

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE
CURSO DE ENGENHARIA AUTOMOTIVA

LUAN DELA VEDOVA MATHIOLA

INDÚSTRIA 4.0: UM CONSTRUCTO TEÓRICO NO SETOR AUTOMOTIVO

Joinville

2017

LUAN DELA VEDOVA MATHIOLA

INDÚSTRIA 4.0: UM CONSTRUCTO TEÓRICO NO SETOR AUTOMOTIVO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de graduação em Engenharia Automotiva, da Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel.

Orientadora: Profa. Dra. Janaína Renata Garcia

Joinville

2017

INDÚSTRIA 4.0: UM CONSTRUCTO TEÓRICO NO SETOR AUTOMOTIVO

LUAN DELA VEDOVA MATHIOLA

Esta Monografia foi julgada e aprovada como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Automotiva, na Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico de Joinville.

Joinville/SC, 29 de novembro de 2017.

Banca examinadora:

Prof. Dra. Janaína Renata Garcia
Orientadora

Prof. Dr. Carlos Maurício Sacchelli
Membro

Prof. Dr. Modesto Hurtado Ferrer
Membro

Dedico à
Cláudio da Silva Mathiola (*in memoriam*)
e Vania Dela Vedova Mathiola

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me dado forças nos momentos mais difíceis e iluminado meu caminho rumo à esta conquista.

Ao meu pai Cláudio (*in memoriam*) que, infelizmente, não pode estar presente fisicamente para compartilhar comigo este momento tão feliz da minha vida, mas tenho a certeza que esteve ao meu lado em cada segundo desta trajetória e jamais me deixou só. Saudades eternas!

A minha mãe Vania, guerreira e maior exemplo de vida, pelo amor, incentivo e apoio incondicional. Muito obrigado por não medir esforços para que este sonho se realizasse!

As famílias Dela Vedova e Mathiola por toda confiança depositada e por todo apoio para chegar até aqui. Vocês foram fundamentais nesta jornada!

A minha orientadora, amiga e mentora Janaína Renata Garcia, não apenas por todo o suporte necessário para a produção deste trabalho, mas também por acreditar no meu sucesso, dando-me conselhos acadêmicos, pessoais e profissionais através de incontáveis horas de boas conversas.

Aos professores de todas as escolas e instituições de ensino por onde passei, grandes mestres desta minha formação, que com muito amor por suas profissões nos inspiram e deixam suas marcas.

A todos os técnicos administrativos do CTJ que tive o privilégio de trabalhar ao lado durante um semestre e vivenciei de perto suas dedicações constantes para fazer deste um centro de excelência em ensino, pesquisa e extensão.

A todos os meus amigos, grandes presentes que a vida me deu, que viraram noites de estudos e festas comigo, acompanharam de perto os meus dramas, me ajudaram nas horas mais difíceis, me aconselharam nas minhas indecisões, comemoraram as minhas vitórias e que, juntos, compartilhamos momentos que ficarão eternizados nas nossas memórias. Que estas amizades perdurem pelo resto de nossas vidas.

Esta conquista é de todos nós!

“A inovação é para aqueles que têm a coragem de abrir mão do fundamental para fazer acontecer o extraordinário.”

Modesto Hurtado Ferrer

RESUMO

Os grandes avanços tecnológicos dos últimos anos têm alterado continuamente nosso cotidiano. Um ponto comum entre todas as novas tecnologias é a utilização da internet como plataforma de troca de informações, permitindo a comunicação entre um número ilimitado de dispositivos e de pessoas. A Indústria 4.0 surge neste contexto, digitalizando os processos industriais ao integrá-los e controlá-los a partir de equipamentos conectados em rede e da fusão do mundo real com o virtual. Este modelo desponta como caminho natural para aumentar a competitividade, mas ainda é pouco explorado pela grande maioria das empresas brasileiras. Desta maneira, o objetivo deste trabalho é elaborar um constructo teórico sobre a Indústria 4.0, em função de sua relevância para a produtividade industrial, no setor automotivo, devido a grande contribuição de toda esta cadeia produtiva para a economia nacional. A metodologia utilizada no seu desenvolvimento é baseada em uma abordagem quantitativa de natureza aplicada, na perspectiva de análise bibliométrica, tornando possível a quantificação de índices de produção após seleção de portfólio bibliográfico adequado, e uma abordagem qualitativa baseada em pesquisa bibliográfica, levantando os principais tópicos referentes à Indústria 4.0 através da elaboração de um constructo teórico completo e com algumas sugestões de implantação envolvendo planejamento estratégico, possíveis projetos e mudanças organizacionais necessárias.

