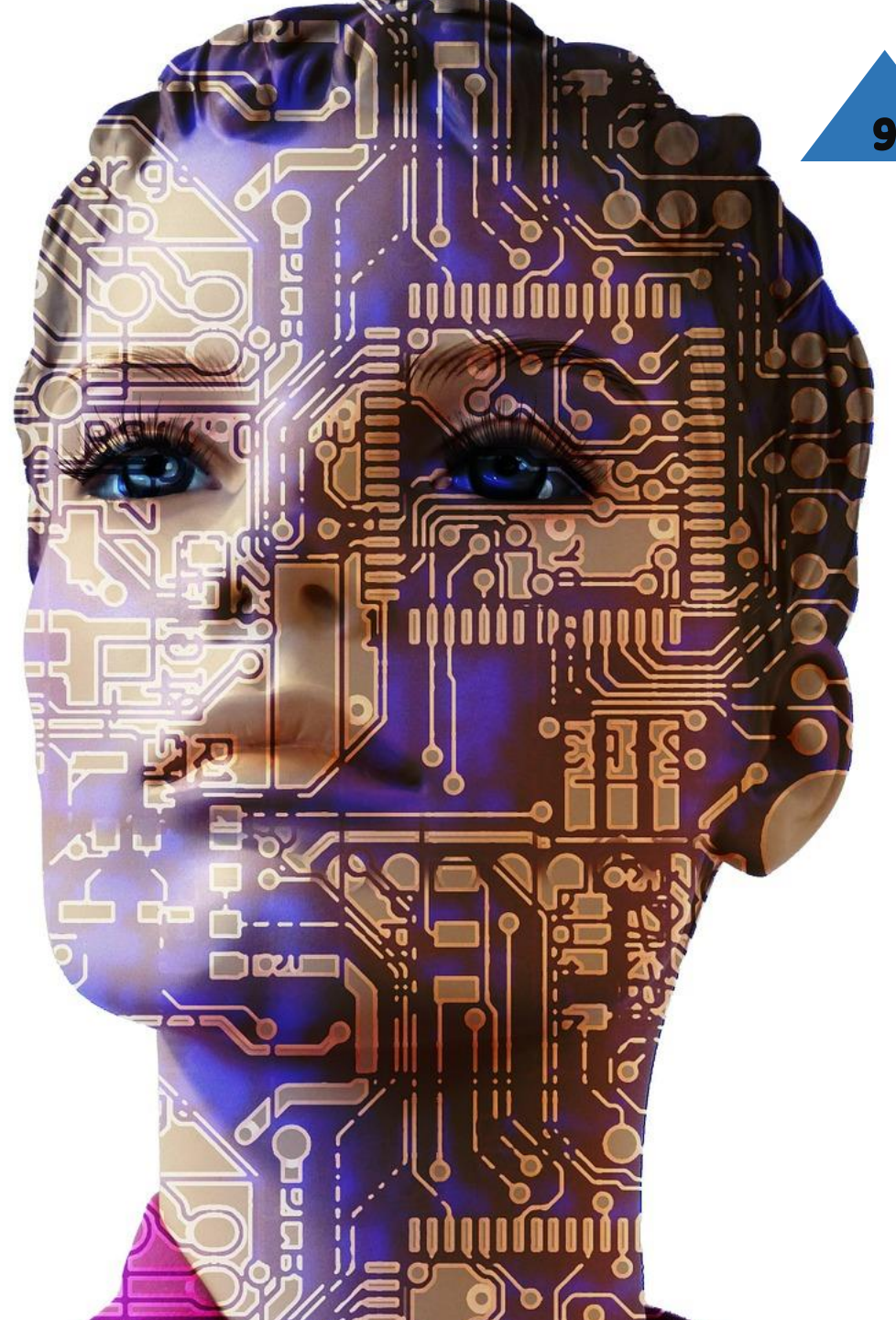
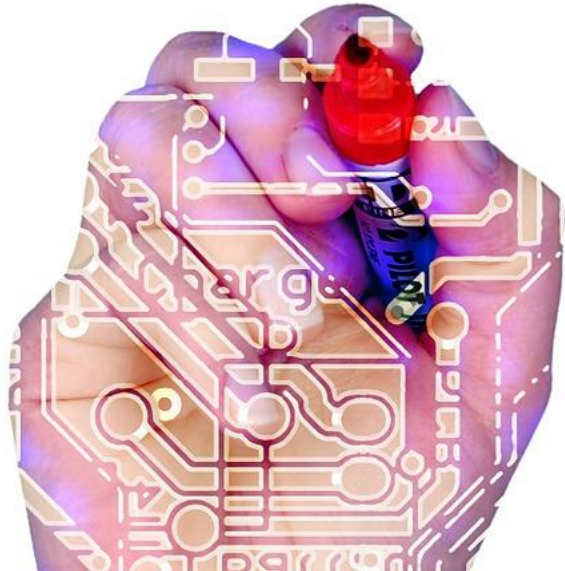




<i>4.4.3 Desafio a serem enfrentados pela comunidade industrial brasileira.....</i>	<i>69</i>
<i>4.4.4 Desafio a serem enfrentados pela comunidade acadêmica brasileira.....</i>	<i>71</i>
4.5 Benesses econômicas e sociais oferecidas pelo advento da Indústria 4.0.	73
5 CONCLUSÃO.....	75
AGRADECIMENTOS.....	77
REFERÊNCIAS.....	79





1.0 INTRODUÇÃO








1 INTRODUÇÃO



A complexidade e a incerteza da fabricação ainda deixam estudiosos e profissionais perplexos, especialmente em um cenário industrial moderno de produções e consumos rápidos, característicos de um mercado com constantes mudanças, com demandas diversificadas por parte dos clientes, variedades crescentes de produtos e volumes de produção mistos. As tecnologias emergentes, propostas pela quarta revolução industrial, prometem ajudar a resolver essa complexidade e essa incerteza, pois melhoram drasticamente a conectividade, a visibilidade e a rastreabilidade por meio da conexão de dados, em tempo real, em ambientes de produção que fundem aspectos característicos de ambientes físicos e cibernéticos (LI *et al.*, 2022).



Na atualidade, o movimento da quarta revolução industrial, movimento este também conhecido pelo termo Indústria 4.0, tem sido um dos assuntos mais debatidos no cenário das produções industriais, em seus mais diversificados segmentos. Desta forma, o termo Indústria 4.0 refere-se a um conjunto de diferentes e novas tecnologias que, ao operarem em conjunto, oferecem potencial para revolucionar a manufatura. Exemplos destas tecnologias emergentes são robótica, inteligência artificial, visão de máquina, *big data*, computação em nuvem, *internet* das coisas e educação de máquinas. Esta quarta revolução industrial possui uma enorme capacidade para otimizar a sustentabilidade, reduzir a poluição, melhorar a eficiência dos produtos, aumentar a estabilidade da produção, reduzir os custos de funcionamento e proporcionar vários outros benefícios aos ambientes da fábrica. Esta nova revolução industrial propõe a criação de uma malha de interconexão de dados oriundos de diferentes pontos ou processos a fim de otimizar as linhas de produção industrial, tudo isso graças a um sistema de manufatura inteligente e dinâmico que permite que computadores e máquinas interajam em tempo real com ou sem intervenção humana (VARSHNEY *et al.*, 2021; SILVA; CANGIOLIERI JUNIOR; RUDEK, 2021; JAVAID *et al.*, 2022).

Para Nimawat e Gidwani (2022), o grande diferencial da Indústria 4.0 é a substituição dos processos industriais de produção em massa por sistemas de manufaturas inteligentes, ou seja, processos produtivos customizados, que são programados para alinhar os processos de produção com a satisfação ou atendimento das diferentes demandas do mercado, elevando a competitividade a um patamar nunca antes visto. Este estudo ainda pontua que o cerne desta nova era industrial trata de uma revolução digital que influenciará, de forma expressiva e irreversível, os sistemas de manufatura, modelos de negócios, forma de operação das máquinas, estruturas dos ambientes de trabalho, forma e utilização dos produtos e habilidades dos trabalhadores. Corroborando com o entendimento deste estudo, é possível ainda afirmar que a inteligência artificial é o principal produto ou ferramenta gerada a partir da referida revolução digital, força motriz da nova era industrial, a inteligência artificial, por sua vez, permitirá que máquinas ou linhas de produção inteiras executem suas tarefas de forma autônoma com auto monitoramento, interpretação, emissão de diagnósticos e análise do que foi produzido (AHMED; JEON; PICCIALLI, 2022).

Alinhado ao contexto ora apresentado, a execução desta obra objetiva realizar uma revisão da literatura acerca dos principais conceitos e princípios que embasam a quarta revolução industrial, a era da manufatura inteligente. Contribuir para a promoção de um melhor entendimento desta temática, ainda pouco explorada nos ambientes acadêmicos, bem como correlacionar o *modus operandi* desta revolução com suas consequências econômicas e sociais fazem parte da realização deste manuscrito.

2.0 JUSTIFICATIVA





010001010100010101100100001
000000101001000101000010101
010100010100010001111010101
01000010101010100101010101
000011100010111


IN AND OUT, EVERY SINGLE
DAY IN VERY HOUR, MINUTE, AND
MOMENT WE MUST INHALE AND
WHETHER WE LIKE IT OR NOT
EVEN AS WE PLAN TO ASPYRIATE
OUR HOPES AND
WE BREATHE
EVEN AS
AND SEL
ON THE
WE SK
WE E




2 JUSTIFICATIVA




A grande motivação para o desenvolvimento desta obra foi o desejo de produzir um material literário sobre um tema atualíssimo e de grande relevância para a sociedade como um todo, amparado por um robusto plano de fundo composto por um breve panorama histórico de todas as revoluções industriais já experienciadas ao longo da história da humanidade a fim de familiarizar o leitor com esse assunto. Considerou-se válido, significativo e oportuno oferecer um manuscrito acadêmico sobre esta temática aos sujeitos que já estão vivendo ou irão vivenciar esse conjunto de mudanças que revolucionará radical e irreversivelmente os ambientes corporativos industriais da nossa geração.





Dada a relevância deste assunto para o mundo moderno se faz necessário e importante estudar e discutir o mesmo para se tentar alcançar um melhor entendimento e se atualizar sobre essa realidade que se apresenta diante do mundo moderno como uma tendência em estado constante de crescimento e evolução.





É sabido que a maior parte dos futuros profissionais, que serão parte inerente da implementação e da execução desta nova era industrial, são na atualidade estudantes de cursos de engenharia de modalidades industriais e/ou de cursos técnicos de nível e superior. Desta forma, é natural pressupor que o conhecimento adquirido ou atualizado por partes destes futuros profissionais deve ser realizado ao longo do seu processo de formação acadêmica, isto é, deve ser realizado hoje.




Por ser de caráter introdutório e genérico, este manuscrito não tem a pretensão de explanar em profundidade a complexidade e nem as incontáveis vertentes que os conceitos e princípios da quarta revolução industrial possuem e permitem; não obstante, defender a relevância do assunto, preencher algumas lacunas das grades curriculares atuais do nosso país e, ainda, instigar a motivação para estudos do tema aos interessados.



A indústria nacional, de forma genérica, ainda está muito aquém do nível de implementação dos conceitos próprios da quarta revolução industrial que é registrada em outros países; todavia, foram compilados ao decorrer da execução deste trabalho alguns relatos, feitos por corporações industriais brasileiras, acerca das benesses trazidas pelo advento desta revolução digital. Vale ressaltar ainda, dentro deste contexto nacional, que alguns segmentos industriais se mostram mais adiantados do que outros, como o leitor poderá conferir durante esta leitura.



Nesse sentido, torna-se indispensável levantar discussões sobre a Indústria 4.0, apresentando o tema através de uma abordagem geral e esclarecendo que esta já é uma realidade que permeia toda a sociedade. A compreensão dessa realidade se dá por meio do investimento em políticas de formação e difusão das tecnologias e inovações digitais, impulsionando a formação de profissionais e estudantes da área das engenharias e áreas correlatas, de modo a fomentar a produção de pesquisa científica nacional de qualidade simultaneamente ao fortalecimento da base de formação tecnicista. Entre as universidades e academias formadoras de profissionais que futuramente vivenciarão a Indústria 4.0 dentro das organizações, se faz necessária a promoção de estudo e diálogos sobre este tema, bem como de todas as tecnologias que ele mesmo engloba, formando assim profissionais qualificados e cientes de que é necessário familiarizar-se continuamente a fim de se atualizar para estarem aptos a enfrentar os desafios pertinentes à implementação e aos avanços da quarta revolução industrial.





Dessa forma, devido ao caráter emergente que o tema apresenta no Brasil e no mundo, a presente pesquisa justifica-se sobretudo pelas necessidades de popularização do conceito de Indústria 4.0, de promoção de uma melhor compreensão desta temática, de implementação dos pilares que a fundamentam e de familiarização com os impactos decorrentes da efetivação da quarta revolução industrial, propiciando discussões acerca de temas como inovações, ferramentas tecnológicas, transformações econômicas, mudanças nos hábitos de consumo, sustentabilidade, relações de trabalho existentes na sociedade atual, entre outras questões relativas ao progresso tecnológico decorrente da nova revolução industrial.



3.0 METODOLOGIA






3 METODOLOGIA



O presente material literário é resultado de alguns trabalhos de pesquisa que foram executados, essencialmente, tendo como base de apoio uma revisão sistemática de literatura por meio de pesquisas bibliográficas intensas que identificaram e resumiram estudos relevantes sobre a Indústria 4.0, através de produções científicas publicadas em portais, plataformas e bancos de dados próprios para a divulgação, publicação de manuscritos técnicos e pesquisas acadêmicas nacionais e internacionais, tais como Google acadêmico, Periódicos da Capes, Springer Link e Science.Gov.

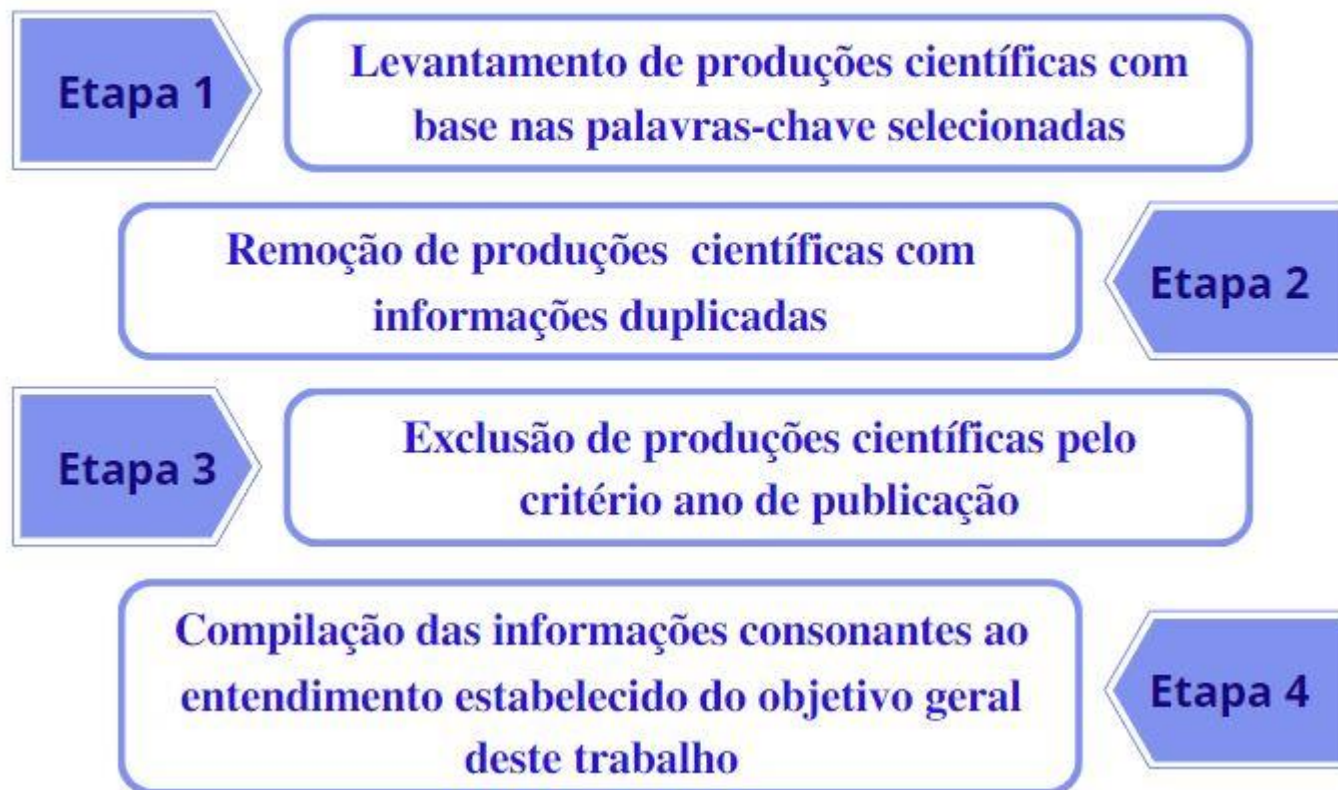
As pesquisas de revisão bibliográficas foram realizadas a partir das palavras-chave: Histórico das Revoluções Industriais, Manufatura Inteligente, Benefícios da Indústria 4.0, Países em estágios avançados em Indústria 4.0 e Indústria 4.0 no Brasil.



