



A INDÚSTRIA 4.0: POTENCIAL TECNOLÓGICO, DESAFIOS E POSSIBILIDADES.

Marcio Roque dos Santos da Silva, Universidade Federal de Sergipe (UFS), Brasil,
santosmarcioadm@gmail.com

Maria Elena Leon Olave, Universidade Federal de Sergipe (UFS), Brasil, mleonolave@gmail.com

Resumo

A concepção de uma quarta revolução industrial, sob o termo Indústria 4.0 está sendo difundida mundialmente provocando rupturas no que concerne a evolução dos sistemas produtivos, como ocorreu nas primeiras revoluções industriais. A convergência de tecnologias digitais ubíquas, como a *Internet of Things* (IoT), os *Cyber-physical systems* (CPS), *Big Data* e Fabricação Aditiva nos sistemas de produção atuais criam as chamadas “Fábricas Inteligentes”, onde todas as etapas da cadeia de valor estarão interconectadas, permitindo a comunicação em tempo real. No cenário da Indústria 4.0, as máquinas adquirem autonomia através da utilização de sensores e atuadores mais poderosos que aproximam os ambientes físicos e virtuais, permitindo que as tarefas sejam realizadas de modo descentralizado, por meio da auto-organização, autoconfiguração e inteligência artificial. Neste contexto, há uma mudança de paradigma na fabricação que vem sendo discutido com o intuito de fortalecer a competitividade e a indústria global, visto que as possibilidades tecnológicas permitem o armazenamento e manipulação de dados em tempo real, otimização dos recursos por meio das decisões autônomas e descentralizadas, bem como o aumento da eficiência produtiva possibilitada pela precisão em que as tarefas de um estágio de fabricação são realizadas. Diante disso, o objetivo desse trabalho é, através de uma revisão sistemática de literatura, descrever os principais conceitos, tecnologias e componentes da Indústria 4.0, além dos desafios, oportunidades e potenciais tecnológicos para atender aos anseios do cenário disruptivo atual, de modo a intensificar as discussões acerca da temática.

Palavras-chave: Indústria 4.0; Tecnologias digitais; Revolução Industrial.

INDUSTRY 4.0: TECHNOLOGICAL POTENTIAL, CHALLENGES AND POSSIBILITIES.

Abstract

The measure of an industrial revolution, under the term Industry 4.0 is being spread worldwide causing ruptures with respect to the evolution of the productive systems, as it happened in the first industrial revolutions. The convergence of ubiquitous digital technologies such as the Internet of Things (IoT), Cyber-physical systems (CPS), Big Data and Additive Manufacturing in today's production systems create so-called "Intelligent Factories" where all stages of the value will be interconnected, allowing real-time communication. In the industry scenario 4.0, machines acquire autonomy through the use of more powerful sensors and actuators that bring physical and virtual environments closer together, allowing tasks to be performed in a decentralized way, through self-organization, self-configuration and artificial intelligence. In this context, there is a paradigm shift in manufacturing that has been discussed in order to strengthen competitiveness and global industry, since technological possibilities allow the storage and manipulation of data in real time, optimization of resources through autonomous decisions and decentralized processes, as well as the increase of the productive efficiency made possible by the precision in which the tasks of a manufacturing stage are realized. Therefore, the objective of this work is, through a systematic literature review, to describe the main concepts, technologies and components of Industry 4.0, in addition to the challenges, opportunities and technological potential to attend to the desires of the current disruptive scenario, in order to intensify the discussions on the subject.

Keywords: *Industry 4.0; Digital technologies; Industrial Revolution.*

1. INTRODUÇÃO

Historicamente as revoluções industriais têm sido demarcadas pela inserção de novas tecnologias que acarretam transformações nos modos de produção e influenciam as estruturas sociais, políticas e econômicas. A primeira revolução industrial foi caracterizada pela mecanização da produção com uso de energia hídrica, a segunda envolveu a produção em massa de bens, movida a eletricidade e com base na divisão do trabalho, a terceira revolução ou era da informação empregou a eletrônica e a tecnologia da informação para alcançar uma maior automação dos processos de fabricação, já que as máquinas assumiram o trabalho manual e uma parte do trabalho intelectual, agora surge a quarta revolução industrial ligada à chamada indústria 4.0.

Apesar das tecnologias digitais não serem algo novo, elas estão provocando rupturas com relação àquelas que caracterizaram a terceira revolução industrial, visto que a sofisticação e integração das mesmas estão provocando modificações no âmbito político, econômico, social, acadêmico e mercadológico (Schwab, 2016). Deloitte (2015) corrobora com a ideia que, de fato, a grande maioria dessas tecnologias não são recentes, sendo datadas de cerca de 30 anos atrás. Entretanto, “o recente aumento maciço no poder de computação e a redução no custo, junto com a miniaturização, agora as tornam adequadas para o uso industrial” (Deloitte, 2015, p. 05). Isso demonstra que, quando se fala em tecnologias da informação, as técnicas evoluem numa celeridade em grande escala.

Diante desses avanços, segundo a Federação das Indústrias do Estado do Rio de Janeiro (FIRJAN, 2016), a expressão Indústria 4.0, ou quarta revolução industrial, vem sendo difundida mundialmente, a partir da otimização dos sistemas produtivos, “marcada pelo conjunto de mudanças nos processos de manufatura, design, produto, operações e sistemas relacionados à produção, aumentando o valor na cadeia organizacional e em todo o ciclo de vida do produto” (FIRJAN, 2016, p. 09), assim como ocorreu nas três revoluções anteriores. Neste novo cenário da manufatura, há uma convergência entre o ambiente físico e o virtual por meio da internet. Dito de outra forma, “tudo dentro e ao redor de uma planta operacional (fornecedores, distribuidores, unidades fabris, e até o produto) são conectados digitalmente, proporcionando uma cadeia de valor altamente integrada” (FIRJAN, 2016, p. 09).

