

A INDÚSTRIA 4.0 E AS PRINCIPAIS TEMÁTICAS DE PESQUISA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DE LITERATURA

Guilherme Policarpio da Silva
guilhermepolicarpio@hotmail.com

Jaqueline de Matos Silva
jaqueline.mattos94@hotmail.com

Fernanda Tavares Treinta
fernandatrenta@gmail.com

Rui Tadashi Yoshino
ruiyoshino@utfpr.com.br

Regina Negri Pagani
reginapagani@utfpr.edu.br



A Indústria 4.0, termo que representa a 4ª Revolução Industrial, é uma tendência para o setor produtivo e vem ganhando espaço nas discussões com o aumento de estudos e publicações sobre o tema. Por se tratar de um tema recente, a falta de compreensão implica em uma dificuldade de compreender o tema de uma maneira geral. A partir deste contexto, foi realizada uma Revisão Sistemática de Literatura através da aplicação da metodologia multicritério Methodi Ordinatio com o intuito de mapear as principais publicações e obter uma visão ampla sobre quais são as temáticas relacionadas a Indústria 4.0 que estão sendo objeto de estudo. Inicialmente, foi formado um portfólio de 282 artigos para a realização da análise bibliométrica, que permitiu a análise da distribuição das publicações ao longo do tempo, dos Journals com maior número de artigos publicados, dos principais autores, dos principais países, das áreas da ciência e das palavras-chaves mais utilizadas. Posteriormente, foi feita a ordenação destes artigos através do cálculo InOrdinatio e os 22 artigos mais relevantes foram priorizados para a análise qualitativa, que foi realizada através da utilização do Software Nvivo. Sendo assim, o presente trabalho apresenta informações relevantes sobre o direcionamento das pesquisas sobre a Indústria 4.0 e permite uma visão geral das principais temáticas relacionadas à essa área de pesquisa. Dessa forma, torna-se possível nortear não só as pesquisas acadêmicas, como também às organizações em relação às principais mudanças, adaptações e impactos inerentes à 4ª Revolução Industrial.

Palavras-chave: Industria 4.0, Revisão Sistemática de Literatura, Análise Qualitativa, Análise bibliométrica, NVivo

1. Introdução

De acordo com Berger (2014), a indústria vivenciou 3 Revoluções Industriais as quais trouxeram um ganho de escala e produtividade de produção à sua época. No mesmo caminho, a 4ª Revolução Industrial ou Indústria 4.0 está em curso e traz mudanças e novas perspectivas para a indústria, sendo caracterizada pela maior integração da Internet nos processos produtivos, sensores menores e mais baratos e inteligência artificial aplicada nas máquinas. Dessa forma, a 4ª Revolução Industrial permitirá avanços sócio econômicos com a integração da economia global, criando novas demandas para serviços e produtos. (SCHWAB, 2016).

O termo Indústria 4.0 foi introduzido na Alemanha em 2011 e segundo Brettel et al. (2014) refere-se a mudanças que ocorrem atualmente no âmbito da indústria, especialmente na indústria de produção e de manufatura no mundo desenvolvido. A integração de novas tecnologias com o processo de manufatura na indústria é o conceito chave no qual a Indústria 4.0 se baseia.

A partir deste contexto, Liao et al. (2017) ressaltam que a Indústria 4.0 é um tema recente e tem gerado um grande interesse nos setores econômicos e acadêmicos, refletido no aumento de publicações relacionados a temática. Sendo assim, a 4ª Revolução Industrial tem se tornado nos últimos anos um dos tópicos mais frequentemente discutidos em diversas conferências e fóruns relacionados à manufatura.

Ainda neste sentido, Drath e Horch (2014) apresentam que a Indústria 4.0 é uma tendência forte na indústria, a qual servirá de ponte para a virtualização de objetos físicos e serviços na indústria. Hermann, Pentek e Otto (2016) destacam que as discussões sobre Indústria 4.0 ainda não tem uma visão muito bem definida. Consequentemente, a falta de um entendimento sistêmico sobre a Indústria 4.0 resulta em uma grande dificuldade em tratar o assunto no meio acadêmico.

A partir deste contexto, o presente artigo tem como objetivo principal apresentar uma compreensão da produção acadêmica sobre a Indústria 4.0. Para isso, foi realizada uma Revisão Sistemática de Literatura através da aplicação da metodologia multicritério Methodi Ordinatio com o intuito de mapear as principais publicações e obter uma visão ampla sobre quais são as temáticas relacionadas a Indústria 4.0 que estão sendo objeto de estudo, assim como conhecer parâmetros relacionados a essas publicações.

Inicialmente, foi formado um portfólio de 282 artigos para a realização da análise bibliométrica, que permitiu a análise da distribuição das publicações ao longo do tempo, dos

Journals com maior número de artigos publicados, dos principais autores, dos principais países, das áreas da ciência e das palavras-chaves mais utilizadas. Posteriormente, foi feita a ordenação destes artigos através do cálculo InOrdinatio e os 22 artigos mais relevantes foram priorizados para a análise qualitativa através do *software* Nvivo. Sendo assim, o presente trabalho apresenta informações relevantes sobre o direcionamento das pesquisas sobre a Indústria 4.0 e permite uma visão geral das principais temáticas relacionadas à essa área de pesquisa.

2. Indústria 4.0

2.1 Conceituação da Indústria 4.0

A Indústria vivenciou ao longo dos anos uma série de transformações as quais influenciaram de maneira significativa os processos de produção. De acordo com Schwab (2016) a 1ª Revolução Industrial ocorreu entre 1760 e 1840, e foi marcada pela invenção das máquinas a vapor. Já a 2ª Revolução Industrial foi iniciada no final do século XIX e teve como marco a criação da primeira linha de montagem, viabilizando a produção em massa. A 3ª Revolução Industrial começou por volta de 1960, e foi impulsionada pelo desenvolvimento dos semicondutores, da computação pessoal e da Internet. Atualmente, estamos na 4ª Revolução Industrial e esta é caracterizada pela maior integração da Internet nos processos produtivos, sensores menores e mais baratos e inteligência artificial aplicada nas máquinas.

O termo *Industry 4.0*, *Industrie 4.0* ou Indústria 4.0 foi introduzido em 2011, pelo Instituto *Fraunhofer-Gesellschaft* e pelo Governo Federal Alemão como um termo coletivo que define o conjunto de tecnologias para fluxo de informações, automação e manufatura. (CHUNG & KIM, 2016).

Conforme afirmam Kagermann, Wahnke e Helbig (2013), os promotores da Indústria 4.0 tem o intuito de otimizar processos industriais que envolvem fabricação, engenharia, gestão da cadeia de suprimentos e o ciclo de vida dos produtos. Ainda de acordo com os autores, 3 conceitos principais devem ser considerados na implementação da Indústria 4.0, Integração Vertical, Integração Horizontal e Engenharia de Ponta a Ponta. A seguir, os conceitos serão apresentados nas visões de Kagermann, Wahnke e Helbig (2013) e Wang et al. (2016).