Palavras-chave: Indústria 4.0. Inovação de processos. Setor Automotivo.

ABSTRACT

The technological advances of recent years have continually changed our daily lives. A common point among all new technologies is the use of Internet as a platform for information exchange, allowing communication between an unlimited number of devices and people. Industry 4.0 emerges in this context, with the digitalization of industrial processes by integrating and controlling them from networked equipment and from a fusion of real and virtual world. This model emerges as a natural way to increase competitiveness, but it is not so explored yet by the great majority of Brazilian companies. Therefore, this paper's focus is to develop a theoretical construct about Industry 4.0, due to its relevance to industrial productivity, in the automotive context, due to the great contribution of this entire production chain to the national economy. The methodology used during this development is based on a quantitative approach of applied nature, from the perspective of bibliometric analysis, making possible the quantification of production indexes after selection of adequate bibliographic portfolio, and from a qualitative approach based on bibliographic research, indicating the main topics related to Industry 4.0 through the elaboration of a complete theoretical construct and with some implantation's suggestions involving strategic planning, possible projects and necessary organizational changes.

Keywords: Industry 4.0. Process Innovation. Automotive Sector.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma da seleção do referencial teórico.....	19
Figura 2 – Visualização da página de busca na base Scopus	21
Figura 3 – Evolução das publicações ao longo dos anos do portfólio bibliográfico ...	28
Figura 4 – Mapa da distribuição de autores do portfólio por nacionalidade	32
Figura 5 – Evolução das publicações ao longo dos anos.....	35
Figura 6 – As quatro revoluções industriais	40
Figura 7 – Elementos centrais para inovação	42
Figura 8 – Etapas da cadeia de valor de um produto.....	43
Figura 9 – Tecnologias chaves relacionadas à Indústria 4.0.....	48
Figura 10 – 5 V's do Big Data.....	55
Figura 11 – Fábrica da Siemens em Amberg, na Alemanha.....	56
Figura 12 – Blueprint para a implantação da Indústria 4.0	61
Figura 13 – Dimensões estratégicas consideradas na I4.0.....	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultado de buscas nas bases.....	22
Tabela 2 – Classificação dos artigos de acordo com os títulos.....	23
Tabela 3 – Filtros de seleção	24
Tabela 4 – Resultado da pré-análise dos artigos	25
Tabela 5 – Periódicos de maior destaque no portfólio bibliográfico	29
Tabela 6 – Percentual de artigo x Produtividade de Lotka	30
Tabela 7 – Autores de maior destaque do portfólio bibliográfico.....	31
Tabela 8 – Palavras-chave de maior ocorrência no portfólio bibliográfico	34
Tabela 9 – Periódicos de maior destaque	36
Tabela 10 – Autores de maior destaque, filiação e país.....	37

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Artigos selecionados do portfólio bibliográfico para leitura completa	38
Quadro 2 – Planejamento estratégico de implantação da Indústria 4.0	66
Quadro 3 – Projetos da Indústria 4.0 aplicados na cadeia automotiva.....	67

LISTA DE SIGLAS

ABII – Associação Brasileira de Internet Industrial
AGV – Automatic Guided Vehicles
ANFAVEA – Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores
BMBF – Ministério Federal de Pesquisa e Educação (Alemanha)
CLP – Controlador Lógico Programável
CNI – Confederação Nacional da Indústria
CPPS – Cyber-Physical Production Systems
CPS – Cyber-Physical System
ERP – Enterprise Resource Planning
I4.0 – Indústria 4.0
IIoT – Industrial Internet of Things
IOE – Industrialização orientada para exportação
IoT – Internet of Things
M2M – Machine to Machine
JCR – Journal Citation Reports
P&D – Pesquisa e desenvolvimento
PIB – Produto Interno Bruto
PLM – Product Lifecycle Management
RFID – Radio-Frequency Identification
TI – Tecnologia de Informação

