

Industry 4.0 in Brazil: challenges, opportunities and expectations

Indústria 4.0 no Brasil: desafios, oportunidades e expectativas

Abstract

The industry is currently experiencing its fourth revolution, also called Industry 4.0, which introduced the digitalization of the production chain of technologies such as *Cyber Physical Systems* (CPS), *Internet of Things* (IoT) e *Big Data Analytics*. This article aims to present the concept of Industry 4.0 and its components, show the digitization stage of the Brazilian industry, as well as highlight the main challenges, opportunities and expectations that arise with this digitalization. For this, a literature review was carried out based on books, scientific articles, dissertations, journalistic materials and documents from public and private institutions. The results demonstrate that the implementation of the Industry 4.0 concept in Brazil is facing several challenges and also brings great opportunities and expectations. Concluded, although it is prepared for this revolution, Brazil still has time to move forward on an agenda that it should not put on track 4.0. For that, it is necessary that the country be pressured, adopting industrial strategies, with emphasis on science, technology and innovation.

Keywords: Digitization of the industry. Internet of things. Industry 4.0. Smart factories.

Resumo

A indústria vivencia atualmente sua quarta revolução, também chamada de Indústria 4.0, que se caracteriza pela digitalização da cadeia produtiva através de tecnologias como *Cyber Physical Systems* (CPS), *Internet of Things* (IoT) e *Big Data Analytics*. O presente artigo tem por objetivo apresentar o conceito de Indústria 4.0 e seus componentes, mostrar o estágio da digitalização da indústria brasileira, bem como evidenciar os principais desafios, oportunidades e expectativas que surgem com esta digitalização. Para isso, foi realizada uma revisão de literatura baseada em livros, artigos científicos, dissertações, matérias jornalísticas e documentos de instituições públicas e privadas. Os resultados demonstram que a implantação do conceito de Indústria 4.0 no Brasil passa por diversos desafios, e traz também grandes oportunidades e expectativas. Concluiu-se que, ainda que esteja mal preparado para esta revolução, o Brasil ainda tem tempo para avançar em uma agenda que o coloque no caminho 4.0. Para isso, é preciso que o País se apresse, adotando estratégias industriais, com ênfase em ciência, tecnologia e inovação.

Palavras-chave: Digitalização da indústria. Internet das coisas. Indústria 4.0. Fábricas inteligentes.

1. INTRODUÇÃO

Desde a segunda metade do século XVIII, a indústria tem passado por uma série de revoluções que transformaram e otimizaram a forma de produzir (Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien [BITKOM], Verband Deutscher Maschinen - und Anlagenbau [VDMA] & Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie [ZVEI], 2016). Neste cenário, a indústria passa atualmente por sua quarta revolução, também chamada de Indústria 4.0, que se caracteriza pela digitalização da cadeia produtiva. Esse processo é feito por meio da aplicação de tecnologias que permitem a conexão entre máquinas e equipamentos, além da utilização de sensores, *hardwares* de controle e *softwares* (Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro (FIRJAN, 2019).

De acordo com a Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro (Firjan, 2016), países como Alemanha, Estados Unidos, China e Japão já incluíram em seus planejamentos industriais propostas de absorção da Indústria 4.0 e se destacam entre os países que mais têm investido para modernizar sua indústria. Em comparação a esses países, o estado da digitalização na indústria brasileira encontra-se em grande atraso. Conforme a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI, 2017), foi somente nos últimos 20 anos que o Brasil criou e desenvolveu uma estrutura relativamente forte de inovação e adquiriu maior maturidade e condições para desenvolver-se tecnologicamente.

Visto isso, a implantação da Indústria 4.0 no Brasil é permeada de desafios, tanto para a economia quanto para a indústria, que enfrentou dificuldades recentemente. Mas quais são esses desafios? Quais medidas estão sendo adotadas para superá-los? Que oportunidades e expectativas são alçadas para a indústria brasileira com o surgimento e implantação do conceito de Indústria 4.0? Nasce, com essas questões, a necessidade desta pesquisa, cujo objetivo é fornecer uma visão geral da Indústria 4.0, apresentando seu conceito e seus componentes, bem como mostrar o estágio da digitalização da indústria brasileira, evidenciando os principais desafios, oportunidades e expectativas que surgem para o País com a implementação das tecnologias digitais.

A metodologia empregada no presente trabalho foi a revisão de literatura, realizada em livros, artigos, teses, dissertações, matérias jornalísticas e documentos de instituições públicas e privadas. Inicialmente, apresenta-se a evolução da indústria ao longo do tempo, fazendo uma breve descrição de cada uma das quatro revoluções industriais. Em seguida é fornecida uma visão geral sobre a Indústria 4.0, apresentando alguns conceitos, seu histórico e componentes. Posteriormente, explica-se brevemente sobre a situação da Indústria 4.0 no mundo. Finalmente, discorre-se sobre o estágio da digitalização da indústria brasileira, mostrando as dificuldades e desafios da implantação da Indústria 4.0 no País, bem como as oportunidades e expectativas que surgem com a adoção da digitalização do processo produtivo.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1 As quatro revoluções industriais

Por ser de grande importância para o desenvolvimento econômico dos países, mudanças profundas no setor industrial são consideradas revoluções. Desde a segunda metade do século XVIII, a indústria tem passado por uma série de revoluções que transformaram e otimizaram a forma de produzir, o que proporcionou, dentre outros benefícios, o aumento da produtividade (BITKOM, VDMA, & ZVEI, 2016).

A primeira revolução industrial iniciou-se na segunda metade do século XVIII e se desenrolou aproximadamente entre 1760 e 1840. É caracterizada pela construção de ferrovias e transição da força braçal em trabalhos manuais para a energia mecânica, representada pelas máquinas a vapor. A economia, que era agrária, passa a ser liderada pela indústria (Schwab, 2016). Outra marca dessa revolução é a mecanização da indústria têxtil, um dos casos mais conhecidos. O início da tecelagem industrial é marcado pela construção do tear mecânico por Edmund Cartwright, em 1785 (Sacomano, Gonçalves, Bonilla, Silva, & Sátyro, 2018).

A segunda revolução industrial iniciou-se no final do século XIX e finalizou-se no século XX. Foi marcada pela eletrificação da fábrica e pela produção em massa da indústria a partir do advento da linha de montagem, onde eram criados produtos de consumo em massa (FIRJAN, 2016). O exemplo mais famoso é linha de montagem de Henry Ford, em 1913. Ford adaptou o sistema de divisão do trabalho criado por Frederick Taylor (Taylorismo), utilizando-o para substituir a produção artesanal de carros (Sacomano *et al.*, 2018).