O processo de seleção da base de referências utilizadas neste manuscrito ocorreu em quatro etapas que estão demonstradas, de forma resumida, no fluxograma representativo exibido na **Figura 1** com a proposta de reunir informações que rendessem uma pesquisa robusta e completa, com informações satisfatórias e suficientes a fim de se alcançar o que fora previamente estabelecido como objetivo para este trabalho de pesquisa.

Figura 1 – Fluxograma representativo das etapas de revisão sistemática da literatura adotadas neste trabalho

ETAPAS DA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA ADOTADAS NESTE TRABALHO



Fonte: elaborada pelos autores (2022).

Após a pesquisa, a partir das palavras-chave e a leitura das referências, foi realizada uma filtragem das referências encontradas sobre o assunto utilizando alguns critérios de exclusão como informações equivalentes ou que não estejam alinhados com o objetivo da pesquisa. Outro critério utilizado nessa filtragem de referências é o ano de publicação. Foram priorizadas as fontes mais recentes possíveis, preferencialmente nos três últimos anos, exceto no caso de fontes antigas que contenham informações de grande relevância para a produção deste relatório.

Essa seleção foi feita para garantir que as informações apresentadas neste trabalho estejam fidedignas e, principalmente, o mais atualizado possível em relação aos conceitos emergentes associados ao movimento intitulado de Indústria 4.0 que, atualmente, é possível ser encontrado em diferentes estágios de compreensão, implantação e/ou operação nas mais diferentes partes do mundo. Seguindo a seleção das referências foi iniciada a escrita do manuscrito, fazendo um compilado de informações consideradas relevantes, buscando alcançar os objetivos estabelecidos nesse trabalho.

4.0 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA







4.1 Histórico das Revoluções industriais




É oportuno considerar a assertiva literária que registra, nos últimos 250 (duzentos e cinquenta) anos, três revoluções industriais que mudaram o mundo e transformaram o desenvolvimento das sociedades.

Vale ressaltar que, em cada uma delas, as tecnologias, os sistemas políticos e as instituições sociais evoluíram juntos, mudando não apenas as indústrias, mas também a forma de como as pessoas se viam, em relação umas às outras e em relação ao mundo (DAVIS ; SCHWAB, 2019). Diante de tal contexto, registra-se que o processo de desenvolvimento capitalista, intensificado pela Revolução Comercial dos séculos XVI e XVII, estava, até então, ligado à circulação de mercadorias. E foi, a partir da segunda metade do século XVIII, que se iniciou, na Inglaterra, a mecanização industrial, desviando a acumulação de capitais da atividade comercial para o setor da produção. Esse fato trouxe grandes mudanças, de ordem tanto econômica quanto social, que possibilitaram o desaparecimento do feudalismo, ainda existente, e a definitiva implantação do modo de produção capitalista. A esse processo de grandes transformações, deu-se o nome de Revolução Industrial (SILVA; GASPARIN, 2013).



Como contribuição no pensamento e fundamentação teórica, segundo Marson (2014), a história da industrialização foi o fator mais preponderante para a aceleração do crescimento econômico. O setor industrial exerceu forte impacto em diversos setores da economia e se propagou sobre todos os ambientes institucionais e sociais.

Considerando a contextualização alimentada pelos avanços tecnológicos, diante do pensamento de Boettcher (2015), este processo tem sustentação alavancada pela evolução das indústrias, ocasionando assim uma busca incessante por trabalhos mais eficientes e qualificados dentro do ambiente industrial.



Portanto e ademais, é oportuno levar em conta a necessidade de uma viagem histórica, ao longo de todas as revoluções industriais até os dias atuais, para que se entenda assim, como se deu o processo evolutivo industrial, bem como suas principais características e consequências econômico-sociais.

4.1.1 Primeira Revolução Industrial (1760 - 1870)



Pontua-se que a Primeira Grande Revolução Industrial começou na indústria têxtil da Grã-Bretanha em meados do século XVIII, provocada pela mecanização da fiação e da tecelagem. É o que deixa como contributivo o pensamento de autores consagrados no assunto.

Nos 100 anos seguintes, ela transformou todas as indústrias existentes e deu à luz a muitas outras, desde as máquinas operatrizes (o torno mecânico, por exemplo) até a manufatura do aço, o motor a vapor e as estradas de ferro (DAVIS; SCHWAB, 2019).


Ainda contextualiza, em historicidade, e acrescenta contributos diante do assunto, os autores Cavalcanti e Silva (2011), ao explicar que a Primeira Grande revolução industrial começou a acontecer a partir de 1760, na Inglaterra.

A princípio, por uma razão relativamente fácil de entender: o rápido crescimento da população e a constante migração do homem do campo para as grandes cidades acabaram por provocar um excesso de mão de obra nas mesmas. Isto gerou um excesso de mão de obra disponível e barata que permitiria a exploração e a expansão dos negócios que proporcionaram a acumulação de capital pela então burguesia emergente. Isto tudo, aliado ao avanço do desenvolvimento científico, principalmente com a invenção da máquina a vapor e de inúmeras outras inovações tecnológicas, proporcionando o início do fenômeno da industrialização mundial.



Na visão de Boettcher (2015), a Primeira Revolução Industrial não se restringiu apenas à Inglaterra, onde a mesma surgiu. Ressaltar, porém, que à medida que ela evoluiu, foi se estendendo para outros países como: França, Bélgica, Holanda, Rússia, Alemanha e Estados Unidos. Para Cavalcanti e Silva (2011), a afirmação é de que, antes do surgimento da indústria mecanizada, a produção era feita totalmente de forma manual, o que proporcionava pequenas produções, tornando assim, algo inviável devido ao crescimento descontrolado da sociedade. Esse modo de produção tornou-se obsoleto, pois à medida que a população aumentava, produzir em maiores proporções e mais rápido era a essência para um capitalismo que ali se iniciava e que tinha como objetivo principal a obtenção de maiores lucros. Sendo assim, a produção manual para o regime capitalista já não era mais viável.



Dentro de um contexto voltado também para visão observadora, Gasparin e Silva (2013) apontavam que a principal característica deste movimento de revolução industrial era a mecanização do setor têxtil, cuja produção tinha amplos mercados nas colônias da América, África e Ásia. Entre as principais invenções mecânicas do período, destacaram-se a máquina de fiar, o tear hidráulico e o tear mecânico, que passaram a ter maior capacidade quando foram acoplados à máquina a vapor. E com a gradativa sofisticação das máquinas, houve aumento da produção e geração de capitais que eram replicados em novas máquinas.



Segundo Silva e Gasparin (2013), deu-se, então, o surgimento da mecanização industrial, operando, assim, significativas transformações em quase todos os setores da vida humana. Na estrutura socioeconômica, fez-se a separação definitiva entre o capital, representado pelos donos dos meios de produção, e o trabalho, representado pelos assalariados, eliminando-se a antiga organização corporativa da produção, utilizada pelos artesãos.



Por fim, segundo Boettcher (2015), essa revolução ficou caracterizada por duas importantes invenções, que propunham uma reviravolta no setor produtivo e de transportes, pontuando ainda que a ciência descobriu a utilidade do carvão como meio de fonte de energia e, a partir daí desenvolveram simultaneamente a máquina a vapor e a locomotiva. Ambos foram determinantes para dinamizar o transporte de matéria-prima, pessoas e distribuição de mercadorias, dando um novo panorama aos meios de logística e de produção.

4.1.2 Segunda Revolução Industrial (1870 - 1950)



De acordo com Silva e Gasparin (2013), durante o século XIX, o processo da Revolução Industrial assumiu novas características, passando por mudanças importantes, que foram impulsionadas por inovações técnicas.

Nessa nova etapa, o emprego da energia elétrica, o uso do motor à explosão, os corantes sintéticos, a produção do aço e do alumínio em larga escala e a invenção do telégrafo estipularam a exploração de novos mercados e a aceleração do ritmo industrial (BOETTCHER, 2015).

Para tanto, nascia assim, a Segunda Revolução Industrial e, com ela, a busca de maiores lucros em relação aos investimentos feitos, o que levou ao extremo a especialização do trabalho; ampliando-se a produção, e passando-se a produzir artigos em série. Isso barateava o custo por unidade produzida. Surgiram também as linhas de montagem, esteiras rolantes, por onde circulavam as partes do produto a ser montado, de modo a agilizar a produção.


Segundo Silva e Gasparin (2013), foi durante esse período que tivemos o surgimento de dois modelos de organização que ficaram conhecidos como Taylorismo e Fordismo. Para especificar estes modelos, faz-se entender que, de acordo com a literatura, e segundo Frederick Taylor, o Taylorismo caracteriza-se como uma forma avançada de controle do capital para elevar a produtividade do trabalho, sobre processos de trabalho nos quais o capital depende da habilidade do trabalhador.

Já o fordismo, termo criado por Henry Ford, segundo Boettcher (2015), trata-se de uma forma de racionalização da produção capitalista, baseada em inovações técnicas e organizacionais, que se articulam, tendo em vista, de um lado a produção em massa e, do outro, o consumo em massa.





Ainda de acordo com Boettcher (2015), esse modelo revolucionou a indústria automobilística, a partir de janeiro de 1914, quando Ford introduziu a primeira linha de montagem automatizada. Ele seguiu à risca os princípios de padronização e simplificação de Frederick Taylor e desenvolveu outras técnicas avançadas para a época.

Já para Gasparin e Silva (2013), tanto a revolução vivenciada e analisada por Marx no século XIX, quanto a Segunda Revolução Industrial influenciada pelas concepções e especificidades das teorias de Taylor e Ford, promoveram transformações nos aspectos socioeconômicos, culturais e educacionais do período em que se deram.



Uma das consequências advindas dessas transformações, causadas pela segunda revolução industrial, pode ser observada na fala de Gasparin e Silva (2013), que retratam as dificuldades enfrentadas pelas escolas no período.





O avanço tecnológico que se dava na sociedade industrial também fez parte da educação formal instituída nesse período. As escolas tiveram que se deparar com inovações para as quais não tinham domínio; os professores não haviam sido formados para trabalhar com a tecnologia que a Revolução Industrial requeria. A classe hegemônica dava suporte para que não faltasse às escolas todo material didático necessário à aquisição de habilidades requeridas ao modo de produção em questão. Porém, muitos desses materiais caíram em desuso já que não havia pessoas preparadas o suficiente para utilizá-los nas escolas (SILVA; GASPARIN, 2013).

Com base nessas informações compiladas da literatura, pode-se ressaltar então que a segunda revolução industrial ficou marcada como um período de evolução e aperfeiçoamento das tecnologias iniciadas na primeira revolução, o que possibilitou uma produção em larga escala e a utilização de novas fontes de energia, além da implantação do sistema de produção automatizado. Diante de tais fatos, fez-se necessária a obtenção de novas tecnologias, bem como surgiu a necessidade de uma mão de obra ainda mais qualificada do que até então, acarretando assim uma terceira revolução industrial que viesse a suprir tais demandas.

4.1.3 Terceira Revolução Industrial (1950 - 2011)


Considerando a base de pesquisa e a literatura acadêmica bibliográfica, segundo Silva *et al.* (2002), o esclarecimento é de que a Terceira Revolução Industrial surge como consequência dos avanços tecnológicos dos séculos XX e XXI. Para os autores, mais do que um desejo tecnológico, a Indústria 3.0 trouxe uma renovação nos processos econômico, político e social, com grande dinamismo e alta complexidade.

Pode-se dizer que houve uma adaptação progressiva entre a primeira e a segunda revolução industrial, sem necessariamente um tempo certo de término entre a primeira e a segunda, o crescimento da tecnologia e da ciência ocorreu aos poucos e exponencialmente, determinando avanços inovadores que culminaram nas inovações trazidas pela segunda revolução industrial. Fenômeno similar ao que se denomina de terceira revolução industrial, também chamada de revolução tecnológica, a qual é uma continuação dos processos tecnológicos que se iniciaram na Inglaterra no século XVIII, apresentando os desenvolvimentos inovadores e tecnológicos (CUOGO, 2014).




Na segunda guerra mundial, acontece uma grande transformação no âmbito tecnológico com rápidas conquistas científicas, em função das necessidades apresentadas pela guerra. O período pós-guerra se une a esses entendimentos científicos apresentados, durante a guerra, quanto às necessidades da produção industrial.


Diante do exposto, o processo produtivo industrial se envolve com o desenvolvimento científico e com as consequências das pesquisas científicas, concluindo-se, assim, como as fundamentais particularidades da terceira revolução industrial, no que diz respeito à influência de novas descobertas e ao crescimento tecnológico.





Segundo Cuogo (2014), destacam-se na produção, nesse período, a informática e as telecomunicações, por exemplo. Conseqüentemente, essa revolução assume um protagonismo no crescimento e na transformação da sociedade, assim como nas novas organizações de produção.



E para contribuição, segundo Boettcher (2015), com as grandes descobertas e inovações tecnológicas, a Terceira Revolução Industrial ficou conhecida por Revolução Técnico-Científica e Informacional, pois formou-se por meio dos processos de inovação tecnológica, os quais ficaram marcados pelos avanços no campo da informática, robótica, das telecomunicações, dos transportes, da biotecnologia, além da nanotecnologia.




A Terceira Revolução Industrial difere-se sob diversos aspectos das demais, pois acarreta acelerado aumento da produtividade do trabalho, no que tange à indústria e serviços, principalmente, àqueles que recolhem, processam, transmitem e arquivam informações. Neste período, houve parcialmente a substituição do trabalho humano pelo do computador e a difusão do autosserviço, compreendido pela crescente transferência de uma série de operações das mãos de colaboradores que atendem ao público para o próprio usuário (SINGER, 1996).





Conforme pontuação de Almeida (2005), é válido ressaltar que a Terceira Revolução Industrial impulsionou o desenvolvimento de circuitos eletrônicos e, em seguida, os circuitos integrados, também conhecidos como microchips. Tais elementos transformaram abruptamente os meios de informação e comunicação, com a explosão da internet e do e-commerce.

No que se refere ao contexto do trabalho, a terceira revolução industrial, aliada à globalização, tem como uma de suas principais consequências a crescente tecnologia que proporciona novas formas de organização de trabalho. Os efeitos dos pensamentos neoliberais causam consequências negativas relacionadas ao crescente desemprego nos setores de produção, com os trabalhadores saindo do mercado de trabalho.



As marcas do desemprego resultam em complicações sociais, políticas e culturais, com transformações no sistema econômico, na organização da sociedade, no relacionamento da produção, causando desconfiança e alterando as relações de poder (MEDEIROS; SILVA, 2002).



Sobre a terceira revolução industrial, é possível concluir que a mesma trata-se de um grande processo de transformação que abrangeu o âmbito social, cultural e econômico, que se desencadeou nas últimas décadas do século XX, e que foi decisivo para consolidar a presente fase do capitalismo e da divisão internacional do trabalho, a chamada globalização (BOETTCHER, 2015).

4.1.4 Quarta Revolução Industrial (Atualmente)

É evidenciado nas observações bibliográficas que, segundo Kagermann *et al.* (2013), o termo Indústria 4.0 surgiu, publicamente em 2011, na Alemanha. Haja vista dizer que essa nova proposta de indústria veio por meio da necessidade de se desenvolver uma abordagem para o fortalecimento e a competitividade da indústria manufatureira alemã.

E por força de contribuição literária, para Schwab (2016), o que está provocando a quarta revolução industrial, desde o início do século XXI, é o desenvolvimento de uma fusão tecnológica entre os domínios físico, digital e biológico. Diante de tais assertivas, convém dizer que a alta aceleração deste processo de inovação e desenvolvimento é o que mais a difere das revoluções anteriores.

Ainda conforme Silveira (2017), o fundamento básico da Indústria 4.0 é de que conectando máquinas, sistemas e ativos, as empresas podem criar redes inteligentes, e assim controlar os módulos de produção de forma autônoma.

