

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
INSTITUTO DE ECONOMIA E RELAÇÕES INTERNACIONAIS

Graduação em Ciências Econômicas

Matricula: 11411ECO003
JHONATA DE SOUZA MATOS

A INDÚSTRIA 4.0 NA ECONOMIA BRASILEIRA:
Seus benefícios, impactos e desafios

Uberlândia, dezembro de 2018.
MINAS GERAIS

JHONATA DE SOUZA MATOS

A INDÚSTRIA 4.0 NA ECONOMIA BRASILEIRA:

Seus benefícios, impactos e desafios

Trabalho de monografia apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Bacharelado em Ciências Econômicas pela Universidade Federal de Uberlândia, sob a orientação do professor Doutor Germano Mendes de Paula.

JHONATA DE SOUZA MATOS

A Indústria 4.0 na economia brasileira: Seus benefícios, impactos e desafios

Apresentação da monografia parcial como exigência necessária para obter o título de bacharel em economia pela Universidade Federal de Uberlândia.

Uberlândia, 19 de dezembro de 2018.

Prof. Dr. Germano Mendes de Paula.
(Orientador)

Profª. Dra. Ana Paula Macedo de Avellar
(Avaliadora)

Prof. Dr. Cássio Garcia Ribeiro Soares da Silva
(Avaliador)

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus por proporcionar a oportunidade de enfrentar os desafios de estudar em uma Universidade pública, superando cada obstáculo sem desistir. Agradeço também à minha mãe, que desde cedo me incentivou a estudar, e, que somente por meio da formação profissional, se consegue alcançar grandes resultados para vida.

Sou grato à Mariana, que sempre esteve ao meu lado me apoiando em tudo que precisei. Também agradeço a Claudia, Maria, Marlene, Marly e Dalva por terem me acolhido como um filho em sua casa. Por fim, agradeço ao meu orientador Professor Germano, que, apesar de ser muito exigente, me mostrou e guiou na realização de um bom trabalho; por meio de seu auxílio consigo concluir mais uma etapa da minha carreira.

RESUMO

Esta monografia expõe algumas perspectivas sobre a Nova Revolução Industrial, também conhecida como Indústria 4.0, na qual se investiga suas potencialidades, desafios e dificuldades para sua maior propagação no Brasil. Com a Indústria 4.0, se espera elevar os índices de produtividade, flexibilidade e inteligência dos meios de produção, assim se resultaria em fábricas mais inteligentes e automatizadas. Este trabalho investiga os benefícios e os efeitos positivos e negativos de implementação de uma estrutura digitalizada para a produção manufaturada. Por fim, esta monografia avalia as expectativas e desafios, na visão das empresas no Brasil e no mundo, acerca desta nova etapa da produção industrial. O trabalho elucida que há uma gama de benefícios para se incorporar da Nova Revolução Industrial no Brasil, entretanto, também existem grandes desafios a serem superados para sua maior difusão.

Palavras chaves: Indústria 4.0, Inovação e Desenvolvimento Industrial.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução e mudanças nos padrões tecnológicos com as Revoluções Industriais	6
Figura 2 - A confluência de tecnologias-chaves que permitem a transformação digital industrial	8

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Expectativa de redução de custos de produção de diversos setores industriais, segundo entrevistados da pesquisa	26
Tabela 2 - Expectativa de mais do que dobrar o nível atual de digitalização produtiva das empresas nos próximos cinco anos no Mundo e no Brasil	28
Tabela 3 - Falta de cultura digital e treinamento como maiores desafios para as empresas introduzirem os processos de digitalização produtiva	29
Tabela 4 - Na sua visão das empresas brasileiras, quais tecnologias digitais têm maior potencial para impulsionar a competitividade da indústria brasileira nos próximos cinco anos (em porcentagem).....	31
Tabela 5 – Na perspectiva das empresas brasileiras as principais barreiras internas que inibem a introdução da Indústria 4.0 nas firmas brasileiras (em porcentagem)	32
Tabela 6 – Na visão das empresas brasileiras, as principais barreiras internas que inibem a introdução da Indústria 4.0 nas firmas brasileiras (em porcentagem)	34

SUMÁRIO

Resumo	iv
LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE TABELAS	vi
Introdução	2
1 Arcabouço teórico sobre Revolução Industrial	4
1.1 Evolução nos padrões das Revoluções Industriais	4
1.2 Competividade industrial por meio de inovações tecnológicas	9
1.3 Apresentação do SNI para indução da inovação tecnológica	11
1.4 Metodologia	13
2 Indústria 4.0 seus benefícios, impactos e DESAFIOS	15
2.1 <i>Internet</i> das Coisas (IoT) seus impactos e desafios	17
2.2 <i>Cyber-Physical-Systems</i> e <i>Big Data</i> seus benefícios e desafios	19
2.3 Os benefícios da Automação, robotização e AI industrial e seus desafios	20
2.4 Os impactos da Indústria 4.0 e a geração de emprego	22
3 Expectativas e resultados sobre a Indústria 4.0	24
4 Expectativas e desafios para a indústria 4.0 no cenário brasileiro	28
Considerações finais	36
Referências	39

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento industrial se apresenta de modos diferentes nos mais diversos países. Ele pode ser verificado por meio de um processo de revoluções de técnicas de produção, que são conhecidas como Revoluções Industriais, que propiciaram crescimento da renda, produtos, serviços e avanços sociais. Apesar dos benefícios (e dos mais variados impactos na sociedade), o crescimento deste setor produtivo também requer muitos desafios para que tais resultados sejam possivelmente alcançados.

A Indústria 4.0 é apontada como uma nova etapa da Revolução Industrial, que tende a impulsionar o crescimento e o desenvolvimento econômico. Com esta nova fase espera-se a capacidade de englobar diversas tecnologias que auxiliam na automação e digitalização de processos com um maior controle aos mecanismos de manufatura. Graças a isso nota-se que esta nova revolução tende a proporcionar fábricas inteligentes que podem contribuir para modelos produtivos mais eficientes, autônomos e customizáveis (BRETTEL *et al.*, 2014).

A Nova Revolução Industrial teve origem em um projeto estratégico do governo alemão que se atentou para o benefício na utilização de novas tecnologias no setor manufatureiro. A Indústria 4.0, então, foi apresentada pela primeira vez na Feira de Hannover em 2011. Em outubro do ano seguinte, o grupo responsável pelo projeto elaborou um relatório que recomendava a implantação desta fase produtiva nos mais diversos setores industriais alemães. Em abril de 2013, na mesma feira que em se iniciou o projeto, foi apresentado um projeto final, no qual se desenvolveu a ideia de que o setor produtivo possa conter máquinas, sistemas cibernéticos e redes inteligentes capazes de propiciar maior autonomia e eficiência produtiva (BÜRKNER *et al.*, 2016).

Esta monografia apresenta a Indústria 4.0 em questão e seus respectivos benefícios para indústria brasileira, assinalando os impactos que podem estimular o desenvolvimento econômico, assim como os desafios para sua maior propagação no setor produtivo brasileiro. Este trabalho se justifica pelo estágio atual em que o setor industrial brasileiro vivencia períodos de baixa produtividade e pouca competitividade no cenário internacional. Outro aspecto a ser analisado é a superação dos problemas estruturais e conjunturais da economia, sob os quais afetam negativamente no processo de inovações e implantação de novas tecnologias.

Este trabalho tem como objetivo indicar os potenciais benefícios na aplicação e desenvolvimento das técnicas da Indústria 4.0 na cadeia produtiva brasileira. São examinadas as tecnologias, os impactos e as adversidades para sua implementação na estrutura industrial. Ao decorrer do trabalho se explana sobre os possíveis impactos, expectativas e desafio assinalado pelos empresários brasileiros acerca desta Nova Revolução Industrial para economia brasileira.

Esta monografia se divide em quatro capítulos, além desta introdução e da conclusão. No próximo capítulo se desenvolve o arcabouço teórico que embasa a discussão e o modelo metodológico utilizado para explicar este tema. No segundo se elucida a Indústria 4.0: suas tecnologias, seus benefícios e seus impactos. O terceiro capítulo investiga os resultados desta nova fase produtiva por meio de relatórios e pesquisas realizadas acerca da introdução e desenvolvimento destas tecnologias. E, por fim, no último capítulo são expostos as expectativas e desafios apontados pelas empresas no Brasil e no mundo sobre a Indústria 4.0.

1 ARCABOUÇO TEÓRICO SOBRE REVOLUÇÃO INDUSTRIAL

Este capítulo faz a revisão bibliográfica que norteia as principais discussões sobre a Indústria 4.0 e inovação tecnológica. A primeira seção exhibe as principais discussões teóricas acerca da inovação, difusão tecnológica, Revoluções Industriais e Indústria 4.0. Em seguida se desenvolvem os conceitos sobre competitividade no setor industrial e sua contribuição para o crescimento. A terceira seção deste capítulo apresenta os conceitos para o SNI, assim como sua importância para o desenvolvimento de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) de novas tecnologias. E por fim, se desenvolve o modelo metodológico a ser utilizado durante o trabalho.

No campo do desenvolvimento e crescimento industrial, dois conceitos se destacam no sentido de ajudar na compreensão das mudanças ocorridas neste setor: a tecnologia e a técnica. A tecnologia entende-se como conjunto teorias sobre os meios de produção, e a técnica compreende a aplicação deste conjunto teórico na prática. Ambos os conceitos são empregados tanto na produção de novos produtos quanto nas mais diversas etapas das atividades produtivas. No âmbito destas atividades, estes dois conceitos se contrastam com a invenção e com a inovação, que também são importantes para impulsionar o progresso tecnológico. Que por vez, a invenção é o conhecimento sobre as novas técnicas, enquanto que a inovação é a aplicação destas novas técnicas nas atividades de produção (TIGRE, 2006).

Este capítulo se divide em quatro seções, a primeira exhibe conceitos sobre inovação e constrói a ideia da Indústria 4.0. Na segunda, se expõem as considerações acerca de competitividade no setor industrial. Na terceira seção se analisa a importância do SNI para o desenvolvimento e crescimento econômico. No fim do capítulo, se desenvolve a metodologia utilizada para análise desta monografia.

1.1 Evolução nos padrões das Revoluções Industriais

Esta seção se desdobra sobre conceitos teóricos a respeito da inovação e da Indústria 4.0, investigando sua importância para alguns setores da economia. Em seguida se apresenta os conceitos sobre inovação nas visões neo-schumpeterianas (que, por sua vez, apresentam as etapas deste processo como fator de desenvolvimento e crescimento econômico).

O termo inovação pode ser definido como “*uma ideia, uma prática ou um objeto percebido como novo pelo indivíduo*”, por ROGERS E SHOEMAKER (1971 citado por

TIGRE, 2006). Ou seja, um progresso em inovação (ou inovativo) é caracterizado por utilizar forças produtivas (capital, terras, força de trabalho) de modo diferente do que foi utilizado anteriormente. Os conceitos de inovação nas visões neo-schumpeterianas e seus impactos na melhoria da produtividade de uma empresa no mercado se apresentam como fatores que proporcionam uma maior competitividade em uma determinada indústria. Estas são apropriadas de agenciar seu crescimento e de outros setores industriais e, por consequência, impactam no desenvolvimento do sistema econômico (KUPFER, 1996). A produção inovadora é capaz de promover estímulo para diversos setores produtivos, o que pode impactar positivamente a atividade econômica de um determinado país.