A terceira revolução industrial se inicia em 1970 e existe até os dias atuais. É caracterizada pela informatização (computadores *mainframe*, computadores pessoais e a internet) e pela automatização de tarefas mecânicas e repetitivas, graças a chegada da tecnologia de informação e a aplicação de tecnologias eletrônicas no processo produtivo (ABDI, 2017; FIRJAN, 2016). Pode-se citar como exemplo destas tecnologias o *Material Requirements Planning* (MRP), *Manufacturing Resources Planning* (MRP II) e o *Enterprise Resources Planning* (ERP) (Sacomano *et al.*, 2018).

A quarta revolução industrial acontece atualmente e caracteriza-se por um conjunto de tecnologias ligadas à internet, como sensores, interconectividade e análise de dados, que permitem a combinação entre o mundo físico e o digital. A utilização dessas tecnologias proporciona uma maior flexibilidade no processo de produção, o que permite a produção de bens customizados e a criação de modelos operacionais inovadores (Almeida & Cagnin, 2019).

2.2 Histórico da Indústria 4.0

O conceito de Indústria 4.0 surge na Alemanha, país considerado pioneiro dessa nova revolução (Freitas, Fraga, & Souza, 2016). No início de 1970, o bloco econômico Tigres Asiáticos apresentou significativo desenvolvimento econômico, o que proporcionou que os países participantes do bloco aumentassem sua participação na indústria global. Enquanto isso, países desenvolvidos perdiam participação no setor industrial mundial, devido à perda de grande parte de sua capacidade industrial (FIRJAN, 2016).

Foi assim que, em 2010, com o objetivo de reconquistar sua participação no valor agregado da indústria global, o governo alemão cria um plano de ação denominado *High Tech Strategy 2020*. A estratégia se baseava no desenvolvimento de alta tecnologia, com o objetivo de aumentar a produtividade e a competitividade do setor industrial alemão. Dentre seus projetos, o plano de ação incluía a Indústria 4.0, cujo conceito é lançado oficialmente em 2011, durante a Feira de Hannover, sediada na Alemanha. Todos os ministérios do governo alemão participaram da iniciativa, que incluía também os principais atores do Sistema de Inovação e Tecnologia, bem como investimentos de aproximadamente 4 bilhões de euros por ano para o desenvolvimento das tecnologias de última geração (FIRJAN, 2016).

2.3 Conceito da Indústria 4.0

A Indústria 4.0 é também conhecida como a 4ª Revolução Industrial, pois, como toda revolução manufatureira, propõe transformações no processo produtivo, sejam elas no método de produção, no design do produto ou nos sistemas ligados à produção. Pode ser definida como a fusão entre a tecnologia digital, a internet e a indústria tradicional, pois nela, todos os componentes e atores da cadeia produtiva são conectados digitalmente através da internet. É importante ressaltar que esta revolução industrial é um acontecimento planejado, podendo ser investigada antes de ocorrer, ou enquanto está acontecendo, diferentemente das demais, que só puderam ser identificadas e estudadas (FIRJAN, 2016).

Segundo Schwab (2016, p. 19), a quarta revolução industrial é uma revolução digital, que se iniciou na virada do século e se caracteriza por “uma internet mais ubíqua e móvel, por sensores menores e mais poderosos que se tornaram mais baratos e pela inteligência artificial e aprendizagem automática (ou aprendizado de máquina)”.

Em uma publicação feita em 2019, a FIRJAN (2019, p. 30) define a Indústria 4.0 da seguinte forma:

Também conhecida como 4ª Revolução Industrial, Manufatura Avançada ou IIoT (Industrial Internet of Things), essa nova forma de produção define-se diante de um único conceito: a digitalização dos processos industriais, que permite a comunicação entre máquinas e inteligência, resultando em análises precisas e aumento da eficiência para toda a cadeia de produção e sustentabilidade do negócio. Sua estrutura é composta por tecnologias que envolvem a conexão entre maquinário, no chão de fábrica, e processos fabris, interligando-os a sensores, hardwares de controle e softwares (FIRJAN, 2019, p. 30).

Na Indústria 4.0, a utilização da Inteligência Artificial (IA) possibilita o surgimento de fábricas inteligentes. Nelas, a disponibilidade de informações em tempo real leva à criação dinâmica, organização e agilidade no processo produtivo; a cooperação entre sistemas físicos e virtuais de forma flexível possibilita a integral customização de produtos, o que permite satisfazer os desejos dos clientes sem se perder os benefícios da produção em grande escala (BITKOM, VDMA, & ZVEI, 2016; Schwab, 2016).

A Indústria 4.0 é fruto da criação e aperfeiçoamento de um conjunto de tecnologias de base digital (conectividade, virtualização, computação em nuvem e big data, automação inteligente, robótica, manufatura aditiva) e sua integração à indústria. A aplicação integrada dessas tecnologias cria soluções exclusivas de acordo com as necessidades de cada empresa. Dessa forma, através da implementação de tais tecnologias, as empresas resolvem problemas relacionados à produção e a otimizam, o que as torna mais competitivas (Almeida & Cagnin, 2019; Vermulm, 2018).

2.4 Componentes da Revolução 4.0

Inúmeras são as tecnologias que integram a Indústria 4.0. O conjunto dessas tecnologias pode variar de acordo com a compreensão de diferentes estudiosos. Um exemplo claro dessa variação, é a inclusão ou não das *smart factories* (fábricas inteligentes) dentro desse conjunto. Alguns autores as consideram como um dos pilares da quarta revolução, enquanto outro as descrevem como a própria Indústria 4.0.

Para Hermann, Pentek e Otto (2015), por exemplo, as *smart factories* são consideradas como componentes-chave da Indústria 4.0. Para eles, nas fábricas inteligentes ocorre a comunicação instantânea entre os produtos, máquinas e linhas de montagem, independente do ponto em que estejam. Os elementos da matriz produtiva trabalham de

forma associada e se monitoram. Já Sacomano *et al.* (2018) consideram as fábricas inteligentes não como um elemento à parte da Indústria 4.0, e sim como a Indústria 4.0 propriamente dita. Seguindo a mesma linha de raciocínio, para Coelho (2016), os termos “Indústria 4.0”, “*smart factory*”, “*intelligent factory*” e “*factory of the future*” se confundem. Segundo ele, as *smart factories* são fábricas que produzem bens inteligentes, utilizando equipamentos inteligentes, em cadeias de produção inteligentes.