Neste intento de observações, Zawadzki e Zywicki (2016) esclarecem que esse novo modelo de indústria é a combinação das conquistas tecnológicas dos últimos anos com a visão de um futuro com sistemas de produção inteligentes e automatizados, no qual o mundo real é ligado ao virtual.

Uma outra observação, agora diante do termo indústria 4.0, segundo Coelho (2016), é que este está diretamente ligado a uma visão de inteligência, de que no futuro as fábricas serão muito mais inteligentes e rápidas, produzindo mais e de forma mais inteligente.

Ainda com base na literatura, e perante mais contribuições teóricas acerca do assunto, pode-se encarar a indústria 4.0 como uma política nacional realizada por respectivos países, com o objetivo de serem líderes no quesito industrial e assim manterem uma predominância mundial através de tecnologias eficientes (DAUDT; WILLCOX, 2016).

Acrescentando falas acerca do tema, Schwab (2016) classifica as tendências da quarta revolução industrial em três categorias diferentes. A primeira é a categoria física, que é mais facilmente identificável devido à sua clareza em ser compreendida, nela estão contemplados os veículos autônomos, impressões em 3D, robótica avançada e novos materiais. A segunda categoria é a digital, que segundo o autor, é a ponte entre as outras categorias e é denominada como Internet das Coisas (IoT). A terceira categoria é a biológica, que descreve as inovações principalmente na genética, marcados pelo aumento da capacidade de processamento.

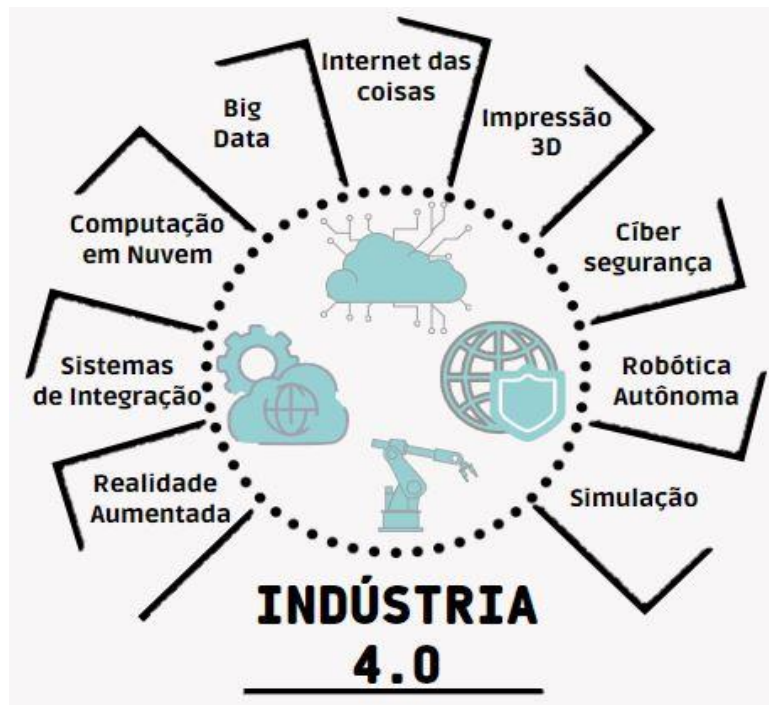
Já Silveira (2017) resume os benefícios da adesão à Indústria 4.0 em seis categorias, quais sejam: a virtualização do sistema, operação em tempo real, descentralização, orientação a serviços, modularidade na manufatura e integração das operações.

Para Martins Cara (2019), a quarta revolução industrial é caracterizada pela ligação de tecnologias abrangendo as áreas de controle, automação e tecnologia da informação do âmbito industrial, unindo, assim, os mundos: digital, físico e biológico.

E, para seguir essa ideia, Sakurai e Zuchi (2018) relatam que muitas são as tecnologias que podem ser usadas dentro da Indústria 4.0. No entanto, algumas são as que mais se destacam e constituem assim os pilares da quarta Revolução Industrial, sendo elas:

- *Internet das Coisas;*
- *Segurança cibernética;*
- *Big Data Analytics;*
- *Computação em nuvem;*
- *Robótica avançada;*
- *Inteligência artificial.*

Figura 2 - Pilares da quarta Revolução industrial

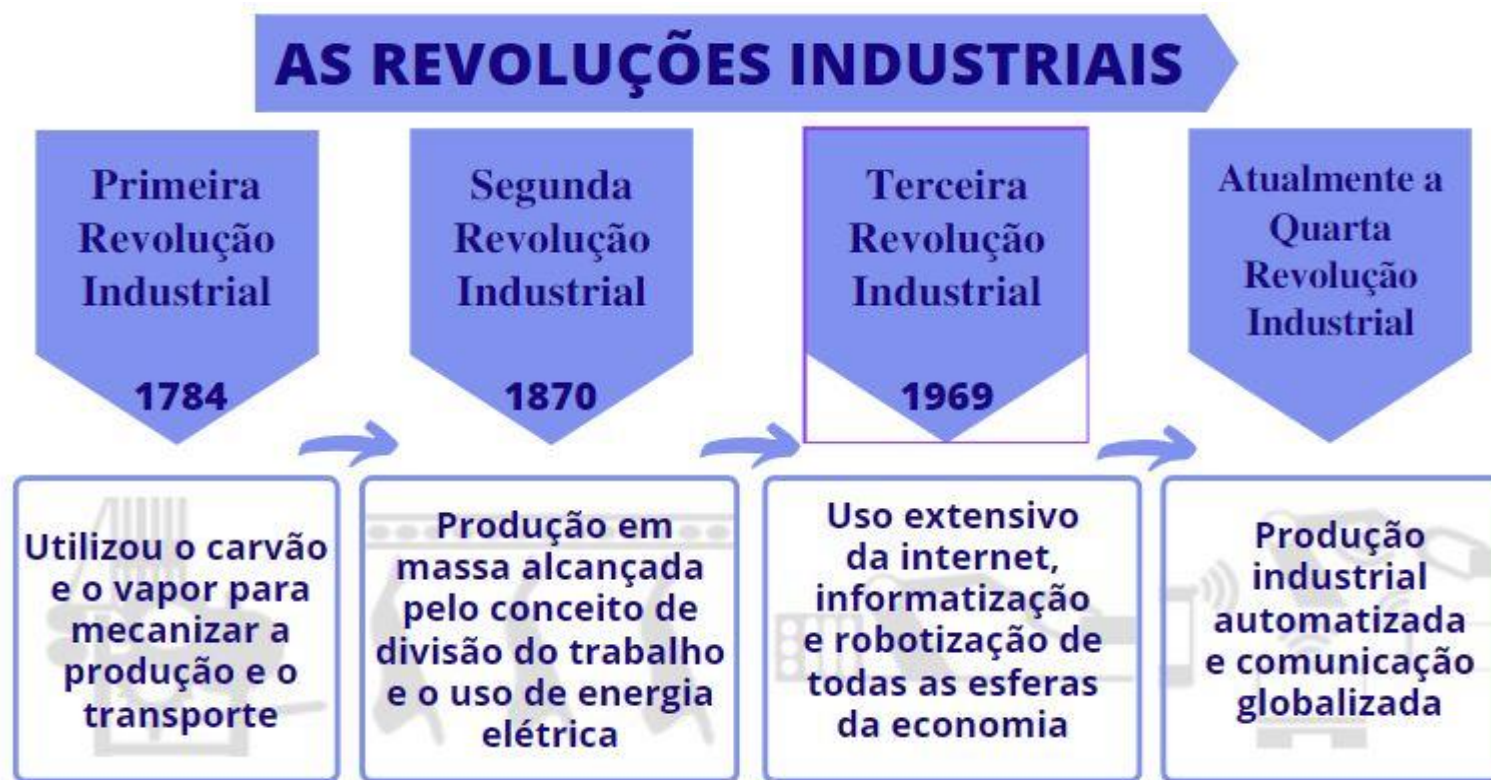


Fonte: autoral.

Diante das contribuições teóricas e, para entender melhor a quarta revolução industrial, faz-se necessário realizar uma análise minuciosa das publicações divulgadas na literatura internacional acerca das implicações inevitáveis, positivas e negativas, em que esta (revolução industrial) também conhecida como Indústria 4.0, exercerá sobre a economia mundial, bem como sobre aspectos sociais, a exemplo de: as novas exigências dos mercados de trabalho, de acordo com os conceitos da Indústria 4.0, as expectativas da sociedade sobre a nova era industrial e a relação da educação com as exigências desta nova era industrial.

A explanação do histórico de todas as revoluções industriais já experienciadas durante a história da humanidade, apresentada neste sub tópico, pode ser resumida no infográfico ilustrado na Figura 2 apresentada a seguir.

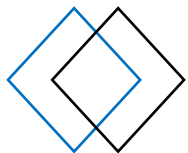
Figura 3 - Infográfico representativo do resumo do histórico das revoluções industriais



Fonte: autoral.

A hand holding a smartphone with a network overlay and various industry icons. The background is a blurred image of a person's face. The network overlay consists of a central glowing point connected to a grid of nodes. Various icons are connected to these nodes, including a factory, a truck, a road, a car, a house, a wind turbine, a solar panel, a power tower, a heart with an ECG line, and two people.

4.2 Tecnologias habilitadoras da quarta revolução industrial

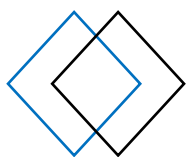


4.2 Tecnologias habilitadoras da quarta revolução industrial

34

A seguir serão apresentados alguns conceitos e definições acerca das principais tecnologias habilitadoras da quarta revolução industrial. Todavia, vale ressaltar que o emprego desta ou daquela ferramenta/tecnologia é definido em função do tipo e, sobretudo, das necessidades do segmento industrial, isto é, nem todas as tecnologias apresentadas a seguir, como exemplos, são aplicáveis a todos os segmentos industriais existentes. De um modo geral, estas tecnologias colaboram para a otimização da eficiência produtiva e redução de custos de produção.

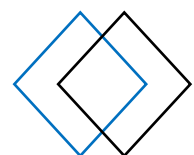
Para Martins Cara (2019), a quarta revolução industrial é caracterizada pela interconexão de tecnologias abrangendo as áreas de controle, automação e tecnologia da informação do âmbito industrial, unindo, assim, os mundos: digital, físico e biológico. Portanto, para que seja possível essa união dos mundos em tempo real, são necessárias algumas tecnologias que habilitem as referidas possibilidades. Alguns exemplos destas tecnologias/ferramentas são:



4.2.1 *Manufatura aditiva*

No conceito do ABDI (2018), manufatura aditiva ou Impressão 3D é a adição de matéria prima para a fabricação de produtos, constituídos de vários objetos, formando uma montagem. Seguindo o mesmo raciocínio, Volpato (2013) e Costa (2013) afirmam que a manufatura aditiva pode ser considerada uma tecnologia em que se está expandindo de encontro com o aparecimento de novos processos, novas aplicações, ou seja, na evolução crescente da tecnologia.

De acordo com os autores Giordano (2016), Zancul (2016) e Rodrigues (2016), no que diz respeito às características essenciais da manufatura aditiva, pode-se destacar, além da economia de matéria-prima, que é melhor aproveitada, também a diminuição do número de etapas na produção, já que na produção de maneira convencional são necessárias diversas etapas até o produto final. Em contrapartida, na manufatura aditiva, as etapas até o produto final são reduzidas em apenas uma ou poucas etapas. Pode-se, então, afirmar que a implantação da manufatura aditiva trará um impacto benéfico muito importante - a otimização do tempo de produção e a economia de matéria-prima, fatores esses que influenciam positivamente, tanto na indústria / empresa como também para o consumidor.



4.2.2 Internet das coisas (IoT)

De acordo com Coelho (2016), o termo *internet das Coisas* "*Internet of Things (IoT)*" refere-se a objetos físicos e virtuais ligados à internet, tem as suas raízes no MIT (*Massachusetts Institute of Technology*), quando em 1999, um grupo desenvolvia o seu trabalho na área da identificação por rádio frequência (RFID) conectada. Desde então, tem sido impulsionada pelo aparecimento e uso generalizado de sensores cada vez menores e de custo acessível, assim como um avanço nos dispositivos móveis, comunicações *wireless* e tecnologias *cloud*.

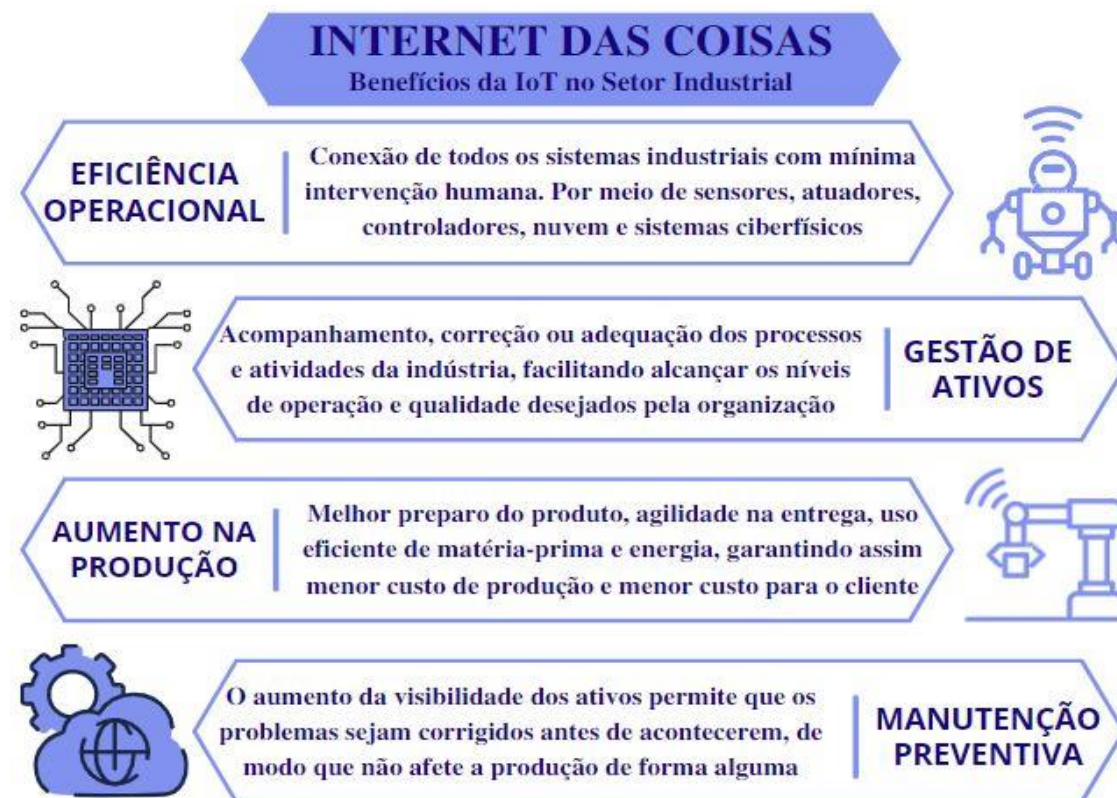
Nesta perspectiva, a ABDI (2018) reitera que o conceito de internet das coisas pode ser definido como a conexão de materiais físicos com o mundo da internet, possibilitando, assim, uma execução de uma estabelecida ação de maneira coordenada.

A *internet* das coisas pode ser definida como uma evolução do que se existe de internet atualmente, gerando uma conectividade dos materiais do dia a dia com a internet, utilizando metodologias computacionais e de comunicação. Diante disso, cabe destacar que essa conectividade com a rede de computadores mundial, ocasionará, além de um controle dos materiais, também uma permissão de que esses materiais tenham acesso como provedores de serviço (SANTOS et al. 2018).

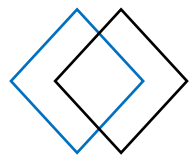
Ainda nesse sentido, segundo Kagermann et al. (2013), a *internet* das coisas torna possível a criação de redes que abrangem todo o processo de produção e transforma as fábricas em um ambiente inteligente. Desta forma, fica evidenciado, com base neste entendimento, que uma das vantagens da Indústria 4.0 é tornar o ambiente industrial mais inteligente, isto é, tornar o ambiente de produção industrial mais rápido, eficiente e econômico, pois minimizará perdas de insumos e tempo de produção.

No infográfico exibido na Figura 3 estão listados, de forma resumida, alguns dos benefícios da IoT dentro do setor corporativo industrial.