A discussão conceitual para os diversos tipos de inovação iniciou a partir do Manual de Frascati¹, que desenvolveu conceitos e criou definições para a P&D. Posteriormente, desenvolvido pela Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) o Manual Oslo², que foi utilizado como base para desenvolver a Pesquisa Industrial sobre Inovação Tecnológica no Brasil (PINTEC), que é realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatísticas (IBGE), segundo TIGRE (2006). Estes manuais possibilitam a comparação por meio de coleta de dados mensurados sobre P&D com as bases estatísticas internacionais. Mediante estes conceitos as empresas são consideradas inovadoras ao incorporarem em suas atividades qualquer novidade na produção de mercadorias ou serviços.

A definição do novo paradigma tecnológico se aplica quando um determinado setor, ou um grupo de setores, apresenta modificações em sua estrutura produtiva por meio de tecnologias emergentes ou existentes. Ademais, estas modificações vêm acompanhadas de reorganização nas relações dentro da firma e com o mercado na qual se está inserido (TIGRE, 2006). Tais mudanças estão atreladas ao fato de que não apenas a estrutura técnica alterou, mas que ocorreram modificações socioeconômicas, afetando diretamente toda atividade econômica. Este novo paradigma pode ser observado na Indústria 1.0, cuja introdução de máquinas a vapor alterou o mecanismo de produção de manufatura provocando rupturas no processo produtivo. Com a Indústria 2.0, prevaleceu a mesma ideia, pois se transformaram as fontes energéticas e

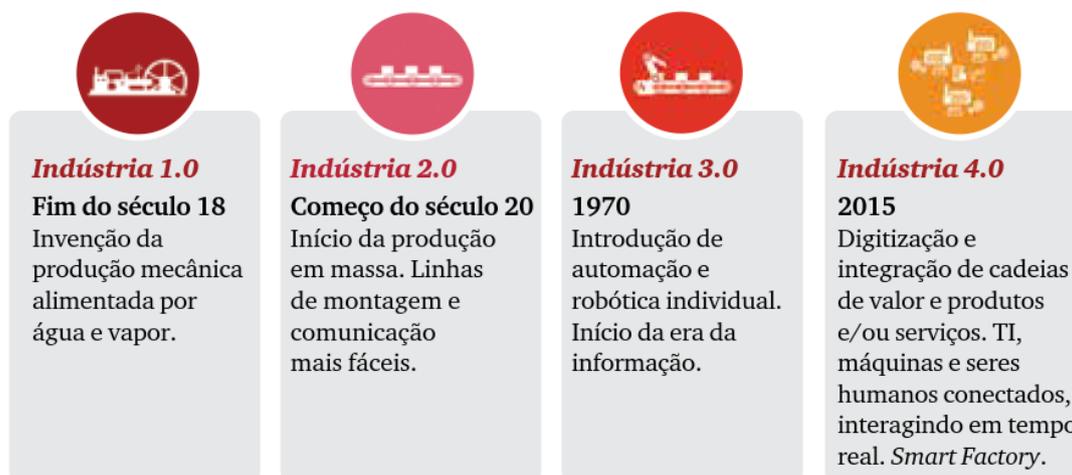
¹ O Manual Frascati, que foi elaborado na década de 1960, reúne diversas metodologias para fomentar e avaliar economicamente a P&D e utiliza como referência métodos para se comparar estatisticamente dados sobre inovação.

² Manual de Oslo, que foi desenvolvido pela própria OCDE, permite a coleta de dados mensurados sobre a P&D e sua comparação em bases estatísticas internacionais.

os padrões de mecanização aumentaram a produtividade a níveis muito maiores do que anteriormente visto. Ou seja, revolucionou-se o padrão tecnológico e as relações entre a produção e as técnicas empregadas (GOMES, 2016).

A Figura 1 exibe os vários períodos e as transformações nos padrões de produção e de tecnologias que aconteceram com as Revoluções Industriais. Na Indústria 1.0 a grande mudança observada foi à incorporação da mecanização da produção (a utilização de máquinas a vapor). Esta nova tecnologia foi significativa, porque contribuiu para alterações tanto no sistema produtivo quanto do mercado de trabalho. Em seguida, apresenta também a Indústria 2.0, que foi o início da produção e consumo em massa; quando se verificou que os processos produtivos continham mais máquinas e equipamentos. Ao mesmo tempo contavam com linhas de montagem e facilidades nos meios de comunicação e distribuição. Esta segunda etapa também propiciou alterações com relação à produção e utilização de energias e matérias primas, sendo neste período o desenvolvimento de novas tecnologias e técnicas que permitiu a utilização de energia elétrica, combustíveis fósseis (principalmente o petróleo), produção de aço, entre outros insumos.

Figura 1 - Evolução e mudanças nos padrões tecnológicos com as Revoluções Industriais



Fonte: PwC Brasil (2016).

Nota: TI = Tecnologia da Informação.

Durante a década de 1970, a Indústria 3.0 introduziu a automação e a robótica individual sobre os processos em conjunto com a Tecnologia da Informação (TI), que possibilitou a conectividade com o globo, reduzindo espaço e tempo. A Indústria 4.0 auxilia para que as novas fábricas se tornem mais complexas e mais inteligentes. Nesta nova fase, as novas tecnologias são capazes de uma maior interconexão entre seres

humanos e máquinas, contribuindo para uma dinâmica com maior interatividade na produção. Tais etapas produtivas tendem a ser mais rápidas e eficientes, com redução nos custos, otimizando a produção (RÜBMANN *et al.*, 2015).

O desenvolvimento das TI da Indústria 3.0 modificou o modo de comunicação e transmissão das informações. A gestão das firmas se transformou significativamente, podendo utilizar-se de dispositivos que melhoram a coleta e troca de dados. Com estes avanços as empresas se apresentam em melhores condições de aprimorar os mecanismos de comunicação, conseguindo reduzir custos e aperfeiçoando as condições de competir no mercado (HABERKAMP, 2005). Os impactos da TI contribuem positivamente, porque as suas utilizações não são apenas para a coleta de dados, mas para incluí, organiza, processa e ordena-los, de modo que tais informações são acrescidas de contextos e coerências que provocam melhorias significativas no desempenho das empresas.

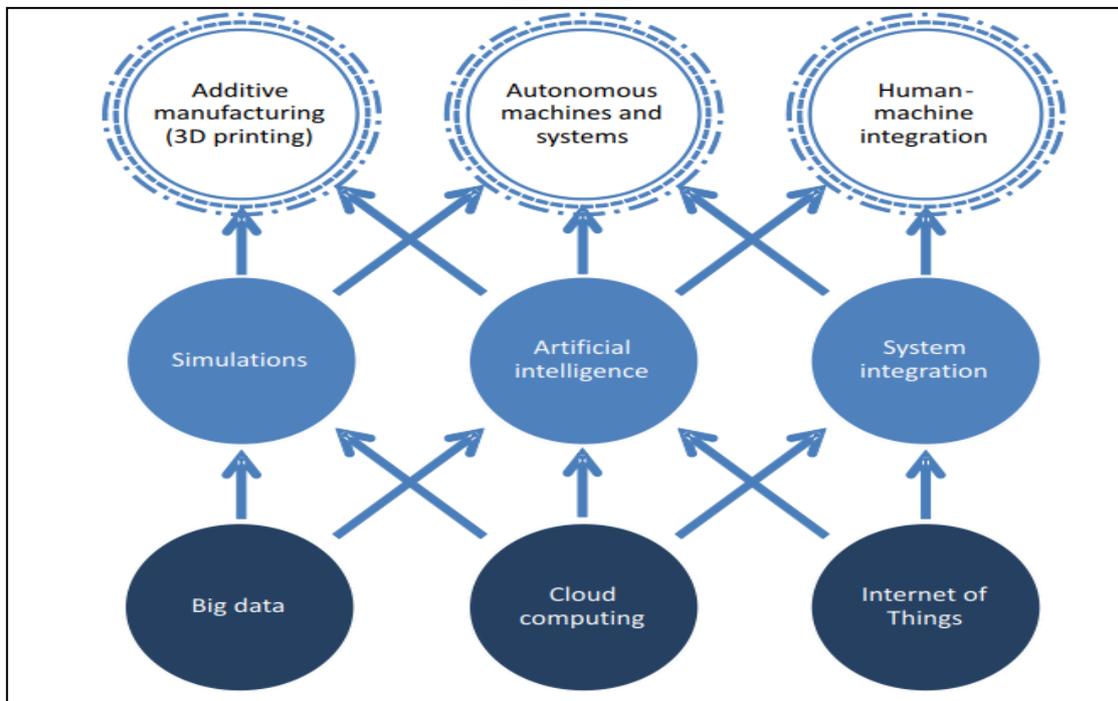
O mesmo padrão foi novamente modificado com a introdução das Tecnologias da Informação e Comunicação (TIC) na Indústria 3.0. As alterações cooperaram para uma maior automação e mecanização de processos industriais. Elas também colaboram para reorganizar as relações entre fornecedores e produtores, pois melhoram os meios de comunicações e entregas de insumos nas novas concepções de fábricas (TAKEY, 2016).

Na Figura 2 observa-se que são diversas as possibilidades para se introduzir a digitalização do sistema produtivo industrial. Nela se nota as mais variadas estruturas digitais que possibilitam novos modelos de negócios para o mercado. É possível ressaltar que não há uma linearidade para o arranjo ou a reorganização da produção, neste exemplo tem-se que são múltiplas opções para aperfeiçoar a produção. Como se vê na figura, as tecnologias lideram etapas para transformar toda a cadeia produtiva, tornando-a mais autônoma, com integração entre humanos e máquinas e maior produtividade nas manufaturas digitais.

Nesta nova revolução é possível a multiconexão e aplicação de diversas tecnologias, o que possibilita o acréscimo da produtividade dos setores industriais e aumento na flexibilização dos processos produtivos. Outro fator relevante que contribui para a tendência destas implantações inovativas nas pequenas, médias e grandes empresas é o mecanismo de inovação colaborativa. Este processo implica em uma estrutura de firmas jovens que buscam estrutura e incentivo para realização de seus projetos com companhias maiores e capacidade de realizar tal projeto. As maiores

promovem esta atividade com intensão de um modelo que preze em trazer maior grau de competitividade e flexibilidade produtiva (COELHO, 2016).

Figura 2 - A confluência de tecnologias-chaves que permitem a transformação digital industrial



Fonte: OCDE (2017a).

A próxima revolução no sistema produtivo tende a propiciar modelos mais interativos e multiconectados que possivelmente contribuem para o máximo aprendizado e maior nível de interações entre as máquinas e seres humanos. Ou seja, este processo é benéfico para às indústrias que incorporam processos inovativos e apresentam graus de flexibilidade para o progresso técnico, proporcionando o processo de diversificação e aumento da produtividade industrial (OCDE, 2017a).

O novo modelo de inovações disruptivas³ na produção propõe a combinação de conhecimentos que potencializam a difusão e a introdução de novos mercados e novos modelos de negócios. Este se ilustra como solução de desafios tecnológicos, que incorporam tais técnicas e significativamente os impactos nos setores econômicos e sociais (COUTRINHO *et al.*, 2018).