- Integração Vertical: os autores afirmam que corresponde a implementação de um sistema de manufatura com características de flexibilidade e reconfigurabilidade por

meio da integração completa dos sistemas hierárquicos do ambiente interno da empresa.

- Integração Horizontal: os autores apontam que o intuito é criar colaborações entre empresas para propiciar um ecossistema integrado, onde recursos físicos, intelectuais, energéticos e financeiros podem fluir entre várias empresas diferentes.
- Engenharia de Ponta a Ponta: como descrito pelos autores, este conceito engloba os dois primeiros e objetiva criar uma poderosa cadeia de ferramentas de software, que possibilita a customização em massa através da modelagem do produto em cada estágio na cadeia de valor.

Para Kagermann, Wahnster e Helbig (2013), a integração da Internet das Coisas com o processo de manufatura é a porta de entrada para a Indústria 4.0. Além disso, os autores notam que a fusão entre o mundo físico e virtual é outro componente importante da Indústria 4.0 e conforme Lee (2008) é possibilitada por meio da integração dos processos físicos e computacionais, os chamados Sistemas Físicos Cibernéticos. Na visão de Hofmann e Hüsch (2017), as fábricas que aplicam esses conceitos são denominadas de Fábricas Inteligentes e formam a base da Indústria 4.0.

2.2 Pilares da Indústria 4.0

Rußman et al. (2015) identificam 9 pilares fundamentais que sustentam a 4ª Revolução Industrial por meio do seu impacto na transformação tecnológica e digital nas indústrias: Big Data, Robôs Autônomos, Simulação, Integração Vertical e Horizontal, Internet das Coisas, Segurança Cibernética, Nuvem, Manufatura Aditiva e Realidade Aumentada. A Tabela 1 traz cada pilar e sua caracterização.

Tabela 1 – 9 pilares fundamentais da Indústria 4.0

Pilar	Definição	Impacto
Big Data	Grande conjunto de dados com necessidade de análise em tempo real (MELL et al., 2015).	A indústria convive com grandes volumes de dados os quais fazem parte do processo de tomada de decisão em tempo real (RÜßMANN et al., 2015).
Robôs Autônomos	São robôs com capacidade autônoma (PONCELA et al., 2009)	São utilizados nas linhas de produção para desempenhar atividades complexas (RÜßMANN et al., 2015).
Simulação	Simulação em tempo real de máquinas, produtos e humanos (RÜßMANN et al., 2015).	O foco na Indústria 4.0 é a simulação do mundo físico em um mundo virtual, colaborando com a assertividade da tomada de decisão (RÜßMANN et al., 2015).
Integração Vertical e Horizontal	Conceitos chave para a implementação da Indústria 4.0 (WANG et al., 2016)	Integração entre as atividades internas e entre empresas com intuito de agregar a toda a cadeia de valor (WANG et al., 2015) (RÜßMANN et al., 2015).
Internet das Coisas	Conexão entre objetos físicos e a Internet, que viabiliza o acesso remoto de dados e o controle de objetos à distância. (KOPETZ, 2011).	Proporciona a descentralização da tomada de decisão através da comunicação em tempo real entre a Internet e objetos conectados (RÜßMANN et al., 2015).
Segurança Cibernética	Consiste em métodos usados com intuito de detectar e impedir invasores (KEMMERER, 2003)	Representa a necessidade de proteção de sistemas de gerenciamento e linhas de produção com a crescente conectividade (RÜßMANN et al., 2015).
Nuvem	Aplicações e serviços disponibilizados através da Internet, viabilizados por <i>data centers</i> (ARMBRUST, 2010)	A Indústria 4.0 convive com a necessidade de compartilhamento de dados dentro do ambiente interno e com o ambiente externo (RÜßMANN et al., 2015).
Manufatura Aditiva	Método de manufatura que adiciona material camada por camada para produzir um objeto (VAYRE, VIGNAT & VILLENEUVE, 2012)	A Indústria 4.0 permitirá a produção de pequenos lotes customizados em grandes volumes com auxílio da Manufatura Aditiva (RÜßMANN et al., 2015).
Realidade Aumentada	Fusão da realidade física e virtual, representadas em imagens reais em tempo real (CAWOOD, FIALA & STEINBERG, 2007)	Tem impacto na tomada de decisão por meio do fornecimento de informações em tempo real (RÜßMANN et al., 2015).

Fonte: Adaptado de Rüßman et al. (2015)

2.3 Componentes básicos da Indústria 4.0

A Revisão Sistemática de Literatura realizada por Hermann, Pentek e Otto (2015) identificou 4 componentes básicos da Indústria 4.0: Internet das Coisas, Internet dos Serviços, Sistemas Físicos Cibernéticos e Fábricas Inteligentes os quais serão abordados a seguir.

2.3.1 Internet das Coisas e Internet dos Serviços

Como descrito por Almeida (2015), a Internet das Coisas é a integração entre elementos físicos e virtuais conectados à Internet, possibilitando a coleta, troca e armazenagem de uma grande quantidade de dados por meio de “coisas”, no qual são geradas informações a partir do processamento e análise desses dados.

Do ponto de vista da Indústria 4.0, Kang et al. (2015) alega que a Internet das Coisas coleta ou troca dados obtidos por meio de sensores inteligentes e possibilita a análise destes dados através dos Sistemas Físicos Cibernéticos. Acrescenta-se a isso a Internet dos Serviços no qual, segundo Buxmann, Hess e Ruggaber (2009), consiste na integração entre o modelo de negócios da empresa com serviços oferecidos pela Internet, proporcionando uma maximização na cadeia de valores.

2.3.2 Sistemas Físicos Cibernéticos

Segundo Bahet e Gill (2011), os Sistemas Físicos Cibernéticos configuram uma nova geração de sistemas que integram capacidades físicas e computacionais os quais podem interagir com humanos através de novos meios. No mesmo sentido, Shi et al.(2011) alega que a interação entre sistemas físicos, computadores e a Internet exigem uma nova configuração das tecnologias para viabilizar esses meios de interação.

Krogh (2008) enumera que as aplicações de Sistemas Físicos Cibernéticos incluem sistemas e dispositivos médicos, segurança e controle de tráfego, sistemas automotivos avançados, controle de processos, conservação de energia, softwares de aviação, instrumentação, usinas de energia, robôs distribuídos, sistemas de armas, controle e comando de sistemas distribuídos, estruturas inteligentes e sistemas de comunicação.