Figura 4 - Infográfico representativo dos benefícios da *Internet* das coisas (IoT) no âmbito do setor corporativo industrial

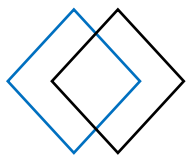


Fonte: Autoral.



4.2.3 Internet of services (IoS)

Segundo Campos *et al.* (2018), quando a rede da IoT funciona perfeitamente, os dados processados e analisados em conjunto fornecerão um novo patamar de agregação de valor. Novos serviços serão introduzidos e os existentes serão melhorados. A oferta por diferentes fornecedores e diversos canais produzirão uma nova dinâmica de distribuição e valor. Quando integrados, serão mais fáceis e simples de serem entendidos, já que a experiência como um todo se torna mais tangível. Quando isolados, são mais complexos e mais difíceis de serem compreendidos. Presume-se que, com o desenvolvimento da Indústria 4.0, este conceito será expandido de uma única fábrica para toda a sua rede de produção e consumo.




4.2.4 Inteligência artificial

O conceito de Inteligência Artificial está ligado à ciência da computação, que busca a elaboração de dispositivos inteligentes imitando a capacidade humana. Com o rápido crescimento da informática e da computação, este ramo da ciência está cada vez mais impulsionado e fazendo com que surjam elementos novos que se agregam rápido à Inteligência Artificial (CIRIACO, 2008).

Para contribuir, ABDI (2018) acrescenta que a Inteligência Artificial é o ramo da simulação das atividades humanas no que se diz respeito ao raciocínio, a tomada de decisões e a resolução de problemas através de *softwares* e da robótica, automatizando diversos processos. Ainda na linha da temática, segundo Melo (2017), as vantagens da Inteligência Artificial são diversas, principalmente no setor econômico, já que se tem uma maior eficiência e uma redução dos custos com os recursos humanos, por exemplo, em um atendimento ao cliente feito de forma mais rápida e uma geração maior de negócios. Assim, pode-se dizer que os robôs possuem uma maior precisão e assim conferem uma segurança maior em certos tipos de produção mais complexas.




4.2.5 Sistema físico-cibernético (cyber-physical systems)



Para este contexto, a ideia e colaboração deixada por *Cyber-Physical Systems* (CPS) é que são sistemas que integram computação, redes de comunicação, computadores embutidos e processos físicos interagindo entre si, influenciando-se mutuamente. É o resultado da evolução tecnológica dos computadores, dos sensores, e das tecnologias de comunicação, que ao evoluírem no sentido de maior agilidade, capacidade de processamento e preços cada vez mais acessíveis, têm permitido a sua conjugação de forma efetiva e, em tempo-real, isto no pensamento de Coelho (2016).

Sistemas ciber-físicos configuram a união entre os mundos digital e físico. Sendo assim, todo objeto configurado como físico, ou seja, máquina ou linha de produção, e os processos físicos que acontecem em favor desse objeto são digitalizados (ABDI, 2018).





Para Lee *et al.* (2008), com a aplicação deste sistema, a indústria garante um grande potencial na sua cadeia de produção. Esse sistema otimiza a indústria por meio de controle e monitoramento entre todos os processos de produção para atender da melhor maneira possível a necessidade dos clientes, ajudando na eficiência do contexto Indústria 4.0.








4.2.6 Big data analytics



São estruturas de dados extensas e complexas que utilizam novas abordagens para captura, análise e gerenciamento de informações. Aplicada à Indústria 4.0, a tecnologia de *Big Data* é estruturada em 6Cs como forma de lidar com as informações mais relevantes e importantes: *Conexão* (à rede industrial, sensores e CLPs), *Cloud* (nuvem/dados por demanda), *Cyber* (modelo e memória), *Conteúdo*, *Comunidade* (compartilhamento das informações) e *Customização* (personalização e valores) (SILVEIRA, 2017).



Segundo Oliveira (2017), a ferramenta *big data* tem como propósito para a Indústria 4.0 colecionar todos os dados considerados relevantes e processá-los com o intuito de transformá-los em conhecimentos, com a finalidade de utilizar estas informações para as tomadas de decisões inteligentes, sendo eficientes e eficazes para agregar valores à indústria do futuro.



A realidade aumentada e 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*, traz um grande benefício, pois coopera para o aprendizado e introdução de sistemas produtivos mais eficazes e colabora para otimizar a interconexão dos mais diversos dispositivos na rede.

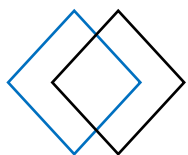


4.2.7 Computação em nuvem

A computação em nuvem inclui conjuntos de recursos de Tecnologia da Informação (TI) que oferecem recursos de armazenamento e processamento no sistema virtual, atendendo a vários usuários e possui várias vantagens para a Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC), como ajuda a automatizar e integrar, e facilita o gerenciamento e a administração. É a maneira de virtualizar os recursos e serviços e combinar o sistema baseado em cliente / servidor (CANDEL-HAUG *et al.*, 2016 *apud* ERBOZ, 2017).

Ainda neste sentido, para Rubmann *et al.* (2015), a computação em nuvem é um banco de dados capaz de ser acessado de qualquer lugar do mundo em milissegundos, por meio de dispositivos conectados à internet. O armazenamento em nuvem é outra tecnologia a ser combinada com o *Big Data*, 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 aprendido 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).





4.2.8 Robótica avançada

Os robôs autônomos são usados nas indústrias de manufatura para resolver tarefas complexas que não podem ser resolvidas facilmente por um ser humano. Várias interfaces homem-robô criam uma estreita colaboração entre a utilização de robôs e o cérebro humano. A parceria entre eles seria caracterizada pelas informações necessárias, sendo fornecidas pelo operador humano que controlaria o sistema, dando instruções aos robôs industriais (RUBMANN *et al.*, 2015).





4.2.9 Fábricas inteligentes


De acordo com Campos *et al.* (2018), nas fábricas inteligentes, os CPS serão empregados nos sistemas produtivos, gerando significativos ganhos de eficiência, tempo, recursos e custos, se comparado às fábricas tradicionais. Os produtos, máquinas e linhas de montagem se comunicarão entre si, trabalharão em conjunto e se monitorarão, independentemente do local, com informações trocadas de forma instantânea. É necessário um alto nível de automação.


Conforme a empresa *Engineering Simulation and Scientific Software* (ESSS), 2017, diante da evolução a serviço da indústria, também se criaram sistemas de produção inteligentes, o que envolve a união de tecnologias físicas e digitais e a integração de todas as etapas do desenvolvimento de um produto ou processo, o que traz como grande impacto positivo mais eficiência e aumento da produtividade. Algumas vantagens, frutos destas ferramentas tecnológicas e digitais se destacam, alguns exemplos são:




- 

• **Tempo real:** Acompanhar e analisar dados em tempo real, garantindo maior assertividade na tomada de decisões. Saber todas as etapas do processo no momento em que elas acontecem.
- 

• **Virtualização:** A simulação computacional já é uma realidade, porém, a revolução da indústria propõe o monitoramento remoto dos processos de produção, a fim de evitar eventuais falhas e tornar a rede de produção mais eficiente. A virtualização dos processos industriais permite a rápida tomada de decisão através de simulação computacional utilizando dados reais coletados em tempo real.
- 

• **Descentralização dos processos decisórios:** Com o propósito de melhorar a produção na indústria, sistemas cyberfísicos tomam decisões com base em análise de dados, sem depender de ação externa, tornando a tomada de decisão mais segura e certa.
- 

• **Modularização:** Neste conceito, o sistema é dividido em módulos, ou seja, em partes distintas. Desta forma, uma máquina irá produzir de acordo com a demanda, visto que irá utilizar somente os recursos necessários para a realização de cada tarefa, garantindo otimização na produção e economia de energia. Com base na bibliografia, pode-se dizer que a chegada da Indústria 4.0 trouxe grandes mudanças no modo organizacional das indústrias, prometendo revolucionar a produção de manufatura, bem como a ligação entre as empresas e os consumidores, mudando radicalmente o cenário econômico e social destas. Acredita-se que o novo formato industrial deve beneficiar o mercado empresarial e a população com igualdade social e estabilidade econômica. Por isso, estima-se que a tendência da Indústria 4.0 espalhe-se por todo o mundo (DELOITTE CABRAL, 2017). De acordo com Spricigo (2018), a chegada da Indústria 4.0 trouxe benefícios que proporcionam um avanço tecnológico nas esferas econômicas e sociais, entre outros fatores. Diante disso e com base na literatura, é possível citar alguns exemplos de benefícios advindos da Indústria 4.0.
- 

• **Redução de custos:** A automação das fábricas já traz uma redução consistente dos custos de qualquer indústria. Com as próprias máquinas, tendo capacidade e autonomia para programar manutenções, os gastos serão ainda menores. Esse é um dos principais benefícios da Indústria 4.0 para quem precisa reduzir o orçamento e melhorar a qualidade para obter resultados da empresa.

- **Aumento da segurança:** Com as máquinas conectadas em rede e com monitoramento da produção por meio de sensores, a fábrica terá maior segurança operacional. Ou seja, será possível prever falhas e evitar que um problema paralise a linha de produção. Outro fator que promove o aumento da segurança é ausência do fator humano em tarefas repetitivas e até mesmo nas inseguras.
- **Conservação ambiental:** Uma preocupação de toda a sociedade é garantir que o planeta seja mais sustentável. É preciso que todas as empresas tenham como seus valores a preocupação com a conservação. Outro benefício para quem quer crescer é que os consumidores estão mais propensos a adquirir produtos sustentáveis. As novas tecnologias ajudam a otimizar o uso de recursos naturais e diminuir o impacto da sua atividade no meio ambiente.
- **Redução de erros:** Assim como a segurança operacional, a redução da intervenção humana no processo de montagem e em tarefas repetitivas, diminui de forma considerável os erros cometidos nas etapas de produção. Com as máquinas calibradas para manter um determinado nível de acerto é mais fácil manter a qualidade do produto e também fazer os testes necessários.
- **Customização em escala:** As tecnologias implementadas na Indústria 4.0 ajudam a customizar os produtos de uma forma que nunca foi feita, em uma escala que era impossível para a manutenção de um negócio. Com as fábricas mais eficientes, passa a ser viável personalizar a produção para os consumidores.
- **Aumento da satisfação dos clientes:** Para a Revista Mundologística (2017), com as melhorias e modernizações propostas pela Indústria e Logística 4.0, consegue-se perceber um significativo ganho de qualidade em produtos e serviços prestados, que se traduzem no aumento da satisfação de clientes, o que pode ser exemplificado de diversas formas, por exemplo, nos prazos menores de entrega, nas informações sobre pedidos mais atualizadas e, nos mínimos erros de processamento, ou seja, a empresa muito ganhará em competitividade.

- **Aumento da qualidade de vida:** Com uma fábrica inteligente e mais automatizada, os funcionários passam a ter melhor qualidade de vida e tornam-se mais produtivos. Além disso, de forma geral, um país com indústria mais qualificada e produtiva gera melhor distribuição de riquezas para a sociedade. Para Campos *et al.* (2018), do ponto de vista econômico, os conceitos da Indústria 4.0 impulsionam a produtividade e tornam as indústrias mais eficientes, flexíveis, ágeis e aptas para enfrentar esse ambiente cada vez mais competitivo e mutante em que vivemos. Os profissionais, no entanto, terão que se especializar. Nesse cenário, ganha espaço quem tiver visão macro do mercado. Temas como mecatrônica e tecnologia da informação (TI) serão diferenciais no currículo. Outro benefício que adicionado ao processo produtivo é a capacidade de facilitar o desenvolvimento de "plataforma" de produto e processo, pois a combinação de IoT com *Big Data* torna factível a criação de "plataformas múltiplas" em que seja possível interação de diversas atividades em um banco de dados (DAVENPORT; KUDYBA, 2017).

Resumidamente, entenda-se por tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 os mecanismos, os processos ou os sistemas, todos de natureza tecnológica emergente e inovadora, desenvolvidos especialmente para serem aplicados em favor da otimização, em todos os aspectos, da produção de bens e serviços. A essência das tecnologias habilitadoras é tal que sem a existência destas os conceitos e princípios que caracterizam o movimento intitulado de 'quarta revolução industrial' não poderiam ser postos em prática, isto é, não passariam de teorias. O infográfico ilustrado a seguir, na Figura 4, elenca, de forma resumida, as principais ou as mais conhecidas tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0.

Figura 5 - Exemplos das principais tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0

TECNOLOGIAS QUE LEGITIMAM A INDÚSTRIA 4.0



Fonte: Autoral.

4.3 Indústria 4.0 pelo mundo: relatos e experiências

Na contextualização dessa seção, busca-se identificar o estágio de implantação da Indústria 4.0 em países que já operam segundo o *modus operandi* da quarta revolução industrial. Com o objetivo de obter uma visão global da atual realidade, realizou-se uma revisão bibliográfica acerca de casos da tentativa de implantação da Indústria 4.0 em países da América, Ásia e UE, a fim de identificar os estágios que se encontram; bem como catalogar os desafios e dificuldades relatadas nos registros destas tentativas. Após estudo dos casos, se fez necessário dividir os países em dois grupos no que se refere aos estágios de implantação da Indústria 4.0, da seguinte forma: I) países em estágio inicial de implantação da Indústria 4.0 e II) países em estágio avançado de implantação da Indústria 4.0.

Diante de tal abordagem, Slivkova *et al.* (2021) afirmam que há vários anos, muitos países avançados têm lidado com o início da quarta revolução industrial, que mudará fundamentalmente a natureza da indústria, geração e distribuição de energia, comércio, logística e outros segmentos da economia e da sociedade como um todo. À medida que a economia adere ou adota conceitos e princípios da Indústria 4.0, as mudanças esperadas exercerão impactos em empresas de todos os portes e ramos.



4.3.1 Países em estágio inicial de implantação da Indústria 4.0



4.3.1.1 Estudo de caso de um PME Tcheca

Aqui, é oportuno ressaltar a relevância de não poder esquecer quando o assunto é Indústria 4.0, evidenciando, assim, a República Tcheca, que é conhecida por ser uma importante indústria produtora de veículos, aço e cerveja, segundo dados listados pelo Banco Mundial, nos anos de 2018 e 2019. No país foi realizado recentemente um estudo de caso direcionado a uma pequena e média empresa (PME) e comprovou-se a tentativa fracassada de transição para o novo modelo industrial.

De acordo com Pfeifer (2021), para avaliar a implantação, optou-se pela aplicação de um questionário para verificar a percepção dos funcionários da PME analisada. Cada funcionário da empresa, independentemente de sua profissão, especialização e posição, tinha que preencher e entregar o questionário.

Com o apoio financeiro dos fundos europeus, a empresa decidiu dar um passo em direção à indústria 4.0, com um prazo de implementação fixado em quatro anos. A empresa em estudo definiu metas para serem incorporadas durante essa transição para o novo modelo de organização fabril, que podem ser vistas na Quadro 1 a seguir.



Quadro 1 - Itens de introdução da Indústria 4.0 durante o estudo de caso

	Item	Descrição
1	Célula de soldagem robô	Instalação de célula de soldagem por robô; Treinamento do operador; Treinamento de manutenção.
2	Implementação de Sistemas de Planejamento Avançado (APS)	Sem planejamento manual; Planejamento baseado em algoritmo de computador.
3	Ampliação do sistema de Planejamento de recursos Empresariais (ERP)	Sistema ERP incluindo sistema de planejamento avançado, módulos de leitura RFID e manipulação automática de peças.
4	Leitura RFID Planejamento de recursos Empresariais	Introdução da etiquetagem e reetiquetagem do leitor RFID.
5	Manipulação automática de peças - Inter companhia	Dispositivos de manipulação (por exemplo, correias) que trazem peças de uma estação para outra com base em dados do ERP.
6	Conectividade de fluxo de dados da cadeia de suprimentos	Introduzir interface eletrônica de dados para fluxo de dados no sistema ERP.

Fonte: Adaptado de Pfeifer (2021).

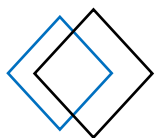
Ressalta-se, então, que a empresa decidiu usar um conceito de introdução e implementação gradual dos itens fornecidos. A estrutura conceitual foi desenvolvida pela empresa com o apoio de alunos de pós-graduação de uma Universidade tcheca. Devido às restrições enfrentadas pela empresa e ao baixo nível de interconectividade disponível, a empresa concentrou-se nas etapas básicas da introdução (PFEIFER, 2021).

Com base na avaliação dos resultados, a primeira observação feita após esses quatro anos, foi que a empresa não conseguiu implementar todas as suas metas, durante o período de quatro anos, é o que se observa.