³ Esta teoria foi desenvolvida pelo professor de Harvard Clayton M. Christensen em sua pesquisa sobre a indústria do disco rígido em 1997. É um fenômeno pelo qual a inovação transforma um mercado ou um setor por meio da introdução da simplicidade, conveniência e acessibilidade, na qual por meio de uma nova ideia se modifica para um mercado mais dinâmico e interativo.

As estratégias das novas empresas estão em evolução para modelos de negócios multiconectados que interagem de modo global, desde sua fonte de insumos até o cliente final de seus produtos. As novas tecnologias, ao serem utilizadas em conjunto, tendem por representar avanços significativos nos índices de produtividade e aumento dos ganhos produtivos das empresas no futuro (OCDE, 2017b).

Para as próximas décadas espera-se que surjam incontáveis tecnologias disruptivas que poderão modificar as relações e os tipos de negócios para o futuro. Estes efeitos causarão mudanças significativas e muito importantes nos modelos de negócios que existem atualmente. Para as novas firmas, nota-se a necessidade repensar a conjuntura e como as organizações e empresas irão se reorganizar. Em uma economia digitalizada se apresentará um grande impacto na atividade econômica, ao modo que a digitalização e a interconectividade serão pilares fundamentais nesta nova fase do desenvolvimento econômico (OCDE, 2017b).

A Indústria 4.0 tem foco em promover, para os setores industriais, produtos ou processos mais inteligentes, de modo que o processo de produção futura de manufaturados necessita de desenvolvimento rápido. Este modelo contribui com a flexibilidade dos meios de produção, bem como um complexo envolvimento na produção por via de novas tecnologias empregadas para aumentar e facilitar o processo de difusão e lançamento de novos produtos no mercado. Torna-se a integração uma importante ferramenta para aumentar a produtividade das novas fábricas inteligentes (BRETTEL *et al.*, 2014).

A seção seguinte apresenta uma discussão sobre a competitividade no setor industrial e suas potencialidades, que contribuem para melhorar o modelo de desenvolvimento econômico.

1.2 Competitividade industrial por meio de inovações tecnológicas

Um nível maior de renda está conectado com melhorias nos processos industriais e tecnológicos. Ao analisar os países que obtiveram maiores índices de crescimento e que se mostram em estágios de desenvolvimento, nota-se que são as nações que acumularam capacitações tecnológicas e que foram responsáveis por aumentar sua dinâmica industrial por meio de inovações. Os setores industriais têm condições de viabilizar o incremento econômico por intermédio das inovações devido: (i) a sua capacidade de realizá-las; (ii) a possibilidade de difundi-las para outros setores; (iii) o aumento da produtividade e consequentemente da renda; (iv) a demandas que

impulsionam e requerem uma gama das atividades e serviços; e (v) a produção e utilização de mão-de-obra especializada que contribuem para os efeitos multiplicadores na economia (FIQUEIREDO e PINHEIRO, 2016).

O aumento do dinamismo na indústria é um resultado de competição. A competitividade apresenta-se como consequência da evolução do processo de concorrência capitalista. Entretanto, a definição sobre competitividade é pouco explorada na literatura, que em muitos estudos são comparados ao desempenho operacional de determinada indústria ou setor, também conhecida como competitividade revelada. A competitividade potencial é explorada, também, pela ótica da eficiência produtiva. Entretanto, o termo “... *competitividade é definida como a capacidade de a empresa formular e programar estratégias concorrenciais, que lhe permitam ampliar ou conservar, de forma duradoura, uma posição sustentável no mercado*” (KUPFER, 1996, p. 367).

Um dos meios de desenvolver a economia é por meio de inovações no sistema produtivo, principalmente, as que são estimuladas para a produção nos setores econômicos. Assim tem-se neste mecanismo uma importante ferramenta para que uma indústria consiga alcançar bons índices de produtividade. Pode-se perceber que a competitividade depende do modo como os modelos inovativos de um determinado país alcançam índices elevados de produtividade (KUPFER, 1996).

A inovação tecnológica pode contribuir para melhorar os índices de competitividade também no nível internacional. Neste nível de competição, também depende de outros muitos fatores como geopolíticos e econômicos, assim, a inovação possui limitações para determinar o sucesso produtivo em determinada indústria. Todavia, devido aos diversos mecanismos de coleta de dados e construção de indicadores, é possível combinar o sucesso na competição internacional com o processo de desenvolvimento de inovações nos setores industriais. Desta forma, o investimento em potencial inovativo de uma indústria traz benefícios e desenvolvimentos econômicos (TIGRE, 2006). Muitos países em desenvolvimento promovem esforços em mecanismos que contribuem e que favorecem a inovação em seu mercado nacional, pois se tornam mais produtivos e mais dinâmicos no cenário internacional.

As firmas tendem a adotar uma abordagem específica para alguns dos elementos-chave da competitividade industrial, de modo que a competição contribui para o mecanismo de adaptação e conquista de nichos de mercados. As companhias tendem a realizar diversificação produtiva, otimização na gestão e organização da

produção entre outras táticas para aumentarem e se tornarem mais competitivas (MARINO, 2006). A troca da informação se distingue para um novo modelo de lógica organizacional, na qual se verifica a tendência de interatividade entre TI e TIC.

Um dos vários impactos que ocorrem no setor produtivo industrial tende para a introdução de fábricas mais ágeis, eficientes e mais inteligentes. Caracteriza-se com a incorporação não apenas de produtos sagazes no mercado, mas também de acrescentar uma cadeia produtiva ágil. A nova estrutura possivelmente avança para um modelo de abastecimento audacioso, seja com os fornecedores, seja com o consumidor final, conectados por meio de um sistema mais dinâmico e proativo (COELHO, 2016). Este modelo contribui para maior agilidade e eficiência na produção e distribuição das mercadorias produzidas.

Na próxima seção se discute uma estrutura importante que contribui para fomentar tanto o processo inovativo quanto para aumentar os níveis de competitividades dos setores econômicos: o SNI.

1.3 Apresentação do SNI para indução da inovação tecnológica

Um dos fatores mais importantes, integrante do progresso tecnológico, está interligado ao conceito de SNI que tem como definição: “... *construção institucional, produto de ação planejada e consciente de um somatório de decisões não planejadas e desarticuladas, que impulsiona o progresso tecnológico em economias capitalistas complexas*” (ALBUQUERQUE, 1996, p. 57). Ou seja, o processo de criação de um mecanismo articulado trará benefício para geração de novas tecnologias e uma série de inovações em uma economia.

Um dos desafios para o desenvolvimento do setor industrial está ligado à condição dos países em produzir, aplicar e difundir o conhecimento técnico-científico e transforma-lo na geração de inovações tecnológicas. Para Nelson (1995 citado por VILLELA e MAGACHO, 2009) a definição de SNI entende-se como um conjunto de instituições, atores e mecanismos essenciais para o desenvolvimento e difusão de tecnologias em determinado país. Quando se analisa o desenvolvimento socioeconômico dos Estados Unidos, Alemanha e Japão verifica-se o quanto as condições nacionais contribuíram para instigar a atividade inovadora (VILLELA e MAGACHO, 2009).

As instituições têm contribuições importantes para o desenvolvimento do SNI, segundo Nelson (1995 citado por VILLELA e MAGACHO, 2009) pode ser definido

como uma estrutura composta por agentes estatais, centros de pesquisa e empresas. Estes em conjunto, dependem de uma integração entre o sistema educacional, as agências governamentais, uma estrutura de financiamento, centros universitários e com os investimentos das corporações. Tal mecanismo e conexão contribuem para o desenvolvimento e propagação tecnológico dos setores produtivos.

Outros elementos foram considerados, posteriormente, como sendo um conjunto de atores econômicos e agentes políticos da sociedade, que favorece os mecanismos de desenvolvimento do SNI (EDQUIST, 2001 citado por VILLELA e MAGACHO, 2009). Estes agentes em conjunto contribuem para o desenvolvimento e a criação de centros de tecnologia que colaboram para elaboração de novas técnicas e difusão de novas técnicas em vários setores produtivos.

No SNI os agentes econômicos contribuem para o desenvolvimento econômico, na qual suas ações afetam positiva ou negativamente o desempenho dos demais. O processo de inovação se desenvolve nas empresas, entretanto, o Estado possui condições de acelerar e de induzir o potencial inovativo, por meio de ações e de planejamento que favoreçam o comportamento das firmas. Ele é capaz de promover condições macroeconômicas mais estáveis e com isso mitigar os riscos existentes na introdução de novidades ao mercado. Outra atuação que pode contribuir para a atividade inovativa é a facilitação do financiamento para a P&D, de modo a promover o aumento e a qualidade das pesquisas científicas (VILLELA e MAGACHO, 2009).

O SNI se constitui da junção de diversas instituições (públicas ou privadas) como produto de uma articulação de ideias e ações que favoreçam a difusão do progresso tecnológico. É por intermédio deste sistema que também contribui para melhorar e aumentar os fluxos de informações que difundam o processo de inovação tecnológica. As construções institucionais promovem interação entre empresas, agências estatais, universidades, pesquisadores, engenheiros, institutos e laboratórios de pesquisas. Todas estas articulações se unem ao sistema educacional, indústria, serviços e empresarial se responsabilizando pela produção, desenvolvimento e difusão do progresso técnico (ALBUQUERQUE, 1996).

As universidades e as empresas colaboram com as pesquisas e inovações, respectivamente, de modo que se responsabilizam pelo conhecimento técnico e científico aplicados para inovação. Estes se concentram nas corporações que são agentes responsáveis pela utilização das técnicas pesquisadas e desenvolvidas nas universidades. As firmas são responsáveis em transformar o conhecimento tecnológico produzido em

novas técnicas, novos produtos, comercializando e difundindo as tecnologias que se originaram neste processo. Estes dois agentes conduzem o processo de inovação e progresso tecnológico, porém seus papéis também dependem de articulações com o Estado e agências estatais (VILLELA e MAGACHO, 2009).

N próxima seção se exhibe a estrutura metodológica de organização desta monografia. Neste se mostra a base de dados e como o tema proposto será discutido e analisado nos demais capítulos.

1.4 Metodologia

Este trabalho emprega, como base para análise, dados qualitativos e quantitativos que foram coletados por meio de pesquisa sob os conhecimentos técnicos, benefícios, potencialidades e dificuldades sobre a Indústria 4.0 realizada para as empresas brasileiras, pela Confederação da Indústria Nacional (CNI, 2016) e com os resultados divulgados em seu relatório. Também utiliza de dados de uma pesquisa sobre as expectativas para a incorporação das novas tendências produtivas da Indústria 4.0 no Brasil e no mundo elaborado pela *Pricewaterhouse Coopers* (PwC) de 2016.

Realiza uma análise documental de relatórios que a *Boston Consulting Group* (BCG) que publicou diversos relatórios sobre o desempenho destas novas técnicas de produção nos EUA e Alemanha. Outra fonte de documentos é apresentação de resultados por meio de introdução de novos processos produtivos no XXI Seminário Internacional de Alta Tecnologia (2016), sob o qual, diversas firmas exibiram os principais desafios com ênfase na importância da incorporação destes métodos produtivos para melhorias significativas de suas produtividades.

Este trabalho utiliza de relatórios sobre as expectativas e os desafios a serem enfrentados pelos empresários em vários países realizada pela PwC. Com vista a obter um comparativo entre Brasil e mundo sobre as expectativas no ingresso das etapas de digitalização dos processos industriais. Nesta monografia busca-se avaliar resultados encontrados que apontam tendências e perspectivas sobre o modo de expansão destas novas tecnologias digitais para o desenvolvimento da produção industrial.