Para facilitar o entendimento sobre o assunto, Sacomano *et al.* (2018, p. 33) propõem uma classificação dos elementos formadores da Indústria 4.0:

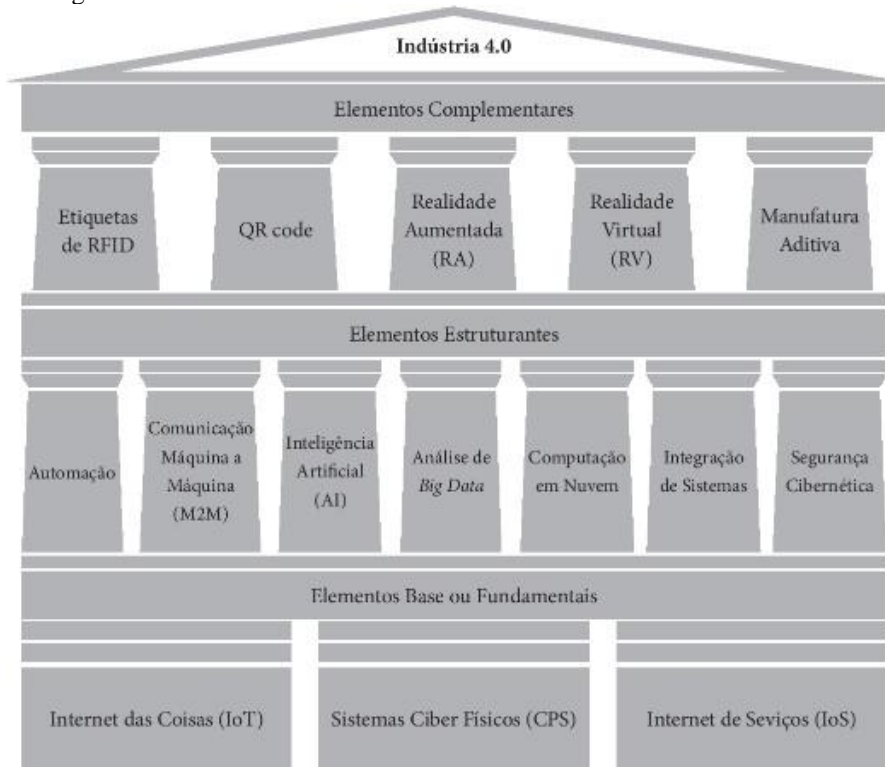
Elementos base ou fundamentais: representam a base tecnológica fundamental sobre a qual o próprio conceito de Indústria 4.0 se apoia e sem os quais não poderia existir.

Elementos estruturantes: são tecnologias e/ou conceitos que permitem a construção de aplicações da Indústria 4.0. consideramos nesta classificação que para que uma fábrica ou unidade de produção seja enquadrada no conceito de 4.0, pelo menos boa parte dos elementos estruturantes devem estar presentes.

Elementos complementares: são elementos que ampliam as possibilidades da Indústria 4.0 mas que não necessariamente tornam 4.0 as aplicações industriais que eventualmente as utilizem (Sacomano *et al.*, 2018, p. 33).

Ainda segundo Sacomano *et al.* (2018), os elementos base são os Sistemas Ciber Físicos (CPS), a Internet das Coisas (IoT) e a Internet dos Serviços (IoS). Os elementos estruturantes são a automação, a comunicação máquina a máquina (M2M), a Inteligência Artificial (IA), a análise de big data (*big data analytics*), a computação em nuvem, a integração de sistemas e a segurança cibernética. Já os elementos complementares são representados pelas etiquetas de RFID, pelo QR code, pela Realidade Aumentada (RA), pela Realidade Virtual (RV), pela manufatura aditiva entre muitos outros já existentes e os que surgem a cada dia. A classificação e seus exemplos são ilustrados na Figura 1 a seguir:

Figura 1 - Elementos formadores da Indústria 4.0. A “casa” da Indústria 4.0.



Fonte: Sacomano *et al.*, 2018

Considerando a diversidade de tecnologias formadoras da Indústria 4.0, não cabe aqui descrever todas elas, tendo em vista que isto estenderia desnecessariamente a pesquisa ao discorrer sobre um tópico que não é o foco principal dela. Isto posto, serão abordadas apenas as tecnologias que mais se destacaram nos estudos analisados, sendo elas: sistemas ciber físicos, internet das coisas, internet dos serviços, inteligência artificial e análise de *big data*. É importante destacar que, neste estudo, as *smart factories* não serão consideradas como componentes, visto que não são apresentadas como tal na maioria das pesquisas utilizadas como base para a revisão bibliográfica.

2.4.1 Sistemas Ciber Físicos (*Cyber Physical Systems - CPS*)

São sistemas de gerenciamento compostos por sensores e atuadores, comandados por uma unidade de controle, tecnologias de identificação e mecanismos de armazenamento e análise de dados (FIRJAN, 2016). Através dos sensores e atuadores, esses sistemas são capazes de identificar e registrar uma série de dados mecânicos, químicos, térmicos ou elétricos de um ambiente produtivo, além de supervisionar e controlar, à distância, processos industriais. As informações registradas são comunicadas em tempo real ao ambiente virtual, que os reproduz em interfaces gráficas mais simples e de fácil compreensão ao ser humano (Sacomano *et al.*, 2018). Alguns exemplos de CPS presentes no dia a dia das pessoas: ABS; ESP; *Airbag* (Coelho, 2016).

2.4.2 Internet das Coisas (*Internet of Things - IoT*)

É a rede de objetos, plataformas, aplicativos e sistemas formados por hardwares e softwares que possibilitam a interação entre as "coisas", que podem ser máquinas e equipamentos interligados entre si ou produtos de consumo conectados uns com os outros. Dessa forma, a IoT viabiliza e facilita a tomada de decisão nos processos produtivos (FIRJAN, 2016; Vermulm, 2018).

Segundo Schwab (2016, p. 29), a IoT é “a relação entre as coisas (produtos, serviços, lugares etc.) e as pessoas, que se torna possível por meio de diversas plataformas e tecnologias conectadas”. Coelho (2016) explica que o termo se originou em 1999, durante o desenvolvimento de um trabalho sobre o uso da identificação por radiofrequência (RFID) no Instituto de tecnologia de Massachusetts (*Massachusetts Institute of Technology - MIT*).

Já para Sacomano *et al.* (2018) a internet das coisas é a possibilidade de comunicação entre objetos através da internet. Um exemplo de sua aplicação seria um sensor de temperatura que capta e comunica, pela internet, o valor de temperatura de determinado ponto de inspeção em um forno industrial para uma central.

2.4.3 Internet dos Serviços (*Internet of Services - IoS*)

A *internet of services* é a evolução da *internet of things*. Ela consiste em participantes, uma infraestrutura para serviços, modelos de negócios e os próprios serviços. A IoS permite que as empresas utilizem a internet para criar e fornecer para o cliente novos tipos de serviços de valor perceptível, que ultrapassam a possibilidade de compra e reserva online (Coelho, 2016; Hermann, Pentek, & Otto, 2015).

Sacomano *et al.* (2018) dá exemplos de aplicação da IoS. De acordo com os autores, ao invés de comprar uma máquina, uma empresa pode adquirir somente o serviço que ela oferece. Caso uma máquina ou equipamento necessite de manutenção, tais serviços podem

ser requeridos diretamente por eles. Uma pessoa poderá ser alertada pelo celular que o seu carro precisa de revisão ou chegou a hora de trocar os pneus. Caso a revisão seja agendada, isso gerará uma ordem de produção dos componentes que serão trocados durante o processo.

