

Influências do conceito e das tecnologias da Indústria 4.0 no ambiente industrial

Influences of the concept and technologies Industry 4.0 in the industrial environment

 Vander Luiz da Silva¹

 João Luiz Kovaleski²

 Regina Negri Pagani³

Resumo

O Cenário Industrial 4.0 está configurado como Quarta Revolução Industrial, consistindo na produção inteligente a partir de integrações digitais com processos físicos, denominadas de Sistemas Cibernéticos Físicos (SCFs), entre outras tecnologias e procedimentos. Este estudo teve como objetivo explorar as perspectivas tecnológicas da Indústria 4.0 para o ambiente industrial. Para a realização deste estudo, foi realizada uma revisão da literatura, utilizando protocolos estruturados e critérios de filtragem de artigos. Entre o total de 93 artigos, obteve-se um número de 34 artigos para análises. Os artigos mais relevantes foram analisados a partir de leituras na íntegra e coleta de informações. A fim de tornar a Indústria 4.0 uma realidade, foi constatada uma série de mudanças tecnológicas e de gestão para indústrias interessadas. Pesquisas com o objetivo de subsidiar o desenvolvimento de novos estudos em Indústria 4.0, como estudos exploratórios e/ou empíricos com focos na gestão tecnológica e industrial, são importantes para o enriquecimento do assunto.

Palavras-chave: Indústria 4.0. Gestão estratégica. Tecnologias. Engenharia Organizacional.

Abstract

The Industrial 4.0 Scenario is shaped as the Fourth Industrial Revolution and consists of intelligent production based on digital integration with physical processes, resulting in the so-called Cyber Physical System (CPSs), among other technologies and procedures. This study aimed to explore technological perspectives of Industry 4.0 for the industrial environment. For the realization of this study, a literature review was carried out, using structured protocols and criteria for filtering of articles. Among a total of 93 articles, 34 were chosen for analysis. The most relevant articles were analyzed through full readings and information collection. In order to make the Industry 4.0 approach a reality, a number of technological and management changes have been noted for industries interested. The development of researches with the purpose of subsidizing the development of new studies of the Industry 4.0, such as exploratory and/or applied studies focusing on technological and industrial management, is important for the enrichment of the subject matter.

Keywords: Industry 4.0. Strategic management. Technologies. Organizational Engineering.

¹Mestre em Engenharia de Produção.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Ponta Grossa, Paraná, Brasil
vander-luiz@hotmail.com

²Doutor em Instrumentação Industrial
Université Joseph Fourier - Grenoble I
França
kovaleski@utfpr.edu.br

³Doutora em Engenharia de Produção
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Ponta Grossa, Paraná, Brasil
reginapagani@utfpr.edu.br

1 Introdução

O processo de Revolução Industrial se iniciou na Inglaterra no século XVIII em diante, a partir de fatores como o excesso de mão de obra que migrou do campo para cidades, acúmulo de capital pela burguesia, a exploração de recursos produtivos e inovações tecnológicas, respectivamente (Cavalcante; Silva, 2011).

No decorrer dos anos, nas fábricas, o trabalho humano passou a ser executado com auxílio de máquinas, novos métodos de extração e transformação de insumos foram desenvolvidos, a eletricidade e outras fontes de energia foram dominadas, e alterações nas configurações de tecnologias e na gestão industrial foram aplicadas (Lima; Oliveira Neto, 2017). Por meio destes e de outros avanços pôde-se obter o conceito de indústria que há na atualidade, influenciado por especialização nas diversas áreas do conhecimento, processos automatizados, inovações científicas e tecnológicas, expansão da produção, redução de desperdícios, entre outros.

Diante do avanço tecnológico e inovação de processos, recentemente, inúmeras questões são discutidas sobre a próxima revolução industrial, denominada na Alemanha de Indústria 4.0 (Lee; Kao; Yang, 2014). Seu objetivo é criar indústrias com processos inteligentes integrados, com características de adaptabilidade e maior eficiência de recursos diversos (Jasiulewicz-Kaczmarek; Saniuk; Nowicki, 2017).

A Indústria 4.0 é um conceito amplo que abrange uma diversidade de sistemas, tecnologias, princípios e procedimentos, destinados a tornar os processos produtivos mais autônomos, dinâmicos (Tortorella; Fettermann, 2017), flexíveis e precisos. Na Indústria 4.0, o processo além de ser automatizado, também engloba operações de digitalização (integrações homem e máquina, entre máquinas à rede, e assim, sucessivamente). Neste contexto, a Indústria 4.0 emprega fortemente recursos digitais e cibernéticos no ambiente real da produção.

De maneira geral, as indústrias serão influenciadas positivamente por mudanças advindas da Indústria 4.0. Na Alemanha, destacam-se as indústrias dos setores automotivo, alimentício e de produção de componentes e sistemas eletrônicos (Rüßmann *et al.*, 2015). De acordo com Gorecky, Khamis e Mura (2015), o setor automotivo é um dos líderes na adoção do conceito e das tecnologias inteligentes, como *Internet das Coisas (Internet of Things) (IoT)* e os *Sistemas Cibernéticos Físicos (Cyber Physical System) (CPSs)*.

Conforme relatado no estudo de Müller, Buliga e Voigt (2018), os representantes que ocupam cargos estratégicos, nas pequenas e médias indústrias da Alemanha, apresentam diferentes perspectivas do conceito de Indústria 4.0. Outros diversos questionamentos são relatados com relação às vantagens e desafios para as implementações de tecnologias da Indústria 4.0, no ambiente industrial produtivo.

No Brasil e em outros países emergentes muito ainda é discutido nos congressos científicos e em reuniões envolvendo especialistas sobre as implicações da Indústria 4.0. Neste contexto, o desenvolvimento de estudos teóricos, como revisões e abordagens exploratórias, e estudos de casos permite o enriquecimento do assunto na atualidade e aprimoramento industrial.

Diante do exposto, este estudo teve por objetivo discutir sobre o conceito e tecnologias da Indústria 4.0 e suas influências para gestão industrial, focando-se na indústria de manufatura. Portanto, as principais tecnologias da Indústria 4.0 são exploradas.

2 Metodologia

2.1 Classificação da pesquisa

Sob a ótica da abordagem do problema, a pesquisa é qualitativa (Silva; Menezes, 2005), pois visou descrever abordagens relacionadas ao conceito de Indústria 4.0. A pesquisa qualitativa visa o entendimento de determinado fenômeno, por meio de estudos de aspectos relevantes relacionados a este e de perspectivas de pesquisadores científicos (Godoy, 1995).