O trabalho exhibe o meio em que o progresso técnico tende a promover o desenvolvimento e crescimento econômico. A elaboração desta monografia utiliza uma análise potencial desta nova revolução produtiva em comparação com o cenário brasileiro, avaliando seus benefícios, impactos e desafios. Esta monografia pretende apresentar as possibilidades desta nova fase da Revolução Industrial impactar o

processo de produção autônoma e inteligente. Este trabalho tem-se como objetivo específico: (i) exibir, inicialmente, os benefícios e os impactos da Nova Revolução Industrial no setor produtivo; (ii) exemplificar os resultados e perspectivas encontrados em estudos realizados nos EUA e Alemanha da Indústria 4.0; e (iii) elucidar as expectativas e os desafios na visão dos empresários sobre a Indústria 4.0.

O próximo capítulo desenvolverá e abordará os benefícios e potencialidades da Indústria 4.0; apontando as tecnologias e seus impactos no setor industrial.

2 INDÚSTRIA 4.0 SEUS BENEFÍCIOS, IMPACTOS E DESAFIOS

A Indústria 4.0 apresenta possibilidade de aperfeiçoar a utilização de recursos produtivos por meio de estruturas produtivas digitalizadas. Este novo paradigma tecnológico consiste em incorporar as inovações do mundo digital, virtual e superconectado às grandes redes de comunicação global, com diversos e sofisticados sensores em máquinas e equipamentos. O dinamismo entre máquinas e humanos, bem como a comunicação virtual entre tais partes produtivas, tende a se tornar melhor e possibilitar maiores ganhos produtivos na escala global de produção, conforme analisado na seção **Erro! Fonte de referência não encontrada.** Com a Indústria 4.0 espera-se uma base para maior agilidade e eficiência na produção e distribuição das mercadorias produzidas.

A digitalização de processos industrial traz a perspectiva para aumentos nos ganhos de produtividade industrial. A estrutura de produção tem capacidade de transformar a manufatura em células automatizadas, gerando uma fabricação mais integrada nas linhas de produção da empresa. A fábrica se tornaria mais flexível às comunicações entre custo e gestão. Na Alemanha tem-se uma perspectiva que a Indústria 4.0 pode reduzir os custos produtivos entre 5% e 8% no total da manufatura (RÜBMANN *et al.*, 2015).

A nova estrutura produtiva avança para uma estrutura de abastecimento complexo entre os fornecedores, os produtores e os consumidores finais, que estão conectados por meio de um sistema mais dinâmico e proativo (COELHO, 2016). Estas firmas tendem a articular e dinamizar as etapas de inovação e criação de novos modelos de negócios, como foi analisado na seção 1.1.

O processo de desenvolvimento e crescimento econômico alterou muito ao longo dos séculos, desde a Indústria 1.0 nos meados do século XVIII até os dias atuais. O progresso técnico foi um grande responsável por modificar este padrão de acumulação, pois foi por meio de inovações ocorridas na dinâmica de concorrência industrial que houve até o presente momento (SILVA, 2015). A expectativa é que na Indústria 4.0, a comunicação via internet proporcione uma conexão muito dinâmica entre seres humanos e máquinas, conhecida com *Cyber-Physical-Systems* (CPS). O modo de produção transforma os manufaturados em produtos muito mais eficientes. Com base nisso a Alemanha apresentou um incremento de 2,5% na participação do PIB e gerou cerca de sete milhões de empregos (BRETTEL *et al.*, 2014).

Com o desenvolvimento de novos sensores, serviços de análise de dados, computação em rede nas nuvens, com a utilização da *Internet of Things* (IoT), são as base para emergir um modelo de inteligência e automação de máquinas e sistemas (OCDE, 2017a). O novo processo de produção industrial se tornaria mais inteligente e interligaria diversas tecnologias para aumentar sua eficiência produtiva e de abastecimento de matérias-primas e de produtos nos mercados aumentando a competitividade, como analisado na seção 1.2.

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 e KUDYBA, 2017). Estas tecnologias colaboram para aumento da eficiência produtiva e redução de custos de produção, conforme apresentado na seção 1.2.

O desenvolvimento e a interação destas novas técnicas resultam em possibilidades e novas firmas poderia aumentar os novos modelos de negócios. As tecnologias modificariam o modo de como às companhias organizam sua produção e conseqüentemente transformariam a sua estrutura de organização e planejamento (DANOESASTRO, FREELAND e REICHERT, 2017). As entradas destes procedimentos em novas estruturas de mercados apresentariam resultados mais dinâmicos e eficientes para o consumidor como um todo. Verificam-se as potencialidades da integração entre centros de pesquisas e empresas para acentuar os processos inovativos, como investigado na seção 1.3

Na atualidade averigua-se um baixo crescimento, perdas de dinamismo e crises constantes no modelo de produção presente nas mais diversas companhias. Com base nisto, a possibilidade de mudanças neste padrão de produção pode resultar em um aumento de produtividade e ganhos associados a uma dinâmica de produção com inovações e elevação da competitividade. Com isso, a Indústria 4.0 propiciaria maiores ganhos, flexibilidade, agilidade, eficiência produtiva e melhorias constantes de processo de distribuição com maior dinamismo (GILLIAND e WENZY, 2012).

As próximas seções apresentam as tecnologias e impactos que a Indústria 4.0 tende a provocar no desenvolvimento industrial e econômico. Elas se dividem em quatro seções: (i) expõe a IoT e seus benefícios; (ii) apresenta as tecnologias que, se interconectadas, resultam em melhores resultados de automação industrial; (iii) aborda

AI e a robótica aplicados no setor industrial; e (iv) aponta os impactos no desenvolvimento e na geração de empregos.

2.1 *Internet* das Coisas (IoT) seus impactos e desafios

A IoT tem um potencial de promover o processo de aprendizagem das máquinas e equipamentos segundo Belluzzo e Galípolo (2016) e contribui para o mecanismo de interconexão das pessoas (por meio da *Internet*). Seu papel é importante neste novo processo industrial, pois acelera processos de inovação, como apresentados na seção 1.1 **Erro! Fonte de referência não encontrada.** Ademais é necessário para as novas fábricas estarem multiconectadas e adaptadas às constantes mudanças no processo produtivo e, principalmente, para terem agilidade e flexibilidade nas principais linhas de montagens e produção dos produtos.

A IoT possibilita articulação entre tecnologias diversas em um modelo de produção com utilização da CPS, no qual máquinas e humanos estão conectados em um processo de aprendizagem que aumenta a produtividade da manufatura. A todo instante simula, modela coleta e analisa dados para otimização de processos industriais e os tornam mais eficientes e flexíveis (SILVA, 2015; BELLUZZO e GALÍPOLO, 2016).

O modelo de competição capitalista tende à adoção de técnicas capazes de trazer para empresa processos mais ágeis e flexíveis às condições de competição no mercado. Em um cenário cada vez mais competitivo, como apresentado na seção 1.2, (e interconectado aos mais complexos e modernos modelos e estruturas produtivos) a Indústria 4.0 utiliza-se de conexões mais rápidas e versáteis que colaboram para aumento da competitividade empresarial. Por meio desta tecnologia de conexão em grandes redes virtuais, há possibilidade de interconectar outras funções e de integrar processos de *Big Data* com o a comunicação *Machine to Machine* (M2M). Com esta etapa tende a aumentar a capacidade de flexibilização das firmas transformando-as em um mecanismo de aprendizagem constante conectada aos mais diversos aparelhos (OCDE, 2017a).

Este processo M2M é um método de comunicação entre máquinas que estão conectadas por redes sem fio, sem a interação direta com seres humano com eficiência e qualidade. Neste mecanismo podem desenvolver outras duas modalidades diferentes: *Machine to Mobile* ou *Mobile to Machine*, que seriam o mesmo mecanismo de comunicação das máquinas com equipamentos móveis, como *tablets*, *smartphones* entre

outros (LEE, BAGHERI e KAO, 2015). Ou seja, se estimula uma gama de variações para comunicação virtual e aumento da capacidade de produção e eficiência produtiva em cada ciclo produtivo, que potencializa a inovação e possibilita maior capacidade de competição nos mercados.

A nova concepção de produção industrial tende para uma digitalização de processos produtivos, maiores facilidades de introdução de produtos e serviços no mercado, maiores ganhos de produção em escala e escopo e redução significativa dos custos (OCDE, 2015). A IoT se apresenta como muito eficiente em aumentar a competitividade dos setores industriais, sendo importante para incrementar valia e modificar a situação das mais diversas firmas na Cadeia Global de Valor.

O impacto de toda cadeia produtiva associada à IoT é algo que apresenta vantagens econômicas e sociais para as corporações. Entretanto, alguns dispositivos trazem mais benefícios aos fabricantes do que aos consumidores. Esses são favorecidos para melhorar seu *marketing* e otimizar sua estrutura de vendas, porém os clientes pouco se beneficiariam com seus dispositivos conectados em uma grande rede. Ela facilita a comunicação e aumento de ganhos e de receitas em diversas áreas da economia. Calcula-se que em 2025 a cadeia produtiva associada à IoT esteja entre US\$ 3,9 a US\$ 11,1 trilhões por ano. Todavia, um dos problemas a ser superado é a segurança digital das informações coletadas e processadas, pois ataques cibernéticos podem sequestrar e utilizar dados vitais, tanto para atividade produtiva e comercial da empresa, quanto projetos e pesquisas para o desenvolvimento de novas tecnologias (MANYIKA, *et al.*, 2015).

Para que a IoT apresente tais estruturas de integração tem-se como desafio que haja o desenvolvimento de protocolos de segurança cibernética. A elevada quantidade de dispositivos conectados nas redes contribui para congestionamento e dificuldades nas trocas de dados. Para que seja alcançado todo este potencial, seus benefícios cheguem à sociedade e a torne mais produtiva, depende da grande escala na utilização desta nova tecnologia (NEUMANN, 2016). Outro problema a ser suplantado é o fato de multiconexões de vários dispositivos, sensores e máquinas comprometem não apenas a velocidade da conexão, mas o fluxo de informação a ser processado. Os modelos de registro e configuração de redes tendem a se tornar mais complexos e avançados, resultando em um novo desafio a ser superado.

2.2 *Cyber-Physical-Systems* e *Big Data* seus benefícios e desafios

A integração de diversos dispositivos conectados na rede coleta, armazena e troca grandes fluxos de informações promovendo a utilização de um alto potencial de processamento. Isto proporciona ao *Big Data* um papel fundamental no mundo cada vez mais digitalizado e multiconectado. Esta tecnologia ratifica uma grande capacidade de processamento de dados, não apenas no volume, mas sim na qualidade e velocidade na transformação das informações, sendo capaz de aumentar o aprendizado de máquinas, de processos e na própria etapa inovativa das firmas (COELHO, 2016).

Com todo este contexto de conexão e integração virtual, o processamento de dados se torna elevado, principalmente tratando-se de dados em estruturas produtivas. O *Big Data* é uma “*analytics bases on larges data sets has emerged only recently in manufacturing world, where it optimizes production quality, saves energy, and improves equipment service*” (RÜBMANN *et al.*, 2015, p. 5). Ou seja, o processamento de dados é necessário para o aperfeiçoamento da atividade industrial, melhoramento da dinâmica das atividades produtivas e aumento da eficiência e a produtividade.