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVOS.....	17
1.1.1	Objetivo Geral	17
1.1.2	Objetivos Específicos	17
1.2	ESTRUTURA DO TRABALHO.....	18
2	METODOLOGIA	19
2.1	SELEÇÃO DO PORTFÓLIO BIBLIOGRÁFICO.....	20
2.1.1	Seleção Das Bases	20
2.1.2	Seleção dos materiais nas bases	21
2.1.3	Filtros de pesquisa	22
2.1.4	Pré-análise dos artigos	24
3	ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA	26
3.1	DATA DE PUBLICAÇÃO.....	27
3.2	PERIÓDICOS.....	28
3.3	AUTORES, FILIAÇÃO E PAÍS DE ORIGEM.....	29
3.4	PALAVRAS-CHAVE.....	33
3.5	DEMAIS ANÁLISES.....	34
4	CONSTRUCTO TEÓRICO	38
4.1	HISTÓRIA DA INDUSTRIALIZAÇÃO.....	39
4.2	SURGIMENTO DA INDÚSTRIA 4.0.....	40
4.3	DEFINIÇÃO DE INDÚSTRIA 4.0.....	43
4.4	OUTRAS INICIATIVAS PARALELAS.....	45
4.5	PRINCÍPIOS DA INDÚSTRIA 4.0.....	46
4.6	TECNOLOGIAS CHAVES PARA A INDÚSTRIA 4.0.....	48
4.6.1	Sistemas ciber-físicos (CPS)	49
4.6.2	Internet das Coisas (IoT)	51
4.6.3	Computação em nuvem	52
4.6.4	Big Data	54

4.7	CASES DA INDÚSTRIA 4.0	56
4.8	CONTEXTUALIZAÇÃO DA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA.....	59
4.9	O CAMINHO RUMO À INDÚSTRIA 4.0.....	60
4.10	SUGESTÕES DE APLICAÇÕES DA INDÚSTRIA 4.0	63
4.10.1	Planejamento estratégico	63
4.10.2	Proposta de projetos.....	66
4.10.3	Capacitações	70
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	72
	REFERÊNCIAS.....	74
	APÊNDICE A – CLASSIFICAÇÃO DOS ARTIGOS.....	81

1 INTRODUÇÃO

A proposta dos modelos de Indústrias 4.0 foi lançada na Alemanha durante a Feira de Hannover em 2011, com o objetivo de fortalecer a competitividade do setor de manufatura e tornar o país pioneiro na produção, apresentando uma nova realidade onde tudo está conectado para que as melhores decisões sejam tomadas, tudo sob demanda e em tempo real. De acordo com Cardoso (2016), esta proposta prevê a digitalização ou virtualização dos processos de manufatura de uma organização, através da comunicação digital entre as coisas que fazem parte do fluxo do processo produtivo, utilizando principalmente os recursos de comunicação e armazenamento de dados disponíveis na internet. Esta proposta representa uma junção da denominada tecnologia de comunicação Machine To Machine (M2M) com o que se convencionou chamar de Internet of Things (IoT).

A ideia por trás do termo IoT nasce de uma nova dimensão de conexão propiciada pela Internet, pois, além da possibilidade de comunicação a qualquer momento e em qualquer lugar, passa-se a considerar também a comunicação entre qualquer coisa.

Segundo Hahn (2017), fundador e presidente da Associação Brasileira de Internet Industrial (ABII), todas as empresas querem começar essa transformação digital, possuem conhecimento dos riscos de não se adaptarem, mas estão perdidas sobre como começar.

De acordo com a Washington University (2014) *apud* Consumer News and Business Channel (CNBC, 2014), 40% das 500 maiores empresas americanas listadas pela revista Forbes não irão mais existir em um prazo máximo de 10 anos. Desta maneira, Hahn (2017) afirma que se faz necessário a implantação deste novo modelo por todas as empresas dos mais variados setores, pois a Indústria 4.0 já deixou de ser uma projeção para tornar-se uma realidade.

A motivação em realizar este trabalho baseia-se em três pilares: econômico, social e acadêmico. Do ponto de vista econômico, sugere-se a grande participação do setor automotivo no Produto Interno Bruto (PIB) e as perspectivas da implantação

das indústrias 4.0 na economia nacional e mundial. Atualmente, as indústrias automotivas têm participação de 22% entre as indústrias de transformação e 4% no PIB total do Brasil, segundo dados da Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores (ANFAVEA, 2017). No ranking de produção de veículos, o país aparece em 9º lugar, sendo o 7º maior mercado mundial, gerando um faturamento de aproximadamente US\$59,1 bilhões e proporcionando 1,3 milhões de empregos diretos e indiretos.