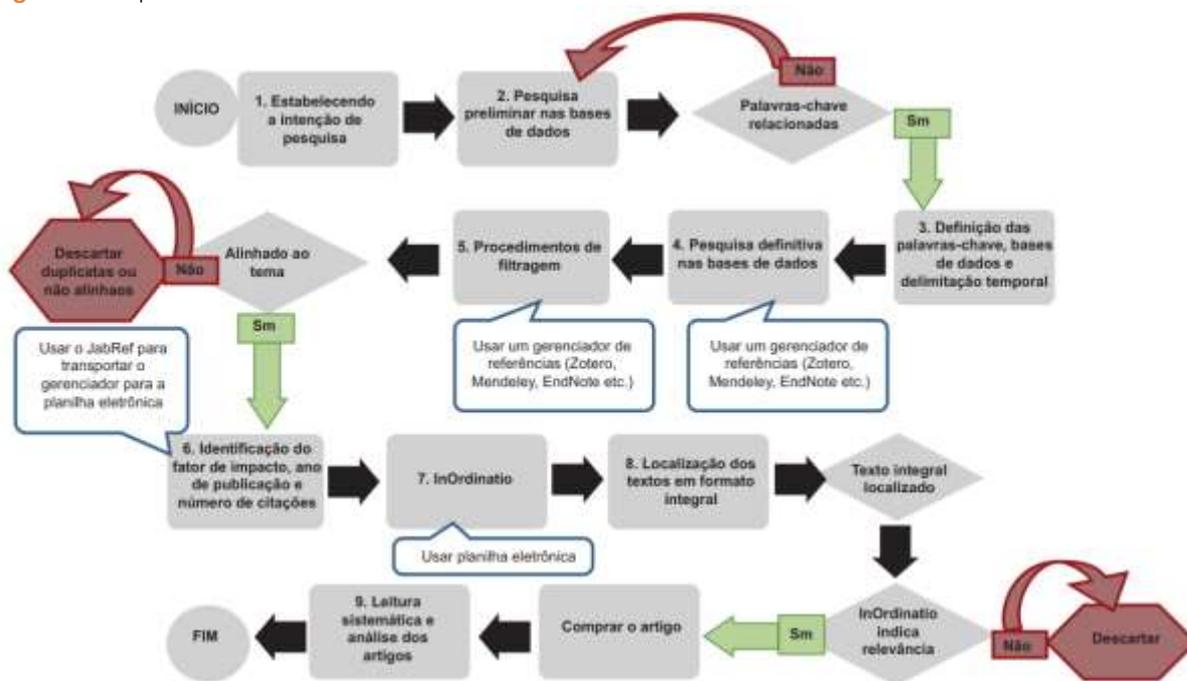
Quanto aos seus objetivos, a pesquisa é classificada como exploratória (Gil, 2008), pois proporciona maior familiaridade com o problema em estudo. A pesquisa exploratória destina-se em conhecer melhor a variável ou elemento de estudo, seja quanto ao modo que a mesma ou mesmo se apresenta, seus significados, suas implicações, entre outros aspectos (Piovesan; Temporini, 1995).

Do ponto de vista dos procedimentos técnicos, a pesquisa é bibliográfica (Gil, 2008), pois foi elaborada a partir de consultas de artigos científicos, principalmente. A pesquisa bibliográfica consiste no uso de contribuições que já foram estudadas e que se propõem fornecer suporte para elaboração de outros trabalhos (Lakatos; Marconi, 2001), teóricos ou empíricos.

2.2 Procedimento metodológico da pesquisa

Para fornecer suporte ao estudo foi realizada uma revisão de literatura, adotando-se protocolos estruturados constituídos pelas etapas descritas na Figura 1.

Figura 1 - Etapas da Methodi Ordinatio.



Fonte: Pagani, Kovaleski e Resende (2018).

As bases de dados selecionadas para realização de buscas por artigos foram: *Science Direct*; *Scopus*, e; a *Web of Science*. A escolha das três bases de dados ocorreu em razão de essas apresentarem maiores números de estudos.

Visando facilitar a organização das informações, as palavras-chave “*Industry 4.0*”, “*Smart Manufacturing*”, “*Fourth Industrial Revolution*” e “*Smart Industry*”, executadas nas bases de dados, referem-se neste artigo a um único termo: “*Scenario Industrial 4.0*”. Com o objetivo de englobar abordagens de estudos em um contexto mais amplo foi realizada a combinação de palavras-chave “*Scenario Industrial 4.0*” com outra palavra-chave, a “*Supply Chain*”.

Os critérios de buscas de dados bibliográficos foram aplicados nas bases de dados *Science Direct*, *Scopus* e *Web of Science*, a destacar: i) Palavras-chave inseridas em “*Title-Abstract-Keywords*” de cada artigo, e; ii) Período consultado “*all years*”.

A partir da combinação de palavras-chave, procedeu-se com a execução de buscas nas bases de dados. Os artigos obtidos foram organizados no gerenciador de referências *Mendeley*[®].

Visando selecionar artigos relacionados diretamente com o tema de pesquisa, foram aplicados procedimentos de filtragem, a mencionar: i) Eliminar artigos em duplicidade; ii) Eliminar artigos publicados em conferências, e; iii) Eliminar artigos não relacionados com o tema em estudo (leituras preliminares de títulos e resumos).

A partir da aplicação dos procedimentos de filtragem, foi executada a sétima etapa da *Methodi Ordinatio* denominada de *InOrdinatio* (Figura 1). Esta etapa permite ordenar os artigos de acordo a relevância científica, equacionando o fator de impacto, ano de publicação e número de citações de cada artigo. Deste modo, foi possível obter estudos mais relevantes com relação aos critérios científicos mencionados, procedendo-se com a análise dos artigos a partir de leituras na íntegra e coleta de dados e informações.

Os valores de *InOrdinatio* foram determinados e analisados por meio de planilhas eletrônicas da *Microsoft Excel*[®]. O fator de impacto foi coletado diretamente no portal *clarivate analytics* da *Web of Science*, ano de publicação e o número de citações no *Google Scholar*[®].

Em conjunto com a análise de valores de *InOrdinatio*, outro critério utilizado para seleção de artigos foi a relevância apresentada quanto ao tema discutido em cada artigo.

3. Resultados e discussão

3.1 Obtenção do portfólio de artigos

Os resultados de artigos obtidos para respectiva combinação de palavras-chave, em cada uma das três bases de dados, estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1 - Resultados de artigos para revisão de literatura

Combinação de palavras-chave	Base de dados			Total
	Science Direct	Scopus	Web of Science	
"Supply Chain" AND "Industrial 4.0 Scenario"	18	67	8	93

O "Industrial 4.0 Scenario" engloba, neste estudo, os termos: "Industry 4.0"; "Smart Manufacturing"; "Fourth Industrial Revolution", and; "Smart Industry".

Fonte: Autores (2018).

Os procedimentos de filtragem aplicados para o resultado bruto de artigos estão descritos na Tabela 2.

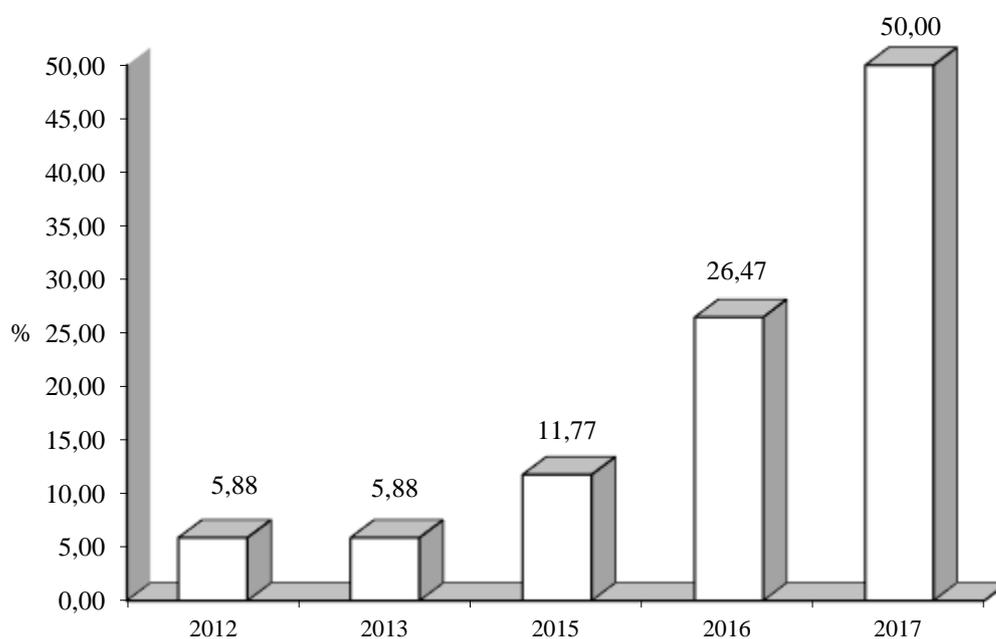
Tabela 2 - Procedimentos de filtragem de artigos

Procedimentos de filtragem	Total bruto de artigos	Total de artigos após filtragem
i) Artigos em duplicidade	93	59
ii) Artigos de conferência	59	53
iii) Artigos fora do escopo	53	34

Fonte: Autores (2018).