A realidade aumentada, a necessidade de alto processamento de dados é importante, pois será por meio do *Big Data* que os dados são acessados, analisados e implantados pelas fábricas digitais. Estas têm auxiliado no lançamento de novos produtos, bem como ajudado a desenvolver novas etapas produtivas mais eficientes (PLACERES, 2016). A IoT, aliada ao *Big Data*, coopera para o aprendizado e introdução sistemas produtivos mais eficazes e colabora para otimizar a interconexão dos mais diversos dispositivos na rede.

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

Os desenvolvimentos de sistemas inteligentes contribuem para incrementar estruturas produtivas mais automatizadas e a robotização de cadeias, que também é fruto da Manufatura Avançada. Esta interconexão de dispositivos, aliados a sistemas de integração M2M, aumentaria os mecanismos de CPS (SILVA, 2015). Tais sistemas permitiriam que a tecnologia conceda interatividade de sistemas cibernéticos conectados

via IoT e com o reforço do *Big Data* para potencializar e melhorar a produtividade de estruturas automatizadas e/ ou robotizadas dentro de um modo produtivo inteligente.

Para o desenvolvimento de mecanismos produtivos mais eficientes são introduzidos diversos mecanismos integrados como o Sistema de Informação (SI), que é utilizado para auxiliar os processos de automação das máquinas e equipamentos. O uso de novas máquinas e equipamentos que se integrem com a TIC mais complexa aumenta a produtividade entre os outros componentes conectados (RÜBMANN, *et al.*, 2015).

Juntamente com tais tecnologias, TIC cooperam para aumentar o dinamismo, elevando a quantidade de *softwares*, produtos e serviços cada vez mais interconectados. Ainda, TIC facilitam não apenas a trocas de grandes volumes de informações, mas também, possibilitam interatividade em tempo real. Estas contribuem para “*many high-potential industrial applications of ICTs, such as autonomous machines and systems, and complex simulation, are computationally intensive*” (OCDE, 2017a, p. 35). As TICs se apresentam com tendência a realizar grandes fluxos de investimento neste setor, que tem a capacidade de aumentar significativamente o potencial produtivo desta nova fase da indústria.

Para que estas tecnologias se apliquem de modo dinâmico na produção industrial é importante um grande fluxo de investimentos em TIC. Como discutido na seção 1.1 é a integração de vários agentes que viabiliza o processo inovativo em uma economia industrializada. Para seu estímulo adequado é preciso que o Estado, empresas e centros de pesquisa se conectem e estimulem investimentos expressivos nestas tecnologias da Indústria 3.0, pois estas que viabilizam a implantação da versão 4.0 (NEUMANN, 2016).

2.3 Os benefícios da Automação, robotização e AI industrial e seus desafios

No avanço da aplicação das atuais e novas tecnologias voltadas para produção industrial têm-se os sistemas computacionais de alta capacidade e qualidade no processamento de dados. Estes princípios estão totalmente integrados e interconectados em grandes redes com IoT, *Big Data* e CPS. Com base nisto, a estrutura de produção tende a promover a independência da atuação humana e abre espaço para o processo de robotização e automação industrial, por meio de AI (COELHO, 2016).

A automação tradicional da indústria se faz por ambiente de sistemas inteligentes dedicados exclusivamente às etapas usadas para aumentar a capacidade de produção. Este padrão tende a ser substituídos por processos de robotização, como

consequência do crescente desenvolvimento de dispositivos e sensores de multiconexões de alta interatividade (LEE, BAGHERI e KAO, 2015). Com o ingresso de segurança virtual e sistemas cibernéticos mais inteligentes, o mecanismo de robotização propiciaria a aplicação de AI para autoexecução de funções básicas e pré-determinadas via programação.

A complexidade na concepção e processamento das informações auxiliam para a utilização de robôs autônomos, de forma a tornar a produção mais flexível e bem-sucedida, com competitividade e cooperatividade dentro da cadeia. O exemplo eleva a interatividade entre humanos e máquinas, aperfeiçoando e contribuindo para o desenvolvimento de um ambiente de trabalho mais seguro (RÜBMANN *et al.*, 2015). Ademais, a simulação e o incremento de impressões em 3D, a partir dos modelos cibernéticos promoveria o reforço nos modelos de AI que tornaria todo processo mais dinâmico, flexível e competitivo.

A AI tem provocado grandes discussões na atualidade devido à grande possibilidade desta tecnologia desenvolver algumas habilidades e competências humanas. Um dos propósitos a serem utilizados pela AI está em *softwares* para condução de automóveis e controle do mercado financeiro. Este método pode assessorar para o aumento na capacidade de processamento e facilitar a comunicação entre diversos dispositivos conectados a vários serviços e operações *online* (GERBERT, JUSTUS e HECKER, 2017). Com ela se pode melhorar também a capacidade de organização e comunicação, ajudando a aperfeiçoar os processos de simulação virtual e acelerando a possibilidade de trazer o mundo virtual para o real.

Outra tecnologia importante que se espera obter é a simulação virtual, adequada para acelerar o mecanismo de entrada de determinado produto no mercado consumidor. Espera-se que os modelos de simulações virtuais em 3D sejam utilizados para produção de novos produtos e até mesmo de máquinas e equipamentos. Inclusive, por meio de uma combinação entre mundo virtual com o físico tende a aumentar a interação entre processos produtivos (até mesmo com a humanidade). Um exemplo na utilização desta tecnologia é o desenvolvimento da Siemens que elaborou uma simulação sobre o emprego de máquinas ou partes de um maquinário virtual. Este modelo acelerou a entrada do novo equipamento em operação e reduziu em quase 80% o tempo atual de processamento mecânico (GOMES, 2016).

2.4 Os impactos da Indústria 4.0 e a geração de emprego

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

A Indústria 4.0 segue para uma tendência de abandonar a produção em massa para realizar a customização em massa. Esta pode ser definida como um processo *“produção de bens ou serviços que atendam desejos específicos e individuais a custos reduzidos, muito próximos dos custos de produção em massa sem customização, só possível com uma grande agilidade e flexibilidade da empresa”* (COELHO, 2016, p. 16). O impacto no setor industrial seria a elaboração de produtos mais dinâmicos e mais inteligentes para atender às novas exigências do mercado consumidor.

As novas técnicas, ao serem utilizadas em conjunto, aspiram ser responsáveis por aumentos significativos nos índices de produtividade e dos ganhos produtivos das firmas do futuro. Esta esperança pode ocorrer devido à utilização de múltiplas tecnologias por meio da IoT, *Big Data*, armazenamento em nuvem, entre outras, que possam se desenvolver. Com base nisto, espera-se que haja uma produção mais digitalizada e, por consequência, com níveis de eficiência e operosidade muito maiores.

As tecnologias cooperam para aumentar os índices de produtividade e da competitividade da indústria. Entretanto, outro aspecto relevante causa certo incômodo para discussão: a geração de emprego no setor industrial. Como verificado na seção 1.3 os novos métodos têm capacidades de automação, AI, entre outras para alargar os desempenhos produtivos nos setores industriais que se adequem ao novo processo. Neste caso, se aproximaria para a formação de um profissional para o futuro que tenha capacidade e conhecimento técnico em conjunto com uma série de habilidades, que atualmente é usual. Os novos profissionais necessitariam de outros meios de treinamento para adquirir e desenvolver as novas destrezas das fábricas inteligentes.

Outros estudos, entretanto, apontam que nos EUA grande parte do desemprego é consequência da incorporação de tecnologia poupadora de mão-de-obra. Este fato provoca um problema estrutural na geração de emprego, devido à condição de automação industrial provocando cada vez mais desempregados no mundo (TAYSON,

2017). Entretanto, segundo McKinsey (2017 citado por TAYSON, 2017) aponta em seu relatório, há muito espaço para a automação ocupar dentro dos setores industriais, porque são poucas as ocupações que podem ser totalmente automatizadas. Segundo este, a automatização do trabalho reduz a demanda de trabalho de baixa qualificação profissional, exigindo trabalhos com maior grau de formação profissional, mais produtivo e com maior nível de remuneração.

Outro relatório, apresentado pela BCG, em empresas na Alemanha aponta que ao adentrarem com as tecnologias da Indústria 4.0, mostrar-se elevação na produtividade das empresas germânicas reduzindo a quantidade de postos de trabalho necessários para ampliar a capacidade produtiva. Mais um dado apresentado é que a criação de emprego no período entre 2015 e 2025, acenderia um volume com cerca de trezentos e cinquenta mil novos postos de trabalho. Tem-se que a concepção de emprego deixa de atuar na área de produção dos produtos manufaturados, abrindo outras áreas e empregos para a economia alemã. Cargos gerados na área das novas tecnologias aplicadas ao setor industrial, originando postos de trabalho em P&D ou na produção de máquinas e equipamentos para estes setores industriais (LORENZ *et al.*, 2015).

O próximo capítulo apresentará alguns resultados pesquisados em empresas que aplicaram inicialmente as técnicas e tecnologias da Indústria 4.0 nas suas etapas produtivas.

3 EXPECTATIVAS E RESULTADOS SOBRE A INDÚSTRIA 4.0

A Indústria 4.0 auxilia as mudanças de estratégias voltadas aos negócios que se esperam transformações, graças aos processos de digitalização e globalização que reconfigura o paradigma tecnológico. Esta nova estrutura altera o comportamento dos consumidores, aumenta a transparência dos preços, reduz os ciclos de vida de diversos produtos, entre outros benefícios. As novas firmas e tipos de negócios procuram se adequar à nova composição produtiva para elevar sua produtividade, garantir força nos mercados e manter o seu potencial de crescimento (BÜRKNER *et al.*, 2016).

Esta nova armação da produção tem por objetivo melhorar a integração de sistemas de informação, máquinas, equipamentos e sensores, conforme analisado na seção 1.1. Para que ocorra automação produtiva entre outras tecnologias vigentes, como apontados no capítulo 2 para que combinadas conduzam a uma maior produtividade das empresas.

Com base em um relatório publicado pela BCG, na qual se avaliou mais de seiscentas empresas nos Estados Unidos e na Alemanha, que implantaram processos produtivos baseados em tecnologias da Indústria 4.0. Nele foi verificado que “*those companies in two leading industrial nations have set high ambitions for Industry 4.0 but will need to accelerate their effort to implement these technological advances and achieves their goals*” (LORENZ *et al.*, 2016, p. 3). Este novo paradigma tecnológico tende a elevar os processos de inovação conforme descrito na seção 1.1. Entretanto, existem dificuldades para programar uma nova estrutura produtiva, que resultam em um esforço para adequação e superação de tais dificuldades.

Segundo Lorenz *et al.* (2016), três quartos das empresas alemãs e dois terços das norte-americanas indicaram um avanço significativo nos índices de produtividade após incorporarem a tecnologias da Nova Revolução Industrial. Quase a metade das empresas alemãs e pouco mais de 40% das americanas, também, mencionaram crescimento das receitas associadas aos bons resultados introduzidos pela Indústria 4.0. O aumento da produtividade colabora para melhores índices de competitividade das companhias, conforme discutido na seção 1.2, na qual, além de contribuir para eficiência produtiva, alarga o faturamento das firmas.