2.4.4 Inteligência Artificial (*Artificial Intelligence - AI*)

Conforme Vermulm (2018, p. 5), inteligência artificial é “a área da computação que permite que máquinas tomem decisão autonomamente. A inteligência artificial viabiliza que produtos e processos produtivos tomem decisões sem a interferência humana”. Sistemas com inteligência artificial são capazes de fazer sugestões e tornar o processo de decisão automática, tomando como base respostas e instruções dadas em situações anteriores, ou seja, são capazes de “aprender”. São exemplos dessa tecnologia, os robôs e armas autônomos, que não existiriam sem a IA (Schwab, 2016).

Nas fábricas, o operador poderá monitorar o processo produtivo e controlar os robôs remotamente utilizando apenas seu celular, dando instruções para que eles resolvam problemas que possam surgir. Outro exemplo, é a manutenção utilizando drones, que auxiliam no controle de estoques e nos inventários dos almoxarifados (Freitas *et al.*, 2016).

2.4.5 Análise de Big Data (*Big Data Analytics*)

Processamento e armazenamento da grande massa de dados estruturados (números, códigos etc.) e não estruturados (imagens, sons etc.), gerados em tempo real por sistemas conectados à rede, com o objetivo de transformá-los em informações que permitam analisar processos e tomar decisões (Vermulm, 2018; Coelho, 2016). A obtenção e armazenamento de dados permite a análise de processos e tomada de decisões e, dessa forma, se tornou de grande importância para o tratamento computacional, ainda que somente uma parte dos dados seja analisada. A análise de *big data* é um dos alicerces da automação e da robotização das indústrias, cuja tendência é a utilização cada vez maior de robôs autônomos em seus processos industriais (Almeida & Cagnin, 2019).

3. METODOLOGIA

Esta é uma pesquisa exploratória, que tem como objetivo proporcionar maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses (Gil, 2007). Em relação aos procedimentos técnicos, trata-se de uma revisão de literatura com o levantamento bibliográfico e documental, baseada em uma abordagem de pesquisa qualitativa, que segundo Fonseca (2002), é centrada na compreensão e explicação dos processos e fenômenos. A revisão de literatura, segundo Cervo, Bervian e Silva (2007, p. 60), “procura explicar um problema a partir de referências teóricas publicadas em artigos, livros, dissertações e teses”.

Para o levantamento bibliográfico, utilizou-se como fonte de pesquisa livros impressos e materiais encontrados na internet, tais como artigos científicos, dissertações, matérias jornalísticas e documentos de instituições públicas e privadas. Os artigos e dissertações foram encontrados principalmente através do Google Acadêmico, uma ferramenta de pesquisa do Google que permite encontrar diversificados tipos de literatura acadêmica.

Foram avaliadas dezenove publicações em língua portuguesa e duas em língua inglesa, totalizando vinte e uma publicações. Utilizou-se como base os seguintes critérios de seleção: i) conteúdos que abrangessem os conceitos de Indústria 4.0 e/ou seus componentes,

impactos, desafios e expectativas; ii) publicações recentes, preferencialmente datadas entre 2014 e 2019; iii) relevância do assunto para o tema. Como base da pesquisa, utilizou-se as seguintes palavras-chave: Digitalização da indústria, Internet das coisas, Indústria 4.0, Fábricas inteligentes.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 A Indústria 4.0 no mundo

Países como Alemanha, Estados Unidos, China, Japão e Coréia do Sul, desde cedo, já incluíram em seus planejamentos industriais propostas de absorção da Indústria 4.0 e se destacam entre os países que mais têm investido para modernizar sua indústria. Na maioria desses países, o tema é tido como prioritário, o que mostra a importância da Indústria 4.0 na ampliação da competitividade de sua competitividade.

Na Alemanha são investidos cerca de 4 bilhões de euros ao ano para o desenvolvimento das tecnologias de ponta. O tema é abordado em um conjunto de ações de instituições e de empresas. Uma das iniciativas voltadas para a Indústria 4.0 foi o relatório “*Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0*”, onde é traçada uma estratégia para que a Alemanha se torne a principal fornecedora de tecnologias inteligentes voltadas ao setor produtivo (Confederação Nacional da Indústria [CNI], 2016; FIRJAN, 2016)

Em 2012, nos Estados Unidos, foi criada, a *Advanced Manufacturing Partnership* (AMP), uma parceria entre governo, empresas, institutos de pesquisas e universidades para. A AMP apresentou, em 2014, o “*Report to the President. Accelerating U.S. Advanced Manufacturing*”, um relatório que sugeria um plano estratégico nacional para a Indústria 4.0 (CNI, 2016).

Na China, o programa *Made in China 2025* propõe estratégias para atualizar a indústria do país e estabelece metas de fabricação inteligente e produção verde para 2020 e 2025. Além disso, o 12º Plano Quinquenal, proposto em 2011, apresentava a Indústria 4.0 como um dos temas em ascensão apoiados pelo governo (CNI, 2016; FIRJAN, 2016).

No Japão, o *National Institute of Advanced Industrial Science and Technology* (AIST) criou, em 2008, o *Advanced Manufacturing Research Institute* (AMRI), instituto formado por diversos grupos de pesquisa que têm o objetivo de trocar conhecimento e desenvolver projetos na área da manufatura avançada (CNI, 2016).

Na Coréia do Sul, o *Korea Institute of Industrial Technology* (KITECH) organizou o *Korea Advanced Manufacturing System* (KAMS), projeto que tem como proposta o desenvolvimento de processos inovadores e tecnologias para controle e integração de sistemas produtivos (CNI, 2016).

Nota-se, pela participação de empresas nas iniciativas citadas acima, que a expansão global da Indústria 4.0 não é apenas uma questão de iniciativas e/ou acordos governamentais. É também resultado de um interesse crescente entre empresas e indústrias, que desejam aumentar sua competitividade e lucratividade, manter a liderança ou mesmo manter-se no mercado, visto que fábricas inteligentes são a tendência das indústrias do futuro, e, aquelas que não as acompanharem, correm o risco de perder vantagem competitiva.

4.2. A Indústria 4.0 no Brasil

Segundo a Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI, 2017), no passado, a indústria brasileira foi marcada por práticas dirigistas e centralizadoras. A

preocupação de se focar em inovação nos processos industriais é recente. Foi somente nos últimos 20 anos que o Brasil criou e desenvolveu uma estrutura relativamente forte de inovação e adquiriu maior maturidade e condições para desenvolver-se tecnologicamente, com o objetivo de superar o atraso de uma economia agrária e baseada na produção com insumos de baixo valor agregado.

Dessa forma, o Brasil ainda se encontra em posição de atraso quanto a implantação da Indústria 4.0. Há grandes desafios, tanto para a economia quanto para a indústria brasileira, que enfrentou dificuldades recentemente. Apesar disso, os dados apontam a quarta revolução industrial como uma oportunidade para o País (FIRJAN, 2019).