Diversas consultorias têm estimado, ao longo dos últimos anos, os possíveis impactos ocasionados pelos avanços da digitalização da economia. A Cisco (2013), por exemplo, aponta que a IoT poderá gerar ganhos próximos a US\$ 19 trilhões até 2022, considerando economias de custos e novas receitas dos setores público e privado. Na estimativa dos maiores ganhos potenciais por país, o Brasil aparece no 9º lugar com um potencial estimado em US\$ 70 bilhões até 2022.

Um estudo mais recente, como o da Accenture (2015), estima que a implementação das tecnologias ligadas à Internet das Coisas nos diversos setores da economia deverá impactar o PIB brasileiro em aproximadamente US\$ 39 bilhões até 2030. O ganho pode alcançar US\$ 210 bilhões, caso o país crie condições para acelerar a absorção das tecnologias relacionadas, o que depende de melhorias no ambiente de negócios, na infraestrutura, programas de difusão tecnológica, aperfeiçoamento regulatório, entre outros.

Já a McKinsey (2015) prevê que, até 2025, os processos relacionados à Indústria 4.0 poderão reduzir custos de manutenção de equipamentos entre 10% e 40%, reduzir o consumo de energia entre 10% e 20% e aumentar a eficiência do trabalho entre 10% e 25%. A mesma consultoria estima que, em 2025, a IoT deverá gerar, em nível mundial, receitas entre US\$ 3,9 trilhões e US\$ 11,1 trilhões, contribuindo com até 11% do PIB global.

Socialmente, surge a preocupação da adaptação do homem nesse novo contexto industrial devido à sua grande interação com as máquinas. Outro fator, sobretudo histórico, está relacionado à grande importância das indústrias automotivas nas inovações de processos ao longo dos anos, destacando-se a necessidade de estudos mais detalhados desta nova revolução industrial nas empresas do setor.

Por fim, percebe-se, através de pesquisas realizadas em diversos bancos de dados, a escassez de produção bibliográfica com abordagem centralizada na

Indústria 4.0, sobretudo no Brasil, demonstrando que este ainda é tema recente no meio acadêmico e precisa ser explorado.

Metodologicamente, este trabalho se classifica como uma pesquisa com abordagem qualitativa e quantitativa, do tipo bibliográfica a partir de dados secundários (periódicos). O método utilizado no seu desenvolvimento é a análise bibliométrica.

1.1 OBJETIVOS

Foram definidos objetivos geral e específicos como estratégia de orientar o desenvolvimento deste trabalho.

1.1.1 Objetivo Geral

- Desenvolver um constructo teórico sobre a Indústria 4.0 em empresas do setor automotivo.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Utilizar metodologia para seleção de portfólio bibliográfico a fim de identificar materiais mais aderentes ao tema de estudo;
- Identificar através da análise bibliométrica sobre a Indústria 4.0 no contexto automotivo: autores, centros de pesquisas, periódicos, palavras chaves, entre outros aspectos relevantes para uma melhor compreensão do assunto;
- Quantificar os dados obtidos através das pesquisas bibliográficas e qualitativas;
- Mapear dificuldades, novidades e tendências desta que, convencionou-se intitular, a quarta revolução industrial;
- Demonstrar possíveis aplicações da Indústria 4.0 na cadeia automotiva.

1.2 ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em seis capítulos, sendo este o primeiro deles, onde se apresenta uma introdução sobre o assunto, expondo o cenário atual e a motivação pela qual buscou-se trabalhar com este tema, bem como indicação dos objetivos geral e específicos estabelecidos.

O segundo capítulo refere-se à metodologia empregada na elaboração deste estudo. Nele é destacado todas as etapas relacionadas à seleção do portfólio bibliográfico, que serve como base para os estágios conseguintes propostos, desde a seleção dos artigos nas bases até as leituras de textos completos, passando por todo o processo de filtragem e refinamento deste material para torná-lo o mais aderente possível aos objetivos pré-estabelecidos.