A transferência da mão-de-obra ocupada, em ambos os países do setor de manufatura, para os demais setores ligados aos padrões de produção da Indústria 4.0. Também ocorreu como descrito anteriormente na seção 2.4, com a automação de setores

menos produtivos, houve a passagem destes trabalhadores para outros setores mais produtivos. Ademais, verificou-se que em ambos os países careciam de uma qualificação maior da força de trabalho e que seriam necessários montantes em recursos formação e os incorporar aos novos processos produtivos (BRETTEL *et al.*, 2014).

O mercado de trabalho na Alemanha encontra-se com níveis de salários muito elevados e com pouca flexibilidade. As corporações sentem-se estimuladas a realizar grandes investimentos em tecnologias de automação e robotização em grande parte voltados para a produção. Outro fator relevante é a constante queda nos preços de custo de produção com elevado aumento da produtividade dos fatores (LORENZ *et al.*, 2016). Com isso houve um avanço significativo na quantidade de empregos gerados na economia alemã em diversos setores diferentes.

O conceito de “*Efficient Factory 4.0*” está se desenvolvendo na *TU Darmstadt* baseado em um projeto do Ministério da Fazenda, Energia, Transporte e Desenvolvimento Regional (*Ministry of Economics, Energy, Transport and Regional Development*) da Alemanha. O projeto conta com uma parceria de doze empresas no ramo industrial e com mais institutos de tecnologia *Intitut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen* (PTW) e *Fachgebiet Datenverarbeitung in der Konstruktion* (DiK). Esta estrutura produtiva utiliza a IoT, o *Big Data* e CPS para facilitar a comunicação e a tomada de decisões da empresa. Como foi discutido na seção 1.3 uma articulação entre o Estado, Universidade e empresas facilitariam a incorporação de progresso técnico e o desenvolvimento de inovações tecnológicas.

O SNI bem desenvolvido incentiva à incorporação de novas estruturas de produção. No caso do *Efficient Factory 4.0* tem como objetivo realizar um fluxo de transporte de informações. A técnica apresentou os resultados de melhoria na integração, na qualidade e na garantia do fluxo das informações (integração entre máquinas e humanos). Este sistema cooperou para não utilização de papel, com o monitoramento em tempo real, controle da produção e do consumo de energia. Esta estrutura está tornando mais flexível e ágil à atuação dos trabalhadores, conforme discutido na seção 2.4, (ANDERL, 2016). Ou seja, por meio de processos de digitalização de diversas etapas do processo produtivo, contribuindo para melhor o desempenho competitivo das empresas.

As tendências são que as empresas adotem os processos de digitalização da produção nas etapas de concepção, elaboração e distribuição de mercadorias e serviços. A entrada dos novos métodos pode colaborar para alargar receitas e introduzir novos

produtos. Espera-se que o setor industrial em todo mundo realize investimentos na ordem de US\$ 900 bilhões por ano em tecnologias da Indústria 4.0, cerca de 5% do faturamento total (GEISSBAUER, VEDSO e SCHRAUF, 2016). As novas técnicas contribuem para redução dos custos e tendem a elevar o potencial de competição das corporações, conforme apontado na seção 1.2 deste trabalho.

As firmas procuram combinar computação em nuvem (*Big Data* e IoT), sensores multiconectados e sistemas computacionais (mais inteligentes em criptografias) em uma tentativa de alterar seus modelos de negócios. A Tabela 1 expõem dados referentes à expectativa dos entrevistados na redução de custos em alguns setores industriais, segundo entrevistados no relatório da PwC (2016). Assim, as informações proporcionam que, em média a redução de custos varia em torno de 3,2% e 4,2% por ano. O setor com mais capacidade de diminuição do custo é o setor de papel e embalagens com um percentual de 4,2% por ano.

Tabela 1 - Expectativa de redução de custos de produção de diversos setores industriais, segundo entrevistados da pesquisa

Setores	(%) Redução de Custos*	US\$ Redução de Custos**
Aeroespacial, defesa e segurança	3,7%	9,00
Automotivo	3,9%	28,00
Químico	3,9%	49,00
Eletrônico	3,7%	62,00
Engenharia e Construção	3,4%	78,00
Florestas, papel e embalagem	4,2%	28,00
Manufatura Industrial	3,6%	52,00
Matais	3,2%	54,00
Logística e transporte	3,2%	61,00

Fonte: PwC (2016).

* Em porcentagem por ano.

** Em bilhões de US\$ por ano.

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

Pode se nota a importância das inovações, conforme explanado na seção 1.1, na qual o novo paradigma tecnológico tende a estimular o aumento das receitas das

empresas. Ela apresenta que há uma esperança de acréscimo de 47% no faturamento nos próximos cinco anos para digitalização no portfólio de produtos atuais. Ou seja, evidencia as novas alterações provocadas pela Indústria 4.0. Outra intenção é introdução de novos produtos em portfólio digitais, acredita-se em uma adição nas receitas em torno de 44%.

Outro tema importante é à entrada de inovações na oferta de outros serviços digitais a serem oferecidos aos clientes. A perspectiva é de um incremento na renda em cerca de 40%. Ademais, espera-se que as firmas têm esperança de ofertar serviços relacionados à Indústria 4.0 para seus clientes; estes podem resultar em uma elevação em cerca de 40% de seus faturamentos.

O capítulo seguinte se exhibe as expectativas e os desafio para a economia brasileira na implantação da Indústria 4.0 segundo as empresas brasileiras.

4 EXPECTATIVAS E DESAFIOS PARA A INDÚSTRIA 4.0 NO CENÁRIO BRASILEIRO

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

Na Tabela 2, segundo relatório da PwC, os entrevistados apontaram para uma tendência de alargar consideravelmente o nível atual de digitalização dos processos. Segundo as corporações é capaz de aumentar em quase o dobro o nível atual, obtendo um percentual médio de 72% dos processos das companhias. Os maiores avanços acontecem nos modelos de negócios digitais em que o incremento é de 35%. Ademais, os métodos de integração vertical e desenvolvimento de produtos e engenharia (cujo nível de digitalização é alto) estão responsáveis pelas maiores aplicações de processos digitais.

Tabela 2 - Expectativa sobre o nível atual de digitalização produtiva das empresas nos próximos cinco anos no Mundo e no Brasil

Locais	Mundo		Brasil	
	Hoje	Em cinco anos	Hoje	Em cinco anos
Digitalização de processos				
Integração vertical (Cadeia Global de Valor)	41%	72%	10%	57%
Integração Horizontal (Cadeia Global de Valor)	34%	65%	16%	55%
Modelos de Negócio Digitais (Produtos, Serviços).	29%	64%	19%	68%
Desenvolvimento de Produtos e Engenharia	42%	71%	17%	50%
Acesso de clientes, canais de vendas e <i>marketing</i> .	35%	68%	19%	68%

Fonte: PwC (2016).

Para o Brasil, a Tabela 2 aponta para uma disposição de maior expansão nas áreas de integração vertical (organização, gestão e produção dentro das fábricas inteligentes) e acesso de clientes a canais de vendas e *marketing* com expansão de cerca 49%. O estudo também assinala para que a maior parte dos processos digitalizados

esteja presente nos modelos de negócios digitais. Na comparação entre Brasil e o mundo, verifica-se uma expectativa de crescimento nos modos de digitalização de processos mais acelerada do que no resto do mundo, mas apresentando defasagem.

A Tabela 3 distingue alguns desafios e problemas que geralmente são encontrados pelos empresários para incorporação de processos de digitalização dos processos produtivos. Percebe-se que as principais dúvidas sobre a digitalização residem sobre a ausência de clareza, como realizar os processos de integração digital e a falta de líderes que conheçam e se adequem aos processos digitais. Outra incerteza é em relação aos retornos sobre o investimento, tanto no Brasil quanto no mundo; estas dúvidas estão em torno de 40% dos entrevistados. Outro assunto relevante é a necessidade de grandes volumes de capital para realizar o investimento, o percentual dos entrevistados que apontam esta dificuldade é de 36% para o mundo e 29% no Brasil.

Tabela 3 – Preocupações e dificuldades, segundo as empresas no Brasil e no mundo, sobre a introdução da Indústria 4.0

Preocupações e dificuldades	Global	Brasil
Falta de clareza nas operações digitais e suporte/ liderança de alta administração	40%	39%
Incerteza quanto aos benefícios econômicos sobre os investimentos digitais	38%	39%
Necessidade de grande financiamento	36%	29%
Pergunta não resolvidas sobre segurança e dados de dados privacidade em conexão com o uso de dados externos	25%	-
Talentos insuficientes	25%	16%
Faltam de padrões digitais, normas e certificações.	21%	3%
Expansão lenta das tecnologias de infraestrutura básica	18%	26%
Os parceiros de negócios não são capazes de colaborar em torno de soluções digitais	16%	26%
Preocupação com a perda de controle da propriedade intelectual da empresa	14%	6%

Fonte: PwC (2016).

A expectativa de introduzir a digitalização de processos produtivos no Brasil se distingue ser muito mais agressiva e acelerada do que a média global. As expectativas dos empresários brasileiros são de se aproximar ou até ultrapassar os índices globais de digitalização de etapas. Para o setor se desenvolver nota-se que a estratégia de acelerar os passos para implantar as fases da Indústria 4.0 é a aposta para conseguir aumentar seus níveis de competitividade no cenário internacional.

Em relação ao mundo, os maiores desafios para a Indústria 4.0 está na falta de talentos necessários para execução dos processos digitais na economia, juntamente com a falta de padrões digitais e certificações estão na casa de 25 e 21%, respectivamente.

Para situação brasileira os percentuais atingem 3 e 16% simultaneamente, entretanto, os brasileiros argumentam que a expansão lenta da infraestrutura básica para as novas tecnologias e a falta de parceiros para realizar os investimentos representam 26% cada das dificuldades. Enquanto que, para o resto do mundo estes percentuais estão em torno de 18 e 16%, concomitantemente.

O relatório da PwC (2016), apresenta as expectativas para as empresas adquirirem os novos modelos de digitalização da produção. As perspectivas, segundo entrevistados, para introdução destas tecnologias pelos empresários brasileiros são bastante otimistas, apesar do atual estágio de desafios. Ela expõe grandes desafios a serem superados devido ao fato de que a estrutura das corporações e a infraestrutura digital brasileira se apresentam com desvantagens com os modelos globais.

A expectativa para ampliar os níveis atuais de digitalização em processos produtivos corrobora para um cenário de crescimento expressivo e acelerado para o Brasil em comparação com a evolução global. O nível atual brasileiro encontra-se próximos aos 10% e o mundial em 35%. Observa-se que a perspectiva da elevação neste método é, em pontos percentuais, quase o dobro para empresários brasileiros em relação com a esperança dos empresários no mundo (GEISSBAUER, VEDSO e SCHRAUF, 2016). Neste cenário espera-se que a produção brasileira atinja os mesmos níveis de digitalização que os demais países, porém, estes se encontram em vantagem em relação ao Brasil.

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

Na Tabela 4 tem a resposta referente aos processos de digitalização da produção que podem provocar um aumento na produtividade do setor industrial no Brasil. Na comparação entre o tamanho (pequenas, médias e grandes) e a intensidade tecnológica⁴

⁴ Este indicador construído com base nos estudos da OCDE tem como variáveis a intensidade em P&D na produção industrial. Também é levado em consideração o gasto em P&D e o gasto em tecnologia incorporada em bens intermediários e de investimento.