A empresa deu os primeiros passos com o apoio financeiro dos fundos europeus. No entanto, uma vez que a empresa alcançou as atividades relacionadas às tecnologias com o conceito de Indústria 4.0, a direção da empresa decidiu encerrar o projeto pulando essas atividades. Isso se deve ao uso intensivo de recursos, exigindo tecnologia, finanças e recursos humanos e habilidades da mesma forma. Portanto, o projeto de implantação da Indústria 4.0 foi encerrado na metade de sua execução (PFEIFER, 2021).

A direção da empresa alegou ter encerrado o projeto devido à incerteza de retorno financeiro, pois havia a exigência de habilidades e recursos adicionais para que se concretizasse o projeto. E por conta disso, a administração não quis se impor ao possível risco, assim a empresa considerou concluída a fase de implantação da Indústria 4.0 (PFEIFER, 2021).

Portanto, de acordo com relatório final da pesquisa realizada com os funcionários desta PME, concluiu-se que a gestão subestimou os princípios tecnológicos inteligentes de fabricação, juntamente com os requisitos de treinamento e configuração de infraestrutura física insuficientemente planejada. A empresa também superestimou suas habilidades internas. A falta de conhecimento como de competências pela própria administração da empresa foi quem levou ao encerramento deste projeto, bem como foi identificada pelos funcionários como responsável pelo insucesso de implantação do novo modelo de industrialização. Essa abordagem autorrelatada tem o potencial de resultar em respostas diferentes, dependendo de quem responde à pesquisa. Portanto, pode não ser verdadeiramente representativa da tomada de decisão da empresa.



4.3.1.2 Estudo de caso em indústrias Indianas

No estudo de caso sobre a Índia, fez-se necessário uma análise do processo de implantação da Indústria 4.0, com o intuito de descobrir em qual estágio a indústria indiana encontra-se em relação ao novo modelo industrial. Vale destacar que este estudo está limitado às indústrias selecionadas na Índia, como automobilística, de energia, finanças, TI, siderurgia, transporte, serviços de consultoria, direito, saúde e farmacêutica.

Buscou-se analisar através de uma pesquisa qualitativa com diversos profissionais das indústrias mencionadas, como estava o desenvolvimento de preparação para a Indústria 4.0. Foram analisados pontos cruciais para implementação, bem como as principais dificuldades encontradas. As perguntas foram elaboradas para coletar respostas sobre conscientização, preparação, implementação, aplicações, benefícios, desafios, qualidades dos funcionários e lacunas de habilidades da Indústria 4.0.

Como resultado da pesquisa feita por Singhal (2020), tem-se que as empresas se encontram em estágio inicial de transição para o novo modelo de industrialização, destacando-se o desconhecimento das tecnologias por parte de alguns gestores das empresas.

O estudo mede a consciência existente dos entrevistados sobre o conceito de Indústria 4.0 em sua empresa/organização. Os resultados mostram que 63,7% das organizações/indústrias não se prepararam ou estão no primeiro estágio de conceito para se preparar para competir em um ambiente impulsionado pela tecnologia. Os resultados também mostram que alguns dos executivos da empresa sequer conheciam as tecnologias da Indústria 4.0 (SINGHAL, 2020).

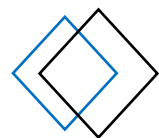
Em relação à aplicabilidade da Indústria 4.0 e seus conceitos, é perceptível que algumas tecnologias se encontravam em situação de serem aplicadas nas empresas, pois de 25 a 50 por cento dos entrevistados disseram que era aplicável às indústrias os seguintes conceitos: gerenciamento de desempenho móvel e em tempo real, mídia de negócios sociais, manutenção preditiva, logística de fábrica digital, cadeia de suprimentos e armazenamento. Por outro lado, algumas das novas tecnologias, que estão em estágio inicial, são aplicáveis em cerca de 20 por cento ou menos em chão de fábrica inteligente, tais como: controle de produção, design de fábrica digital, placas eletrônicas de desempenho, robôs autônomos e sistemas de assistência (SINGHAL, 2020).

Diante do exposto, os resultados mostram que, embora haja uma mudança de paradigma na indústria, há necessidade de desenvolver os conjuntos de habilidades necessárias para implementar, com sucesso, a Indústria 4.0 em toda a cadeia de valor. Com base no resultado coletado pela pesquisa, temos que:

É fascinante entender o conjunto de habilidades que seria necessário para trabalhar com sucesso com tecnologias inteligentes. Verifica-se que as habilidades exigidas são essencialmente baseadas em análise de sistemas de dados, gerenciamento de dados, segurança de dados, e ciência de dados (SINGHAL, 2020).

Ainda com base nos dados obtidos através do estudo, é possível compreender a dificuldade da implantação do conceito de Indústria 4.0, analisando a fala dos entrevistados:

De acordo com 41,6 por cento dos entrevistados, um dos motivos pelos quais a indústria indiana ainda não está preparada para a Indústria 4.0 é a falta de habilidades necessárias para implementar tecnologias inteligentes. Outro motivo é a falta de investimento da empresa (segundo 40 por cento dos entrevistados) para agilizar os processos em linha com a Indústria 4.0 (GEISSBAUER et al., 2016; LORENZ et al., 2016).



4.3.1.3 Estudo de caso da Rússia



Analisando o estudo de caso da Rússia, Indústria 4.0 e Sociedade 5.0: desafios e oportunidades, o qual é dedicado à Indústria 4.0 e à quarta revolução industrial, percebe-se a identificação de desafios e oportunidades para a implementação dos conceitos de Indústria 4.0 e Sociedade 5.0 para a Rússia.

Diante de tal contexto, é notória a busca de encontrar respostas para muitas perguntas, quando os autores deste artigo desenvolveram um questionário e realizaram uma pesquisa com representantes da comunidade empresarial russa (principalmente empresas industriais).



Com base na revisão deste estudo, em específico, observou-se que o cenário de implantação dos conceitos da Indústria 4.0, por parte das empresas da Rússia, encontra-se em um estágio extremamente baixo. De acordo com os resultados obtidos, através dos questionários realizados, um número elevado dos entrevistados não conseguiu implementar o conceito de Indústria 4.0 e acharam difícil identificar as tecnologias da Indústria 4.0 que utilizavam.



Para Salimova *et al.* (2020), com base nos resultados de um estudo empírico, pode-se concluir que a economia da Rússia, de acordo com sua comunidade empresarial, está em transição para uma sociedade digital do futuro, enfrentando os mesmos problemas e restrições da maioria dos países do mundo, sendo eles: falta de investimento, escassez de mão de obra qualificada, relutância por parte da sociedade em aceitar e participar do processo de implantação da Indústria 4.0, entre outros.

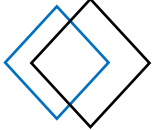


Em contrapartida, percebe-se que o estudo também revelou pontos positivos da implementação da Indústria 4.0. Como pode-se observar na fala de Singhal (2020): As descobertas trazem à tona os vários benefícios da fabricação digitalizada, como maior produtividade, menor custo de produção, menores custos de mão de obra e maior satisfação do cliente.

Com base na revisão do estudo, observa-se que apesar de trazer benefícios para as empresas analisadas na pesquisa, a implantação do conceito de Indústria 4.0 enfrenta grandes desafios, os funcionários não têm as habilidades para implementar as tecnologias da Indústria 4.0, algumas indústrias estão relutantes em implementar a Indústria 4.0 por causa da falta de fundos e das incertezas do investimento e do impacto que isso teria em seus resultados. Há outro fator de preocupação também que é em relação à segurança de dados (SINGHAL, 2020). Conclui-se com base na revisão de literatura que o processo de implantação da Indústria 4.0, nos países citados anteriormente, encontra-se em estágio inicial de transição. Pode-se citar como principais problemas de avanço na implementação, a falta de mão de obra qualificada, falta de planejamento adequado, tendo em vista os grandes avanços tecnológicos que o conceito de Indústria 4.0 traz, bem como a necessidade de um maior investimento por parte dos governos, a fim de influenciar as empresas (principalmente as de menor porte) a iniciarem a transição para o novo modelo de produção fabril. Além disso, pode-se citar a dificuldade em encontrar profissionais capacitados a trabalharem com as novas tecnologias, tanto em nível gerencial como em nível de chão de fábrica.



4.3.2 Países em estágio avançado de implantação da indústria 4.0





4.3.2.1 Estudo de caso de indústrias da Coreia do Sul


Diferentemente do que foi analisado no tópico anterior, no estudo de caso realizado na Coreia do Sul, pode-se observar um cenário diferente e favorável de implantação da Indústria 4.0, isto devido ao fato de que, historicamente, a Coreia do Sul desenvolveu-se através da concentração regional de competências industriais e tecnológicas, que foi um elemento importante da estratégia nacional de desenvolvimento, especialmente nas décadas de 1970 e 1980. Com base nessa estratégia, a Coreia do Sul possui potencial para atingir capacidades de alto nível nas principais áreas industriais e de C&T (KIM, 1997; CHUNG, 2019).

Com a chegada da quarta revolução industrial e suas inovações tecnológicas, o governo coreano logo se articulou para desenvolver os conceitos advindos da nova revolução e assim organizar-se para o novo cenário mundial. Em relação à digitalização e à Indústria 4.0, a Coreia do Sul adotou um sistema de mobilização total. O atual governo reconheceu a importância da digitalização, afirmou que a Coreia do Sul deve se preparar para a quarta revolução industrial da maneira mais eficaz possível, e a preparação se tornou importante agenda nacional (SUNYANG CHUNG; JIYOON CHUNG, 2021).


Contudo, o processo de transição para a Indústria 4.0 encontra problemas com relação à distribuição geográfica das indústrias; pois, durante o processo de desenvolvimento, houve uma centralização de potencial industrial em algumas cidades, essas concentrações regionais podem gerar problemas de diferença de potencial para a quarta revolução industrial entre as regiões, como pode ser observado a seguir: 'parece que a Coreia do Sul terá dificuldades para se preparar para a quarta revolução industrial, porque a maior parte das capacidades tecnológicas e de P&D estão concentradas em Seul e seus arredores como Gyeonggi e Incheon' (SUNYANG CHUNG; JIYOON CHUNG, 2021).




Entretanto, o que parece um problema para alguns, por outro lado, apresenta-se como um grande potencial de desenvolvimento dos conceitos da Indústria 4.0, pois regiões fortemente industrializadas tiveram uma grande vantagem na preparação para esta nova era industrial. Eles são muito mais intensivos em P&D e tecnologia do que as outras regiões. Por exemplo, essas regiões com alta concentração de indústrias mostraram uma demanda muito mais forte por 'fábricas inteligentes', que são elementos importantes da Indústria 4.0 (SUNYANG CHUNG; JIYOON CHUNG, 2021). Além disso, a maioria das empresas coreanas deseja estabelecer seus institutos de P&D, nessas regiões porque a maioria da mão de obra coreana bem qualificada prefere viver e trabalhar nessas regiões.



Visando transformações inovadoras não apenas nas indústrias, mas também na sociedade como um todo, o governo coreano reconhece a importância da Indústria 4.0 e espera retornos significativos para o desenvolvimento do país. De tal forma que desenvolveu o Comitê Presidencial sobre a Quarta Revolução Industrial (PCFIR), tendo como missão investigar e coordenar as principais atividades relevantes dos ministérios coreanos no que diz respeito à quarta revolução industrial (SUNYANG CHUNG; JIYOON CHUNG, 2021).



Com o intuito de fortalecer o processo de implantação da nova era industrial, o governo desenvolveu um projeto de apoio às PMEs para aderir ao modelo de fábricas inteligentes e contou com o apoio das grandes empresas para difundir o modelo de produção da fábrica inteligente. Desta forma, o governo conseguiu aumentar significativamente o número de fábricas inteligentes no setor manufatureiro coreano.



Em sua abordagem, a Coreia do Sul pretende preservar sua posição como um dos polos industriais mais relevantes do mundo e, para isso, pretende inserir e aumentar o ritmo de inovação industrial. O Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial - IEDI (2018) destaca o Plano de Médio e Longo prazo lançado pelo governo sul-coreano em dezembro de 2016, que visa preparar o país para a quarta revolução industrial: o objetivo é desenvolver tecnologias de informação inteligentes, tais como a Internet das Coisas, Big Data e tecnologias móveis.

Esse plano prevê que as tecnologias da Indústria 4.0 desempenharão um papel fundamental para ganhos de produtividade e eficiência na indústria de transformação, além dos demais setores da economia. ~~A atuação direta do Estado por meio de planejamento centralizado em~~

4.3.2.2 Estudo de caso em indústria do Centro-Oeste dos EUA

Diante do pensamento abordado por Agrawal, Kumar e Tyagi (2020), os Estados Unidos são uma das economias mais inovadoras, competitivas e significativas do mundo, com fortes mercados de internet e marcas globais mais fortes. Possuem a segunda maior base fabril do mundo, produzem e exportam bens de alimentos, medicamentos, equipamentos cirúrgicos, aviões, automóveis e produtos eletrônicos. Os Estados Unidos têm as empresas mais competitivas, estratégicas e inovadoras do mundo, tanto em fabricação quanto em tecnologia. Empresas como Tesla, Lockheed Martin, Boeing, Dow Chemical lideram o setor de manufatura, enquanto Alphabet, Microsoft, Apple, Oracle e Boston Dynamics lideram o setor de tecnologia, impulsionando políticas e padrões globais.

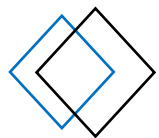
Ainda segundo Bosman, Hartman e Sutherland (2019), a pesquisa foi desenvolvida em colaboração entre a Universidade de Purdue IN-MaC (Centro de Competitividade de Manufatura da Próxima Geração de Indiana) e a Universidade de Purdue MEP (Parceria de Extensão de Manufatura), ambas localizadas no Estado de Indiana, sendo esta última participante do programa federal do governo dos EUA, tendo a administração e o financiamento pelo Instituto Nacional de Padrões e Tecnologia do Departamento de Comércio dos EUA (NIST). O NIST tem como missão aprimorar a tecnologia e o desempenho da produtividade da fabricação dos EUA. A pesquisa foi intencionalmente curta para encorajar a conclusão e focar nas variáveis de interesse. O design da pesquisa começou com foco nas atividades e funções de manufatura e passou por várias interações piloto, em que o *feedback* foi obtido de parceiros acadêmicos, industriais e governamentais. Como resultado, as definições foram atualizadas para comunicar melhor os conceitos da Indústria 4.0 para empresas de manufatura variando em tamanho, acesso a fundos e tipo de indústria (BOSMAN; HARTMAN; SUTHERLAND, 2019).

A literatura fornece algumas descobertas importantes relacionadas aos impactos do tamanho da empresa na adoção dos princípios da Indústria 4.0. Para Sommer (2015), PMEs menores correm maior risco de se tornarem vítimas, em vez de se beneficiarem da Indústria 4.0, enquanto os resultados mostram que as grandes empresas se sentem mais bem preparadas para implementar esse novo modelo de indústria.

Dado os resultados, as PMEs menores, em comparação com as PMEs maiores, podem ter preferências diferentes, não apenas por causa do tamanho, mas porque estão em diferentes estágios de crescimento da empresa. Assim, elas poderiam ter perspectivas que se encaixam em estágios anteriores e menos maduros de desenvolvimento em relação à Indústria 4.0.

Em relação e com base na literatura, foi possível observar que, quanto menor as empresas, maiores são as dificuldades de implementação dos conceitos e princípios que caracterizam a Indústria 4.0. No entanto, é possível verificar que o processo de implantação da Indústria 4.0 tem agregado valor às empresas, além de contribuir no processo de organização e produção. Neste sentido, investir na implementação da Indústria 4.0 deve ser pensado como uma filosofia sem fim e voltada mais para a melhoria contínua. Corroborando com esta mesma linha de entendimento, Ibarra *et al.* (2018) constataram que investir em novas tecnologias pode resultar no reconhecimento de oportunidades e criação de valor relacionado à otimização de processos, melhorias no relacionamento com o cliente e desenvolvimento de novos produtos ou serviços.

De acordo com os resultados obtidos na pesquisa, é possível concluir que nos EUA, mais precisamente em Indiana, na região Centro-Oeste, o estágio de implementação da Indústria 4.0 se encontra em estágio avançado, tendo em vista a posição de destaque que o país ocupa na atualidade, econômica e tecnologicamente, bem como a constante busca por inovação e desenvolvimento e o apoio governamental.