2.3.3 Fábricas Inteligentes

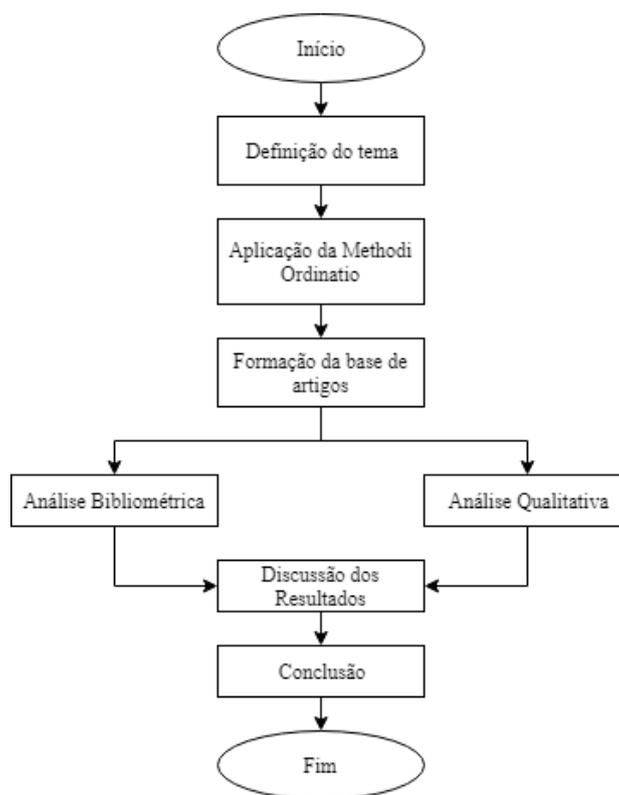
Wang et al. (2016) conceituam Fábricas Inteligentes como um ambiente no qual a comunicação entre Sistemas Físicos Cibernéticos ocorre por meio da Internet das Coisas e da Internet dos Serviços, permitindo que os produtos encontrem seu caminho de maneira independente no processo de produção, sejam localizados e identificados em qualquer momento de maneira facilitada (KAGERMANN, WAHKSTER & HELBIG, 2013).

Wang et al. (2016) apontam que as Fábricas Inteligentes apresentam capacidade de produzir pequenos lotes de produtos customizados de maneira eficiente e rentável, devido as suas características de flexibilidade e reconfigurabilidade.

3. Metodologia

De acordo com Fonseca (2002), metodologia é o estudo da organização e das etapas a serem cumpridas para elaborar e efetuar uma pesquisa ou um estudo. Gil (2008) afirma que pesquisa é um mecanismo racional e sistemático que busca propiciar respostas aos problemas considerados. Neste sentido, a Figura 1 a seguir apresenta a estratégia de pesquisa adotada para a elaboração deste artigo.

Figura 1 – Estratégia da pesquisa



Fonte: Autoria própria

A partir da estratégia de pesquisa adotada, foi realizada uma Revisão Sistemática de Literatura com o intuito de obter uma visão geral da Indústria 4.0. Segundo Tranfield, Denyer e Smart (2003) a Revisão Sistemática tem como objetivo identificar as principais contribuições em um campo de pesquisa.

Para o presente trabalho, a formação do portfólio de artigos foi feita através da metodologia multicritério Methodi Ordinatio. A Methodi Ordinatio é uma metodologia multicritério de tomada de decisão (Multi-Criteria Decision Aid – MCDA) na seleção de artigos científicos para composição de um portfólio bibliográfico (PAGANI, KOVALESKI & RESENDE, 2015). A metodologia é baseada na utilização de três fatores:

- Número de citações: que reflete o reconhecimento por parte da comunidade científica em relação a relevância da pesquisa;
- Fator de Impacto: que indica o quão importante é o *Journal* onde o artigo foi publicado, sendo um *Journal* mais relevante quando mais elevado for o Fator de Impacto;

- Ano de publicação: que revela o quão atual é o artigo, sendo pesquisas mais atuais mais propensas a apresentar maior inovação ou novidade em termos de avanço de pesquisa.

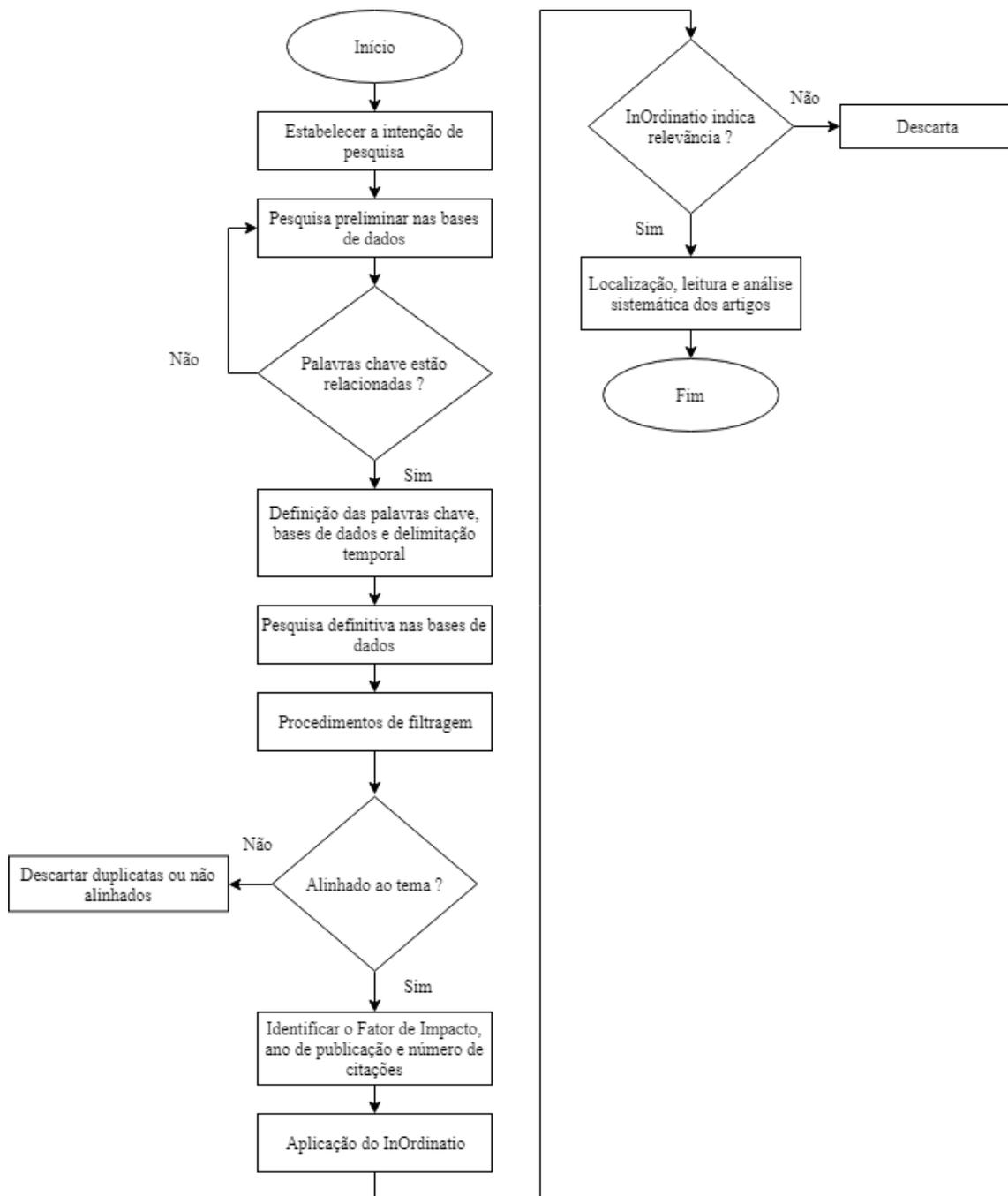
Estes fatores devem ser localizados pelo autor da pesquisa, durante a construção da base artigos. Após identificar esses fatores, será feita a ordenação dos artigos através do InOrdinatio. O cálculo do InOrdinatio é feito através da seguinte equação:

$$\text{InOrdinatio} = \left(\frac{\text{Fator de Impacto}}{1000} \right) + \alpha * [10 - (\text{Ano da Pesquisa} - \text{Ano da Publicação})] + \sum \text{Número de citações}$$

- O Fator de Impacto é dividido por 1000 com objetivo de normalizar seu valor perante os outros critérios;
- O valor do fator de ponderação α é atribuído pelos pesquisadores, de acordo com a particularidade da sua pesquisa, e pode variar de 1 a 10 sendo quando mais próximo de 1, menor a importância atribuída pelo pesquisador para o critério relacionado ao ano de publicação e quanto mais próximo de 10 maior a importância;
- O número de citações é obtido através do número absoluto de citações encontrado durante a construção do portfólio;

Os artigos serão considerados relevantes os quais apresentarem um InOrdinario superior a 60. O cálculo do InOrdinatio é realizado quando a base de artigos já está definida, após a aplicação dos filtros. A Methodi Ordinatio e suas principais etapas são apresentadas na Figura 2 a seguir.

Figura 2 – Etapas da Methodi Ordinatio



Fonte: Adaptado de Pagani, Resende e Kovaleski (2015)

Além disso, as etapas da Methodi Ordinatio, assim como a sua descrição detalhada, estão apresentadas na Tabela 2 a seguir.

Tabela 2 – Descrição das etapas da Methodi Ordinatio

Ordem	Etapa	Descrição da etapa
1	Estabelecer a intenção de pesquisa	No caso deste trabalho, identificar as principais temáticas da Indústria 4.0
2	Pesquisa preliminar nas bases de dado	Serão testadas palavras chave relacionadas ao tema nas bases de dados pré-determinadas pelo autor da pesquisa.
3	Definição das palavras chave, base de dados e delimitação temporal	As palavras chaves serão definidas e pesquisadas nas bases de dados que oferecem uma grande quantidade e boa disponibilidade de acesso aos artigos publicados. Os resultados encontrados serão avaliados e as palavras chave que não resultarem em artigos relacionados ao tema, bem como as bases de dados que não oferecem resultados relevantes, serão descartadas. Devido a temática escolhida, Indústria 4.0, ser muito recente, não será aplicada uma delimitação temporal
4	Pesquisa definitiva nas bases de dados	Será feita a busca definitiva usando as palavras chave e as bases de dados selecionadas.
5	Procedimentos de filtragem	Os artigos resultantes da pesquisa definitiva serão filtrados e descartados, se houver trabalhos em duplicata, título, resumo ou palavras chave não alinhadas com a Indústria 4.0.
6	Identificação do Fator de Impacto, ano de publicação e número de citações	A identificação dessas métricas é determinada por meio do Fator de Impacto do <i>Journal</i> onde o artigo foi publicado, do ano de publicação do artigo no <i>Journal</i> e o somatório do número de citações encontradas referentes ao artigo. Esses 3 resultados serão plotados em uma planilha do Excel, distribuídos em colunas na seguinte ordem: Título do artigo, Fator de Impacto, Número de Citações e Ano.
7	Aplicação do InOrdinatio	No Excel será aplicada a equação do InOrdinatio, o qual dará um resultado individualizado para cada artigo. Esses artigos serão ordenados em ordem decrescente, sendo descartados os artigos que não apresentarem relevância
8	Localização, leitura e análise sistemática dos artigos	Os artigos serão localizados e será feita uma leitura sistemática dos artigos.

Fonte: Adaptado de Pagani, Resende e Kovaleski (2015)

A base de dados escolhida para a realização da pesquisa foi a Scopus devido a sua relevância, multidisciplinariedade e facilidade de obtenção e tratamento dos dados. As palavras-chave relacionadas ao tema e os filtros aplicados na pesquisa são apresentados na Tabela 3 a seguir.

Tabela 3 – Pesquisa das Palavras Chave na Scopus

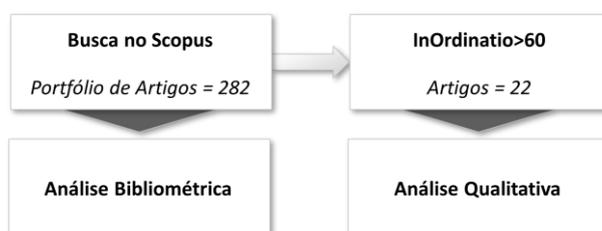
Palavras chave	Pesquisa realizada na Scopus	Total de artigos
"industry 4.0"	282 document results (TITLE ("industry 4.0") OR TITLE ("the fourth industrial revolution") OR TITLE ("the 4th industrial revolution") OR TITLE ("Industrie 4.0")) AND DOCTYPE (ar OR re) AND (LIMIT-TO (SRCTYPE , "j ")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar ")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English "))	282
"Industrie 4.0"		
"the fourth industrial revolution"		
"the 4th industrial revolution"		

Fonte: Autoria própria

Os filtros aplicados foram estabelecidos de modo a encontrar pelo menos uma palavra-chave no título. Além disso, as buscas foram limitadas a artigos publicados em *journals* no idioma inglês. A busca retornou 282 artigos que formaram o portfólio de artigos para a realização da análise bibliométrica, que permitiu a análise da distribuição das publicações ao longo do tempo, dos *journals* com maior número de artigos publicados, dos principais autores, dos principais países, das áreas de pesquisa e das palavras-chaves mais utilizadas.