(Alta, Médio-Alta, Médio-Baixa e Baixa) nota-se que para uma parte significativa dos entrevistados que o emprego de sistemas integrados, processos de automação (com sensores e para aumentar a flexibilização das fábricas) estão entre os mais votados.

Tabela 4 - Na visão das empresas brasileiras, quais tecnologias digitais têm maior potencial para impulsionar a competitividade da indústria brasileira nos próximos cinco anos (em porcentagem)

Resposta	Pequena	Média	Grande	Alta	Média-Alta	Média-Baixa	Baixa
Projetos de manufatura por computador CAD/CAM (3) (4)	11	10	9	7	13	10	9
Sistemas integrados de engenharia para desenvolvimento de produtos e manufatura de produtos	19	23	28	16	27	25	21
Automação digital sem sensores	3	3	3	5	3	3	3
Automação digital com sensores para controle de processo	13	23	23	12	22	18	18
Automação digital com sensores com identificação de produtos e condições operacionais, linhas flexíveis	13	19	26	20	21	19	17
Monitoramento e controle remoto da produção com sistemas do tipo MES e SCADA (5)	10	11	18	13	14	12	11
Simulações/análise de modelos virtuais (Elementos Finitos, Fluidodinâmica Computacional, etc.) para projeto e comissionamento	4	5	6	3	9	4	4
Coleta, processamento e análise de grandes quantidades de dados (“big data”)	8	12	21	11	14	13	12
Incorporação de serviços digitais nos produtos (“Internet das Coisas” ou <i>Product Service Systems</i>)	8	9	15	17	11	11	9
Manufatura aditiva, prototipagem rápida ou impressão 3D	6	8	11	12	13	7	7
Utilização de serviços em nuvem associados ao produto	8	10	13	17	9	9	10
Nenhuma das anteriores	3	4	2	5	2	3	4
Não sei	22	13	9	11	14	16	17
Sem resposta	31	30	21	32	23	29	30

Fonte: CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (2016).

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

(1) Os resultados são médias ponderadas dos portes de empresa. Os pesos se encontram na metodologia da Sondagem Industrial, disponível no site: www.cni.org.br/sondindustrial;

(2) Classificação elaborada pela CNI, com base em OECD. ISIC REV. 3 *Technology Intensity Definition*, 2011, disponível no relatório de divulgação desta pesquisa.

(3) CAD – *Computer-Aided Design*; CAM – *Computer-Aided Manufacturing*.

(4) A opção “Projetos de manufatura por computador CAD/CAM”, isto é, licença de softwares utilizada nas etapas de desenvolvimento e de fabricação não se enquadra como tecnologia digital, apesar de significar maior automação da manufatura. Sua inclusão entre as opções de resposta se deu para deixar mais clara a diferença com “Sistemas integrados de engenharia para desenvolvimento de produtos e manufatura de produtos”.

(5) MES – *Manufacturing Execution Systems*; SCADA – *Supervisory Control and Data Acquisition*.

Na Tabela 4 aborda outra questão importante que abrange a introdução de inovações para o mercado. A pesquisa confirma que as perspectivas para inovações e aproximações do mercado consumidor e os produtores são muito baixas para se utilizar das tecnologias para desenvolver novos produtos ou modificar a estrutura ou atuação do negócio. Nesta questão avalia-se que as empresas brasileiras esperam que a digitalização produtiva conduza a um aumento na competitividade por meio de reduções de custos nas etapas de produção.

Verifica-se também, uma grande parte dos entrevistados não conhecem sobre o assunto ou não sabem opinar. Isso, ao se investigar tanto o tamanho das companhias quanto a intensidade tecnológica, segue o mesmo padrão nas respostas. O que representa uma tendência às dificuldades na implantação de métodos digitais nos processos industriais. Dado que, para incorporação destes mecanismos digitalizados necessitam de profissionais e líderes capacitados para introdução destas tecnologias.

Tabela 5 – Na perspectiva das empresas brasileiras as principais barreiras internas que inibem a introdução da Indústria 4.0 nas firmas brasileiras⁵ (em porcentagem)

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

Fonte: CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (2016).

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

(1) os resultados são médios ponderados dos portes de empresa. Os pesos se encontram na metodologia da Sondagem Industrial, disponível no site: www.cni.org.br/sondindustrial;

(2) Classificação elaborada pela CNI, com base em OECD. ISIC REV. 3 *Technology Intensity Definition*, 2011, disponível no relatório de divulgação desta pesquisa.

Quando a questão está associada às barreiras internas, a introdução na adoção de tecnologias digitais nos processos produtivos apresentados na Tabela 5, a principal dificuldade notada pelos entrevistados reside nos elevados custos para utilização das tecnologias nos processos. Aliada a esta questão, estão conectados o fato de haver dificuldades a serem enfrentadas na infraestrutura de TI adequadas. A complexidade dos

⁵ Esta pesquisa contou com a resposta das empresas de até três itens respondidos pelos empresários, portanto, as somas das porcentagens superam o valor de 100%.

modelos digitais depende da utilização de redes com elevado potencial na transmissão de dados que as TI podem propiciar.

Os problemas são maiores nas corporações de grande porte e em geral nas empresas com alta e médio-alta intensidade tecnológicas. As firmas também apontam que há grandes dificuldades de integração das novas tecnologias e *softwares* nas estruturas implantadas. Estas barreiras estão conectadas ao fato do Sistema Brasileiro de Inovações (SBI) estar pouco desenvolvido, acarretando em complicações para se melhorar a difusão e implantação de novos modelos produtivos. Estas dificuldades em se promover uma melhor articulação entre centros de pesquisas e companhias resultam em um grande desafio a ser superado para difusão da Indústria 4.0 no Brasil. O SBI se apresenta pouco desenvolvido e articulado em grande parte dos setores industriais brasileiros, o que redundava em menor eficiência para a propagação das novas tecnologias.

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

A respeito das barreiras externas, observa-se, na Tabela 6, uma combinação de respostas diversificadas. Uma das principais causas apresentadas seria a falta de trabalhadores qualificados (fato que também foi apontada na seção 2.4, que assinala as dificuldades e novas tendências para a formação técnica e operacional dos trabalhadores). Esta dificuldade afeta as corporações com médio-baixa e baixa intensidade tecnológica e as de pequeno porte do que os demais tipos. A infraestrutura de TIC ser insuficiente foi outra questão evidenciada, porque apesar de verificar incrementos significantes, por meio de investimentos públicos e privados no Brasil, ainda se mostra aquém da necessidade da digitalização produtiva do país.

Tabela 6 – Na visão das empresas brasileiras, as principais barreiras internas que inibem a introdução da Indústria 4.0 nas firmas brasileiras⁶ (em porcentagem)

Resposta	Pequena	Média	Grande	Alta	Média-Alta	Média-Baixa	Baixa
O mercado ainda não está preparado (clientes e fornecedores)	22	20	26	24	23	22	23
Falta de trabalhador qualificado	31	31	28	26	26	32	32
Falta de normalização técnica	7	8	8	8	8	7	8
Infraestrutura de telecomunicações do país insuficiente	17	25	30	20	26	22	21
Dificuldade para identificar tecnologias e parceiros	22	24	27	28	29	22	23
Regulação inadequada	4	6	7	13	7	4	5
Ausência de linhas de financiamento apropriadas	22	27	26	25	29	25	23
Sem resposta	39	35	31	33	32	36	37

Fonte: CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (2016).

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

(1) Os resultados são médias ponderadas dos portes de empresa. Os pesos se encontram na metodologia da Sondagem Industrial, disponível no site: www.cni.org.br/sondindustrial;

(2) Classificação elaborada pela CNI, com base em OECD. ISIC REV. 3 *Technology Intensity Definition*, 2011, disponível no relatório de divulgação desta pesquisa.

Uma questão apontada no relatório da CNI reside no fato de que o mercado brasileiro é pequeno e com baixas potencialidades para se adequar ao modo dinâmico de interatividade, isso está ligado tanto aos clientes quanto aos fornecedores. A barreira externa – outro agravante – está associada à dificuldade de encontrar tecnologias e parcerias para introdução dos modelos produtivos digitais. Por sua vez, a falta de linhas de financiamento para inserir no setor produtivo as novas tecnologias dificulta os processos de digitalização produtiva do setor industrial brasileiro. Referente ao mercado, não existe preparo que haja adequação entre clientes e fornecedores aos novos procedimentos digitais, associado a dificuldades a ser enfrentado devido ao pouco desenvolvimento do SBI.

Estas deficiências nas articulações entre o setor de pesquisa e o empresarial se transformam em barreiras externas para se propague as novas técnicas produtivas. Com a Indústria 4.0 se espera que haja melhorias significativas na estrutura produtiva, todavia, sua integração com os demais setores da economia é muito dinâmica. Ou seja, estas dificuldades de interação, devido ao pouco amadurecimento do SBI, também tendem a dificultar a sua implantação no setor produtivo.

A nova fase de digitalização dos processos é uma tendência global, na qual, na tentativa de introduzi-la, diversas companhias procuram desenvolver estratégias e

⁶ Esta pesquisa contou com a resposta das empresas de até três itens respondidos pelos empresários, portanto, as somas das porcentagens superam o valor de 100%.

pesquisas e buscando combinações de diversas tecnologias – conectividade e automação avançada, computação em nuvem, IoT entre outras – para transformar os seus modelos de negócios.

Este estudo apresentado pela CNI em 2016 elucidou alguns desafios e dificuldades para implantar a nova fase da industrialização no Brasil, onde vários setores produtivos, em evidência o industrial, brasileiros encontram-se agravantes para se incorporar, em seu modelo produtivo, algumas etapas desta Indústria 4.0 em suas unidades fabris.

O próximo capítulo se exhibe as considerações finais sobre este trabalho em conjunto os impactos da nova fase de desenvolvimento industrial e as expectativas e desafios para a economia brasileira.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta monografia, verifica-se que a Indústria 4.0 tende a propiciar melhorias no processo manufatureiro, em que estas novas tecnologias buscam proporcionar estruturas produtivas mais inteligentes, autônomas e eficientes. A nova etapa contribui para o desenvolvimento de novos modelos de negócios em novos mercados, com maior dinamismo. Contudo, têm-se que há impactos na estrutura econômica e social capazes de afetar tanto as relações entre fornecedores, produtores e consumidores, quanto à geração de empregos. Eles alteram o modo de formação da mão-de-obra, pois tendem para acúmulo de múltiplos conhecimentos.

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

As técnicas que favorecem o maior dinamismo e automação dependem de um fluxo de investimentos para sua implantação, dado que se espera que a estrutura produtiva seja alterada para modelos digitais de manufatura avançada. Com isso, os novos profissionais tendem a desenvolver atividades e habilidades diferentes, pois se encontram em ambiente corporativo multiconectados. Estes novos trabalhadores tendem a apresentar multiformações profissionais, que alterariam a dinâmica do mercado de trabalho. Estas modificações resultariam em maiores ganhos e melhorias na condição de vida destes novos trabalhadores.