4.2.1 Desafios

Existem desafios em comum a todas as empresas (inclusive brasileiras) que desejam implementar a Indústria 4.0 em sua produção e estratégia de negócios. Alguns desses desafios dizem respeito a: segurança e proteção digital; disponibilidade de aptidão cognitiva; inclusão das Pequenas e Médias Empresas (PMEs) e homogeneização das interfaces de comunicação; organização do trabalho (BITKOM, VDMA, & ZVEI, 2016).

Além desses, o Brasil enfrenta ainda diversos outros desafios específicos quanto a adoção da Indústria 4.0. De acordo com especialistas, a indústria brasileira se encontra, em grande parte, na transição entre segunda e terceira revolução industrial. “Nossos parques industriais possuem anos de atraso em relação às economias mais avançadas, agravados pela distância cultural que tende a ser ainda maior” (FIRJAN, 2019, p. 9). A estrutura industrial do País não permitiu acompanhar o avanço do restante do mundo em setores fundamentais para o desenvolvimento das tecnologias da Indústria 4.0 (Furtado, 2017).

Na agenda criada em conjunto pela ABDI e pelo Ministério da Indústria, Comércio e Serviços (MDIC), são apontadas as seguintes dificuldades: o setor de transformação industrial tem atualmente menos de 10% de participação no PIB; a produtividade da indústria brasileira diminuiu em mais de 7 pontos entre 2006 e 2016; o Brasil ocupa a 69ª colocação no Índice Global de Inovação; no índice Global de Competitividade da Manufatura, o Brasil caiu da 5ª posição em 2010 para a 29ª em 2016 (Associação Brasileira de Desenvolvimento Industrial [ABDI], 2019).

Segundo a FIRJAN (2016), alguns dos desafios que o Brasil encontra para implantação da Indústria 4.0 são: alcançar políticas estratégicas inteligentes; reunir empresários e gestores preparados e proativos; incentivos e fomentos por parte do governo; conseguir desenvolvimento tecnológico e formação de mão de obra altamente qualificada.

De acordo com a CNI (2016), o desenvolvimento da Indústria 4.0 no Brasil abrange desafios que vão desde investimentos em maquinários que disponham dessas tecnologias, ao desenvolvimento de novas formas de gestão e engenharia (já que haverá uma menor necessidade de pessoas na tomada de decisões), adequação de layouts e processos industriais, criação de novas especialidades e desenvolvimento de competências.

A FIRJAN (2019) cita ainda outras barreiras que tornam difícil a implementação de tecnologias da Indústria 4.0 no País. Entre elas estão a carência de mão de obra qualificada, a falta de eficiência da infraestrutura de telecomunicações, a falta de linhas de financiamento adequadas para as PMEs, a dificuldade na identificação de tecnologias e parceiros, além da falta de proximidade entre as universidades e as indústrias.

Outro desafio é a difusão do conhecimento sobre as tecnologias da Indústria 4.0. Uma pesquisa realizada pela CNI com 2.225 empresas revela que o conhecimento da indústria brasileira sobre tais tecnologias e sua implementação no processo produtivo ainda é escasso: “42% das empresas desconhecem a importância das tecnologias digitais para a

competitividade da indústria e mais da metade delas (52%) não utilizam nenhuma tecnologia digital de uma lista com 10 opções”. Das empresas examinadas, 31% não responderam ou afirmaram não saber se empregavam alguma das tecnologias listadas, demonstrando um alto grau de desconhecimento sobre o assunto (CNI, 2016, p. 19). A Tabela 1 a seguir apresenta a lista de tecnologias utilizadas na pesquisa:

Tabela 1 - Lista de tecnologias digitais.

LISTA DE TECNOLOGIAS DIGITAIS	USO	IMPORTÂNCIA
Automação digital sem sensores	11	3
Automação digital com sensores para controle de processo	27	20
Monitoramento e controle remoto da produção com sistemas do tipo MES e SCADA	7	14
Automação digital com sensores com identificação de produtos e condições operacionais, linhas flexíveis	8	21
Sistemas integrados de engenharia para desenvolvimento de produtos e manufatura de produtos	19	25
Manufatura aditiva, prototipagem rápida ou impressão 3D	5	9
Simulações/análise de modelos virtuais (Elementos Finitos, Fluidodinâmica Computacional, etc.) para projeto e comissionamento	5	5
Coleta, processamento e análise de grandes quantidades de dados (big data)	9	15
Utilização de serviços em nuvem associados ao produto	6	11
Incorporação de serviços digitais nos produtos (“Internet das Coisas” ou Product Service Systems)	4	12
Projetos de manufatura por computador CAD/CAM (2) (3)	30	9
Nenhuma das listadas	15	3
Não sabe/ não respondeu	31	39

Fonte: CNI, 2016

Há ainda a necessidade de criação de políticas diferentes para cada conjunto de empresas e setores, já que a indústria brasileira é bastante heterogênea e assumirá diferentes condições e velocidades de difusão das tecnologias da Indústria 4.0 (CNI, 2016).

Além dos investimentos nas empresas, é preciso investir também em uma banda larga que não tenha a estrutura limitada atual, pois “a utilização de enorme quantidade de dados irá exigir pesados investimentos em banda larga e uma ampla rede de fibra ótica em todo o País, para permitir velocidade na transmissão de dados e ampla conectividade” (FIRJAN, 2019, p. 27).

As pesquisas indicam que, onde houver a possibilidade da Indústria 4.0 provocar mudanças, obstáculos serão enfrentados. Para o Brasil, esses obstáculos se tornam ainda maiores, devido ao atraso da indústria em relação a inovação. Diante de tantos desafios, aqueles que mais se destacaram durante a análise da literatura serão abordados a seguir, bem como algumas propostas de atitudes que devem ser adotadas para superá-los.

4.2.2 Formação de mão de obra qualificada e requalificação da já existente

Será necessário equipes com estudo e entendimento em diversas áreas (principalmente sobre as novas tecnologias digitais), que tenham capacidade de integrar os diferentes conhecimentos adquiridos e com alto nível de conhecimento técnico. É ainda essencial que os trabalhadores saibam adotar práticas inovadoras nas empresas. Para isso,

será preciso a criação de novos cursos técnicos, a reestruturação de cursos nas áreas de engenharia e administração e a criação de cursos com ênfase em Indústria 4.0 (CNI, 2016; FIRJAN, 2019).

Destaca-se aqui a importância das universidades, institutos industriais e de pesquisa nesse processo. É necessário que tanto indústrias quanto governos direcionem investimentos a essas instituições, fomentando assim a pesquisa e formação em inteligência artificial, que posteriormente serão traduzidas em aplicação industrial.