Foi obtido um portfólio, após filtragem, de 34 artigos. Destes, 55,88% são estudos empíricos e 44,12%, teóricos. Todos eles foram analisados a partir de leituras na íntegra.

Os respectivos anos de publicações dos artigos analisados são apresentados na Figura 2.

Figura 2 - Respective anos de publicações de artigos

Fonte: Autores (2018).

É notório o aumento nos índices de publicações no decorrer dos anos, tendo em vista que a Indústria 4.0 é uma abordagem de configuração industrial recente.

3.2 Cenário Industrial 4.0

A Indústria 4.0, considerada a recente abordagem de configuração industrial, está relacionada em estudos com: “*Industrie 4.0*” (idioma de origem na Alemanha) (Anderl, 2014; Drath; Horch, 2014; Wang *et al.*, 2016); “*Fourth Industrial Revolution*” (Park *et al.*, 2017); “*Smart Manufacturing*” (Davis *et al.*, 2012) e “*Smart Factory*”, principalmente.

O conceito de Indústria 4.0 foi discutido pela primeira vez na Alemanha, durante a Feira de *Hanôver* que ocorreu em 2011 (Drath; Horch, 2014). Como país precursor do termo Indústria 4.0, a Alemanha vem conduzindo mudanças nos cenários industrial e organizacional (Lee; Kao; Yang, 2014), tendo como base a implementação de novas técnicas para produção, novos materiais e a adoção diversificada de sistemas digitais (Lalanda; Morand; Chollet, 2017).

De acordo com o Ministério Federal da Economia e Energia da Alemanha (*BFWuE*) (2018), Indústria 4.0 é definida como uma rede inteligente de máquinas e processos industriais, que é formada com auxílio de tecnologias da informação e comunicação para conectividade física e digital de recursos.

Na indústria, muitos componentes como sensores, dispositivos mecatrônicos e/ou subsistemas de controle complexos conectados à rede, ao serem agrupados em dispositivos de controle físico maiores (máquinas, por exemplo), deverão coletar dados e informações em tempo real (Harrison; Vera; Ahmad, 2016). A análise de dados passa a considerar grande volume de dados denominado de *Big Data*.

O conjunto de dados e informações coletados por diferentes sensores e demais componentes pode ser auto-organizado em rede e move-se dinamicamente conforme o comportamento real dos processos produtivos (Smirnov; Sandkuhl; Shilov, 2013). Os sistemas de fabricação e as tecnologias envolvidas precisam ser ágeis para acompanhar as diversas situações reais que podem surgir na indústria, bem como será essencial uso de dados e informações apropriados, detalhados e precisos (Jung *et al.*, 2015).

Os dados coletados são processados por meio de sistemas eletrônicos específicos (Picciano, 2012) e armazenados em nuvem, de modo a facilitar a colaboração entre as organizações e pessoas que atuam em uma mesma cadeia de suprimentos. Por meio da conectividade e disponibilidade de dados e informações, as organizações passam a ter melhor direcionamento para tomada de decisões nos diversos âmbitos e níveis decisórios (Avventuroso; Silvestri; Pedrazzoli, 2017). O gerenciamento dos dados e informações é realizado por meio do uso de *CPSs*, *IoT* e computação em nuvem, principalmente (Trstenjak; Cosic, 2017).

As empresas, no geral, não nascem com características da Indústria 4.0. Elas passam por um processo tecnológico, gradual e evolutivo, adotando-se as tecnologias de seus fornecedores especializados, empresas filiais, centros de pesquisa, entre outros (Silva; Kowaleski; Pagani, 2018) e aprimoramentos internos por meio de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D). Enquanto algumas indústrias possuem condições de realizar grandes mudanças, outras passam por processos evolutivos (Müller; Buliga; Voigt, 2018).

Alguns países já possuem planos e políticas nacionais para impulsionar o desenvolvimento da indústria, a médio e longo prazo, conforme expostos no Quadro 1.

Quadro 1 - Planos de países para o desenvolvimento de indústrias

País	Plano	Fonte
Alemanha	" <i>Plattform Industrie 4.0</i> "	https://www.plattform-i40.de
França	" <i>Aliance Industrie du Futur</i> "	http://www.industrie-dufutur.org/
Itália	" <i>Piano Industria 4.0</i> "	http://www.sviluppoeconomico.gov
Brasil	" <i>Indústria 4.0</i> "	http://www.industria40.gov.br/
Japão	" <i>Connected Industries</i> "	http://www.meti.go.jp
Estados Unidos	" <i>Advanced Manufacturing USA</i> "	https://www.manufacturingusa.com/
China	" <i>Made in China 2025</i> "	http://www.china.org.cn

Fonte: Silva, Kovaleski e Pagani (2018).

Internamente, na Alemanha, o projeto que impulsionou a Indústria 4.0 uniu universidades, indústrias e governo do país, cujo foco central permanece na competitividade global (CNI, 2017).

A Indústria 4.0 engloba três dimensões essenciais, a digitalização avançada de processos, a produção inteligente e a conectividade entre recursos e indústrias que atuam nas cadeias de suprimentos (Müller; Buliga; Voigt, 2018).

Diante das novas tecnologias, físicas e digitais, os sistemas inteligentes fornecem respostas mais rápidas às mudanças na produção e às falhas que surgem ao longo da cadeia produtiva industrial (Haddara; Elragal, 2015; Jasiulewicz-kaczmarek; Saniuk; Nowicki, 2017). Outras vantagens são:

- Flexibilidade na produção;
- Redução no tempo de produção (Moeuf *et al.*, 2017);
- Melhora na qualidade dos produtos (Albers *et al.*, 2016), e;
- Automatização e conectividade de recursos com transparência na produção (Bär; Herbert-Hansen; Khalid, 2018).

No Quadro 2 estão descritas as principais tecnologias que compõem o conceito de Indústria 4.0.