As possibilidades de unidades produtivas superconectadas se mostra como desvantagens a carência de estudos que tratam de segurança de dados e informações. Esta deficiência eleva a possibilidade de colapso total da rede em caso de falha de uma de suas partes, como na hipótese de ataques cibernéticos por vírus e *hackers*. Além disso, tem-se que o armazenamento sairia das sedes das empresas e passaria para a nuvem, uma preocupação muito relevante reside em quem teria acesso a essas informações. Estas preocupações crescem em tempo de cyber-guerra, em que pessoas tentam invadir segredos de outros países e corporações.

As perspectivas sobre a Indústria 4.0 são de uma estrutura produtiva menos rígida e mais flexível, em comparação aos modelos atuais. Espera-se também que as novas fábricas sejam inteligentes, multiconectadas e autônomas. Ou seja, tende a redução nos custos de produção, um constante processo de aprendizagem e elevação nos índices de produtividade. Ademais, as expectativas de novos postos de trabalhos, que resultariam em diminuição de trabalhos repetitivos e pouco qualificados, para o surgimento em novas com maior nível de formação e dinâmica que propiciariam maiores rendimentos.

Outro detalhe também apresentado nesta monografia, está associado aos empregos atuais, pois muitas das atividades atuais tendem a se reduzirem consideravelmente nos próximos anos. E dado que as novas vagas necessitariam de novas habilidades desenvolvidas e que a formação profissional atual não auxilia neste desenvolvimento profissional.

Esta monografia também abordou a importância do SNI para o desenvolvimento e a difusão de novas tecnologias. Nesta Nova Revolução Industrial, espera-se que a integração entre Estado, centros de pesquisas e as companhias resulte em um paradigma tecnológico com maior índice de customização em massa. Dado que a estrutura produtiva tende a ser mais dinâmica e inteligente, a distribuição a se tornar mais efetiva e os desejos dos consumidores mais evidentes devido aos novos aparelhos multiconectados. Esta nova fase da indústria, resultaria em troca de informações mais efetivas e em tempo real, o que se apresentaria em novos produtos e funcionalidades.

As potencialidades, com o uso das novas tecnologias, requerem um desafio elevado no Brasil. Entretanto, as expectativas das companhias estão elevadas, mesmo com as dificuldades iniciais apontadas na pesquisa pela CNI em 2016. Um dos grandes problemas abordados pelas companhias está na falta de investimentos em infraestrutura, principalmente nas tecnologias da Indústria 3.0, que não se desenvolveram adequadamente no território brasileiro.

Outro ponto relevante também assinalado pelo trabalho é a formação da mão-de-obra qualificada para manuseio destas novas tecnologias. Isto refere-se à necessidade de alterar o modo de formação dos novos profissionais, como já analisado, para se desenvolver novas habilidades e capacidades para lidar com a nova estrutura produtiva. Todavia, nota-se uma elevada expectativa para que nos próximos cinco anos haja uma condição favorável à utilização destas novas tecnologias.

Esta monografia considera importante a implantação das tecnologias e da Indústria 4.0 no Brasil, porém, com base na evidência apresentada verifica-se que há muitos desafios a ser enfrentados. O SBI ainda em desenvolvimento, pouco contribui para o desenvolvimento e propagação de novas tecnologias. As expectativas das empresas são otimistas demais, em comparação com os grandes obstáculos que foram analisados neste trabalho. As perspectivas sobre a Indústria 4.0 para as firmas brasileiras apontam para uma dificuldade relacionada com o baixo desenvolvimento de estímulos à inovação. Este fato inibe desde a formação de uma mão-de-obra com multiqualificação até o estímulo aos novos modelos de negócios que tendem a promover aumentos significativos de produtividade e competitividade do setor industrial brasileiro.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, E. D. M. E. Sistema Nacional de Inovação no Brasil: uma análise introdutória a partir de dados disponíveis sobre a ciência e tecnologia. **Revista de Economia Política**, Campinas, v. 16, n. 3, p. 56-72, Setembro 1996.
- ALMEIDA, H. Apresentação Internet das Coisas - Tudo Conectado. **Revista da Sociedade Brasileira da Computação**, Porto Alegre, v. 29, p. 5-8, Abril 2015.
- ANDERL, R. Industry 4.0 - Digital Transformation in Product Engineering and Production. **21º Seminário Internacional de Alta Tecnologia**, Piracicaba, 06 Outubro 2016. 3-17.
- BANCO MUNDIAL. World Bank Data. **World Development Indicators**, 2016. Disponível em: <<https://data.worldbank.org/indicator?tab=all>>. Acesso em: 10 Setembro 2017.
- BELLUZZO, L. G.; GALÍPOLO, G. A nova revolução industrial. **Jornal Valor Econômico**, Brasília, Novembro 2016.
- BRETTEL, M. et al. How Virtualization, Decentralization and Network Building Change the Manufacturing Landscape: An Industry 4.0 Perspective. **International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering**, v. 8, n. 1, p. 37-44, Novembro 2014.
- BÜRKNER, H.-P. et al. **Transformation delivering and sustaining breakthrough performance**. Boston: The Boston Consulting Group, Inc, 2016.
- COELHO, P. N. M. **Rumo à Indústria 4.0**. Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia e gestão Industrial pela Universidade de Coimbra. Coimbra, p. 1-65. 2016.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Indústria brasileira: da perda de competitividade à recuperação?** CNI. Brasília, p. 31. 2015.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Os desafios da Indústria 4.0 no Brasil**. 1. ed. Brasília: CNI, v. 1, 2016.
- DANOESASTRO, M.; FREELAND, G.; REICHERT, T. **A CEO's guide to leading digital transformation**. BCG - Perspectives. Boston, p. 1-4. 2017.
- DAVENPORT, T. H.; KUDYBA, S. Designing and Developing Analytics-Based Data Products. **MIT MITSLOAN MANAGEMENT REVIEW**, Massachusetts, v. Special Collection, p. 6-11, Julho 2017.
- EVANS, D. **A Internet das Coisas como a próxima evolução da Internet está mudando o mundo**. Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG). San José, p. 1-13. 2011.
- FIQUEIREDO, P. N.; PINHEIRO, M. C. Competitividade industrial brasileira e o papel das capacidades tecnológicas inovadoras: a necessidade de uma investigação criativa. **Programa de Pesquisa em Gestão da Aprendizagem Tecnológica e Inovação Industrial no Brasil, da EBAPE/FGV**, Rio de Janeiro, 15 Março 2016. 1-17.
- FONSECA, R. D.; CUNHA, S. **Indicadores de Competitividade da Indústria Brasileira**. Confederação Nacional da Indústria. Brasília, p. 31. 2015.
- GEISSBAUER, D. R.; VEDSO, J.; SCHRAUF, S. **Industry 4.0: Building the digital enterprise**. PWC. Berlin, p. 1-36. 2016.
- GERBERT, P.; JUSTUS, J.; HECKER, M. **Competing in the age of Artificial Intelligence**. The Boston Consulting Group. Boston, p. 1-7. 2017.
- GILLIAND, G.; WENZY, H. **Transformation the business model for IT services**. Boston Consulting Group. Boston, p. 1-4. 2012.

- GOMES, J. D. O. Manufatura Avançada Verde e Amarela. **21º Seminário Internacional de Alta Tecnologia**, Piracicaba, 6 Outubro 2016. 67-80.
- HABERKAMP, A. M. Impactos dos investimentos em tecnologias da Informação nas variáveis estratégicas das empresas prestadoras de serviços contábeis. **Dissertação de mestrado Programa de Pós-Graduação em Administração UFRGS**, Porto Alegre, 2005. 1-101.
- KUPFER, D. Uma abordagem neo-schumpeteriana de competitividade industrial. **Ensaio FEE**, Porto Alegre, v. 1, n. 17, p. 355-372, 1996.
- LEE, J.; BAGHERI, B.; KAO, H.-A. A Cyber-Physical Systems architecture for Industry. **Elsevier B.V.**, Amsterdã, v. 3, n. 2015, p. 18-23, Janeiro 2015.
- LORENZ, M. et al. **Man and Machine in Industry 4.0: How will technology transform the industry workforce Through 2025?** Boston Consulting Group. Boston, p. 1-23. 2015.
- LORENZ, M. et al. **Time to Accelerate in the Race Toward Industry 4.0.** The Boston Consulting Group, Inc. Boston, p. 15. 2016.
- MANYIKA, J. et al. **The Internet of Things mapping the value beyond the hype.** McKinsey Global Institute. San Francisco, p. 1-144. 2015.
- MARINO, L. H. F. D. C. Gestão da qualidade e gestão do conhecimento: fatores-chave para produtividade e competitividade empresarial. **XIII SIMPEP**, Bauru, 06-08 novembro 2006. 1-9.
- NEUMANN, R. Connected Industry at Bosch. **21º Seminário Internacional de Alta Tecnologia**, Piracicaba, 6 Outubro 2016. 93-103.
- OCDE. **Munual Oslo: Diretrizes para coleta e interpretação de dados sobre inovação.** 3ª. ed. [S.l.]: Finep, 1997.
- OCDE. **OECD Digital Economy outlook 2015.** OCDE. Paris, p. 1-284. 2015.
- OCDE. **The Next Production Revolution: Implications for Governments and Business.** OCED Publishing. Paris, p. 1-442. 2017a. (978-92-64-27103-6).
- OCDE. **OECD Digital Economy Outlook 2017.** OECD Publishing. Paris, p. 1-325. 2017b.
- 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 Outubro 2016. 122-142.
- RÜBMANN, M. et al. **Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries.** Boston Consulting Group. Boston, p. 20. 2015.
- SCHUMPETER, J. A. **Business Cycles: A Theoretical, Historical and Statistical Analysis of the Capitalist Process.** 1. ed. New York, Toronto, London: McGraw-Hill Book Company, v. I e II, 1939.
- SCHUMPETER, J. A. **Capitalismo, Socialismo e Democracia.** Rio de Janeiro: Fundo de Cultura, 1961.
- SCHUMPETER, J. A. **Teoria do Desenvolvimento Econômico: Uma investigação sobre Lucros, Capital, Crédito, Juros e Ciclo Econômico.** 1ª. ed. São Paulo: Editada Nova Cultura LTDA; Tradução feita a partir do texto em língua inglesa, intitulado, v. I, 1997.
- 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.
- SIRKIN, H. L.; ZINSER, M.; ROSE, J. R. **Why Advanced Manufacturing Will Boost Productivity.** The Boston Consulting Grupo, Inc. Boston, p. 4. 2015.

- TAKEY, S. Internet das Coisas por brasileiros pela melhoria da eficiência da indústria brasileira. **21º Seminário Internacional de Alta Tecnologia**, Piracicaba, 6 Outubro 2016. 197-214.
- TAYSON, L. O trabalho na era da automação. **Valor Econômico**, Rio de Janeiro, p. 1-2, junho 2017.
- TIGRE, P. B. **Gestão da Inovação: a economia da tecnologia no Brasil**. Rio de Janeiro: Campus, 2006.
- VILLELA, T. N.; MAGACHO, L. A. M. Abordagem histórica do Sistema Nacional de Inovação e o papel das Incubadoras de Empresas na interação entre agentes deste sistema. **XIX Seminário Nacional de Parques Tecnológicos e Incubadoras de Empresas**, Florianópolis, 26 a 30 outubro 2009. 10-29.

JHONATA DE SOUZA MATOS

Graduando em Ciências Econômicas pelo Instituto de Economia e Relações Internacionais na Universidade Federal de Uberlândia em 19 de dezembro de 2018.