4.2.3 Investimento em desenvolvimento tecnológico

A indústria brasileira precisa arrojado no desenvolvimento de produtos e fábricas inteligentes, que façam uso de tecnologias inovadoras. As instituições públicas de fomento têm sido bastante temerosas (talvez até resistentes) aos riscos oferecidos pela implantação das tecnologias avançadas nos setores fundamentais ao avanço da Indústria 4.0. Embora a difusão dessas tecnologias seja relativamente alta em alguns setores industriais, como o automobilístico, a grande maioria das indústrias utiliza tecnologias defasadas (Furtado, 2017). Uma das propostas para contornar essa situação é a criação de programas e/ou serviços de pesquisa tecnológica e programas de intercâmbio tecnológico com países dominantes dessas tecnologias (CNI, 2016).

Verifica-se então a necessidade de que as empresas invistam na atualização de suas instalações e de seu aparato tecnológico, adquirindo máquinas e equipamentos mais modernos, com grande capacidade de automação. Ademais, é interessante que as indústrias utilizem as tecnologias 4.0 para promover a integração tanto dos seus setores quanto da sua cadeia produtiva, com o objetivo de operar de forma universal.

4.2.4 Falta de incentivos e financiamento

O governo brasileiro precisa desenvolver políticas públicas de apoio às empresas, que estimulem e forneçam segurança para a indústria investir em inovação. Dados do Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações (Brasil, 2018) mostram que investimentos em Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) ainda são baixos se comparados a outros países. Em 2015, enquanto China e Estados Unidos investiram, respectivamente, US\$ 407 bilhões e US\$ 496 bilhões, o Brasil investiu somente R\$ 87,1 bilhões (US\$ 43 bilhões), dos quais R\$ 45,5 foram dispêndios públicos e R\$ 41,6 foram dispêndios empresariais.

4.2.5 Engajamento das PMEs

Em um País em que pequenas e médias empresas compõem grande parte da indústria, a digitalização desta constitui um desafio ainda maior. Isso porque, se comparadas às grandes empresas, as PMEs encontram dificuldades em resistir a crises e ter acesso a linhas de financiamento apropriadas para adquirir as novas tecnologias, devido ao alto custo (FIRJAN, 2019). É de grande importância o desenvolvimento de iniciativas voltadas para o apoio e engajamento das pequenas e médias empresas para que estas acompanhem as novas tendências industriais. Sem isso, será difícil a adequação da indústria brasileira ao dinamismo da quarta revolução industrial (ABDI, 2017).

Em concordância com as propostas anteriores, a ABDI (2017) apontou alguns direcionamentos para que a indústria brasileira se alinhe aos princípios da Indústria 4.0 e caminhe para uma manufatura avançada. Estes direcionamentos giram em torno de cinco eixos:

- 1) Criação de um programa brasileiro de manufatura avançada;
- 2) Busca de um acordo bilateral específico entre o programa criado e a plataforma alemã *Industrie 4.0* e aproveitamento das relações existentes entre o País e a Alemanha;
- 3) Criação de uma rede de *testbeds*¹ de manufatura avançada no Brasil;
- 4) Utilização das linhas de fomento existentes e criação de linhas específicas para manufatura avançada;
- 5) Engajamento de PMEs.

4.2.6 Oportunidades e Expectativas

O Brasil realizou avanços de grande importância, que possibilitam a criação de condições de implantação da Indústria 4.0. Há uma mobilização cada vez maior dos setores públicos e privados pela inovação no setor industrial. Além disso, através da superação de dificuldades, as empresas têm aprendido a identificar os melhores caminhos para a viabilizar seus projetos e estratégias. Nesse espaço destaca-se a iniciativa da CNI na criação dos Institutos SENAI de Inovação (Furtado, 2017).

Diante deste cenário, foi instituído, em junho de 2017, o Grupo de Trabalho para a Indústria 4.0 (GTI 4.0), pelo MDIC. O objetivo era elaborar uma proposta de agenda nacional para o tema (já concluída). O GTI 4.0 possui diversas instituições representativas (mais de 50), que promoveram diversas contribuições e debates sobre diferentes perspectivas e ações para a Indústria 4.0 no Brasil (ABDI, 2019).

A utilização de tecnologias digitais traz a oportunidade de aumentar fortemente a produtividade da indústria brasileira e, dessa forma, diminuir a discrepância entre o País e as nações desenvolvidas. Graças ao estágio avançado dos estudos sobre o tema em âmbito mundial, o Brasil poderá adotar as inovações relativas à Indústria 4.0 sem que haja a necessidade de passar pelas mesmas etapas pelas quais passaram os países desenvolvidos (FIRJAN, 2019).

Vermulm (2018), cita diversos impactos da revolução 4.0 para a indústria, tais como:

- 1) Maior eficiência dos processos produtivos através do controle das variáveis produtivas por unidades computacionais;
- 2) Economia de energia por conta da utilização de equipamentos inteligentes e do controle automático da produção;
- 3) Diminuição de defeitos nos processos de produção com consequente melhoria na qualidade dos produtos, por meio da tomada de decisões autônomas de máquinas e equipamentos munidos de sensores e atuadores;
- 4) Redução de custos de produção: redução do tempo para *setup* das máquinas a partir da maior automação; redução de custos de manutenção das máquinas e dos equipamentos por meio de sensores que farão a identificação e comunicação de problemas; e
- 5) Surgimento de novos modelos de negócio baseados no aumento da venda de serviços associados à venda de bens de capital ou de consumo.

¹ Ambientes de teste e demonstração de tecnologias que buscam simular a realidade de ambientes de produção.

Pode-se atingir melhora no relacionamento com clientes e maior facilidade de aprendizado e redução de riscos de segurança para os trabalhadores, tudo isso a partir da aplicação da realidade aumentada à manutenção e inspeção de equipamentos, simulação para treinamento de colaboradores e construção de protótipos virtuais de produtos inovadores para testes interativos (FIRJAN, 2016).

As tecnologias 4.0 aplicadas à produção trazem a oportunidade de melhorias nos processos, tais como otimização logística e customização em massa, com consequente redução dos custos de produção para produtos personalizados. Até pouco tempo, isso só era possível na fabricação em grandes lotes de produtos padronizados. “Para o país, essas tecnologias podem tornar economicamente viável a fabricação de bens que, antes, enfrentariam barreiras à entrada intransponível associadas a escalas mínimas de produção”. Ademais, a colaboração entre as áreas de TI e as de produção e aperfeiçoamento do relacionamento com fornecedores e clientes resultará na possibilidade de criação de novos modelos de negócios (CNI, 2017). A Figura 2 a seguir ilustra esses impactos, que são apenas alguns dos diversos trazidos pela implementação da 4.0 na produção industrial:



Fonte: CNI, 2017

O Brasil passou por uma das maiores recessões econômicas da sua história. Porém, em 2018, os indicadores econômicos demonstraram grande recuperação da economia, em razão do conjunto de reformas econômicas em curso, o que impactará os investimentos do governo na indústria e aumentará a confiança do empresário industrial (ABDI, 2019).