Entretanto, essas tendências não devem ser consideradas como um maior nível de automação produtiva como vem ocorrendo desde a década de 1970 a partir do desenvolvimento da eletrônica e tecnologia da informação, conforme aponta Deloitte (2015, p. 01). A utilização cada vez mais aprofundada das tecnologias digitais da informação e comunicação nos sistemas de produção “está agora abrindo o caminho para abordagens disruptivas de desenvolvimento, produção e toda a cadeia logística” (Deloitte, 2015, p. 01).

Neste sentido, as empresas precisam moldar os seus processos industriais e operacionais numa velocidade proporcional aos avanços tecnológicos para não ficarem às margens do mercado cada vez mais competitivo e que progride em direção a Indústria 4.0 (Deloitte, 2015).

Isto posto, através de uma breve revisão de literatura, o presente artigo tem por objetivo descrever os principais conceitos, tecnologias e componentes da Indústria 4.0, bem como os desafios e oportunidades para a implementação das tecnologias digitais nos sistemas produtivos, fornecendo um panorama geral sobre a quarta revolução industrial, a fim de contribuir para as discussões sobre os avanços tecnológicos na indústria. Assim, o presente artigo pretende discutir a seguinte questão: o que a quarta revolução industrial tem de diferente das outras?. Este artigo está organizado em cinco seções: Introdução; Revisão de literatura; Procedimentos metodológicos, Discussões e resultados; e Conclusão. Contribuindo

para ampliação das produções relacionadas à temática estudada, visto que é um tema relativamente novo, tendo poucos estudos acadêmicos que formatem essa discussão.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CONTEXTO GERAL EVOLUTIVO DAS REVOLUÇÕES INDUSTRIAIS

Historicamente as revoluções industriais têm sido demarcadas a partir da inserção de novas tecnologias que acarretaram transformações nos modos de produção e influenciaram a maneira como as estruturas sociais, políticas e econômicas são percebidas. Para Schwab (2016, p. 15) o termo revolução “denota mudança abrupta e radical”. Isso significa que há uma mudança de paradigma estrutural que delimita claramente a transição de um estágio para o outro.

Segundo Rubmann et al., (2015, p. 03), “os avanços tecnológicos provocaram aumentos dramáticos na produtividade desde o início da Revolução Industrial”, devido as transformações tecnológicas que a impulsionaram apoiadas no advento da energia a vapor e hídrica, eletricidade e pela automação (Lorenz, Rubmann, Strack, Lueth & Bolle, 2015), no decorrer das três revoluções industriais.

Neste contexto, conforme apontam Heindl et al., (2016), o início do desenvolvimento industrial, ou Primeira Revolução Industrial, foi caracterizado pela mecanização da produção por meio do uso de energia hídrica e a vapor, no final do século XVIII. Isto é, “a industrialização começou com a introdução de equipamentos de fabricação mecânica..., quando máquinas como o tear mecânico revolucionaram a forma como os bens eram feitos”, substituindo gradativamente a produção manual (Kagermann, Wahlster & Helbig, 2013, p. 13). Entretanto, Pinto (2013) afirma que a industrialização, enquanto atividade econômica impulsionadora do desenvolvimento capitalista fortaleceu-se, somente, a partir do final do século XIX.

Posteriormente, no início do século XX, deu-se início a um novo cenário de desenvolvimento nos países tradicionalmente mais industrializados da Europa, Japão e EUA. A Segunda Revolução Industrial “envolveu a produção em massa de bens, movida a eletricidade com base na divisão do trabalho” (Kagermann, Wahlster & Helbig, 2013, p. 13), e influenciada pela expansão dos princípios tayloristas. A produção passou a ser operada por meio de energia elétrica e pela utilização das linhas de produção (Heindl et al., 2016), conforme o sistema fordista.

O cenário industrial, por volta da década de 1970, deu espaço para uma nova onda de transformações influenciadas pela Terceira Revolução Industrial. Para Sabo (2015) a tecnologia digital foi o fator primordial para essa mudança, também chamada de revolução digital. Essa terceira revolução, segundo Kagermann, Wahlster e Helbig (2013, pp. 13-14), “empregou a eletrônica e a tecnologia da informação (TI) para alcançar uma maior automação dos processos de fabricação, já que as máquinas assumiram não apenas uma proporção substancial do ‘trabalho manual’, mas também parte do ‘trabalho intelectual’.”.

Atualmente a indústria mundial está passando por uma nova revolução, a chamada Indústria 4.0, ou Quarta Revolução Industrial. Este novo panorama de transformações tem seus pilares na revolução digital e é marcada por “uma internet mais ubíqua e móvel, por sensores menores e mais poderosos que se tornaram mais baratos e pela inteligência artificial e aprendizagem automática (ou aprendizado de máquina)” (Schwab, 2016, p. 16). Isso significa que, num futuro não muito distante, o ambiente de fabricação operará de forma altamente conectada através da Internet das Coisas e Serviços, conforme apontam Kagermann, Wahlster e Helbig (2013). A Figura 1 apresenta um resumo evolutivo das quatro revoluções industriais.