Quadro 2 - Tecnologias que compõem o conceito de Indústria 4.0

Tecnologia	Autor	
Manufatura aditiva	Rüßmann <i>et al.</i> (2015)	Tjahjono <i>et al.</i> (2017)
Inteligência artificial (<i>softwares</i>)	Mohammed e Ahmed (2017)	Tjahjono <i>et al.</i> (2017)
Sistemas automatizados	Dossou e Nachidi (2017)	
Robôs autônomos	Rüßmann <i>et al.</i> (2015)	
Realidade aumentada	Rüßmann <i>et al.</i> (2015) Assad Neto <i>et al.</i> (2017)	Tjahjono <i>et al.</i> (2017) Kayikci (2018)
Elevado volume de dados (<i>Big Data</i>)	Almada-Lobo (2015) Rüßmann <i>et al.</i> (2015) Zhong <i>et al.</i> (2015) Assad Neto <i>et al.</i> (2017)	Grieco <i>et al.</i> (2017) Tjahjono <i>et al.</i> (2017) Kayikci (2018)
Computação em nuvem	Almada-Lobo (2015) Rüßmann <i>et al.</i> (2015) Reddy <i>et al.</i> (2016) Assad Neto <i>et al.</i> (2017) Chen (2017)	Majeed e Rupasinghe (2017) Tjahjono <i>et al.</i> (2017) Kayikci (2018) Molka-Danielsen, Engelseth e Wang (2018)
Sistemas Cibernético Físico (<i>Cyber Physical System</i>) (CPSs)	Davis <i>et al.</i> (2012) Ivanov e Sokolov (2012) Neugebauer <i>et al.</i> (2016) Reddy <i>et al.</i> (2016) Assad Neto <i>et al.</i> (2017)	Bogataj <i>et al.</i> (2017) Chen (2017) Trstenjak e Cosic (2017) Molka-Danielsen, Engelseth e Wang (2018) Tuptuk e Hailes (2018)
Ciber segurança	Annunziata e Biller (2014) Rüßmann <i>et al.</i> (2015) Mohammed e Ahmed (2017)	Tjahjono <i>et al.</i> (2017) Tuptuk e Hailes (2018)
Mineração de dados	Trstenjak e Cosic (2017)	
Sistemas de Integração vertical e horizontal	Rüßmann <i>et al.</i> (2015)	Grieco <i>et al.</i> (2017)
<i>Internet das Coisas (Internet of Things) (IoT)</i>	Rüßmann <i>et al.</i> (2015) Zhong <i>et al.</i> (2015) Byrne <i>et al.</i> (2016) Neugebauer <i>et al.</i> (2016) Assad Neto <i>et al.</i> (2017) Barreto, Amaral e Pereira (2017) Bogataj <i>et al.</i> (2017)	Dossou e Nachidi (2017) Jensen e Remmen (2017) Majeed e Rupasinghe (2017) Shamim <i>et al.</i> (2017) Tjahjono <i>et al.</i> (2017) Kayikci (2018) Molka-Danielsen, Engelseth e Wang (2018)
Protocolo IPv6	Chen (2017)	
Comunicação <i>Machine-to-Machine</i>	Tjahjono <i>et al.</i> (2017)	
Aplicativos móveis (<i>smartphones, tablets</i>)	Davis <i>et al.</i> (2012),	Bogataj <i>et al.</i> (2017)
Leitor de códigos <i>RFID</i>	Chen (2017) Majeed e Rupasinghe (2017)	Tjahjono <i>et al.</i> (2017)
Robôs	Chen (2017), Dossou e Nachidi (2017)	Tjahjono <i>et al.</i> (2017) Dieber, Schlotzhauer e Brandstötter (2018), Kayikci (2018)
Sensores	Bogataj <i>et al.</i> (2017) Chen (2017)	Majeed e Rupasinghe (2017) Kayikci (2018)
Simulação	Rüßmann <i>et al.</i> (2015) Grieco <i>et al.</i> (2017)	Mohammed e Ahmed (2017)
Veículos autônomos	Chen (2017)	
Realidade virtual	Assad Neto <i>et al.</i> (2017)	Tjahjono <i>et al.</i> (2017)
Rede sem fio	Zhong <i>et al.</i> (2015)	Bogataj <i>et al.</i> (2017), Chen (2017)
Impressão 3D	Tjahjono <i>et al.</i> (2017)	Kayikci (2018)

Fonte: Autores (2018).

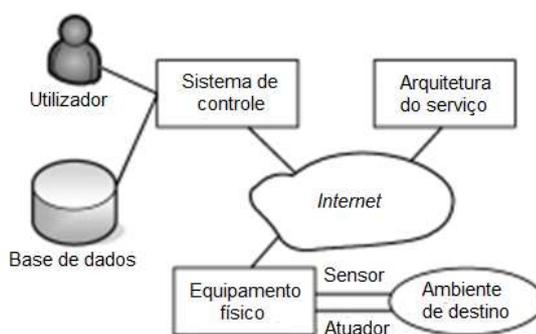
Mediante as tecnologias apresentadas, algumas delas são a base da Indústria 4.0, a apresentar os Sistemas Cibernéticos Físicos (CPSs), *Internet das Coisas (IoT)*, Elevado volume de dados (*Big Data*), computação em nuvem, realidades aumentada e virtual, infraestrutura integrada com redes sem fio e inteligência artificial.

3.1 CPSs

Os CPSs são sistemas de engenharia que vêm despertando o interesse de muitos especialistas. São sistemas multidisciplinares constituídos por tecnologias da computação, comunicação, automação e controle de processos físicos (Liu *et al.*, 2017). Eles visam projetar produtos melhores, aumentar a eficiência de processos técnicos e de atendimento aos consumidores e criar novos serviços (Herterich; Uebernickel; Brenner, 2015).

De acordo com Lee (2008), os CPSs consistem nas integrações digitais com processos físicos, onde computadores e redes integrados entre si monitoram e controlam os processos físicos, conforme descritos pela Figura 3. O *National Institute of Standards and Technology (NIST)* (2013) define CPSs como sistemas inteligentes integrados que englobam tanto componentes computacionais (*hardware* e *software*) como físicos (máquinas e equipamentos).

Figura 3 - Arquitetura simplificada orientada ao CPS



Fonte: Liu *et al.* (2017).

Os CPSs são caracterizados pelos seus comportamentos autônomos e descentralizados e, deste modo, evoluem por meio da adaptação e reconfiguração de suas estruturas (Ivanov; Sokolov, 2012). A partir desses sistemas e *IoT*, redes de máquinas são capazes de trocar informações de forma autônoma e controlar-se (Tjahjono *et al.*, 2017), propiciando o compartilhamento de informações para maior visibilidade e planejamento, e controle e coordenação de processos na indústria (Abdel-Basset; Manogaran; Mohamed, 2018).

Um CPS é projetado para conectar dispositivos físicos e construir uma rede interativa. Na construção deste sistema são incorporados sensores em dispositivos eletrônicos, que passam a coletar informações e encaminhá-las para um sistema de tomada de decisões, controlando processos (Bai; Huang, 2012), em tempo real, de forma dinâmica e confiável (Liu *et al.*, 2017). É, portanto, eficiente para controlar, monitorar e acessar as informações de máquinas e equipamentos para melhores desempenhos (Bai; Huang, 2012).

Entre as aplicações dos CPSs estão o gerenciamento da produção, de dispositivos médicos, construção de infraestruturas modernas (Letichevsky *et al.*, 2017), sistemas militares, sistemas automotivos, controle de processos, distribuição energética, controle de aeronaves, entre outras (Lee, 2015).

3.2 IoT

Nas indústrias, espera-se um rápido desenvolvimento da *internet* para interconectar uma variedade de dispositivos à rede (Liu *et al.*, 2017).

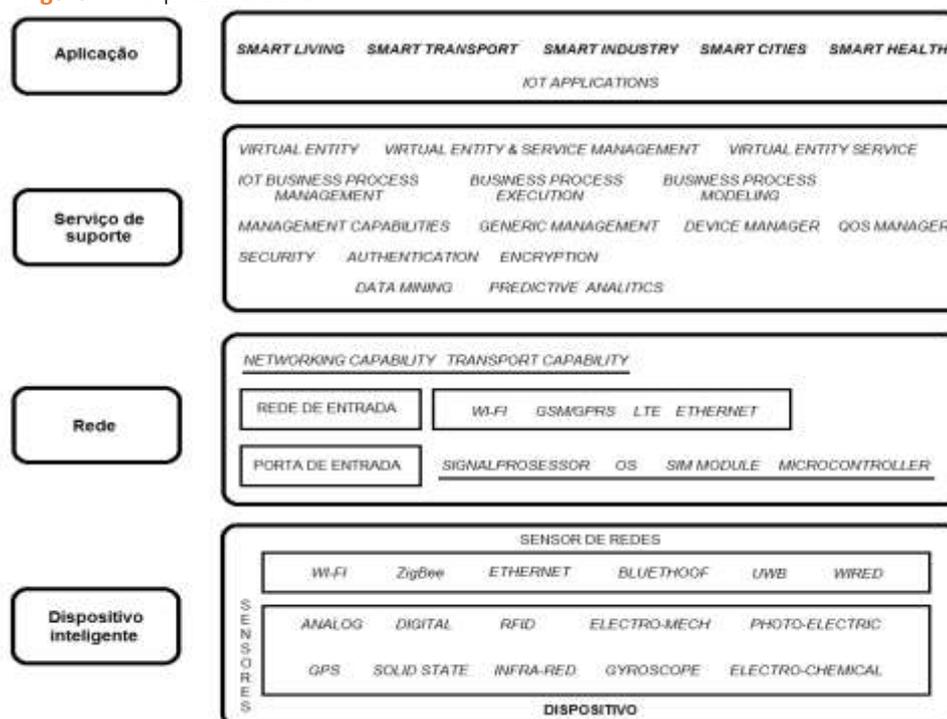
A *Internet das Coisas*, definida como *IoT*, utiliza sistemas inteligentes de comunicação usando endereços de *IP*, o que permite as interconexões de múltiplos objetos à rede (Anderl, 2014; Haddara; Elragal, 2015). A *IoT* também é conhecida como *Internet of Objects* ou *Web of Objects* é definida como uma rede sem fio de configuração de sensores (Skaržauskienė; Kalinauskas, 2012).