No início de 2018, o Governo Federal divulgou um importante pacote de incentivos para a Indústria 4.0, que continuará sendo desenvolvido durante os próximos anos (FIRJAN, 2019). O pacote foi anunciado no Fórum Econômico Mundial, em São Paulo, com a finalidade de estimular a atualização do parque industrial brasileiro e projetos de inovação e aplicação das novas tecnologias formadoras da Indústria 4.0. Para isso, previa a disponibilidade de mais de R\$ 10 bilhões em créditos do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), Banco da Amazônia (BASA) e da Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP) (Alvarenga, 2018).

Conforme a CNI (2016), caso o Brasil estimule a adoção das tecnologias ligadas à Indústria 4.0 nos múltiplos setores da economia, o PIB pode sofrer um impacto de aproximadamente US\$ 39 bilhões até 2030. Caso haja condições de acelerar essa implantação, o ganho pode chegar a US\$ 210 bilhões. Além disso, até 2025, poderá haver

redução entre 10% e 40% dos custos com manutenção de equipamentos, economia de energia entre 10% e 20% e aumento da eficiência dos processos entre 10% e 25%.

Uma das possíveis consequências da consolidação da Indústria 4.0 no Brasil, será o surgimento de novas profissões, que exigirão ajustes no padrão de formação e treinamento de recursos humanos (CNI, 2016). Com a criação de novas profissões, emergem também novos setores industriais, como a medicina digital e o design de robôs que permitam essa prática, a agricultura de precisão e a gestão de modernização de redes (Furtado, 2017). Supõe-se um aumento na quantidade de empregos; porém, para assumi-los, será exigido um maior nível de qualificação – designers, engenheiros, técnicos de TI, marketing, logística etc. (ABDI, 2017). Espera-se ainda uma redução dos cargos que demandam pouca qualificação, pois as atividades repetitivas serão automatizadas. Assim sendo, estima-se que, até 2030, 15,7 milhões de ocupações sejam afetadas no Brasil (FIRJAN, 2019).

Segundo a Rotta (2017) a introdução de conceitos da Indústria 4.0 na nas fábricas brasileiras poderia gerar uma redução de custos de, no mínimo, R\$ 73 bilhões ao ano. Essa economia envolve ganhos de eficiência (R\$ 31 bilhões), redução nos custos de manutenção de máquinas (R\$ 35 bilhões ao ano) e consumo de energia (R\$ 7 bilhões).

Quando o assunto é sustentabilidade, a Indústria 4.0 dá a oportunidade de se praticar uma produção com menos impactos negativos ao meio ambiente. A otimização dos processos industriais promove economia de energia por conta da utilização de equipamentos inteligentes. Além disso, o maior controle pontual sobre a produção reduz desperdícios e diminui o consumo de recursos naturais, possibilitando uma produção mais sustentável (Rotta, 2017).

4.2.7 Exemplos de aplicações no Brasil

A Embraco ou Empresa Brasileira de Compressores é uma das maiores fabricantes de compressores para aparelhos de refrigeração no Brasil. A empresa baseia sua gestão produtiva em três pilares: o *Manufacturing Execution Systems* (MES); o *Enterprise Resource Planning* (ERP); e o *Product Lifecycle Management* (PLM). O MES, traz informações em tempo real sobre as linhas de produção, o ERP gerencia todas as transações da empresa e o PLM faz a gestão de todo o ciclo de vida do projeto, além de dar uma visão global de todas as plantas. A empresa utiliza também outras tecnologias digitais, como realidade aumentada e impressão 3D (FIRJAN, 2019).

Um ano antes de iniciar a produção, a Embraer começou a treinar seus funcionários para atividades no chão de fábrica através de simulações 3D. Os trabalhadores usam computadores e tablets com tecnologia de realidade aumentada e, caso haja dúvida sobre como realizar a operação, há sempre um vídeo para esclarecer. Foi possível resolver problemas e defeitos que antes só seriam detectados com as aeronaves no ar, graças a 12 mil horas de testes antes que elas decolassem. A digitalização promoveu diversos ganhos e reduziu o tempo de montagem em 25% (Costa & Stefano, 2014).

As fábricas da Fiat em Betim (MG) e da Mercedes-Benz utilizam realidade virtual, exoesqueletos, aprendizagem de máquina e robôs colaborativos em suas plantas. A Mercedes-Benz, por exemplo, teve um aumento de 15% e 20% em eficiência de produção e logística, respectivamente, e uma redução de armazenamento de componentes de 10 dias para 3 dias (FIRJAN, 2019).

O LABelectron, Laboratório-Fábrica ligado à Fundação CERTI, em Florianópolis (SC), desenvolveu o Sistema de Gerenciamento de Informações de Chão de Fábrica, “sistema de arquitetura de software estruturada em 4 módulos (Módulo Serviço de chão de fábrica, Módulo Serviço da Qualidade, Módulo Fábrica Visual e Módulo Mensageiro)”,

introduzidos com o objetivo de rastrear processos produtivos e sua totalidade, através de funcionalidades da manufatura avançada (CNI, 2016).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Há que se concordar que a Indústria 4.0 ainda seja algo recente, tanto no âmbito industrial quanto acadêmico. Como consequência, nota-se um vasto campo de pesquisa ainda em produção. No Brasil, o debate encontra-se ainda em fase inicial, carecendo de pesquisas sobre o tema, sendo que as poucas encontradas para a síntese deste trabalho foram produzidas principalmente por instituições públicas ou privadas. Diante disso, torna-se importante a produção de trabalhos científicos que, como este, objetivem proporcionar maiores esclarecimentos sobre a Indústria 4.0 e fomentem discussões sobre o tema.

A partir da revisão de literatura, observou-se que, apesar dos esforços do Brasil para acompanhar a revolução industrial em curso, há ainda muito que se fazer na corrida da Indústria 4.0. Todavia, embora esteja mal preparado para esta revolução, o Brasil ainda tem tempo para avançar em uma agenda que o coloque no caminho. Para isso, é preciso que o País se apresse, adotando estratégias industriais, com ênfase em ciência, tecnologia e inovação. Governos, empresas, universidades e demais partes interessadas devem unir forças para contribuir com a implantação e consolidação das tecnologias habilitadoras desta nova revolução. Dentre outras medidas, é de grande importância que haja fomento por parte do governo, como apoio no engajamento das PMEs, investimento na modernização do parque tecnológico industrial e em mão de obra qualificada e desenvolvimento de políticas focadas em inovação tecnológica.

A expectativa é que a implementação da Indústria 4.0 gere grandes impactos para as indústrias e, conseqüentemente, para a economia brasileira. Espera-se que haja expressivo aumento no PIB, redução nos custos de produção, diminuição de defeitos nos processos produtivos, dentre tantos outros benefícios que tornarão a economia mais competitiva e os processos produtivos mais eficientes.