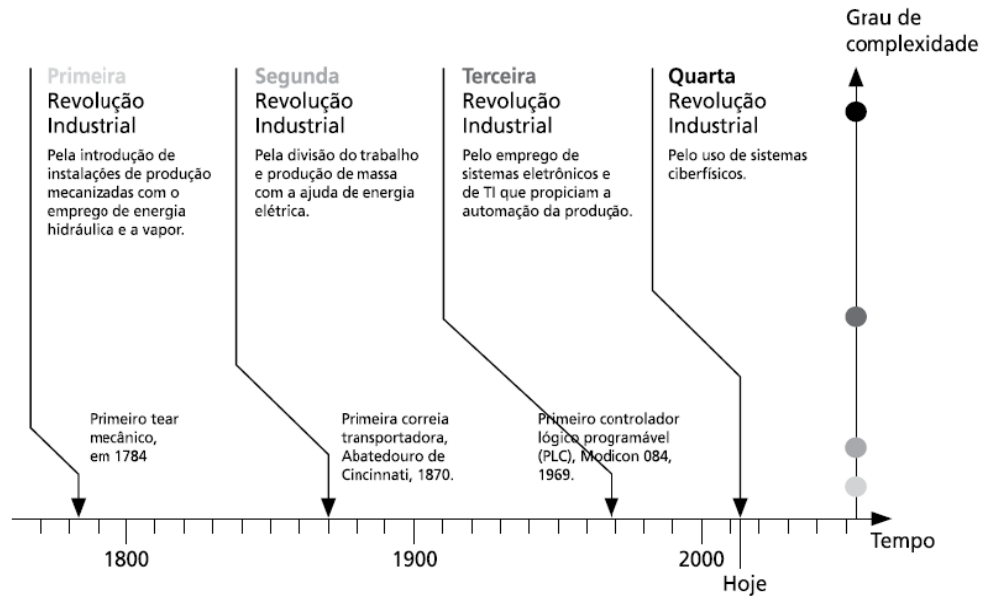


Figura 1 Panorama das Revoluções Industriais. Fonte: Bruno (2016)

As “fábricas inteligentes”, como assim são chamadas no cenário da quarta revolução industrial considerando a sinergia das tecnologias 4.0, serão caracterizadas cada vez mais pela auto-organização descentralizada. Isso significa que durante as etapas de fabricação o produto terá a capacidade de comunicar-se autonomamente com as máquinas e outros recursos produtivos, atuando no controle da autoprodução de forma ativa e sem intervenção humana direta, rompendo a centralidade do controle das operações industriais clássicas (Heindl et al., 2016). Segundo Bruno (2016, p. 63) “o termo indústria, nos próximos anos, estará cada vez mais associado à complexidade de sistemas ciberfísicos, autônomos, integrados e robotizados”.

Isto posto, para Schwab (2016) o que torna a quarta revolução diferente das anteriores é a fusão de todas as tecnologias físicas, digitais e biológicas de forma ampla e rápida. Por exemplo, “o tear mecanizado (a marca da primeira revolução industrial levou quase 120 anos para se espalhar fora da Europa. Em contraste, a internet espalhou-se pelo globo em menos de uma década)” (Schwab, 2016, p. 17).

Dito de outra forma, a Indústria 4.0 traduz uma evolução dos sistemas industriais que se perpetuaram ao longo do tempo, desde a mecanização da produção que caracterizou a indústria do século XVIII à automação dos sistemas produtivos atuais.

2.2 CONCEITOS E CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS

De acordo com Schwab (2016), o termo “indústria 4.0” foi usado pela primeira vez em 2011 na Feira de Hannover, maior feira de tecnologia industrial do mundo, na Alemanha, fazendo referência a um projeto de alta tecnologia para a informatização da manufatura, de iniciativa do governo alemão. A expressão Indústria 4.0, do alemão *Industrie 4.0*, denota o uso de tecnologias avançadas de automação, Internet das Coisas (IoT) e computação na nuvem que permitem a interconexão de sistemas físicos e virtuais de fabricação cooperando de maneira flexível e global (Schwab, 2016). A partir dessas ações, a concepção de uma quarta revolução industrial começou a eclodir, abrindo espaço para a disseminação de uma nova perspectiva de desenvolvimento tecnológico e industrial no mundo (Schwab, 2016).

No entanto, ainda não existe uma definição claramente consolidada sobre o tema. Ainda assim, um ponto em comum que é reforçado é que nos sistemas produtivos, o processo de fabricação passará de simples células automatizadas para componentes inteiramente

integrados cujas instalações automatizadas terão a capacidade de comunicar-se entre si, aumentado a produtividade, de modo rápido, flexível e com um maior nível de qualidade, conforme afirmam Rubmann et al. (2015).

Kagermann, Wahlster e Helbig (2013, p. 05) definem o conceito de Indústria 4.0 da seguinte maneira:

No futuro, as empresas estabelecerão redes globais que incorporam suas máquinas, sistemas de armazenagem e instalações de produção na forma dos Sistemas Ciber-Físicos (CPS). No ambiente de fabricação, estes Sistemas Ciber-Físicos compreendem máquinas inteligentes, sistemas de armazenagem, instalações de produção capazes de trocar informações autonomamente, desencadeando ações e controlando um ao outro independentemente. Isso facilita as melhorias nos processos industriais envolvido na fabricação, engenharia, uso de material e cadeia de suprimentos e gerenciamento do ciclo de vida. As fábricas inteligentes que já estão começando a aparecer empregam uma abordagem completamente nova para a produção. Os produtos inteligentes são exclusivamente identificáveis, podem ser localizados em todos os momentos e conhecem sua própria história, status e rotas alternativas para alcançar seu estágio final.

Isto é, a Indústria 4.0 refere-se à um conjunto de componentes e máquinas físicas os quais se ligam à dimensão virtual por meio das comunicações através da Internet. “Isso significa que, pela primeira vez, agora é possível usar recursos de rede, informações, objetos e pessoas para criar a Internet das Coisas e Serviços” (Kagermann, Wahlster & Helbig, 2013, p. 13).