Posteriormente, este portfólio de artigos foi submetido ao cálculo InOrdinatio, onde foi determinado um α igual a 5, de modo a equilibrar o peso dos 3 critérios adotados. Os artigos foram ordenados em ordem decrescente, e os artigos com InOrdinatio inferior a 60 foram descartados. Assim, a base de artigos formada após a aplicação da Methodi Ordinatio é composta por 22 artigos. A Figura 3 a seguir, mostra os resultados das etapas aplicadas.

Figura 3 – Resultados das etapas aplicadas



Fonte: Autoria própria

Os 22 artigos mais relevantes priorizados através do cálculo InOrdinatio foram analisados qualitativamente através do *software* Nvivo, tendo em vista suas funcionalidades para ordenamento, codificação e visualização dos dados da pesquisa. Inicialmente, foi feita uma codificação de todos os trechos que apresentavam os termos “*Industry 4.0*” ou “*Industrie 4.0*”. Posteriormente, estes trechos foram analisados a partir da codificação automática gerada pelo *software*, onde foi possível analisar os termos que aparecem com maior frequência e as principais temáticas relacionadas.

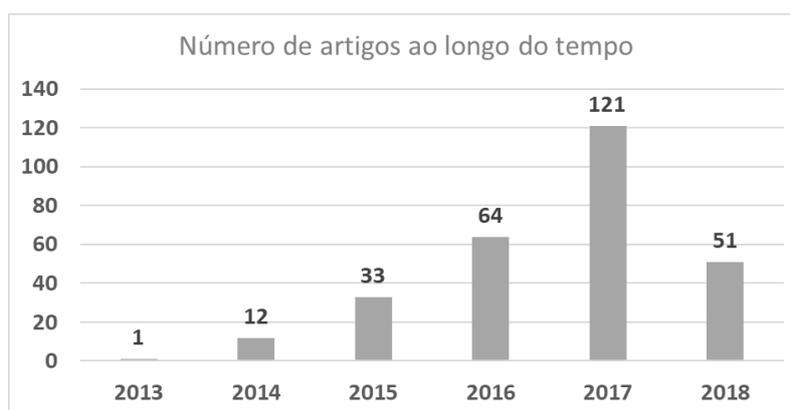
4. Resultados

4.1 Análise Bibliométrica

A partir da análise bibliométrica dos 282 artigos do portfólio, foi possível extrair informações sobre a evolução da produção científica sobre a Indústria 4.0 ao longo do tempo, os *Journals* utilizados para as publicações, os principais autores e sua produtividade, os países com mais publicações, as áreas da ciência envolvidas e as principais palavras-chave utilizadas. A seguir, apresentam-se os principais resultados obtidos.

Na Figura 4, apresenta-se a distribuição dos artigos do portfólio ao longo do tempo. Dessa forma, pode-se notar que o tema em questão representa uma discussão muito recente, onde a primeira publicação foi feita em 2013. Desde então, houve um aumento de publicações considerável chegando ao número de 121 artigos somente no ano de 2017. Vale ainda destacar que, até o mês de abril do ano de 2018 foram publicados 51 artigos.

Figura 4 – Número de artigos ao longo do tempo



Fonte: Autoria própria

A Tabela 4 mostra a distribuição de artigos conforme o *Journal* de publicação, bem como uma apresentação breve sobre cada um dos veículos de publicação. O *Journal* com maior destaque é o *Procedia Manufacturing*, com 36 artigos, seguido pelo *ZWF Zeitschrift Fuer Wirtschaftlichen Fabrikbetrieb* com 23 artigos.

Tabela 4 – *Journals* com maior número de artigos

Principais Journals	Sobre o Journal	Número de artigos
<i>Procedia Manufacturing</i>	<i>Journal</i> de acesso livre com foco em tópicos importantes da área de manufatura e engenharia, incluindo processos, sistemas e assuntos emergentes da manufatura	36
<i>ZWF Zeitschrift Fuer Wirtschaftlichen Fabrikbetrieb</i>	Fornecer artigos na área de Engenharia de Produção, com foco na eficiência de processos e redução de custos	23
<i>IFAC Papersonline</i>	<i>Journal</i> que, a partir de 2015, reúne todos os artigos da <i>IFAC meetings</i> , em parceria com a <i>Elsevier</i>	11
<i>IEEE Access</i>	<i>Journal</i> com enfoque multidisciplinar, que abrange publicações com temas relacionadas a engenharia, computação e ciência	9
<i>Manufacturing Letters</i>	<i>Journal</i> promove discussão e comunica desenvolvimentos significativos relacionados as técnicas, modelos, processos e sistemas de manufatura	7

Fonte: Autoria própria

Em relação aos principais autores, destacam-se *Li, D.* e *Wang, S.* com 7 artigos cada um, seguidos por *Wan J.* com 6 artigos publicados conforme mostra a Tabela 5. Os 3 autores pertencem a *South China University of Technology, School of Mechanical & Automotive Engineering*. Vale destacar que eles possuem co-autoria em diversos artigos relacionados à Indústria 4.0.

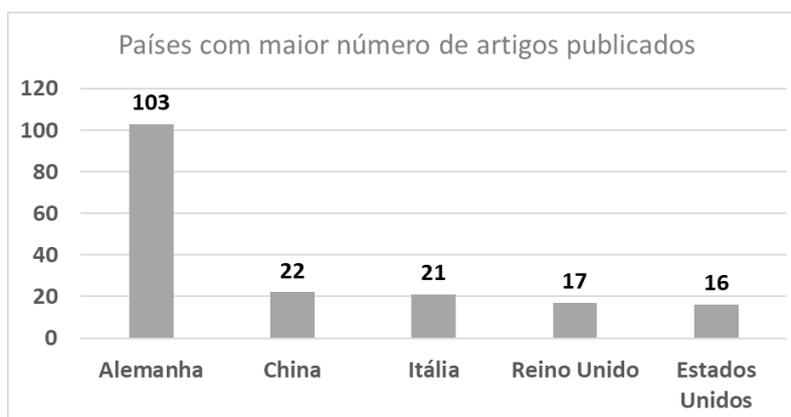
Tabela 5 – Autores com maior número de artigos publicados

Autor	Afiliação do autor	h-index	Número de artigos
Li, D	South China University of Technology, School of Mechanical & Automotive Engineering, Guangzhou, China	18	7
Wang, S.	South China University of Technology, School of Mechanical & Automotive Engineering, Guangzhou, China	8	7
Wan, J.	South China University of Technology, School of Mechanical and Automotive Engineering, Guangzhou, China	26	6

Fonte: Autoria própria

Reconhecida como pioneira no desenvolvimento da Indústria 4.0, a Alemanha é o país com maior número de artigos publicados, com grande disparidade perante os demais países. A Figura 5 ilustra o número de artigos publicados de acordo com o país de origem do *Journal*.