4.3.2.3 Estudo de caso em indústrias da Alemanha

Conforme o pensamento de Müller, Kiel e Voigt (2018), a Alemanha é uma das nações mais industrializadas do mundo, com uma das indústrias manufatureiras mais competitivas e inovadoras. Ainda, segundo contribuições de Lucena, Roselino e Diegues (2020), ela tem sido a origem da própria denominação da Indústria 4.0, sendo o setor público, a princípio, institucionalizado para a ideia desta indústria.

Segundo Daudt e Willcox (2016), a partir da década de 90, o sistema alemão passou por diferentes ciclos, mas em todos esses casos, a visão geral é de que as ações estavam dentro do âmbito do que é chamado hoje como *High Tech Strategy* (Estratégia de Alta Tecnologia). De acordo com IEDI (2018), o projeto Indústria 4.0 foi incluído no plano High Tech 2020. Lançado em março de 2012, esse plano identificou dez projetos-chave para o futuro, sendo considerados essenciais para a concretização dos objetivos atuais da política de inovação alemã.

É oportuno dizer que, de acordo com o relatório do IEDI - Instituto de Estudos para o Desenvolvimento Industrial (2018), com esse projeto nacional, o país pretende assumir até 2020 a posição de liderança na provisão de sistemas cyber-físicos. Nesse sentido, a estratégia High Tech 2020 visa enfrentar os desafios impostos pela globalização por meio da exploração de oportunidades em segmentos específicos em tecnologias transversais (ANDREONI, 2016).

No geral, entre Alemanha, Estados Unidos e Coreia do Sul, a Alemanha parece ter uma maior competitividade no que diz respeito ao investimento e desenvolvimento de seus recursos humanos.

4.3.2.4 Estudo de caso em indústrias da China

Durante as últimas décadas, a China emergiu no cenário global com alto desempenho em diversas áreas, tais como crescimento econômico, inserção externa e a sua ampliação na importância geopolítica. Por trás desse fenômeno, estão algumas explicações sobre o funcionamento do seu planejamento econômico, sobretudo, em um horizonte de longo prazo (LUCENA; ROSELINO; DIEGUES, 2020).

A China, em contraste aos casos já mencionados (Alemanha, EUA e Coréia do Sul), não figura entre os países de alta renda *per capita*. É uma economia em franco desenvolvimento, que está fazendo seu *catching up* (Convergência na Economia), com políticas industriais nacionais, em meio ao cenário competitivo e tecnológico da Indústria 4.0. Diante desse quadro, a China comporta também um dos maiores e mais promissores mercados consumidores do mundo, e que se reforça com a implementação de políticas voltadas à transformação estrutural da sua sociedade, principalmente através de planejamento econômico com visão de longo prazo. Os objetivos chineses para a Indústria 4.0 foram traçados de forma a aproveitar as vantagens de indústrias, nas quais o país se mostra dominante no mercado, como nos segmentos de *smartphones* e computadores. Esses produtos são relacionados às tecnologias da informação e comunicação, base da Indústria 4.0. No entanto, esses esforços também têm o objetivo de avançar em termos da apropriação de capacitações tecnológicas por parte de empresas de capital chinês (LUCENA; ROSELINO; DIEGUES, 2020).

O Conselho de Estado chinês anunciou um ambicioso plano que foi chamado de *Made in China, 2025*. Li (2017) afirma que o plano foca em melhorar a qualidade dos produtos chineses, criando uma sólida capacidade manufatureira, através do desenvolvimento de tecnologias-chave, consideradas avançadas. O plano apresenta dez áreas a serem desenvolvidas pelo estímulo às tecnologias da Indústria 4.0: veículos de energia limpa, próxima geração de tecnologia da informação, biotecnologia, novos materiais, tecnologia aeroespacial, engenharia oceânica e embarcações *high tech*, equipamentos de trilhos avançados, robótica, equipamentos de energia, e maquinário para agricultura (MÓDULO; HIRATUKA, 2017).


Diante desses posicionamentos, faz-se entender o esforço oriundo de uma estratégia abrangente e ambiciosa de desenvolvimento econômico, que combina diversas políticas de aspectos econômicos, sociais e geopolíticos. E ademais, evidencia os objetivos chineses para a Indústria 4.0, mostrando-se amplos e que fazem parte de um projeto de potência global, com um horizonte de décadas para ser alcançado.

4.4 Indústria 4.0 no Brasil







4.4 Indústria 4.0 no Brasil





Diante de algumas discussões e pesquisas realizadas, relata-se a Quarta Revolução Industrial ou Indústria 4.0 como sendo já uma realidade para as empresas dos países mais desenvolvidos. No processo de evolução dos meios de produção de bens e serviços essa revolução tem modificado o conceito de manufatura e inovação, trazendo novas perspectivas e possibilidades.



No Brasil, esse processo ainda não chegou à maioria das empresas, e tem um longo caminho a ser percorrido até ser totalmente assimilado pela indústria nacional. É importante observar que merece considerar a dificuldade em investir em novas tecnologias para melhoria nos processos de produção de bens e serviços, por parte das empresas nacionais, o que se faz resultado da falta de iniciativas públicas e privadas e, principalmente, pela crise econômica agravada pela pandemia de Covid-19.



A competitividade interna e, principalmente a mundial, tem levado a indústria nacional a buscar um processo de inovação, ainda que de forma lenta. Nesse sentido, algumas iniciativas públicas também estão sendo implementadas, tais como o Decreto nº 10.534, de 2020, que institui a Política Nacional de Inovação, a Câmara Brasileira da Indústria 4.0, a instituição da Câmara de Inovação e, recentemente, o leilão da tecnologia do 5G; demonstrando com isto um início, mesmo que tardio, da implementação de uma política de inovação tecnológica.





4.4.1 Uma breve explanação sobre a indústria perante o mundo



Refletindo um pouco sobre a indústria brasileira, é notório que o setor carece de muitos avanços tecnológicos e estruturais para acompanhar essa nova revolução. Assim, faz-se necessário um levantamento da situação contemporânea, de como o Brasil está perante o mundo e como deveria ser realizado o investimento para que a Indústria 4.0 seja concretizada no país. Segundo a Federação das Indústrias do estado do Rio de Janeiro - FIRJAN (2016), é preciso:

[...] entender e identificar os impactos que influenciarão os diversos setores industriais, quais serão beneficiados, quais necessitarão de ajustes ou se algum poderá desaparecer; ou como ficará a mão de obra e os custos de produção.



Vale ressaltar que, de acordo com a Confederação Nacional da Indústria (2016), entre os anos de 2006 a 2016, a produtividade industrial brasileira caiu mais de 7 pontos. No índice Global de Competitividade da Manufatura, o Brasil que, em 2010, ocupava a 5º posição, em 2016, passou a ocupar a 26º (vigésima sexta) posição. Perante essas comparações, o Brasil necessita analisar a viabilidade e os impactos que cada tecnologia terá nas fábricas para que os seus índices e o seu patamar avancem, em comum acordo, com os pilares da Indústria 4.0. A transição é uma oportunidade de melhorar processos para a inovação e otimização dos recursos. Considerando que os principais países inseridos no contexto de I4.0, e que disputam não somente o seu posicionamento no *ranking* mundial, mas também a definição de um novo modelo tecnológico, é de extrema importância pontuar que o Brasil e a indústria nacional, mesmo com suas dificuldades, se preparam de forma consistente aos desafios apresentados, sob risco de ficarem marginalizados no cenário mundial (ARBIX *et al.*, 2017).



A partir da compilação destas informações, é possível constatar que o Brasil se encontra em um nível inferior, quando comparado à implantação da Indústria 4.0, em países como Alemanha, Japão, Coreia do Sul e Estados Unidos, o que representa um forte indicativo de que há uma necessidade de se analisar os desafios relacionados a esta implantação e como superá-los.



4.4.2 Estágio de implantação da Indústria 4.0 no Brasil

Considerando posicionamentos e reflexões dentro das pesquisas a seguir, a exemplo de citações, algo deixa transparecer que o conhecimento em tecnologias da Indústria 4.0 ainda é muito baixo no Brasil. A literatura abordada, nas citações seguintes, sugere a análise dessa assertiva.

Para Antônio *et al.* (2018), o atraso tecnológico, no qual a indústria brasileira está inserida, é em resposta, principalmente, ao desconhecimento dos ganhos a longo prazo. De acordo com o IEDI (2021), a indústria brasileira de alta tecnologia relata que essa mudança pode ser ocasionada pelo custo de implantação em determinados setores. A exemplo, é apontado que, no ano 2001, correspondia por 14% das exportações totais da indústria de transformação. De forma impactante, teve sua participação reduzida para 3,8% em 2021, demonstrando claramente a falta de competitividade e um fraco ambiente de inovação. Em contrapartida, a indústria de média tecnologia e a indústria de média-baixa intensidade tecnológica tiveram elevação em suas vendas em relação a 2020 (dois mil e vinte), representadas pelos setores de metalurgia, alimentos e bebidas, derivados de petróleo, papel e celulose (IEDI, 2021).

É oportuno dizer que, segundo a Confederação Nacional da Indústria - CNI (2021), a pandemia da Covid-19 contribuiu para que o país fechasse o ano de 2020 com o pior resultado em exportações de produtos industrializados, posto que incluem produtos manufaturados e semimanufaturados. Já a exportação de produtos de alta intensidade tecnológica que incluiu produtos como máquinas especiais, equipamentos de informática, química refinada e aviões, que já vinham perdendo mercado nos últimos anos, sofreram quedas ainda maiores, em função da pandemia, traduzindo-se em um processo de desindustrialização.

São estudos recentes, em praticamente todos os setores industriais brasileiros, que demonstram que a maior parte da indústria nacional ainda não incorporou, de forma efetiva, os avanços da Terceira Revolução Industrial, estando em um estágio compreendido entre a Segunda e a Terceira Revolução (FIRJAN, 2016). Isso evidencia as falas de outros autores, no tocante aos Setores industriais brasileiros.

Além disso, conforme as colocações a seguir, é preciso ter ciência de que a revolução digital é a principal base de apoio para o desenvolvimento da Indústria 4.0, e esta ainda não é uma realidade no Brasil. A maioria das indústrias brasileiras ainda estão em transição da Indústria 2.0 para a Indústria 3.0. Com base na pesquisa desenvolvida pela CNI (Confederação Nacional da Indústria), em 2016, intitulada Desafios para a Indústria 4.0 no Brasil, o uso de tecnologias digitais na indústria brasileira ainda é pouco difundido, 42% das empresas desconhecem a importância das tecnologias digitais para a competitividade da indústria e mais da metade delas (52%) não utilizam tecnologias digitais.

Conforme a abordagem literária apresentada a seguir, mesmo com a incerteza acerca de qual estratégia de desenvolvimento é a melhor a se seguir no Brasil, algumas empresas já tomaram iniciativas próprias no desenvolvimento e implementação de tecnologias avançadas em instalações no país. Podem ser citados os seguintes exemplos:

- Basf, cuja subsidiária incorporou o uso de aplicativos baseados em *data analysis* para clientes do agronegócio e na divisão de tintas (VIALLI, 2016);
- Electrolux América Latina, que possui um centro de *design* localizado em Curitiba, o qual usa prototipação digital e realidade virtual na confecção de protótipos de eletrodomésticos que irão chegar ao consumidor final (VIALLI, 2016);

- Jeep SUV, que é parte do grupo *Fiat Chrysler Automobiles* (FCA), inaugurou em 2015 a unidade mais moderna, desde a fusão do grupo, em Goiana (PE). A fábrica une a digitalização, a conectividade e a realidade virtual em seus processos produtivos e é referência nacional (VIALLI, 2016);
- Sistema Hyundai de Produção, utilizando sistemas modulares no projeto do produto (NUNES, 2016) característicos das fábricas inteligentes, aumentando a flexibilidade às mudanças nos requisitos de substituição ou expansão de módulos individuais (HERMANN; PENTEK; OTTO, 2015);
- Uso de impressoras 3D para prototipagem rápida na medicina, auxiliando a confecção de próteses e diagnósticos (HOFFMANN, 2017).

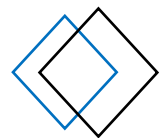
Diante deste fato e, com base na literatura, pode-se constatar que, mesmo a passos lentos, a comunidade brasileira começa a planejar ações, buscando a transição dessas tecnologias características da segunda e da terceira revolução, visando alcançar a Indústria 4.0, tendo a consciência de que tal transição é de suma importância para o seu desenvolvimento em nível industrial, acadêmico e socioeconômico.

Com base nestas assertivas, o Brasil tem um grande potencial para desenvolver novas tecnologias e tornar-se mais competitivo no cenário mundial, aplicando os conceitos da Indústria 4.0 em setores como petróleo e gás, onde o país já está relativamente bem posicionado, além de levar em consideração os setores da agroindústria e de energia renovável, onde existem enormes potenciais para ampliação e crescimento e já são considerados os carros-chefes da projeção do nosso país para o mundo dentro do âmbito de produções industriais. A Indústria 4.0 oferece um tremendo potencial para *startups* e pequenas e médias empresas e essas organizações serão necessárias para oferecer serviços digitais e soluções de tecnologia personalizadas. Esta transformação digital é obrigatória e um passo importante para a competitividade, no tocante aos serviços também de soluções tecnológicas personalizadas.

Diante de algumas discussões e pesquisas realizadas, relata-se a Quarta Revolução Industrial ou Indústria 4.0 como sendo já uma realidade para as empresas dos países mais desenvolvidos. No processo de evolução dos meios de produção de bens e serviços essa revolução tem modificado o conceito de manufatura e inovação, trazendo novas perspectivas e possibilidades.

No Brasil, esse processo ainda não chegou à maioria das empresas, e tem um longo caminho a ser percorrido até ser totalmente assimilado pela indústria nacional. É importante observar que merece considerar a dificuldade em investir em novas tecnologias para melhoria nos processos de produção de bens e serviços, por parte das empresas nacionais, o que se faz resultado da falta de iniciativas públicas e privadas e, principalmente, pela crise econômica agravada pela pandemia de Covid-19.

A competitividade interna e, principalmente a mundial, tem levado a indústria nacional a buscar um processo de inovação, ainda que de forma lenta. Nesse sentido, algumas iniciativas públicas também estão sendo implementadas, tais como o Decreto nº 10.534, de 2020, que institui a Política Nacional de Inovação, a Câmara Brasileira da Indústria 4.0, a instituição da Câmara de Inovação e, recentemente, o leilão da tecnologia do 5G; demonstrando com isto um início, mesmo que tardio, da implementação de uma política de inovação tecnológica.



4.4.3 Desafios a serem enfrentados pela comunidade industrial brasileira



Diante de tamanha observação, é notório que a crise econômica e a incerteza política são obstáculos aos investimentos para a modernização. Com a globalização e as demandas do mercado cada vez mais fortes, o setor industrial precisa se adaptar às inovações e às novas tecnologias da Indústria 4.0 o mais rápido possível. Quem não se adaptar a essa nova realidade e usar seus benefícios para o autodesenvolvimento, corre o risco de perder competitividade e tornar-se obsoleto. A tecnologia já está disponível, agora é mais uma questão de eficiência intelectual e econômica.



O avanço da Indústria 4.0, no Brasil, depende de alguns fatores como o maior conhecimento das empresas sobre os benefícios da digitalização, tanto no aumento da produtividade como nas oportunidades de novos modelos de negócios, flexibilização e customização da produção e redução de tempo para lançar novos produtos no mercado. Os principais obstáculos internos e externos para as empresas brasileiras consistem na falta de controle sobre os componentes e tecnologias da Indústria 4.0, os altos custos inerentes a eles e à falta de mão-de-obra qualificada o que é reforçado, na referência abaixo, ressaltando os maiores desafios que estão concentrados em fatores como:



[...] obter políticas estratégicas inteligentes, incentivos e fomentos por parte do governo; reunir empresários e gestores da indústria com visão, arrojo e postura proativa; dispor de desenvolvimento tecnológico e formação de profissionais altamente qualificados por parte das instituições acadêmicas e de pesquisa, preferencialmente, em grande proximidade com a indústria (FIRJAN, 2016).




É neste sentido, que a CNI (2016) faz menção aos principais desafios para que o país consiga, de fato, alcançar a quarta revolução industrial, sendo estes desafios:

- A integração digital das empresas, ao longo das cadeias produtivas, através de novas tecnologias de *hardware* e *software* com infraestrutura adaptada à *Internet*;
- Mecanismos para difundir, facilitar e induzir a adoção de novas tecnologias da Indústria 4.0, por empresas brasileiras com soluções e personalizações nacionais, incluindo a formação de um novo tipo de profissional com competência em eletrônica, processos automatizados e integração em rede;
- Regulamentação e apoio através de políticas industriais e iniciativas públicas e privadas para a divulgação e implementação de novas tecnologias.