Neste cenário, quaisquer recursos de trabalho (peças, máquinas, sistemas de controle) serão providos de inteligência artificial por meio de memórias eletrônicas. Essas memórias, por sua vez, permitirão que cada um deles transportem consigo as informações referentes às etapas produtivas necessárias à sua fabricação, ativando, de maneira autônoma e descentralizada, os próximos estágios de processamento até a sua produção final, como afirma o *Ministry for Economic Affairs and Energy* (BMW, 2016). As máquinas inteligentes ficam responsáveis pela coordenação e condução do produto por meio das etapas produtivas, identificando os insumos necessários para completar a etapa em questão (BMW, 2016).

Sabo (2015, p. 05) sintetiza essa concepção afirmando que “o resultado da quarta revolução industrial será a chamada fábrica inteligente. Os sistemas físicos cibernéticos e a Internet das coisas serão tecnologias-chave para alcançar esse objetivo”.

Deloitte (2015) reforça que os sistemas ciberfísicos não consistem apenas em máquinas de rede que interligam componentes. Através da Internet das Coisas,

eles também criam uma rede inteligente de máquinas, propriedades, sistemas de TIC, produtos inteligentes e indivíduos em toda a cadeia de valor e o ciclo de vida completo do produto. Sensores e elementos de controle permitem que as máquinas sejam ligadas a plantas, frotas, redes e seres humanos (Deloitte, 2015, p. 04).

Esses sistemas são compostos por uma unidade de controle cuja função é permitir a interação entre o mundo físico e virtual por meio dos sensores e atuadores, tecnologias de identificação como o uso de *Radio-Frequency Identification* – RFID (identificação por rádiofrequência) e o uso de estruturas de armazenagem e controle de dados (FIRJAN, 2016).

Hermann, Pentek e Otto (2015) determinaram seis princípios importantes que devem ser considerados dentro da configuração espacial da Indústria 4.0, conforme exposto no Quadro 1.

PRINCÍPIOS	DESCRIÇÃO
Interoperabilidade	Significa que todos os CPS de um ambiente industrial devem ser capazes de se comunicar entre si, tais como os contentores, estações de montagem, e produtos. A conexão entre empresas, CPS e seres humanos é possível através da IoT e da Internet dos Serviços (IoS).
Virtualização	O CPS deve ser capaz de monitorar processos físicos, possibilitado por meio de sensores que captam os sinais físicos e convertem em sinais virtuais, simulando nos

Descentralização	ambientes virtuais os padrões do mundo real. O CPS deve permitir que os computadores e máquinas ao longo da cadeia produtiva tomem decisões descentralizadas durante as etapas da produção, uma vez que cada máquina ou equipamento deve possuir etiquetas de RFID para permitir a comunicação entre si de forma autônoma.
Capacidade em tempo real	A produção deve ser capaz de operar com informações em tempo real. Isso significa que é necessário que todos os processos produtivos sejam rastreados, registrados e analisados em tempo real, permitindo a otimização da produção ou até mesmo o encaminhamento de produtos para outras linhas de montagem ou outros processos em caso de falhas.
Orientação para o serviço	Informações como serviços das empresas, CPS e seres humanos devem estar disponíveis em rede por meio da IoT, podendo ser compartilhado com clientes e outros <i>stakeholders</i> . Assim, os processos produtivos serão mais flexíveis e adaptáveis de acordo, por exemplo, com os requisitos dos clientes.
Modularidade	Os centros produtivos deverão ser capazes de se adaptarem de maneira flexível às mudanças que surgirem por meio dos sistemas modulares.

Quadro 1 – Princípios da Indústria 4.0. Fonte: Hermann, Pentek & Otto (2015).

Esses princípios representam como as estruturas funcionais das fábricas da quarta revolução industrial devem ser formatadas e operacionalizadas, de modo a atender aos requisitos e funcionalidades das tecnologias digitais.

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

De modo a atender os objetivos propostos, a metodologia utilizada foi a abordagem indutiva e exploratória, pois, conforme afirma Vergara (2009, p. 42), “é realizada em área na qual há pouco conhecimento acumulado e sistematizado”, o que possibilita investigar e constatar fenômenos particulares, assim como enfatizar uma temática pouco explorada.

O presente estudo consiste ainda numa pesquisa teórica, realizada por meio de revisão sistemática de literatura, tendo como fonte de dados as plataformas que condensam produções científicas *Web of Knowledge* (ISI), *Scopus* e *CAPES/CNPq*, onde constatou-se as baixas produções acerca do tema. Além disso, foram utilizados documentos de sites corporativos, assim como relatórios governamentais e de instituições como a consultoria Deloitte, o Fórum Econômico Mundial e a consultoria *Boston Consulting Group* – BCG, que tratam sobre a Indústria 4.0. Na seleção das publicações pertinentes, utilizou-se como critérios de seleção: a) publicações mais recentes, preferencialmente a partir do ano de 2013; b) relevância do resumo para a temática; c) relação das consultorias com o tema.

4. DISCUSSÕES E RESULTADOS

4.1 POTENCIAIS TECNOLÓGICOS: TENDÊNCIAS E POSSIBILIDADES

Apesar das tecnologias digitais não serem algo novo, elas estão provocando rupturas com relação àquelas que caracterizaram a terceira revolução industrial, visto que a sofisticação e integração das mesmas estão provocando modificações no âmbito político, econômico, social, acadêmico e mercadológico (Schwab, 2016). Deloitte (2015) corrobora com a ideia que, de fato, a grande maioria dessas tecnologias não são recentes, pois são datadas de cerca de 30 anos atrás. Entretanto, “o recente aumento no poder da computação e a redução no custo, assim como a miniaturização, agora as torna adequadas para o uso industrial” (Deloitte, 2015, p. 05). Essa velocidade com que as transformações acontecem dirigidas pela tecnologia da

informação reflete a “lei de Moore”. Isso demonstra que, quando se fala em tecnologias da informação, as técnicas evoluem numa celeridade em grande escala.