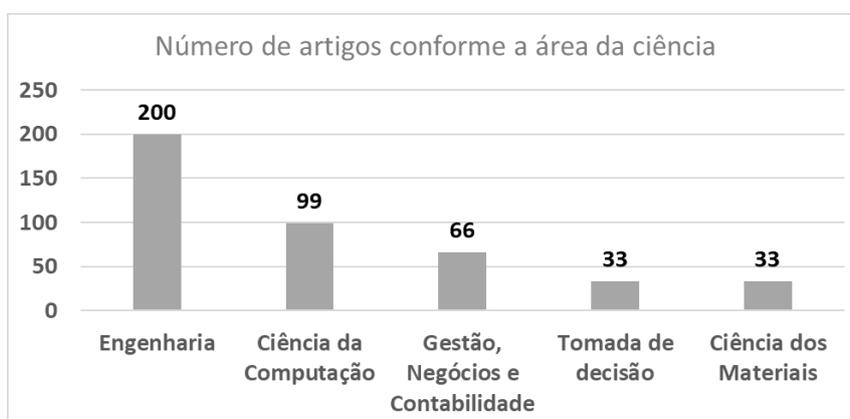
Figura 5 – Número de artigos publicados por país de origem do *Journal*



Fonte: Autoria própria

Em relação às áreas da ciência, nota-se uma grande concentração dos artigos que pertencem às áreas relacionadas a “Engenharia, “Ciência da Computação” e “Gestão, Negócios e Contabilidade”. A Figura 6 apresenta as principais áreas da ciência com publicações sobre a Indústria 4.0.

Figura 6 – Número de artigos conforme a área da ciência



Fonte: Autoria própria

Em relação as palavras-chave que apresentam a maior frequência, destacam-se “*Industry 4.0*”, “*Manufacture*” e “*Embedded Systems*”, as quais estão diretamente relacionadas a Engenharia e a Ciência da Computação, as quais são as áreas com maior número de artigos relacionados conforme apresentado anteriormente. A Tabela 6 apresenta as principais palavras chave e o número de artigos publicados relacionados.

Tabela 6 – Número de artigos conforme a palavra chave

Palavras chave	Número de artigos	Palavras chave	Número de artigos
<i>Industry 4.0</i>	132	<i>Cyber Physical Systems (CPSs)</i>	15
<i>Manufacture</i>	54	<i>Industrie 4.0</i>	15
<i>Embedded Systems</i>	43	<i>Industrial Research</i>	14
<i>Internet os Things</i>	42	<i>Manufacturing Industries</i>	14
<i>Big Data</i>	24	<i>Smart Factory</i>	14
<i>Industrial Revolutions</i>	23	<i>Cyber-Physical Systems</i>	11
<i>Cyber Physical System</i>	16	<i>Production System</i>	11
<i>Smart Manufacturing</i>	16	<i>Decision Making</i>	10

Fonte: Autoria própria

4.2 Análise Qualitativa

Através do cálculo InOrdinatio, foi possível priorizar os 22 artigos mais relevantes para serem analisados qualitativamente através do *software* Nvivo. Nesse sentido, a base de artigos obtida

por meio da aplicação do *Methodi Ordinatio* está apresentada na Tabela 7, com os respectivos autores, *Journal*, área de pesquisa e palavras-chave.

Tabela 7 – Base de artigos a partir do cálculo InOrdinatio

#	Autores	Título do artigo	Journal	Área de pesquisa	Palavras Chave
1	Lee, J., Bagheri, B. and Kao, H.-A.	<i>A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems</i>	<i>Manufacturing Letters</i>	Engenharia	<i>Cyber - Physical System ; Health Management and Prognostics ; Industry 4.0; Time Machine</i>
2	Lasi, H., Fettke, P., Kemper, H.-G., Feld, T. and Hoffmann, M.	<i>Industry 4.0</i>	<i>Business and Information Systems Engineering</i>	Ciência da Computação	-
3	Wang, S., Wan, J., Li, D. and Zhang, C.	<i>Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook</i>	<i>International Journal of Distributed Sensor Networks</i>	Engenharia, Ciência da Computação	<i>Big Data, Enabling Technologies, Internet of Things and Services</i>
4	Wang, S., Wan, J., Zhang, D., Li, D. and Zhang, C.	<i>Towards smart factory for industry 4.0: A self-organized multi-agent system with big data based feedback and coordination</i>	<i>Computer Networks</i>	Ciência da Computação	<i>Industry 4.0; Cyber Physical Systems, Big Data, Smart Factory, Manufacture</i>
5	Posada, J., Toro, C., Barandiaran, I., Oyarzun, D., Stricker, D., De Amicis, R., Pinto, E., Eisert, P., Döllner, J. and Vallarino I., J.	<i>Visual Computing as a Key Enabling Technology for Industrie 4.0 and Industrial Internet</i>	<i>IEEE Computer Graphics and Applications</i>	Ciência da Computação	<i>Industry 4.0; Cyber Physical Systems, Manufacture; Embedded Systems</i>
6	Weyer, S., Schmitt, M., Ohmer, M. and Gorecky, D.	<i>Towards Industry 4.0 - Standardization as the crucial challenge for highly modular, multi-vendor production systems</i>	<i>IFAC-PapersOnLine</i>	Engenharia	<i>Industry 4.0; Smart Factory; Production System. Automation Technology; Industrial Revolutions</i>
7	Wollschlaeger, M., Sauter, T. and Jasperneite, J.	<i>The future of industrial communication: Automation networks in the era of the internet of things and industry 4.0</i>	<i>IEEE Industrial Electronics Magazine</i>	Engenharia	<i>Cyber Physical Systems; Internet of Things; Embedded Systems; Automation</i>
8	Wan, J., Tang, S., Shu, Z., Li, D., Wang, S., Imran, M. and Vasilakos, A.	<i>Software-Defined Industrial Internet of Things in the Context of Industry 4.0</i>	<i>IEEE Sensors Journal</i>	Engenharia, Física/Astronomia	<i>Industry 4.0; Cyber Physical Systems; Internet of Things, Embedded Systems; Big Data</i>