Embora nas indústrias algumas tecnologias já sejam conectadas às máquinas e à rede, com a *IoT*, um número maior de dispositivos e sensores serão incorporados nos processos e conectados à rede, fornecendo respostas em tempo real (Rüßmann *et al.*, 2015). De acordo com Porter e Heppelmann (2014), os produtos conectados à rede oferecem oportunidades de expansão exponencial para novas funcionalidades.

Por meio de *IoT*, máquinas, dispositivos e produtos passam a se comunicar entre si e com as pessoas, refletindo em vantagens como prever falhas, reduzir desperdícios, aperfeiçoar o desempenho de sistemas, entre outras vantagens (Annunziata; Biller, 2014). É um tipo de rede utilizada para conectar os objetos e coisas à rede, propiciando a transmissão confiável e processamento inteligente de informações (Liu *et al.*, 2017) e projeção virtual da indústria.

Os objetos e os produtos habilitados para *IoT* empregam tecnologias incorporadas, o que permitem comunicar uns com os outros, ou ainda, com a própria *internet* (Chase, 2013). A *IoT* consiste em diferentes camadas de tecnologias, que garante o adequado funcionamento de sistemas integrados à rede digital (Patel; Patel, 2016), conforme apresentado na Figura 4.

Figura 4 - Arquitetura da *IoT*



Fonte: Patel e Patel (2016).

3.3 Big Data

As análises utilizando elevado volume de dados, o *Big Data*, emergiu recentemente em algumas indústrias, visando aperfeiçoar a qualidade da produção e dos produtos, garantir a eficiência de equipamentos e auxiliar na tomada de decisões em tempo real (Rüßmann *et al.*, 2015).

O *Big Data* é um conjunto de dados processados com tecnologia analítica, que inclui dados não estruturados e sem formatos compatíveis, como dados de serviço de rede social, dados de *blog*, notícias, fotos, entre outros (Park *et al.*, 2017). Deste modo, é possível fornecer serviços personalizados aos consumidores e auxiliar nos processos decisórios (Witkowski, 2017). De acordo com o autor, o *Big Data* engloba quatro dimensões a destacar:

- Volume: Refere-se à quantidade de dados, cujas ferramentas comuns destinadas à coleta, armazenamento, gerenciamento e análise de dados têm suas capacidades excedidas por esses dados, o que exige o uso de tecnologias avançadas. De acordo com Kambatla *et al.* (2014), o uso de elevados números de dados é uma importante prática, pois conduz ao aprimoramento da eficiência de resultados e orienta processos decisórios, embora, para maior eficiência no uso de elevado volume de dados, uma necessidade básica e essencial é o processamento de transações por meio de sistemas eletrônicos específicos (Picciano, 2012);
- Variedade: Os dados advêm de uma variedade de fontes (sistemas transacionais e redes), e deste modo, alteram-se dinamicamente;
- Velocidade: A análise de dados é realizada em tempo real, o que permite a obtenção de conclusões sobre dados em constante fluxo, e;
- Valor: Destina-se que entre uma gama de dados sejam selecionados apenas os mais importantes para o caso analisado.

Associando as quatro dimensões, o *Big Data* auxilia principalmente nos processos decisórios (Kambatla *et al.*, 2014; Rüßmann *et al.*, 2015; Witkowski, 2017).

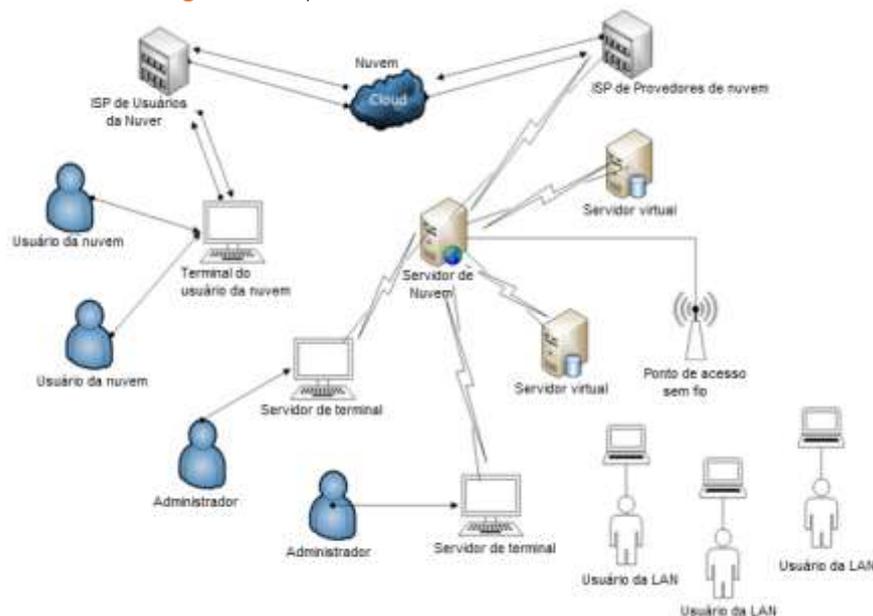
3.4 Computação em nuvem

Com o aumento no fluxo de compartilhamento de dados e informações, nas indústrias de manufatura será exigido o maior desempenho das tecnologias da nuvem para o adequado processamento, armazenamento e conectividade dos mesmos (Rüßmann *et al.*, 2015).

No contexto da indústria 4.0 deverão ser gerados enormes volumes de dados e informações, que precisarão ser armazenados e processados por meio de tecnologias da computação em nuvem (Almada-Lobo, 2015).

A Figura 5 apresenta um cenário baseado em computação em nuvem, que inclui o provedor de serviços e seus usuários (Ahmed; Hossain, 2014).

Figura 5 - Arquitetura de sistema em nuvem



Fonte: Ahmed e Hossain (2014).

A computação em nuvem permite acesso ao *software* e ao armazenamento de dados na representação nuvem da *internet* ou de uma rede digital integrada, cujos serviços são fornecidos por meio de centros comuns e criados em servidores para os usuários (Malathi, 2011).

Malathi (2011) descreve as principais características da computação em nuvem:

- Autoatendimento conforme a demanda: Permite que os usuários acessem os recursos da computação em nuvem sempre que necessários. É possível acessar dados e informações e gerenciar e implantar serviços por provedores;
- Amplo acesso à rede: A comunicação de rede de alta banda larga possibilita o acesso a uma gama de recursos de tecnologias da Informação, conectadas a uma variedade de plataformas de computação, *laptops*, impressoras e celulares;
- Gama de recursos: Os recursos da computação em nuvem são agrupados para atender diversos usuários, por meio de modelos específicos com diferentes recursos físicos e virtuais, distribuídos dinamicamente, e;
- Transparência do serviço: O uso de recursos da computação em nuvem pode ser monitorado e controlado, fornecendo transparência tanto para o provedor como para o usuário do serviço.