Neste sentido, as empresas precisam moldar os seus processos industriais e operacionais numa velocidade proporcional aos avanços tecnológicos para não ficarem atrás, em um ambiente cada vez mais competitivo e que progride em direção à Indústria 4.0 (Deloitte, 2015).

A FIRJAN (2016, p. 09) salienta ainda que “ao contrário das outras revoluções industriais, que foram observadas e diagnosticadas a posteriori, essa é a primeira vez que os acontecimentos estão sendo previstos como tendências”. Por isso, muitas das tecnologias aqui abordadas, bem como outros fatores condicionantes ainda não ocorreram em sua totalidade, o que significa que os seus impactos foram em grande parte estimados. Em outras palavras, um composto de pilares tecnológicos está norteando a transição entre os sistemas de produção tradicionais para sistemas descentralizados característicos da Indústria 4.0.

Desta forma, diversas organizações e centros de pesquisas tem classificado as principais tecnologias digitais mais representativas da Indústria 4.0. Assim, este artigo norteia-se pelas tecnologias digitais abordadas por Rubmann et al. (2015), publicado no relatório da *Boston Consulting Group* – BCG. Para Rubmann et al. (2015), a Indústria 4.0 é baseada fundamentalmente em nove pilares tecnológicos digitais que determinam a nova estruturação produtiva das fábricas, definidos e exemplificados conforme pode ser visto Quadro 2, o que retrata suas potencialidades, tendências e possibilidades de implementação para a otimização dos sistemas produtivos.

PILARES TECNOLÓGICOS	DESCRIÇÃO	EXEMPLO DE APLICAÇÃO
Big Data e Analytics	Os sistemas computacionais adquirem maior capacidade para processar grandes conjuntos de dados numa escala de tempo cada vez menor. Isso implica num cenário em que a coleta e avaliação de dados das mais distintas origens, tais como sistemas de produção, gestão empresarial e de clientes, serão o caminho mais contundente para subsidiar as tomadas de decisão em tempo real. Essa tecnologia possibilita a otimização da qualidade produtiva, economiza energia e melhora os serviços de assistência.	A Infineon Technologies diminuiu a falha de produtos, melhorou o processo de produção e conferiu maior qualidade às operações ao relacionar e analisar dados em tempo real. Os dados obtidos durante a fase de testes no final da etapa produtiva foram comparados com os dados capturados durante o início da operação, possibilitando, dessa forma, identificar padrões que permitem o descarte dos chips defeituosos no início do processo de fabricação.
Robôs Autônomos	O uso de robôs nas operações e processamento na indústria não é algo recente. Entretanto, os avanços propõem-lhes maiores utilidades, tornando-os mais cooperativos, flexíveis e autônomos. Nas indústrias da quarta revolução, eles terão a capacidade de interagir entre eles e com os humanos de maneira segura. O avanço e difusão das novas tecnologias irão baratear esses recursos tornando-os insumos produtivos padrão de toda fábrica.	A Kuka Industrial Robots fabrica robôs autônomos e interligados que interagem entre si, trabalhando juntos e com a capacidade de ajustar suas atividades automaticamente para se preparar para o próximo estágio da linha de produção. Isso é possível por meio de sensores de ponta, visão computacional e unidades de controle que possibilitam o reconhecimento de peças. Além de trabalhar de forma colaborativa com os humanos.
Simulação	O que se espera é que as simulações em 3D sejam utilizadas nas operações industriais, de tal modo que permita captar dados em tempo real para simular os processos, máquinas e produtos físicos no	A Siemens criou uma máquina virtual com capacidade de simular a usinagem de peças por meio do uso de dados da máquina física, apoiado por sensores que fazem essa captação. Isso permite a

<p>Integração Horizontal e Vertical do Sistema</p>	<p>campo virtual. Assim, será possível testar e otimizar as configurações dos equipamentos para o produto seguinte de maneira virtual, antes de iniciar o processo físico, conferindo, maior qualidade ao reduzir os tempos de configurações de máquinas.</p> <p>Atualmente, a maioria dos sistemas de TI, que envolve empresas, fornecedores e clientes, ainda não são totalmente integradas (horizontal). Bem como os departamentos de produção, engenharia, serviços e etc. (vertical). As tecnologias da indústria 4.0 permitem que empresas, departamentos, funções e as capacidades envolvidas sejam completamente integradas e coesas, atuando como empresas universais. Criando, dessa forma, redes de integração de dados que contribuem para a formação de cadeias de valor altamente unificadas e automatizadas.</p>	<p>redução do tempo de preparação para a operação real de usinagem em 80%.</p> <p>A Dassault Systèmes e a Boost AeroSpace criaram uma plataforma digital, chamada AirDesign, para a indústria aeroespacial europeia e de defesa. Ela é disponível na forma de serviço numa nuvem privada, usada como um espaço colaborativo de trabalho para a fabricação e <i>design</i>, gerenciando a troca de dados de produção e produtos entre diversos parceiros de forma integrada.</p>
<p>A Internet Industrial das Coisas</p>	<p>Com o uso da Internet Industrial das Coisas, uma maior quantidade de dispositivos (incluindo produtos inacabados) irá dispor de computação embutida contendo sensores com inteligência artificial, conectando-se por meio do uso de tecnologias padrão. Isso permite que os dispositivos se comuniquem e interajam entre si, tendo controladores mais centralizados e a análise e tomada de decisões descentralizadas, possibilitando a recuperação em tempo real.</p>	<p>A Bosch Rexroth adaptou uma unidade produtiva com um processo de produção descentralizado e semiautomatizado. Nela, as estações de trabalho “conhecem” quais as etapas produtivas que devem ser executadas para cada produto, podendo ser adaptadas, especificamente, de acordo com cada operação. Isso é possível, pois os produtos contêm códigos de identificação por RFID que são reconhecidos por cada estação.</p>
<p>Cibersegurança</p>	<p>Com o aumento da possibilidades pelas TICs, surge a necessidade de maior proteção de sistemas e linhas de fabricação das ameaças de segurança cibernética que crescem consideravelmente. Neste sentido, se torna importante a criação de estratégias para garantir comunicações seguras e confiáveis, a proteção de identidade e o gerenciamento de máquinas e usuários.</p>	<p>No decorrer do ano passado, diversos fornecedores de equipamentos industriais fizeram parcerias ou aquisições com empresas de cibersegurança com o intuito de implementar sistemas estratégicos que garantissem melhores níveis de segurança às operações.</p>
<p>A nuvem</p>	<p>No contexto da Indústria 4.0, a integração exige um maior compartilhamento de dados entre sistemas diversos que ultrapassam, inclusive, os limites da própria empresa. Isso se deve ao aumento considerável da capacidade e do desempenho das tecnologias de nuvem, melhorando a performance de processamento. Portanto, a tendência é que os serviços sejam orientados a dados, permitindo, cada vez mais, que as operações dos dados e funcionalidades sejam em nuvem, inclusive, os sistemas de</p>	<p>Diversas empresas começaram a fornecer soluções baseadas em nuvem. Os fornecedores de sistemas de execução de produção estão entre elas, desenvolvendo sistemas capazes de processar grande quantidade de dados das operações produtivas na nuvem.</p>