O terceiro capítulo, por sua vez, descreve o processo de análise bibliométrica do material que forma o portfólio bibliográfico. Neste capítulo busca-se evidenciar as principais características de produção científica em torno da Indústria 4.0, que envolve análise de autores, periódicos, datas de publicação, nacionalidades, palavras-chaves, entre outros aspectos que possam ser considerados relevantes neste processo de investigação.

No capítulo quatro o constructo teórico foi formado, também com base no portfólio bibliográfico, mas com a inclusão de outros materiais para formar um estudo mais consistente. Neste capítulo procura-se entender a Indústria 4.0 sob a ótica de diferentes pontos, como sua origem, seus princípios, tecnologias abrangentes, levantamento de cases atuais, entre outros. Em seguida, faz-se uma contextualização da evolução da indústria automotiva e indicações da literatura para a realização desta transformação rumo à Indústria 4.0, bem como sugestões de aplicações.

Por fim, o quinto e último capítulo expõe as considerações finais após a realização deste trabalho e sugestões para outros futuros.

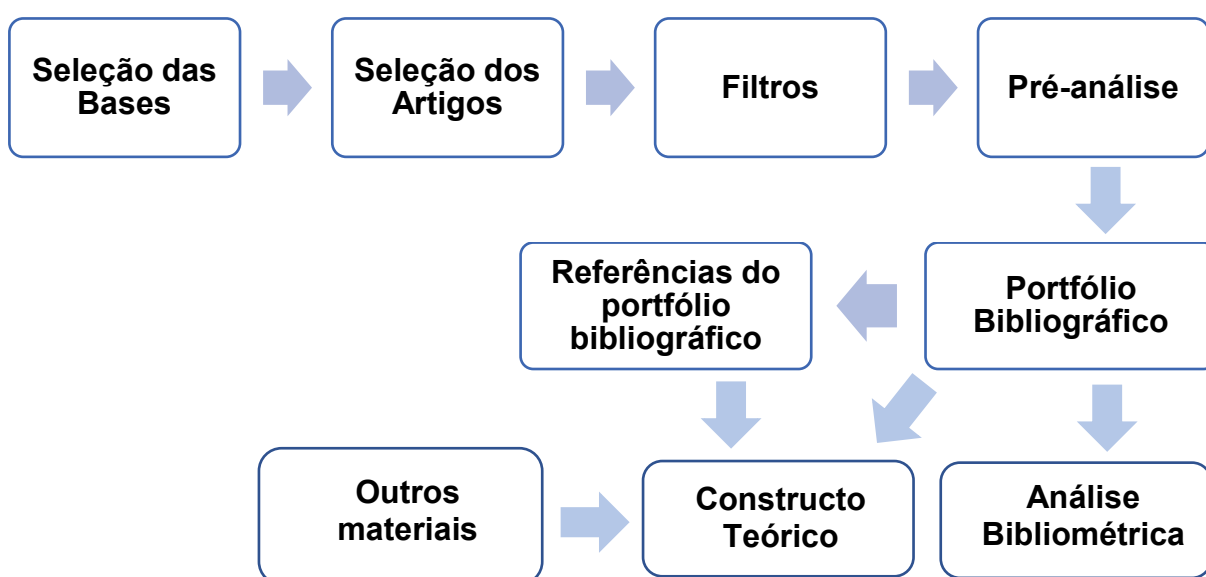
2 METODOLOGIA

De acordo com Santos, Alcântara-Elieel e Elieel (2006), a geração de conhecimento deve iniciar com a pesquisa do que já foi previamente publicado a respeito do tema estudado. Neste caso, para estruturar uma fundamentação teórica sólida e de relevância acadêmica, é necessário fazer uso de algum processo que seja capaz de consolidar as informações de maneira consistente.

Della Bruna Junior, Ensslin, L. e Ensslin S. R. (2012) afirmam que, para lidar com o grande volume de informações, é preciso fazer uso de métodos que permitam construir um maior entendimento e extrair conclusões sobre o conjunto de resultados analisados.

Neste contexto, a metodologia utilizada por Vasconcelos (2014) foi escolhida e será seguida no desenvolvimento deste trabalho, já que apresenta o detalhamento completo de cada uma das etapas do processo supracitado. A Figura 1 exibe o fluxograma da seleção do portfólio bibliográfico e da análise dos materiais.