3.5 Realidade aumentada

Com recursos de realidade aumentada, as informações e procedimentos relativos aos serviços a serem executados nas indústrias, como selecionar peças de um armazém ou instruções de reparos de produtos, serão exibidos aos trabalhadores por meio de dispositivos de realidade aumentada (Rüßmann *et al.*, 2015).

A realidade aumentada consiste no conceito obtido pela relação de realidade virtual com os dados de um cenário físico. É possível maximizar as características e especificações físicas de componentes e peças aos seus usuários, por meio digital (Wehle, 2016).

Para visualizar e analisar os resultados da realidade aumentada, os usuários dispõem de alguns dispositivos, a destacar (Syberfeldt; Danielsson; Gustavsson, 2017):

- Vídeos (os cenários virtual e real são mesclados em visão digital para o usuário);
- Óptico (um objeto virtual é convertido para visão real);
- Projeção (um objetivo virtual pode ser projetado por meio de projetor virtual para o usuário); -

Entre outros.

A Figura 6 apresenta as funcionalidades básicas de suporte de um sistema de realidade aumentada (Michalos *et al.*, 2016).



Fonte: Michalos *et al.* (2016)

3.6 Inteligência artificial

Inicialmente os robôs foram desenvolvidos com o objetivo de substituir humanos em alguns processos monótonos, pesados e perigosos (Goris, 2005). Com o passar dos anos, os robôs vêm evoluindo cada vez mais, tornando-se autônomos, flexíveis e cooperativos. Esses desempenham funções importantes ao interagirem entre si e/ou com humanos (Rüßmann *et al.*, 2015), pois garantem a previsibilidade, precisão, qualidade e confiabilidade na execução de operações e processos (Singh; Sellappan; Kumaradhas, 2013; Ullah *et al.*, 2016).

Os robôs são máquinas desenvolvidas com a finalidade de executar tarefas específicas de maneira autônoma ou por meio de comandos por controle remoto (Ullah *et al.*, 2016). De acordo com Goris (2005) um robô autônomo é constituído por sensores e outras tecnologias e é capaz de detectar objetos, que a partir de configurações, desempenha uma variedade de atividades industriais.

Os robôs apresentam diferentes graus de autonomia conforme a finalidade e necessidade de desenvolvimento de cada um deles. Neste contexto, enquanto alguns robôs são programados para desenvolver tarefas repetitivas, padronizadas e precisas, outros robôs são extremamente flexíveis quanto à orientação do objeto e/ou à tarefa a ser executada (Singh; Sellappan; Kumaradhas, 2013).

Na indústria 4.0, a participação e intensificação de usos de robôs autônomos nas indústrias é uma realidade (Rüßmann *et al.*, 2015). Isto ocorre por diversos motivos, um deles, o rápido avanço tecnológico (Tasevski; Nikolić; Mišković, 2013). De acordo com Singh, Sellappan e Kumaradhas (2013), a complexidade da inteligência artificial é um fator importante no robô industrial moderno.

Singh, Sellappan e Kumaradhas (2013) descrevem as seguintes vantagens do uso de robôs nas indústrias:

- Produtividade: i) Os robôs desenvolvem tarefas mais precisas e com alta qualidade; ii) Os robôs dificilmente cometem erros; iii) Produzem maior quantidade de produtos em menor período de tempo; iv) Executam tarefas a uma velocidade constante e sem interrupções, e; v) Apresentam maior rapidez ao executar tarefas;
- Segurança no trabalho: i) Os robôs podem desenvolver tarefas perigosas; ii) Podem executar tarefas em locais inadequados aos humanos, caracterizados pela baixa iluminação ou espaços apertados, e; iii) São capazes de transportar cargas pesadas sem maiores riscos de acidentes;
- Economia de tempo: i) Os robôs economizam tempo em decorrência da maior produtividade por certo período, e;
- Economia de dinheiro: i) Os robôs reduzem desperdícios de matérias primas devido à alta precisão na produção, e; ii) Garantem maior retorno financeiro às indústrias a longo prazo.

3.7 Simulação

A simulação é o processo de criar e projetar um sistema real ou imaginário por meio do uso de modelos físicos, matemáticos ou outros para modelagem, visando avaliar cenários e prever o comportamento do sistema real (Rodič, 2017).

O uso de simulação aliado a outros recursos computacionais e ferramentas tridimensionais possibilita projetar processos e produtos, simultaneamente (Wang *et al.*, 2016) e reflete em vantagens, como a redução de custos, o aumento da qualidade de produtos ou processos, gerenciamento adequado do conhecimento, melhores decisões, entre outras (Rodič, 2017).

Nas indústrias, as simulações envolvendo produtos e/ou materiais e/ou processos em cenários tridimensionais já são desenvolvidas, porém, no decorrer dos anos irão se intensificar e englobar dados em tempo real (Rüßmann *et al.*, 2015).

De modo a atender as necessidades das indústrias, onde os sistemas computadorizados podem ser utilizados para projetar, simular e monitorar processos físicos, novas ferramentas de simulação são desenvolvidas, cujo objetivo principal é criar mapas virtuais cada vez mais próximos da realidade e facilitar os processos decisórios (GeboCermex, 2016). Apesar da falta de fornecedores especializados para o desenvolvimento de novas ferramentas para simulação na Indústria 4.0, muitos blocos de construção de cenários e aplicações de conceitos para simulação já estão disponíveis no mercado (Rodič, 2017).

3.8 Segurança de sistemas de informação e de redes

Em decorrência da maior incorporação de dados e informação ao meio digital, na Indústria 4.0 a segurança de sistemas será indispensável (Rüßmann *et al.*, 2015). Na indústria deverá ser adotada uma abordagem complexa e eficiente de segurança cibernética, de modo a proteger dados, informações, conhecimento e/ou outros elementos intelectuais (Annunziata; Biller, 2014).

A segurança cibernética rege a confiabilidade, a integridade e a disponibilidade de dados e informações em tempo real (Lee, 2015). É um desafio garantir a privacidade de dados e informações, quando disponibilizados em redes digitais (Sung, 2018).

4 Considerações finais

A Indústria 4.0 já é uma realidade em países como a Alemanha, porém, muito há para ser desenvolvido e aplicado nas indústrias, de modo a conduzi-las ao alcance de vantagens competitivas e melhores desempenhos produtivos.

Este trabalho poderá contribuir para o amadurecimento de indústrias por meio de discussões do conceito e das tecnologias da Indústria 4.0. De acordo com Herterich, Uebernickel e Brenner (2015), com o aumento na concorrência entre negócios, explorar novas e potenciais tecnologias está se tornando essencial às indústrias.

No Cenário Industrial 4.0, os estágios de uma cadeia de suprimentos passarão por alterações tecnológicas, isto inclui as indústrias de manufatura. Sendo assim, a elaboração desta pesquisa e de estudos similares é importante para o enriquecimento do assunto na atualidade.