<p>Fabricação Aditiva</p>	<p>controle e monitoramento de processos.</p> <p>Esses procedimentos de produção aditiva poderão ser utilizados, por exemplo, para a fabricação de pequenos lotes de produtos customizados, garantindo benefícios de construção como <i>designs</i> complexos e leves. Além disso, esses sistemas descentralizados e de alto desempenho podem reduzir as distâncias de transporte, bem como o estoque disponível. Algumas empresas já usam a impressão 3D para criar protótipos e fabricar itens individuais.</p>	<p>As empresas aeroespaciais já fazem uso da manufatura aditiva para criar novos projetos que reduzem o peso das aeronaves. O resultado disso é a diminuição de despesas com insumos como o titânio. Além disso, a impressão 3D é utilizada, também, para prototipar modelos e componentes das aeronaves.</p>
<p>Realidade aumentada</p>	<p>Os sistemas baseados em realidade aumentada podem suportar vários serviços como a seleção de peças em um armazém ou até mesmo enviar instruções de reparos por meio de dispositivos móveis ou óculos de realidade aumentada. Entretanto, espera-se que para as empresas, futuramente, a sua aplicação seja ainda mais abrangente, fornecendo aos funcionários informações que melhorem as tomadas de decisões e otimizem os processos de trabalho.</p>	<p>A Siemens criou um módulo de treinamento de operador de planta virtual para o seu <i>software</i>. Como para que os funcionários da fábrica pudessem lidar com emergências. Esse sistema usa conexão 3D realista baseada em dados com óculos de realidade aumentada. Sendo possível aprender interagindo com as máquinas ciber-representativas, podendo mudar parâmetros e resgatar dados operacionais e instruções diversas.</p>

Quadro 2 – Pilares tecnológicos da Indústria 4.0. Fonte: Rubmann et al. (2015)

Rubmann et al. (2015, p. 04) afirmam que alguns desses nove avanços tecnológicos já são realidade para várias indústrias. No entanto, a tendência é que eles transformem a produção, agregando aos fluxos produtivos automatizados as células de fabricação normalmente isoladas. Com isso, há um aumento na eficiência e mudanças nas relações entre produtores, fornecedores e clientes, assim como entre homens e máquinas. Assim sendo, “para moldar ativamente a transformação, os produtores e fornecedores de sistemas devem tomar ações decisivas para abraçar os nove pilares do avanço tecnológico. Eles devem também abordar a necessidade de adaptar a infraestrutura e a educação adequadamente” (Rubmann et al., 2015, p. 14).

4.2 DESAFIOS E OPORTUNIDADES

Nas indústrias da quarta revolução industrial as cadeias produtivas estarão inteiramente conectadas. Há uma convergência de tecnologias digitais que tornam os processos mais adaptáveis às necessidades da produção, aumento da eficiência na utilização dos recursos e a customização dos produtos conforme a necessidade de cada cliente. Garantindo neste sentido, maior flexibilidade na fabricação, melhor qualidade e produtividade, bem como a customização em massa. A manufatura avançada cria cenários que vão além da utilização de tecnologia para produzir ou se comunicar, há uma mudança de paradigma quanto a velocidade, amplitude e intensidade das relações empresariais e a sociedade (Schwab, 2016; Davies, 2015).

Da mesma forma, Santos, Alberto, Lima e Charrua-Santos (2018) afirmam que a Indústria 4.0 implica em tornar os sistemas de produção mais flexíveis e colaborativos por meio da inserção de tecnologias de ponta atreladas à internet. Nesse contexto, as máquinas adquirem a capacidade de auto-otimização, autoconfiguração e inteligência artificial na execução de

tarefas. Essas novas estruturas produtivas compostas de dispositivos “inteligentes” em rede “são a chave para alcançar o grau de flexibilidade necessária para atender às exigências dos mercados atuais” (Santos et al., 2018, p. 112).

No entanto, segundo Davies (2015, p. 01), “para capturar esses benefícios, as empresas precisarão investir em equipamentos, tecnologias da informação e comunicação (TICs) e análise de dados bem como a integração de fluxos de dados em toda a cadeia de valor global”. Neste mesmo caminho, Santos et al. (2018) ressaltam ainda que há uma dificuldade das empresas em seguir essa nova abordagem industrial, visto que falta uma compreensão lúcida sobre o tema. Porém, defendem que as empresas que tem o intuito de acompanhar os avanços da quarta revolução industrial, devem avaliar suas capacidades e desenvolver estratégias condizentes com esse cenário.