9	Li, X., Li, D., Wan, J., Vasilakos, A., Lai, C.-F. and Wang, S.	<i>A review of industrial wireless networks in the context of Industry 4.0</i>	<i>Wireless Networks</i>	Engenharia, Ciência da Computação	<i>Manufacture, Industrial Wireless, Quality of Data, Wireless Networks</i>
10	Roblek, V., Meško, M. and Krapež, A.	<i>A Complex View of Industry 4.0</i>	<i>SAGE Open</i>	Ciências Sociais	<i>Industry 4.0, Internet, Internet of Things, Costumer Behavior</i>
11	Hofmann, E. and Rüsche, M.	<i>Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics</i>	<i>Computers in Industry</i>	Engenharia, Ciência da Computação	<i>Cyber - Physical System ; Advanced Manufacturing, Embedded Systems, Manufacture, Just-in-time</i>
12	Sommer, L.	<i>Industrial revolution - Industry 4.0: Are German manufacturing SMEs the first victims of this revolution?</i>	<i>Journal of Industrial Engineering and Management</i>	Engenharia, Gestão negócios e contabilidade	<i>Industry 4.0, Internet of Things, Systematic Review, Automation, Industrial Engineering</i>
13	Schlechtendahl, J., Keinert, M., Kretschmer, F., Lechler, A. and Verl, A.	<i>Making existing production systems Industry 4.0-ready: Holistic approach to the integration of existing production systems in Industry 4.0 environments</i>	<i>Production Engineering</i>	Engenharia	<i>Cyber Physical Production Systems, Production System, Information Server</i>
14	Bagheri, B., Yang, S., Kao, H.-A. and Lee, J.	<i>Cyber-physical Systems Architecture for Self-Aware Machines in Industry 4.0 Environment</i>	<i>IFAC-PapersOnLine</i>	Engenharia	<i>Cyber Physical Systems, Industry 4.0, Manufacture, Embedded Systems</i>
15	Sanders, A., Elangeswaran, C. and Wulfsberg, J.	<i>Industry 4.0 implies lean manufacturing: Research activities in industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing</i>	<i>Journal of Industrial Engineering and Management</i>	Engenharia, Gestão negócios e contabilidade	<i>Industry 4.0, Cyber Physical Systems, Internet of Things, Production Management, Lean Manufacturing</i>
16	Mosterman, P. and Zander, J.	<i>Industry 4.0 as a Cyber-Physical System study</i>	<i>Software and Systems Modeling</i>	Ciência da Computação, Matemática	<i>Industry 4.0, Cyber Physical Systems, Embedded Systems, Model and Simulation, Industrial Practice</i>
17	Liu, Y. and Xu, X.	<i>Industry 4.0 and cloud manufacturing: A comparative analysis</i>	<i>Journal of Manufacturing Science and Engineering, Transactions of the ASME</i>	Engenharia, Ciência da Computação	<i>Cyber Physical Systems, Embedded Systems, Manufacturing Industries</i>
18	Zawadzki, P. and Zywicki, K.	<i>Smart product design and production control for effective mass customization in the industry 4.0 concept</i>	<i>Management and Production Engineering Review</i>	Engenharia, Gestão negócios e contabilidade, Tomada de decisão	<i>Industry 4.0, Additive Manufacturing Technologies, Mass Customization</i>
19	Bauer, W., Hämmerle, M., Schlund, S. and Vocke, C.	<i>Transforming to a Hyper-connected Society and Economy – Towards an “Industry 4.0”</i>	<i>Procedia Manufacturing</i>	Engenharia, Ciência da Computação	<i>Industry 4.0, Production, Business Models</i>
20	Colombo, A., Karnouskos, S., Kaynak, O., Shi, Y. and Yin, S.	<i>Industrial Cyberphysical Systems: A Backbone of the Fourth Industrial Revolution</i>	<i>IEEE Industrial Electronics Magazine</i>	Engenharia	<i>Cyber Physical Systems, Product and Services, Industrial Revolutions, Embedded Systems</i>

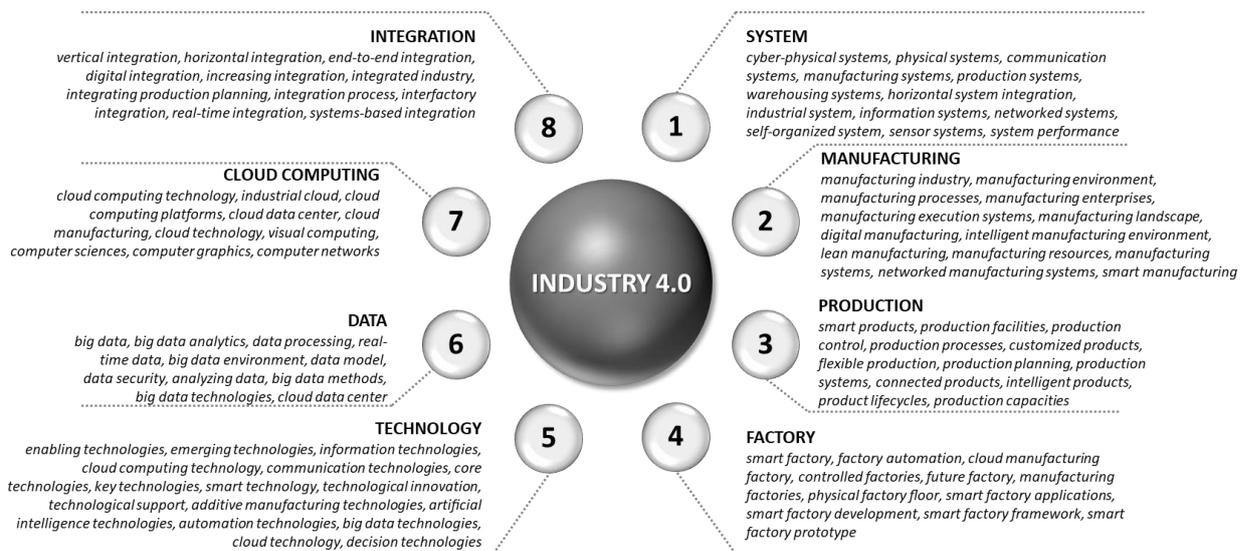
Fonte: Autoria própria

Os termos mais frequentes encontrados no artigo estão apresentados na Tabela 8, e nota-se que estão diretamente relacionados com as palavras-chave dos artigos do portfólio total, assim como com as áreas de Engenharia e Ciência da Computação, que abrangem o maior número de artigos do tema.

Fonte: Autoria própria

Por fim, a Figura 9 apresenta as principais temáticas mencionadas nos artigos priorizados, assim como os principais subtemas sugeridos pelo *software*, sendo eles: “*system*”, “*manufacturing*”, “*production*”, “*factory*”, “*technology*”, “*data*”, “*cloud computing*”, e “*integration*”.

Figura 9 – Principais temas e subtemas



Fonte: Autoria própria

A partir das codificações feitas pelo *Software*, é possível identificar e mapear as principais temáticas e sub-temáticas que estão sendo discutidas nas publicações, a fim de obter uma visão ampla sobre os artigos relacionados à Indústria 4.0. Dessa forma, torna-se possível nortear não só as pesquisas acadêmicas, como também às organizações em relação às principais mudanças, adaptações e impactos inerentes à 4ª Revolução Industrial.