Referências

- Abdel-Basset, M.; Manogaran, G.; Mohamed, M. (2018). *Internet of Things (IoT) and its impact on supply chain: A framework for building smart, secure and efficient systems*, *Future Generation Computer Systems*, 86, 614-628.
- Ahmed, M.; Hossain, M. A. (2014). *Cloud computing and security issues in the cloud*. *International Journal of Network Security & Its Applications*, 6(1), 25-36.
- Albers, A.; Gladysz, B.; Pinner, T.; Butenko, V.; Stürmlinger, T. (2016). *Procedure for Defining the System of Objectives in the Initial Phase of an Industry 4.0 Project Focusing on Intelligent Quality Control Systems*. *Procedia CIRP*, 52, 262-267.
- Almada-Lobo, F. (2015). *The Industry 4.0 revolution and the future of Manufacturing Execution Systems (MES)*. *Journal of Innovation Management*, 4, 16-21.
- Anderl, I. R. (2014). *Indústria 4.0* (2014). *Advanced Engineering of Smart Products and Smart Production*. In: *Anais do XIX Internation Seminar on High Technology*. Piracicaba, SP.
- Annunziata, M.; Biller, S. (2017). *The Future of Work Starts Now*. Access in September 3, 2017, <http://www.ge.com>.
- Assad Neto, A.; Pereira, G. B.; Drozda, F. O.; Santos, A. P. L. (2017). A busca de uma identidade para a Indústria 4.0. In: *Anais do Encontro Nacional de Engenharia de Produção*, Joinville.
- Avventuroso, G.; Silvestri, M.; Pedrazzoli, P. A. (2017). *Networked Production System to Implement Virtual Enterprise and Product Lifecycle Information Loops*. *IFAC-PapersOnLine*, 50(1), 7964-7969.
- Bai, Z.; Huang, X. (2012). *Design and implementation of a Cyber Physical System for Building Smart Living Spaces*. *International Journal of Distributed Sensor Networks*, 8(5), 1-10.
- Bär, K.; Z. N. L. Herbert-Hansen; W. Khalid. (2018). *Considering Industry 4.0 aspects in the supply chain for an SME*. *Production Engineering*, 12(6), 747-758.
- Barreto, L.; Amaral, A.; Pereira, T. (2017). *Industry 4.0 implications in logistics: an overview*. *Procedia Manufacturing*, 13, 1245-1252.
- BFWuE - Bundesministerium Für Wirtschaft Und Energie. (2018). *Was ist Industrie 4.0?* Recuperado em: <<https://www.plattform-i40.de/i40/Navigation/DE/Industrie40/WasIndustrie40/was-ist-industrie-40.html>>. Acesso 20 ago. 2018.
- Bogataj, D.; Bogataj, M.; Hudoklin, D. (2017). *Mitigating risks of perishable products in the cyber physical systems based on the extended MRP model*. *International Journal of Production Economics*, 193, 51-62.
- Byrne, G.; Ahearne, E.; Cotterell, M.; Mullany, B.; O'donnell, G. E.; Sammler, F. (2016). *High Performance Cutting (HPC) in the New Era of Digital Manufacturing: A Roadmap*. *Procedia CIRP*, 46, 1-6.

- Cavalcante, Z. V.; Silva, M. L. S. (2011). A importância da revolução industrial no mundo da tecnologia. In: *Anais do Encontro Internacional de Produção Científica*, Maringá, Paraná, Unicesumar.
- Chase, J. (2013). *The evolution of the Internet of Things*. Dallas Texas: Texas Instruments.
- Chen, R. Y. (2017). *An intelligent value stream-based approach to collaboration of food traceability cyber physical system by fog computing*. *Food Control*, 71, 124-136.
- CNI - Conselho Nacional de Indústria. (2017). *New Industrial Era Will Transform Global Productivity*. Recuperado em: <<http://www.portaldaindustria.com.br>>. Acesso 02 set. 2017.
- Davis, J., Edgar, T., Porter, J., Bernaden, J. and Sarli, M. (2012). *Smart manufacturing, manufacturing intelligence and demand-dynamic performance*. *Computers & Chemical Engineering*, 47, 145-156.
- Dieber, B.; Schlotzhauer, A.; Brandstötter, M. (2017). *Safety & Security Erfolgsfaktoren von sensitiven Robotertechnologien. e & i Elektrotechnik und Informationstechnik*, 134(6), 299-303.
- Dossou, P., Nachidi, M. (2017). *Modeling Supply Chain Performance*. *Procedia Manufacturing*, 11, 838-845.
- Drath, R.; Horch, A. (2014). *Industrie 4.0: Hit or Hype? IEEE industrial electronics magazine*, 56-58.
- Gebocermex. (2017). *Industry 4.0 driven by simulation*. Recuperado em: <<http://www.gebocermex.com>>. Acesso 5 de set. 2017.
- Gil, A. C. (2008). *Como elaborar projetos de pesquisa*. São Paulo: Atlas.
- Godoy, A. S. (1995). Pesquisa qualitativa: tipos fundamentais. *Revista de Administração de Empresas*, 35(3), 20-29.
- Gorecky, D.; Khamis, M.; Mura, K. (2015). *Introduction and establishment of virtual training in the factory of the future*. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 30(1), 182-190.
- Goris, K. (2005). *Autonomous Mobile Robot Mechanical Design*. Universiteit Brussel.
- Grieco, A.; Caricato, P.; Gianfreda, D.; Pesce, M.; Rigon, V.; Tregnaghi, L.; Voglino, A. (2017). *An Industry 4.0 case study in fashion manufacturing*. *Procedia Manufacturing*, 11, 871-877.
- Haddara, M.; Elragal, A. (2015). *The Readiness of ERP Systems for the Factory of the Future*. *Procedia Computer Science*, 64, 721-728.
- Harrison, R.; Vera, D.; Ahmad, B. (2016). *Engineering Methods and Tools for Cyber-Physical Automation Systems*. *Proceedings of the IEEE*, 104(5), 973-985.
- Herterich, M. M.; Uebernickel, F.; Brenner, W. (2015). *The impact of Cyber-physical Systems on Industrial Services in Manufacturing*. *Procedia Cirp*, 30, 323-328.
- Ivanov, D. and Sokolov, B. (2012). *The inter-disciplinary modelling of supply chains in the context of collaborative multi-structural cyber-physical networks*. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 23(8), 976-997.
- Jasiulewicz-Kaczmarek, M.; Saniuk, A.; Nowicki, T. (2017). *The Maintenance Management in the Macro-Ergonomics Context*. *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 487, 35-46.
- Jensen, J. P.; Remmen, A. (2017). *Enabling circular economy through product stewardship*. *Procedia Manufacturing*, 8, 377-384.
- Jung, K.; Morris, K.; Lyons, K.; Leong, S.; Cho, H. (2015). *Using formal methods to scope performance challenges for Smart Manufacturing Systems: Focus on agility*. *Concurrent Engineering*, 23(4), 343-354.
- Kambatla, K., Kollias, G., Kumar, V., Grama, A. (2014). *Trends in big data analytics*. *Parallel Distrib. Comput.*, 74, 2561-2573.
- Kayikci, Y. (2018). *Sustainability impact of digitization in logistics*. *Procedia Manufacturing*, 21, 782-789.
- Lakatos, E. M.; Marconi, M. A. (2001). *Fundamentos da metodologia científica*. 4. São Paulo: Atlas.
- Lalanda, P.; Morand, D.; Chollet, S. (2017). *Autonomic Mediation Middleware for Smart Manufacturing*. *IEEE Internet Computing*, 21(1), 32-39.
- Lee, E. A. (2008). *Cyber Physical Systems: Design Challenges*. In: *Anais do IEEE International Symposium*. 2008. Orlando, USA. Orlando, USA.
- Lee, E. A. (2015). *The past, present and future of Cyber-Physical Systems: a focus on models*. *Sensors*, 15, 4837-4869.
- Lee, J.; Kao, H. A.; Yang, S. (2014). *Service innovation and smart analytics for Industry 4.0 and big data environment*. *Procedia CIRP*, 16, 3-8.
- Letichevsky, A. A.; Letychevskiy, O. O.; Skobelev, V. G.; Volkov, V. A. (2017). *Cyber-Physical Systems*. *Cybernetics and Systems Analysis*, 53(6), 821-834.
- Lima, E. C.; Oliveira Neto, C. R. (2017). *Revolução Industrial: considerações sobre o pioneirismo industrial inglês*. *Revista Espaço Acadêmico*, 1(194), 102-113.
- Liu, Y.; Peng, Y.; Wang, B.; Yao, S.; Liu, Z. (2017). *Review on Cyber-physical Systems*. *Journal of Automatica Sinica*, 4(1), 27-40.
- Majeed, A. A., Rupasinghe, T. D. (2017). *Internet of things (IoT) embedded future supply chains for industry 4.0: An assessment from an ERP-based fashion apparel and footwear industry*. *International Journal of Supply Chain Management*, 6(1), pp 25-40.
- Malathi, M. (2011). *Cloud computing concepts*. *IEEE*, 236-239.