Embora a automação e sistemas de informação como a ERP (*Enterprise Resource Planning*) e MES (*Manufacturing Execution System*) aplicadas nos processos produtivos nos últimos anos tenham alavancado a produção, existe ainda uma lacuna quanto as respostas rápidas entre o ERP e o chão de fábrica para a otimização das decisões. Neste sentido, as tecnologias da Indústria 4.0 tornam-se uma oportunidade, pois favorece um nível de integração e acesso à informação em tempo real, o que melhora os níveis de flexibilidade, eficiência e qualidade nos produtos e serviços, relacionamento com os clientes, redução de desperdícios e custos, adequando, assim, a produção mais rapidamente as mudanças do mercado (Santos et al., 2018).

Fazendo referência aos pilares tecnológicos elencados por Rubmann et al. (2015), segundo Albertin, Elienesio, Aires, Pontes e Aragão Junior (2017), a utilização da Internet das Coisas, por exemplo, cuja função é integrar os objetos físicos e virtuais, abrange áreas como a própria manufatura, setores de transportes, comércio e saúde, a construção de cidades inteligentes e etc. Já a realidade aumentada consiste numa tecnologia que permite ao usuário interagir com um campo sintético que projeta o mundo real, contendo objetos virtuais sobrepostos à realidade. A tecnologia é utilizada em processos que envolvem manutenção e assistência remota, design de produtos, logística, treinamento de colaboradores e afins. A terceira tecnologia são os robôs autônomos que, diferentemente dos robôs tradicionais, são máquinas inteligentes que possuem maiores capacidades como autonomia, flexibilidade e cooperação, tornando a linha de montagem automatizada a um nível de autocontrole. Sobre a simulação, Albertin et al. (2017) afirmam que a prototipagem virtual é um dos principais quesitos da Indústria 4.0. Sua utilização “é essencial para garantir a qualidade e eficiência no desenvolvimento de produtos, pois permite que dados em tempo real sejam utilizados para espelhar o mundo físico em um modelo virtual, que pode incluir máquinas, produtos e humanos” (Albertin et al., 2017, p. 06), melhorando a tomada de decisões durante toda a cadeia de valor.

Quanto a manufatura aditiva, as indústrias a utilizam visando a redução do ciclo de desenvolvimento de produtos, obtendo no mercado de maneira mais rápida, com maior custo efetivo e maior valor agregado, devido a personalização. Essa tecnologia permite, portanto, entregar ao mercado produtos com diversos níveis de customização por meio do uso de impressoras 3D. A sexta tecnologia é a *Big Data*, que atrelada aos CPS e IoT permitem a otimização da produção e redução de energia, ao utilizar grandes quantidades de dados e informações colhidos dos equipamentos inteligentes durante as etapas produtivas para a tomada de decisão instantaneamente. Já a nuvem permite o armazenamento dessas informações e o seu compartilhamento em diferentes lugares e sistemas além das fronteiras da empresa, o que culmina na redução de custos e maior flexibilidade para atender a mudanças inesperadas.

A *Cybersecurity*, implica na necessidade de estabelecer estratégias de segurança, visto que as indústrias trabalharão “com protocolos padrão de comunicação e alta conectividade entre todos os links da cadeia de criação de valor, o que significa que a necessidade de proteger os sistemas industriais e linhas de fabricação críticos contra ameaças de cibersegurança vai aumentar drasticamente” como afirmam Albertin et al. (2017, p. 09). A Integração horizontal e vertical de Sistemas e *Softwares*, permitem a integração de sistemas de TI entre os departamentos e funções no nível horizontal e entre os níveis hierárquicos produtivos na escala vertical, resultando numa rede altamente integrada e automatizada.

Diante dessas possibilidades de implementação, Santos et al. (2018, p. 112) apontam como principais desafios “questões de segurança e proteção digital; padronização das interfaces de comunicação; processos e organização do trabalho; disponibilidade de força de trabalho capacitada; inserção das PME’s; formação e desenvolvimento profissional; base tecnológica; investigação e investimentos”.

Portanto, tem-se a necessidade de desenvolver procedimentos que garantam a adequada segurança de informações pessoais, propriedade intelectual, privacidade, segurança dos trabalhadores e processos, entre outros, visto que as tecnologias são baseadas no fluxo muito grande de informações. Para a adequada interoperabilidade e integração entre todos os componentes do processo é essencial uma padronização das interfaces de comunicação, estrutura arquitetônica e tecnológica. A organização dos processos e do trabalho deverão estar dispostos de modo a assegurar a adaptabilidade da produção aos processos customizados e a redução de custos. Já a capacidade cognitiva é um dos pontos mais críticos, uma vez que a concepção operacional da produção terá grandes implicações quanto a natureza do trabalho, exigindo que as empresas invistam em programas que capacitem os trabalhadores continuamente para trabalhar com as novas ferramentas e tecnologias.

Ao refletir acerca dessas possibilidades de implementação e também dos desafios correlatos, compreende-se que as proposições da quarta revolução industrial possibilitam uma otimização em toda a cadeia de valor, potencializando os fluxos dos processos dentro e fora da organização. Visto que os modelos de gestão e negócios estarão para além dos limites físicos da empresa. Com as tecnologias digitais é possível gerenciar operações de qualquer lugar e a qualquer momento, por meio de dispositivos móveis apoiados por sistemas e recursos inteligentes. Neste contexto, devido a vasta possibilidade de aplicações da Indústria 4.0, será necessário aproximar as indústrias e instituições de ensino para que possam, por meio de uma interlocução contínua, garantir que as exigências provocadas pela economia digital reflitam não apenas no aporte tecnológico para o processo produtivo, mas também no treinamento, formação e qualificação profissional adequadamente (Kagermann, Wahlster & Helbig, 2013).