5. Conclusão

A partir do que foi apresentado neste artigo, ressalta-se a contribuição dos resultados para uma visão geral da literatura e das publicações relacionadas à Indústria 4.0 através da análise bibliométrica e a análise qualitativa dos artigos. Com o crescimento do interesse da comunidade científica, aliado às necessidades e interesses econômicos da indústria, este trabalho vem a contribuir no sentido de destacar as principais pesquisas sobre a Indústria 4.0,

de maneira a facilitar e disseminar o seu entendimento, assim como a realização de pesquisas futuras, principalmente tendo em vista que a maioria das organizações não está preparada para as mudanças advindas pela 4ª Revolução Industrial.

Nesse sentido, destaca-se a importância e relevância das publicações sobre esta temática presentes neste artigo, assim como seu significativo crescimento, como foi possível ser visto através da evolução das publicações ao longo do tempo. Tendo em vista que este é um assunto recente e as pesquisas acadêmicas estão em estágios iniciais, o presente estudo apresenta um entendimento amplo sobre o que está sendo estudado e publicado sobre a Indústria 4.0.

Como trabalhos futuros, sugere-se que sejam realizados estudos que analisem detalhadamente cada uma das temáticas sugeridas, assim como seja elaborada uma agenda de pesquisa sobre a Indústria 4.0, a fim de identificar as principais lacunas deste campo de pesquisa. A Engenharia de Produção, assim como todas as áreas relacionadas a Indústria 4.0, precisam estar inseridas neste contexto e adaptar-se as novas realidades demandadas. Da mesma forma, as organizações também precisam estar atentas à essas discussões, para que estejam prontas para as mudanças, impactos e desafios da Indústria 4.0.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, H. Internet das Coisas: Tudo conectado. **Computação Brasil**, v. 25, p. 58, 2015.
- ARMBRUST, Michael et al. A view of cloud computing. **Communications of the ACM**, v. 53, n. 4, p. 50-58, 2010.
- BAHETI, Radhakisan; GILL, Helen. Cyber-physical systems. **The impact of control technology**, v. 12, p. 161-166, 2011.
- BERGER, R. Industry 4.0: The new industrial revolution—How Europe will succeed. **Roland Berger strategy consultants, maart**, 2014.
- BRETTEL, M. How virtualization, decentralization and network building change the manufacturing landscape: An Industry 4.0 Perspective. **International Journal of Mechanical, Industrial Science and Engineering**, v. 8, n. 1, p. 37-44, 2014.
- BUXMANN, Peter; HESS, Thomas; RUGGABER, Rainer. Internet of services. **Business & Information Systems Engineering**, v. 1, n. 5, p. 341, 2009.
- CAWOOD, Stephen; FIALA, Mark; STEINBERG, Daniel Howard. **Augmented reality: a practical guide**. Raleigh, NC: Pragmatic Bookshelf, 2007.
- CHUNG, Mihyun; KIM, Jaehyun. The Internet Information and Technology Research Directions based on the Fourth Industrial Revolution. **KSII Transactions on Internet & Information Systems**, v. 10, n. 3, 2016.
- DRATH, Rainer; HORCH, Alexander. Industrie 4.0: Hit or hype?[industry forum]. **IEEE industrial electronics magazine**, v. 8, n. 2, p. 56-58, 2014.
- FONSECA, João José Saraiva. **Metodologia da Pesquisa Científica**. 2002.
- GIL, Antonio Carlos. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. Editora Atlas SA, 2008.
- HERMANN, Mario; PENTTEK, Tobias; OTTO, Boris. Design principles for industrie 4.0 scenarios. In: **System Sciences (HICSS), 2016 49th Hawaii International Conference on**. IEEE, 2016. p. 3928-3937.
- HOFMANN, Erik; RÜSCH, Marco. Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics. **Computers in Industry**, v. 89, p. 23-34, 2017.

- KANG, Hyoung Seok et al. Smart manufacturing: Past research, present findings, and future directions. **International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology**, v. 3, n. 1, p. 111-128, 2016.
- KAGERMANN, Henning; WAHLSTER, Wolfgang; HELBIG, Johannes. Kagermann. Recommendations for implementing the strategic initiative INDUSTRIE 4.0. 2013.
- KEMMERER, Richard A. Cybersecurity. In: **Software Engineering, 2003. Proceedings. 25th International Conference on**. IEEE, 2003. p. 705-715.
- KOPETZ, Hermann. Internet of things. In: **Real-time systems**. Springer, Boston, MA, 2011. p. 307-323.
- KROGH, B. H., "Cyber Physical Systems: the need for new models and design paradigms," Presentation Report, Carnegie Mellon University.
- LIAO, Yongxin et al. Past, present and future of Industry 4.0-a systematic literature review and research agenda proposal. **International Journal of Production Research**, v. 55, n. 12, p. 3609-3629, 2017.
- LEE, Edward A. Cyber physical systems: Design challenges. In: **Object oriented real-time distributed computing (isorc), 2008 11th ieee international symposium on**. IEEE, 2008. p. 363-369.
- MELL, Peter et al. The NIST definition of cloud computing. 2011.
- NVivo. (2016). QSR International Pty Ltd. <http://www.qsrinternational.com/>.
- PAGANI, Regina Negri; KOVALESKI, João Luiz; RESENDE, Luis Mauricio. Methodi Ordinatio: a proposed methodology to select and rank relevant scientific papers encompassing the impact factor, number of citation, and year of publication. **Scientometrics**, v. 105, n. 3, p. 2109-2135, 2015.
- PONCELA, Alberto et al. A new efficiency-weighted strategy for continuous human/robot cooperation in navigation. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans**, v. 39, n. 3, p. 486-500, 2009.
- RÜßMANN, Michael et al. Industry 4.0: The future of productivity and growth in manufacturing industries. **Boston Consulting Group**, v. 9, 2015.
- SAMPAIO, R.F. Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica. **Revista brasileira de fisioterapia**, v. 11, n. 1, p. 83-89, 2007.
- SCHWAB, Klaus. **The fourth industrial revolution**. Crown Business, 2017.
- SCOPUS. Disponível em: <<https://www-scopus.ez48.periodicos.capes.gov.br/search/form.uri?display=basic>>. Acesso em: 16 mai. 2018.
- SHI, Jianhua et al. A survey of cyber-physical systems. In: **Wireless Communications and Signal Processing (WCSP), 2011 International Conference on**. IEEE, 2011. p. 1-6.
- TRANFIELD, David; DENYER, David; SMART, Palminder. Towards a methodology for developing evidence-informed management knowledge by means of systematic review. **British journal of management**, v. 14, n. 3, p. 207-222, 2003.
- VAYRE, Benjamin; VIGNAT, Frédéric; VILLENEUVE, François. Designing for additive manufacturing. **Procedia CIRP**, v. 3, p. 632-637, 2012.

WANG, Shiyong et al. Implementing smart factory of industrie 4.0: an outlook. **International Journal of Distributed Sensor Networks**, v. 12, n. 1, p. 3159805, 2016.