- Michalos, G.; Karagiannis, P.; Makris, S.; Tokçalar, Ö.; Chryssolouris. (2016). *Augmented Reality (AR) application for supporting human-robot interactive cooperation. Procedia CIRP*, 41, 370-375.
- Moeuf, A.; Pellerin, R.; Lamouri, S.; Tamayo-Giraldo, S.; Barbaray, R. (2017). *The industrial management of SMEs in the era of Industry 4.0. International Journal of Production Research*, 56(3), 1118-1136.
- Mohammed, Z. K. A.; Ahmed, E. S. (2017). *Internet of Things applications, challenges and related future technologies. World Scientific News*, 67(2), 126-148.
- Molka-Danielsen, J.; Engelseth, P.; Wang, H. (2018). *Large scale integration of wireless sensor network technologies for air quality monitoring at a logistics shipping base. Journal of Industrial Information Integration*, 10, 20-28.
- Müller, J. M.; Buliga, O.; Voigt, K. I. (2018). *Fortune favors the prepared: How SMEs approach business model innovations in Industry 4.0. Technological Forecasting & Social Change*, 132, 2-17.
- Neugebauer, R.; Hippmann, S.; Leis, M.; Landherr, M. (2017). *Industrie 4.0: From the perspective of applied research. Procedia CIRP*, 57, 2-7.
- NIST - National Institute of Standards and Technology. (2013). *Foundations for Innovation in Cyber-Physical Systems Workshop Summary Report*. Recuperado em: <<https://www.nist.gov>>. Acesso 29 jun. 2018.
- Pagani, R. N.; Kovaleski, J. L.; Resende, L. M. (2018). Avanços na composição da Methodi Ordinatio para revisão sistemática de literatura. *Ci.Inf., Brasília*, 46(2), 161-187.
- Park, S. H.; Shin, W. S.; Park, Y. H.; Lee, Y. (2017). *Building a new culture for quality management in the era of the Fourth Industrial Revolution. Total Quality Management & Business Excellence*, 28(9), 934-945.
- Patel, K. K.; Patel, S. M. (2012). *Internet of Things-IOT: Definition, Characteristics, Architecture, Enabling Technologies, Application & Future Challenges. International Journal of Engineering Science and Computing*, 6(5), 6122-6131.
- Picciano, A. G. (2012). *The evolution of Big Data and Learning Analytics in American Higher Education. Journal of Asynchronous Learning Networks*, 16(3), 9-20.
- Piovesan, A.; Temporini, E. R. (1995). Pesquisa exploratória: procedimento metodológico para o estudo de fatores humanos no campo da saúde pública. *Revista Saúde Pública*, 29(4), 318-325.
- Porter, M. E.; Heppelmann, J. E. (2014). *How Smart, Connected Products Are Transforming Competition*. Harvard Business Review.
- Reddy, G. R.; Singh, H.; Hariharan, S. (2016). *Supply chain wide transformation of traditional industry to Industry 4.0. Journal of Engineering and Applied Sciences*, 11(18), 11089-11097.
- Rodič, B. (2017). *Industry 4.0 and the New Simulation Modelling Paradigm. Oganizacija*, 50(3), 193-207.
- Rüßmann, 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*. The Boston Consulting Group.
- Shamim, S.; Cang, S.; Yu, H.; Li, Y. (2017). *Examining the Feasibilities of Industry 4.0 for the Hospitality Sector with the Lens of Management Practice. Energies*, 10(12), 1-19.
- Silva, E. L.; Menezes, E. M. (2005). *Metodologia de pesquisa e elaboração de dissertação*. Florianópolis: UFSC.
- Silva, V. L.; Kovaleski, J. L.; Pagani, R. N. (2018). *Technology transfer in the supply chain oriented to industry 4.0: a literature review. Technology Analysis & Strategic Management*, Doi: 10.1080/09537325.2018.1524135.
- Singh, B.; Sellappan, N.; Kumaradhas, P. (2013). *Evolution of Industrial Robots and their Applications. International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, (3), 763-768.
- Skaržauskienė, A.; Kalinauskas, M. (2012). *The future potential of Internet of Things. Socialinės Technologijos Social Technologies*, 2(1), 102-113.
- Smirnov, A.; Sandkuhl, K.; Shilov, N. (2013). *Multilevel self-organisation of cyber-physical networks: synergic approach. International Journal of Integrated Supply Management*, 8(1), 1.
- Sung, T. K. (2018). *Industry 4.0: A Korea perspective. Technological Forecasting and Social Change*, 132, 40-45.
- Syberfeldt, A.; Danielsson, O.; Gustavsson, P. (2017). *Augmented Reality smart glasses in the smart factory: product evaluation guidelines and review of available products. IEEE Access*, 5, 9118-9130.
- Tasevski, J.; Nikolić, M.; Mišković, D. (2013). *Integration of an Industrial Robot with the Systems for Image and Voice Recognition. Serbian Journal of Electrical Engineering*, 10(1), 219-230.
- Tjahjono, B.; Esplugues, C.; Ares, E. and Pelaez, G. (2017). *What does Industry 4.0 mean to Supply Chain?. Procedia Manufacturing*, 13, 1175-1182.
- Tortorella, G. L.; Fettermann, D. (2017). *Implementation of Industry 4.0 and lean production in Brazilian manufacturing companies. International Journal of Production Research*, 56(8), 2975-2987.
- Trstenjak, M.; Cosic, P. (2017). *Process Planning in Industry 4.0 Environment. Procedia Manufacturing*, 11, 1744-1750.
- Tuptuk, N.; Hailes, S. (2018). *Security of smart manufacturing systems. Journal of Manufacturing Systems*, 47, 93-106.
- Ullah, M. I.; Ajwad, S. A.; Irfan, M.; Iqbal, J. (2016). *Non-linear Control Law for Articulated Serial. Elektronika ir Elektrotechnika*, 22(1), 1, 1-5.

- Wang, W.; Zhu, X.; Wang, L.; Qiu, Q.; Cao, Q. (2016). *Ubiquitous robotic technology for smart manufacturing system. Computational Intelligence and Neuroscience*, 2016, 1-14.
- Wehle, H. D. (2016). *Augmented Reality and the Internet of Things (IoT)*. Recuperado em: <https://www.researchgate.net/publication/288642701_Augmented_Reality_and_the_Internet_of_Things_loT_Industry_40_en>. Acesso 28 jun. 2018.
- Witkowski, K. (2017). *Internet of Things, Big Data, Industry 4.0: Innovative Solutions in Logistics and Supply Chains Management. Procedia Engineering*, 182, 763-769.
- Zhong, Y. R.; Chen Xu, C. C.; George, Q. H. (2017). *Big Data Analytics for Physical Internet-based intelligent manufacturing shop floors. International Journal of Production Research*, 55(9), 2610-2621.

Recebido em: 11 set. 2018 / Aprovado em: 01 abr. 2019

Para referenciar este texto

Silva, V. L. da., Kovalski, J. L., & Pagani, R. N. (2020). Influências do conceito e das tecnologias da Indústria 4.0 no ambiente industrial. *Exacta*, 18(2), 420-437. <https://doi.org/10.5585/ExactaEP.v18n2.10487>.