Já em relação ao Brasil, e considerando o nosso atraso tecnológico, temos a oportunidade de pular algumas etapas e migrarmos direto para a Indústria 4.0. Contudo, os riscos são enormes. Primeiramente, precisamos capacitar a nossa mão de obra e habilitá-la a atender às demandas dessa nova indústria. Ademais, necessitamos criar novos mecanismos regulatórios para que essa indústria possa se desenvolver. No entanto, dado o novo arranjo econômico em que "*winner takes all* (o vencedor leva tudo)", corremos um sério risco de termos a nossa indústria ainda mais deteriorada, uma vez que empresas estrangeiras inseridas nessa cadeia global de suprimentos serão mais competitivas e terão maior possibilidade de conquistar mercados hoje protegidos por governos locais (FERREIRA, 2017).



4.4.4 Desafio a serem enfrentados pela comunidade acadêmica brasileira

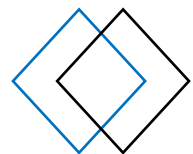


Segundo abordagens contributivas de autores, como Silva (2015), o Brasil para situar-se entre os países que fazem da Indústria 4.0 um dos vetores do processo de desenvolvimento, precisará priorizar políticas públicas para o desenvolvimento industrial e tecnológico. Sendo assim, o investimento em educação profissional ao lado das políticas públicas para o desenvolvimento da ciência e tecnologia configura-se como importante fator estruturante para o Brasil, pois considera-se que as demandas da Indústria 4.0, nos países que a aplicam, passam pela oferta de profissionais com competências técnicas e socioemocionais para atuarem nos diversos níveis hierárquicos das empresas, desempenhando funções num cenário de indústrias automatizadas, em que as máquinas obsoletas dão lugar a equipamentos complexos, o que por certo exigem conhecimentos técnicos atualizados e multidisciplinares, informática, matemática, tecnologia da informação e robótica (SILVA, 2015).

Para tanto, será preciso superar os problemas que impactam a qualificação de mão de obra no país e, dentre estes problemas, é válido destacar a má qualidade da educação brasileira e as limitações históricas do ensino técnico, combinados com o aquecimento da economia brasileira nos últimos anos, que levou a uma queda progressiva das taxas de desemprego, parecem justificar uma preocupação generalizada na sociedade brasileira a respeito de um suposto 'apagão de mão de obra'. Há outro aspecto que atrapalha a educação profissional. Para ser mais efetiva, esta deve estar associada a uma experiência prática no setor produtivo que proporcione à pessoa uma vivência com o mundo real do trabalho, e permita adquirir a experiência que é tão valorizada pelos empregadores (SCHWARTZMAN; CHRISTOPHE, 2009).

Diante de tal abordagem, e levando em consideração o pensamento de Arbix, 2017, faz-se saber que, em países como o Brasil, que estão distantes das fronteiras do conhecimento e carentes de tecnologia, é fundamental a manutenção de um fluxo constante de investimento em P&D, como forma de contrabalancear a menor participação do investimento privado.

Portanto, investir em pesquisa e desenvolvimento é o caminho para alcançar o patamar da Indústria 4.0. Os investimentos são necessários, porém, é preciso um estudo, um planejamento a longo prazo, com metas reais e ações incisivas sobre os problemas com foco nas oportunidades de melhorias. Logo, para se pensar num Brasil apto a promover a Indústria 4.0 e dela fazer um bom uso para o processo de desenvolvimento econômico e social, por certo será necessário investir também na educação de nível médio técnico e superior de qualidade, com atenção priorizada para a melhoria da infraestrutura dos programas de pós-graduação, mestrado, doutorado, enfim. Assim, faz-se valer toda essa assertiva de olhar análise e contextualização do processo de desenvolvimento econômico, no tocante à Indústria 4.0 e o caminho a percorrer.



4.5 Benesses econômicas e sociais oferecidas pelo advento da Indústria 4.0



A seguir, serão apresentados exemplos de benefícios entregues às sociedades, tanto nas esferas econômicas quanto nas sociais, como resultado ou consequência da implantação dos conceitos característicos ou próprios da Indústria 4.0. Inclusive serão apresentados relatos de casos reais relacionados a tais benesses.

De acordo com a literatura, o maior de todos os impactos produzidos pela Indústria 4.0 é a mudança que a mesma irá impor em todo o contexto econômico e social, e não apenas nos processos de produções industriais ou em ambientes fabris. Essas mudanças consistem, por exemplo, em novos modelos de negócios e um mercado cada vez mais exigente. É o que ressalta Silveira (2017), ao defender que devido ao fator de rapidez da automação os produtos podem ser customizados, e esse fator tende a ser uma variável a mais no processo de manufatura, mas as fábricas inteligentes serão capazes de levar a personalização de cada cliente em consideração, se adaptando às suas preferências.





Ainda segundo Silveira (2017), um setor que tende a sofrer o impacto da Indústria 4.0 será o departamento dos campos de pesquisa e desenvolvimento de segurança da Tecnologia da Informação (TI), o setor de confiabilidade do produto e a interação máquina-máquina.




Para Collabo (2016), a indústria 4.0 está causando uma grande e contínua transformação, não só nos processos, mas também, nos relacionamentos e nos hábitos de consumo da sociedade moderna. A transformação está sendo tão grande que é denominada de quarta revolução industrial. A novidade acerca da Indústria 4.0 se diz respeito à conectividade. Assim, todos os departamentos da fábrica estarão digitalizados e ligados, máquinas e seres humanos, através de sistemas ciber-físicos, que conectam as informações de um dispositivo para o outro.







Partindo do fato de que a fase da terceira revolução industrial foi caracterizada pelo procedimento de digitalização, pode-se dizer que na quarta revolução industrial chega a automação dos processos de produção. A partir disso, as máquinas são capazes de atuar independente ou em conjunto com o ser humano, não só coletando os dados e analisando-os, mas também, orientando-os e utilizando. Para isso, a auto otimização, auto cognição e a auto personalização na indústria trarão a possibilidade da comunicação direta com os computadores e não só a operação deles. O pensamento da Indústria 4.0 é a criação de uma rede social, na qual as máquinas se auto comunicam, permitidas pela internet das coisas, facilitando a união entre o mundo virtual e o mundo real e assim, fazendo com que as máquinas analisem e tomem decisões, de forma previamente programada, de acordo com a coleta de dados (NGI, 2017).



Segundo a Femec (2016), as indústrias estão cada vez mais automatizadas, os robôs estão aparecendo e exercendo atividades, as máquinas estão se autocomunicando. O pensamento da Indústria 4.0 é interligar as máquinas, sistemas e profissionais ao processo de produção, visando otimizar e qualificar continuamente a produtividade e todos fatores que a interferem, tornando-a cada vez mais eficiente.



No que se diz respeito ao consumidor, pode-se dizer que o impacto tecnológico mais importante e benéfico é a questão dos produtos personalizados. As indústrias irão poder disponibilizar produtos personalizados para seus clientes em igual velocidade de produção, em série, onde os produtos são produzidos hoje, já que as máquinas poderão receber diretamente os desejos dos clientes e a partir disso atendê-los (COLLABO, 2016).



Ainda segundo a CNI (2016), um importante impacto benéfico está relacionado ao aumento de produtividade das indústrias, mas as transformações extrapolam esse ponto. Flexibilidade dos sistemas de produção, personalização em massa, ganho de eficiência na utilização de recursos e aumento da capacidade das indústrias na integração das cadeias de valor, também são pontos a se destacar.

A futuristic robot with a white and yellow body, wearing a yellow hard hat, is shown in profile. It is holding a transparent tablet with both hands. The robot's head is partially open, revealing internal mechanical components. The background is a light blue gradient.

5 CONCLUSÃO

Com base nas informações compiladas durante a realização destes estudos pôde-se verificar a importância de discutir e pesquisar sobre a Indústria 4.0: a era da manufatura inteligente e suas consequências econômicas e sociais; quando se sabe que para entender e se atualizar sobre essa realidade que se apresenta diante do mundo moderno como uma tendência em estado de crescimento e evolução, muito se tem a percorrer segundo a fundamentação teórica de grandes pesquisadores.

Diante de tal assertiva, percebe-se que, dessa forma, os futuros profissionais serão parte inerente da implementação e do processo de execução dos conceitos da Indústria 4.0, sendo que, o contato com esse tema e com as mudanças relacionadas a ele nos sistemas industriais devem ser, preferencialmente, prévios, de forma a se promover o entendimento necessário sobre os diferentes tipos de tecnologias que, em sua maioria, são inéditas na história dos ambientes de produção industrial.

Portanto, para que o trabalho se efetive, de forma a alcançar as vantagens e os avanços necessários, se faz necessária a ocorrência de algumas etapas ou momentos, a exemplo de: Parte operacional - que consiste em elementos que fazem com que a máquina se mova conforme especificada ou execute uma tarefa desejada, sendo assim, a parte que atua diretamente no processo; Parte de controle - que é responsável pela programação e planejamento das ações; Processo de execução e avaliação dos projetos. Tudo isso nos leva à compreensão de que nada é estabelecido como permanente ou definitivo dentro do contexto da Indústria 4.0, mas se faz necessário um processo generalizado de atualização contínua.

Por fim, ficou constatado que as incontáveis vertentes existentes ou possíveis de tecnologias habilitadoras da Indústria 4.0 não são aplicáveis a todos os segmentos de natureza fabril. Embora todas estas tecnologias apontem para a mesma direção, isto é, para a elevação da eficiência produtiva a níveis nunca antes atingido, cabe a cada segmento industrial se autoavaliar e, a partir disto, definir quais destas tecnologias emergentes se aplicam ao que se deseja alcançar em cada caso.



AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Cariri, à Pró Reitoria de Pesquisa e Inovação e ao CNPq pelo suporte financeiro destinado em favor do desenvolvimento deste trabalho.

A black and white profile of a woman's head is shown, facing right. Overlaid on her face and neck is a complex, glowing white neural network. The network consists of numerous small white dots connected by thin white lines, forming a dense web that covers the entire head and extends down the neck. The background is dark, making the glowing network stand out prominently.

REFERÊNCIAS

ABDI: **Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial**; Ministério da Indústria, Comércio e Serviços; Governo Federal. Indústria 4.0. 2018. Disponível em: <http://www.industria40.gov.br/>. Acesso em: 03 nov. 2021.

AHMED, I., Jeon, G.; PICCIALI, F. From Artificial Intelligence to Explainable Artificial Intelligence in Industry 4.0: A Survey on What, How, and Where. **IEEE Transactions on Industrial Informatics**, v. 18, n. 8, p. 5031-5042, 2022.

ALMEIDA, P. R. O Brasil e a nanotecnologia: rumo à quarta revolução industrial. 2005. **Espaço Acadêmico**, Maringá, a. VI, n. 52, set. 2005.

ANTONIO, D. S. *et al.* A Indústria 4.0 e seus Impactos na Sociedade. **Pesquisa e Ação**, [S. l.], v. 4, n. 3, nov. 2018.

ANDREONI, A. **Varieties of industrial policy**: models, packages and transformation cycles. Columbia university press, 2016.

ARBIX, G. *et al.* O Brasil e a nova onda de manufatura avançada: o que aprender com Alemanha, China e Estados Unidos. **Novos estud.** CEBRAP, São Paulo, v. 36, n. 3, p. 29-49, nov. 2017. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/nec/a/KvxYtQ5LFs3KZ6NJ8cFTJMq/abstract/?lang=pt> . Acesso em: 08 abr. 2022.

ATZORI, Luigi; IERA, Antonio; MORABITO, Giacomo. The Internet of Things: A survey, **Computer Networks**, v. 54, n. 15, p. 2787–2805, Oct. 2010.

BAUER, W.; SCHLUND, S.; MARRENBACH, D.; GANSCHAR, O. (BITKOM). **Industrie 4.0–volkswirtschaftliches potenzial**. Berlin, 2014.

BOETTCHER, M. **Revolução Industrial - Um pouco de história da Indústria 1.0 até a Indústria 4.0**. LinkedIn. 26 nov. 2015. Disponível em: <https://pt.linkedin.com/pulse/revolu%C3%A7%C3%A3o-industrial-um-pouco-dehist%C3%B3ria-da-10-at%C3%A9-boettcher>. Acesso em: 12 set. 2021.

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, nov. 2014.

CARA, Marcelo Henrique Martins. **Quarta revolução industrial**: um estudo bibliográfico da indústria 4.0 e suas tecnologias inseridas. 2019. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenheiro de Produção) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia, Juiz de Fora, 2019.

CAVALCANTE, Z. V.; SILVA, M. L. S. da. A importância da Revolução Industrial no mundo da Tecnologia. *In*: ENCONTRO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO CIENTÍFICA, 7., 2011, Maringá. **Anais [...]**. Maringá: [s. n.], 2011. Disponível em: https://www.unicesumar.edu.br/epcc-2011/wp-content/uploads/sites/86/2016/07/zedequias_vieira_cavalcante2.pdf. Acesso em: 27 set. 2021.

CIRIACO, Douglas. **O que é Inteligência Artificial**, 2008. Disponível em: <https://www.tecmundo.com.br/intel/1039-o-que-e-inteligencia-artificial-.htm>. Acesso em: 03 nov. 2021.

CNI: Confederação Nacional da Indústria. **Desafios para a Indústria 4.0 no Brasil**. Brasília, 2016. Disponível em: <ftp://200.17.71.9/Public/IndustriaQuatroPontoZero/Desafios%20para%20Industria%204%200%20no%20Brasil.pdf>. Acesso em: 06 nov. 2021.

CNI - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **A Indústria 4.0 e a pandemia**. Brasília: CNI, 2020. Disponível em: https://static.portaldaindustria.com.br/portaldaindustria/noticias/media/filer_public/de/cc/dec_c6afa-ae64-4160-9b3c-87d7dcd4b3d6/a_industria_40_e_a_pandemia.pdf. Acesso em: 08 abr. 2022.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Desafios para a indústria 4.0 no Brasil**. Brasília: CNI, 2016. Disponível em: <http://www.portaldaindustria.com.br/publicacoes/2016/8/desafios-para-industria-40-no-brasil/>. Acesso em: 08 abr. 2022.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Desafios para a indústria 4.0 no Brasil / Confederação Nacional da Indústria**. Brasília: CNI, 2016.

COELHO, Pedro Miguel Nogueira. **Rumo à Indústria 4.0**. Coimbra, 2016.

COLLABO. **A Indústria 4.0 e a revolução digital**: Entenda o que está por vir e quais serão os impactos para empresas e profissionais. Joinville, 2016. Disponível em: <ftp://200.17.71.9/Public/IndustriaQuatroPontoZero/ebook-a-industria-4.0-e-a-revolucao-digital.pdf>. Acesso em: 06 nov. 2021.

CHUNG, Sunyang; CHUNG, Jiyeon. A abordagem coreana para a Indústria 4.0: a 4a Revolução Industrial de perspectivas regionais, **Estudos de Planejamento Europeu**, [S. l.], v. 29, n. 9, p. 1690-1707, 2021. DOI: 10.1080/09654313.2021.1959645.

CUOGO, F. **O papel das tecnologias da informação e comunicação na educação corporativa**. Dissertação (Mestrado em Educação) – Centro Universitário La Salle, Canoas, 2014.

DAUDT, Gabriel; WILLCOX, Luiz Daniel. **Reflexões críticas a partir das experiências dos Estados Unidos e da Alemanha em manufatura avançada**. 2016.

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

DAVENPORT, T. H.; KUDYBA, S. Designing and Developing Analytics-Based DataProducts. **Mit mitsloan management review**, Massachusets, v. Special Collection, p. 6-11, 2017.

DELOITTE. A. **Industry 4.0 Challenges and solutions for the digital transformation and use of exponential technologies**. 2017. Disponível em: <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ch/Documents/manufacturing/ch-en-manufacturing-industry-4-0-24102014.pdf>. Acesso em: 09 nov. 2021.

DEVELOPMENTS OF ENTERPRISE IN GLOBALIZATION ERA, 2017, Nitra. **Proceedings...** Nitra: Slovak University of Agriculture in Nitra, 2017. p. 761-767.

ERBOZ, G. How to define industry 4.0: the main pillars of industry 4.0. *In*: INTERNATIONAL SCIENTIFIS CONFERENCE MANAGERIAL TRNDES IN THE LORENZ, M. *et al.* **Man and Machine in Industry 4.0**: How will technologytransform the industry workforce Through 2025? Boston Consulting Group. Boston, p. 1-23. 2017.