5. CONCLUSÕES

Como é possível observar, por meio das características elencadas no decorrer da explanação, a concepção do que concerne a Indústria 4.0 parte da compreensão de que toda a fábrica, desde departamentos às operações, estará interconectada e sustentada por sistemas tecnologicamente avançados. Permitindo, portanto, o armazenamento e manipulação de dados e troca de informações em tempo real, otimização dos recursos por meio das decisões autônomas e descentralizadas, bem como o aumento da eficiência produtiva possibilitada pela precisão em que as tarefas de um estágio de fabricação são realizadas.

De modo oportuno, as tecnologias abordadas contribuem sinergicamente para atender aos princípios da Indústria 4.0. No entanto, vale ressaltar que nem todas estão no mesmo patamar de desenvolvimento. Se por um lado, as tecnologias como a manufatura aditiva, simulação e

internet das coisas já estão sendo implementadas, por outro lado a integração horizontal e vertical de sistemas e softwares ainda são considerados como uma realidade distante.

Diante disso, devido à velocidade dos processos, a Indústria 4.0 possibilita um atendimento mais customizado ao cliente. O que reflete melhorias quanto à flexibilidade, produtividade, e qualidade dos processos produtivos, caracterizando um alto nível de customização em massa de acordo com as implementações tecnológicas.

As ações para realocar a produção refletem às pressões dos mercados cada vez mais competitivos. E no contexto da quarta revolução industrial, redes digitais estarão dispostas em estruturais globais com potencial para fortalecer e atender adequadamente mercados diversificados em localizações diversas com maiores níveis de qualidade.

Neste sentido, do mesmo modo como ocorreu nas revoluções industriais anteriores, o uso cada vez mais frequente das novas tecnologias produtivas estimularão o surgimento de novos modelos de negócios, processos e produtos que causarão impactos nos modelos sociais, econômicos e tecnológicos, bem como nas relações entre produtores e consumidores. Cabendo aos profissionais da indústria, governos, acadêmicos e demais interessados atuarem de maneira integrada, cooperando e agregando valor, para adaptar tais estruturas a esse cenário disruptivo, conforme os reflexos dos novos sistemas de produção industriais.

REFERÊNCIAS

- Albertin, M. R., Elienesio, M. L. B., Aires, A. S., Pontes, H. L. J., Aragão Junior, D. P. (2017). Principais inovações tecnológicas da indústria 4.0 e suas aplicações e implicações na manufatura. In: Simpósio de Engenharia de Produção. *Anais do XXVI SIMPEP*. São Paulo: Bauru, pp. 01-13, http://www.simpep.feb.unesp.br/anais_simpep_todos.php?e=12 (25 de Abril de 2018).
- Bruno, F. da S. (2016). *A quarta revolução industrial do setor têxtil e de confecção: a visão de futuro para 2030*. São Paulo: Estação das Letras e Cores.
- Davies, R (2015). *Industry 4.0: Digitalization for productivity and growth*. União Européia: European Parliamentary Research Service (EPRS).
- Deloitte (2015). *Industry 4.0: Challenges and solutions for the digital transformation and use of exponential technologies*. Londres: The Creative Studio/Deloitte AG.
- Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi, 2016). *Autonomics for Industry 4.0*. Berlin: LoeschHundLiepold Kommunikation GmbH.
- Federação das Indústrias do Rio de Janeiro (FIRJAN, 2016). *Panorama da Inovação: Indústria 4.0*. Rio de Janeiro: DIN/GIE.
- Heindl, A., Werbik, A., Winter, J., Mayer, B., Zarpellon, B. V., Remann, F. (2016). *Industrie 4.0: Possibilidades de colaboração com a cooperação para o desenvolvimento e a economia alemã na área de tecnologia/transfêrencia de know-how para o Brasil*. Alemanha: Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ).
- Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2015). *Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review*. Alemanha: Technische Universität Dortmund, http://www.snom.mb.tu-dortmund.de/cms/de/forschung/Arbeitsberichte/Design-Principles-for-Industrie-4_0-Scenarios.pdf (27 de Fevereiro de 2018).
- Kagermann, H., Wahlster, W., & Helbig, J. (2013). *Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0: Final report of the Industrie 4.0 Working Group*. Alemanha: National Academy of Science and Engineering.

- Lorenz, M., Rubmann, M., Strack, R., Lueth, K. L., Bolle, M. (2015). *Man and Machine in Industry 4.0: How Will Technology Transform the Industrial Workforce Through 2025?*. Boston: The Boston Consulting Group (BCG).
- Pinto, G. A. (2013). *A organização do trabalho no século XX: taylorismo, fordismo e toyotismo*. 3a ed. São Paulo: Expressão Popular.
- Rubmann, M., Lorenz, M., Gerbert, P., Waldner, M., Justus, J., Engel, P., & Harnisch, M. (2015). *Industry 4.0: The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries*. Boston: The Boston Consulting Group (BCG).
- Sabo, F. (2015). *Industry 4.0: a comparison of the status in Europe and the USA*. Austrian Maschall Plan Foundation.
- Santos, B. P., Alberto, A., Lima, T. D. F. M., & Charrua-Santos, F. M. B. (2018). Indústria 4.0: desafios e oportunidades. *Revista Produção e Desenvolvimento*, (04:01), pp. 111-124, <http://revistas.cefet-rj.br/index.php/producaoedesenvolvimento/article/view/316> (28 de Fevereiro de 2018).
- Schwab, K. (2016). *A quarta revolução industrial*. São Paulo: Edipro.
- Vergara, S. C. (2009). *Projetos e relatórios de pesquisa em administração*. 11a ed. São Paulo: Atlas.