Desta forma, conclui-se que, apesar dos diversos desafios, o Brasil tem potencial para ser bem-sucedido na implementação da Indústria 4.0. A quarta revolução industrial é uma grande oportunidade para que a indústria brasileira obtenha maior competitividade, aumentando o protagonismo industrial do País e diminuindo a distância entre ele e economias desenvolvidas.

REFERÊNCIAS

Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. (2019). *Agenda brasileira para a Indústria 4.0: o Brasil preparado para os desafios do futuro*. Disponível em: <http://www.industria40.gov.br/>. Acesso em: 26 fev. 2020.

Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. (2017). *Inovação, manufatura avançada e o futuro da indústria: uma contribuição ao debate sobre as políticas de desenvolvimento produtivo*. 1ª ed. Brasília: ABDI. 545 p. Disponível em: https://academia.edu/35423338/inovacao_manufatura_avancada_e_o_futuro_da_industria_uma_contribuicao_ao_debate_sobre_as_politicas_de_desenvolvimento_produtivo_1a_Edicao. Acesso em: 25 fev. 2020.

Almeida, J. S. G. de Cagnin, R. F. (2018). *A indústria do futuro no Brasil e no mundo*. São Paulo: IEDI. 622 p. Disponível em:

https://iedi.org.br/media/site/artigos/20190311_industria_do_futuro_no_brasil_e_no_mundo.pdf. Acesso em: 19 mar. 2020.

Alvarenga, D. (2018). Pacote de incentivos para a indústria 4.0 prevê mais de R\$ 10 bilhões em crédito. *G1 - O portal de notícias da Globo*, São Paulo. Disponível em: <https://g1.globo.com/economia/noticia/pacote-de-incentivos-para-a-industria-40-preve-mais-de-r-10-bilhoes-em-credito.ghtml>. Acesso em: 28 fev. 2020.

Brasil, Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações. (2018). *Indicadores Nacionais de Ciência Tecnologia e Inovação*. Brasília, DF. Disponível em: http://www.mctic.gov.br/mctic/export/sites/institucional/indicadores/arquivos/Indicadores_CTI_2018.pdf. Acesso em: 17 jun. 2020.

Bundesverband Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien; Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau; Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie. (2016). *Implementation strategy industrie 4.0: report on the results of the industrie 4.0 platform*. Frankfurt, Alemanha. Disponível em: <https://www.bitkom.org/sites/default/files/file/import/2016-01-Implementation-Strategy-Industrie40.pdf>. Acesso em: 21 fev. 2020.

Cervo, A. L., Bervian, P. A., Silva, R. da. (2007). *Metodologia Científica*. 6ª ed. São Paulo: Pearson Prentice.

Coelho, P. M. N. (2016). *Rumo à Indústria 4.0*. Tese (Mestrado em Engenharia e gestão Industrial) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Coimbra. Disponível em: <https://estudogeral.uc.pt/handle/10316/36992>. Acesso em: 23 fev. 2020.

Confederação Nacional da Indústria. (2016). *Desafios para Indústria 4.0 no Brasil*. Brasília: CNI. 34 p. Disponível em: https://bucket-gw-cni-static-cms-si.s3.amazonaws.com/media/filer_public/d6/cb/d6cbfbba-4d7e-43a0-9784-86365061a366/desafios_para_industria_40_no_brasil.pdf. Acesso em: 23 fev. 2020.

Confederação Nacional da Indústria. (2017). *Oportunidades para a indústria 4.0: aspectos da demanda e oferta no Brasil*. Brasília: CNI. 58 p. Disponível em: https://bucket-gw-cni-static-cms-si.s3.amazonaws.com/media/filer_public/d9/ff/d9ff9d99-1a51-43ff-bc2a-b2187e90c35a/oportunidades_para_a_industria_40_2603_nova-versao.pdf. Acesso em: 27 fev. 2020.

Costa, M., Stefano, F. (2014). A era das fábricas inteligentes está começando. *Revista Exame*. Disponível em: <http://exame.abril.com.br/revista-exame/edicoes/1068/noticias/a-fabrica-do-futuro>. Acesso em: 27 fev. 2020.

Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro. (2019). *Indústria 4.0 no Brasil: oportunidades, perspectivas e desafios*. Rio de Janeiro: [s.n]. 63 p. Disponível em: <https://www.firjan.com.br/publicacoes/publicacoes-de-inovacao/industria-4-0-no-brasil-oportunidades-perspectivas-e-desafios.htm#pubAlign>. Acesso em: 21 fev. 2020.

- Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro. (2016). Panorama da inovação: Indústria 4.0. *Cadernos SENAI de inovação*. 1ª ed. Rio de Janeiro, 2016. 20 p. Disponível em: <http://www.industria40.gov.br/>. Acesso em: 21 fev. 2020.
- Fonseca, J. J. S. (2002). *Metodologia da pesquisa científica*. Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza.
- Freitas, M. M. B. C. de, Fraga, M. A. de F., Souza, G. P. L. de. (2016). Logística 4.0: conceitos e aplicabilidade: uma pesquisa-ação em uma empresa de tecnologia para o mercado automobilístico. *Caderno PAIC*, v. 17, n. 1, p. 111-117. Disponível em: <https://cadernopaic.fae.edu/cadernopaic/article/view/214>. Acesso em: 16 jun. 2020.
- Furtado, J. (2017). *Indústria 4.0: a quarta revolução industrial e os desafios para a indústria e o desenvolvimento brasileiro*. São Paulo: IEDI. 54 p. Disponível em: https://iedi.org.br/artigos/top/estudos_comercio/20170721_iedi_industria_4_0.html. Acesso em: 27 fev. 2020.
- Gil, A. C. (2007). *Como elaborar projetos de pesquisa*. 4ª ed. São Paulo: Atlas.
- Hermann, M., Pentek, T., Otto, B. (2015). Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review. *Working Paper*, n. 01. 16 p. Disponível em: http://www.snom.mb.tu-dortmund.de/cms/de/forschung/Arbeitsberichte/Design-Principles-for-Industrie-4_0-Scenarios.pdf. Acesso em: 16 jun. 2020.
- Rotta, F. (2017). Indústria 4.0 pode economizar R\$ 73 bilhões ao ano para o Brasil. *ABDI*, Brasília. Disponível em: <https://www.abdi.com.br/postagem/industria-4-0-pode-economizar-r-73-bilhoes-ao-ano-para-o-brasil>. Acesso em: 29 fev. 2020.
- Sacomano, J. B., Gonçalves, R. F., Bonilla, S. H., Silva, M. T. da, Sátyro, W. C. (2018). *Indústria 4.0: conceito e fundamentos*. 1ª ed. São Paulo: Blucher. 182 p.
- Schwab, K. (2016). *A quarta revolução industrial*. 1ª ed. São Paulo: Edipro.
- Vermulm, R. (2018). *Políticas para o desenvolvimento da Indústria 4.0 no Brasil*. São Paulo: IEDI. 30 p. Disponível em: <https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/15486>. Acesso em: 21 fev. 2020.