ESS. Engineering Simulation and Scientific Software EMPRESA 2017. **Os pilares da indústria 4.0**. Disponível em: www.esss.co/blog/os-pilares-da-industria-4-0. Acesso em: 11 nov. 2021.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. **Indústria 4.0**. Rio de Janeiro: FIRJAN, 2016. 20 p. Disponível em: <http://www.firjan.com.br/publicacoes/publicacoes-de-inovacao/industria-4-0.htm>. Acesso em: 08 abr. 2022.

FEIMEC: Feira Internacional de Máquinas e Equipamentos. **Manufatura Avançada**: Tudo que você precisa saber sobre a 4a Revolução Industrial e os desafios a serem enfrentados para sua implementação no Brasil. 2016. Disponível em: <ftp://200.17.71.9/Public/IndustriaQuatroPontoZero/e-book-manufatura-avan%EA7ada.pdf>. Acesso em: 29 out. 2021.

FERREIRA, Pedro Guilherme. **A oportunidade da Indústria 4.0 para o Brasil**. Blog do IBRE – Fundação Getúlio Vargas, 2017. Disponível em: <http://blogdoibre.fgv.br/posts/oportunidade-da-industria-4-0-para-o-brasil>. Acesso em: 08 abr. 2022.

FIRJAN - FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO. **Indústria 4.0**: internet das coisas. Rio de Janeiro: Cadernos SENAI de inovação, 2016. Disponível em: https://www.firjan.com.br/lumis/portal/file/fileDownload.jsp?fileId=2C908A8A555B47FF0_1557E033FAC372E&inline=1. Acesso em: 08 abr. 2022.

FISPAL, Tecnologia. **Indústria instala IoT em fábrica e reduz gastos elevados de produção**. 2017. Disponível em: <https://digital.fispaltecnologia.com.br/gigante-do-ramo-alimenticio-instala-iot-em-fabrica-de-salsicha-e-reduz-gastos-elevados-de-producao/>. Acesso em: 28 out. 2021.

GEISSBAUER, R.; VEDSO, J.; SCHRAUF, S. **Indústria 4.0**: Construindo a empresa digital. PwC. 2016. Disponível em: <https://www.pwc.com/gx/en/industries/industries-4.0/landing-page/industry-4.0-building-your-digital-enterprise-april-2016.pdf>. Acesso em: 25 out. 2021.

GIORDANO, Caio Mezzeti; ZANCUL, Eduardo de Senzi; RODRIGUES, Vinícius Picanço. **Análise dos custos da produção por manufatura aditiva em comparação a métodos convencionais**. Florianópolis, 2016. Disponível em: <https://producaoonline.org.br/rpo/article/view/1963>. Acesso em: 25 out. 2021.

HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review. **Working Paper**, n. 01, 2015.

HOFFMANN, H. **Technische Graswurzelrevolution**. Frankfurter Allgemeine Zeitung, Verlagsspezial. Alemanha, 2017.

IBARRA, D., GANZARAIN, J.; IGARTUA, JI. "Inovação do modelo de negócios através da indústria 4.0: Uma revisão ", Procedia Fabricação, Completo. 22, p. 4-10, 2018.

IEDI. **Estratégias Nacionais Para a indústria 4.0**. [S. l.: s. n.]. Disponível em: http://www.iedi.org.br/artigos/top/estudos_industria/20180705_estrategias_nacionais_par_a_a_industria_4_0.html. Acesso em: 16 maio 2020.

INDUSTRIAL. **Desaceleração da exportação industrial de maior intensidade tecnológica**, 2021. Disponível em: https://iedi.org.br/artigos/top/estudos_industria/20211029_balcom_2021T3.html. Acesso em: 08 abr. 2022.

JAVOID, M.; HALEEM, A.; SINGH, R. P.; RAB, S.; SUMAN. R. Exploring impact and features of machine vision for progressive industry 4.0 culture. **Sensors International**, v. 3, p. 1-11, 2022.

KAGERMANN, H.; WAHLSTER, W.; HELBIG, J. **Recommendations for implementing the strategic initiative industrie 4.0**: final report of the industrie 4.0. Frankfurt, Alemanha, 2013.

KAGERMANN, H. Chancen von industrie 4.0 nutzen. *In*: Bauernhansl T.; ten Hompel M.; Vogel-Heuser B. (Eds). **Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik**. Wiesbaden, Alemanha: Springer Vieweg, 2014. p. 603-614.

KAGERMANN, H *et al.* **Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie**. 2013.

KHAN, A.; TUROWSKI, K. A survey of current challenges in manufacturing industry and preparation for industry 4.0. *In*: INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE "INTELLIGENT INFORMATION TECHNOLOGIES FOR INDUSTRY (IITI'16)", 1., 2016, [S. l.]. **Anais** [...]. [S. l.]: [s. n.], 2016.

KIEL, D.; MÜLLER, J.; ARNOLD, C.; VOIGT, KI. 'Criação de valor industrial sustentável: benefícios e desafios da indústria 4.0', **International Journal of Innovation Management**, v. 21, n. 08, 2017.

KLAUS; SCHWAB. **Começou a 4ª revolução industrial**, 2017. Disponível em: <http://www.revistahsm.com.br/inovacao/comecou-4a-revolucao-industrial/>. Acesso em: 20 jun. 2021.

LEE, E. A. (2008). **Cyber Physical Systems: Design Challenges**. 1th IEEE Symposium on Object Oriented Real-Time Distributed Computing (ISORC), p. 363-369.

LI, L. China's manufacturing locus in 2025: With a comparison of "Made-in-China 2025" and "Industry 4.0". **Technological Forecasting and Social Change**, n. May, p. 0-1, 2017.

LI, M.; LI, M.; DING, H.; LING, S.; HUANG, G. Q. Graduation-inspired synchronization for industry 4.0 planning, scheduling, and execution. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 64, p. 94-106, 2022.

LI, Y. **Direction of Chinese Global Investments: Implications for Brazil**. p. 357, 2017.

LINS, L. M. O Brasil e a nova onda de manufatura avançada: O que aprender com Alemanha, China e Estados Unidos. **Novos estud.** CEBRAP, São Paulo, v. 36, n. 3, nov. 2017. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010133002017000300029&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 08 abr. 2022.

LORENZ, M. *et al.* **Time to Accelerate in the Race Toward Industry 4.0**. The Boston Consulting Group, Inc. Boston, p. 15. 2016.

LORENZ, M., KUPPER, D., RUBMANN, M., HEIDEMANN, A.; BAUSE, A. **Hora de acelerar na corrida em direção à indústria 4.0**. BCG. 2016. <https://www.bcg.com/en-in/publications/2016/lean-manufacturing-operations-time-accelerate-race-toward-industry-4.aspx>.

MARSON, M. D. A industrialização brasileira antes de 1930: uma contribuição sobre a evolução da indústria de máquinas e equipamentos no estado de São Paulo, 1900-1920. **SciELO**, São Paulo, out./dez. 2014. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-41612015000400753. Acesso em: 01 out. 2021.

MELO, Clayton. **O lado obscuro da Inteligência Artificial**. 2017. Disponível em: <https://www.istoedinheiro.com.br/o-lado-obscuro-da-inteligencia-artificial/>. Acesso em: 25 out. 2021.

MÓDOLO, D. B.; HIRATUKA, C. The impact of Chinese competition on third markets: An analysis by region and technological category. **Development Policy Review**, v. 35, n. 6, p. 797–821, 2017.

MÜLLER, JM, Kiel, D., & Voigt, K.-I. O que impulsiona a implementação da Indústria 4.0? O papel das oportunidades e desafios no contexto da sustentabilidade. **Sustentabilidade**, [S. l.], v. 10, n. 1, 2018. Disponível: <https://doi.org/10.3390/su10010247>. Acesso em: 25 out. 2021.

NAGY, J., Oláh, J., Erdei, E., Máté, D., & Popp, J. 'The Role and Impact of Industry 4.0 and the Internet of Things on the Business Strategy of the Value Chain -O Caso da Hungria,' **Sustainability**, v. 10, n. 10, p. 34-91, 2018.

NGI: NG Informática. **O que é a Indústria 4.0 e qual o seu impacto na manutenção de ativos**. 2017. Disponível em: <http://www.ngi.com.br/novidades/industria-4/>. Acesso em: 15 out. 2021.

NIMAWAT, D.; Gidwani, B. D. An overview of Industry 4.0 in manufacturing industries. **International Journal of Industrial and Systems Engineering**, v. 40, n. 4, p. 1-13, 2022.

NUNES, F. de L. **Sistema Hyundai de Produção**: suas dimensões técnicas e tecnológicas. *In*: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA E INDUSTRIAL, 15., 2016, Goiânia. **Anais [...]**. Goiânia: CONEMI, 2016. ISSN: 2446-9734.

OCDE. **The Next Production Revolution**: Implications for Governments and Business. OCDE Publishing: Paris, 2017. p. 1-442. ISBN: 978-92-64-27103-6.

OLIVEIRA, Fernanda Thaís de; SIMÕES, Wagner Lourenzi. **A indústria 4.0 e a produção no contexto dos estudantes da engenharia**. Goiás, 2017. Disponível em: https://sienpro.catalao.ufg.br/up/1012/o/Fernanda_Tha%C3%ADs_de_Oliveira.pdf. Acesso em: 15 out. 2021.

PLACERES, C. **Manufatura Avançada**: A era das fábricas inteligentes. analytics based on larges data sets has emerged only recently in manufacturing wolrd, Where it optimizes production quality, saves energy, and improves equipment service, Piracicaba, 6 Out. 2016. p. 122-142.

PORTER, M.; HEPPELMANN, J. 'Como os produtos inteligentes e conectados estão transformando a concorrência', **Harvard Business Review**, [S. l.], v. 92, n. 11, p. 64-88, 2014.

PFEIFER, Marcel Rolf. PMEs na transição falhada para a indústria 4.0: um estudo de caso de uma PME tcheca, **Journal of Innovation & Business Best Practice**, 2021, Artigo ID 707843. DOI: 10.5171/2021.707843.

REVISTA MUNDOLOGÍSTICA. **Tudo o Que Você Precisa Saber Sobre Logística 4.0**. Ed. 58, Mai, 2017.

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

RUBMANN, M. *et al.* **Industry 4.0**: the future of productivity and growth in manufacturing industries. Boston: Boston Consulting, 2015.

HARNISCH, M. **Industry 4.0**: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries. The Boston Consulting Group: BCG, 2015.

SAKURAI, R.; ZUCHI, J. D. As Revoluções Industriais até a Industria 4.0. **Revista Interface Tecnológica**, [S. l.], v. 15, n. 2, p. 480-491, 2018. DOI: 10.31510/infa.v15i2.386. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/index.php/interfacetecnologica/article/view/386>. Acesso em: 15 out. 2021.

SANTOS, Marcos; MANHÃES, Aline Martins; LIMA, Angélica Rodrigues. **Indústria 4.0**: Desafios e oportunidades para o Brasil. Sergipe, 2018. Disponível em: https://www.monografias.ufs.br/bitstream/riufs/10423/2/Industria_4_0.pdf. Acesso em: 18 out. 2021.

SCHWAB, Klaus; DAVIS, Nicholas. **Aplicando a quarta revolução industrial**. Tradução de Daniel Moreira Miranda. São Paulo: Edipro, 2018.

SCHWAB, Klaus. Tradução Daniel Moreira Miranda. **A quarta revolução industrial**. São Paulo, 2016.

SCHWARTZMAN, S. & Christophe, M. (2009). **A Educação em Ciências no Brasil**. Rio de Janeiro: Instituto de Estudos do Trabalho e Sociedade.

SILVA, J. C. da. (2015). Fábrica POLI: Concepção de uma fábrica de ensino no contexto da Indústria 4.0. **Trabalho de Conclusão de Curso**, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil. Recuperado em 10 fevereiro, 2019. Disponível em: <http://pro.poli.usp.br/trabalho-de-formatura/fabrica-poli-concepcao-de-uma-fabrica-de-ensino-no-contexto-da-industria-4-0/>. Acesso em: 08 abr. 2022.

SILVA, M. C. A. da.; GASPARIN, J. L. **A Segunda Revolução Industrial e suas influências sobre a Educação Escolar Brasileira**. 2015. Disponível em: http://www.histedbr.fe.unicamp.br/acer_histedbr/seminario/seminario7/TRABALHOS/Marcia%20CA%20Silva%20e%20%20Joao%20L%20Gasparin2.pdf. Acesso em: 05 out. 2021.

SILVA, D. B. da. *et al.* O Reflexo da Terceira Revolução Industrial na Sociedade. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 22., 2012, Curitiba. **Anais** [...]. Curitiba: [s. n.], 2012.

SILVA, Dorotéa Bueno da; SILVA, Ricardo Moreira da; GOMES, Maria de Lourdes Barreto. O reflexo da terceira revolução industrial na sociedade. *In*: ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 22., 2002, Curitiba. **Anais** [...]. Curitiba: ENEGEP, 2002. p. 1-8. Disponível em: https://abepro.org.br/biblioteca/enegep2002_tr82_0267.pdf. Acesso em: 08 out. 2021.

SILVA, J. C. **Fábrica POLI**: Concepção de fábrica de ensino no contexto Indústria 4.0. São Paulo: Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2015.

Silva, R.; Canciglieri Junior, O.; Rudek, M. A road map for planning-deploying machine vision artifacts in the context of industry 4.0. **Journal of Industrial and Production Engineering**, v. 39, n. 3, p. 167-180, 2021.

SILVEIRA, C. B. **O que é a Indústria 4.0 e como ela vai impactar o mundo**. Citisystems. 2017. Disponível em: <https://www.citisystems.com.br/industria-4-0/>. Acesso em: 09 nov. 2021.

SINGER, P. Desemprego e exclusão social. **São Paulo em perspectiva**, São Paulo, v. 10, p. 1, 1996.

SOMMER, L. (2015), “Revolução industrial-indústria 4.0”: as PMEs de manufatura alemãs são as primeiras vítimas desta revolução?”, **Revista de Engenharia e Gestão Industrial**, Completo. 8, p. 1512-1532.

SLIVKOVA, S.; Brumarova, L.; Kluckova, B.; Pokorny, J.; Tomanova, K. Segurança das Construções do Ponto de Vista da População Proteção no Contexto da Indústria 4.0 na República Tcheca. **Sustentabilidade**, [S. l.], v. 13, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su13179927>. Acesso em: 09 nov. 2021.

SILVEIRA, C. B. **O que é a Indústria 4.0 e como ela vai impactar o mundo**. Citisystems. 2017.

SPRICIGO, Bruno. **Resumo sobre Indústria 4.0**: entenda rapidamente os conceitos e benefícios. Disponível em: <https://pollux.com.br/blog/resumo-sobre-industria-4-0-entenda-rapidamente-os-conceitos-e-beneficios/>. Acesso em: 11 nov. 2021.

THE BOSTON CONSULTING GROUP (BCG). **Industry 4.0**: the future of productivity and growth in manufacturing industries. Alemanha, 2015.

VIALLI, A. **Brave new world 4.0**. Disponível em: <http://www.mundocorporativo.deloitte.com.br/en/brave-new-world-4-0/>. Acesso em: 08 abr. 2022.

Varshney, A.; Garg, N.; Nagla, K. S.; Nair, T. S.; Jaiswal, S. K.; Yadav, S.; Aswal, D. K. Challenges in Sensors Technology for Industry 4.0 for Futuristic Metrological Applications. **MAPAN-Journal of Metrology Society of India**, v. 36, n. 2, p. 215–226, 2021.

VOLPATO, Neri; COSTA, Carlos Alberto. **Competências e recursos da rede de manufatura aditiva (RMA) no Brasil**. Penedo, 2013. Disponível em: <http://www.swge.inf.br/siteCOBEF2013/anais/PDFS/COBEF2013-0287.PDF>. Acesso em: 18 out. 2021.

WESLEY, Pereira. Gerlane Pereira. CAMPOS, Paola. INDÚSTRIA 4.0: Um novo conceito de gerenciamento nas indústrias. **Revista Científica Semana Acadêmica**, Fortaleza, ano MMXVIII, n. 000140, nov. 2018. Disponível em: <https://semanaacademica.org.br/artigo/industria-40-um-novo-conceito-de-gerenciamento-nas-industrias>. Acesso em: 10 nov. 2021.

ZAWADZKI, Przemysław; ŻYWICKI, Krzysztof. Smart Product Design and Production Control for Effective Mass Customization in the Industry 4.0 Concept. **Management and Production Engineering Review**, v. 7, n. 3, Set. 2016.