Figura 1 – Fluxograma da seleção do referencial teórico



Fonte: Adaptado de Vasconcelos (2014, p. 10).

2.1 SELEÇÃO DO PORTFÓLIO BIBLIOGRÁFICO

Conforme ilustrado na Figura 1, a etapa de seleção do portfólio bibliográfico compreende quatro estágios:

1. Seleção das bases de pesquisa;
2. Seleção dos materiais nas bases;
3. Aplicação de filtros para triagem dos materiais mais alinhados aos objetivos do trabalho;
4. Pré-análise dos materiais correspondentes.

Cada uma destas etapas está descrita, com maiores detalhamentos na sequência.

2.1.1 Seleção Das Bases

A disponibilização das bases de dados de trabalhos científicos via internet tem facilitado o processo de busca e seleção de artigos acerca de uma área de conhecimento (DELLA BRUNA JUNIOR; ENSSLIN, L.; ENSSLIN, S. R., 2012).

Apesar da grande quantidade de bases existentes, foram limitadas quatro como o número máximo para o desenvolvimento deste trabalho, sendo: *Engineering Village*, *Scielo*, *Scopus* e *Web of Science*. Estas bases de dados científicas foram selecionadas por obedecerem aos seguintes critérios:

- a) Disponibilidade de acesso gratuito através do portal de periódicos da Capes;
- b) Alinhamento da base com o tema de estudo;
- c) Bases que, em conjunto, anexam a maior parte dos periódicos de maior relevância publicados no mundo (DELLA BRUNA JUNIOR; ENSSLIN, L.; ENSSLIN, S. R., 2012; VASCONCELOS, 2014);
- d) Acesso livre aos diversos materiais com textos completos; e
- e) Possibilidade de exportação para o software EndNote®, recurso utilizado em todas as etapas de seleção do portfólio bibliográfico e de análise bibliométrica;

Entende-se que, desta maneira, é possível explorar diferentes domínios eletrônicos sem sobrecarregar com número exaustivo de material a ser tratado posteriormente.

2.1.2 Seleção dos materiais nas bases

Para realizar a busca de materiais nestas bases é necessário definir um conjunto de palavras-chave que melhor representem o assunto a ser pesquisado. As palavras-chaves utilizadas nestas pesquisas foram: 1) indústria 4.0; 2) inovações em processo; 3) automotivo; sendo estas devidamente traduzidas para o inglês, idioma de busca nestes sites.

Duas pesquisas foram realizadas em cada base selecionada e, utilizando-se os símbolos de truncamento para uma maior abrangência, a primeira busca foi intitulada “*industr* 4.0” e a segunda “process *innova*” AND automotive\$, conforme ilustrado na Figura 2 para uma das bases utilizadas, sendo o mesmo feito

Figura 2 – Visualização da página de busca na base *Scopus*

The screenshot displays the Scopus search interface. At the top, there are tabs for 'Documents', 'Authors', 'Affiliations', and 'Advanced'. The search bar contains the query '*industr* 4.0' with a search icon and a dropdown menu set to 'Article title, Abstract, Keywords'. Below the search bar, there is a 'Limit' section with a dropdown arrow. Under 'Date range (inclusive)', the 'Published' radio button is selected, with 'All years' and 'Present' selected in the respective dropdowns. The 'Added to Scopus in the last' radio button is unselected, with '7 days' selected in its dropdown. At the bottom, the 'Document type' dropdown is set to 'ALL'.

Fonte: Autor (2017).

Procurou-se a ocorrência destas palavras nos títulos, palavras-chaves e resumos dos materiais analisados. Vale ressaltar, também, que nenhum corte temporal foi realizado, a fim de procurar evidências de estudos relacionados à evolução das inovações em processos no setor automotivo ao longo dos anos e dos primeiros trabalhos voltados aos conceitos da Indústria 4.0. Como resultado, foram encontrados 3660 materiais, conforme Tabela 1, onde este número está discretizado por base de dado utilizada.

Tabela 1 – Resultado de buscas nas bases

Base	Quantidade de materiais
<i>Scopus</i>	1462
<i>Engineering Village</i>	1417
<i>Web of Science</i>	777
<i>Scielo</i>	4
Total	3660

Fonte: Autor (2017).

Acredita-se que, ao fazer uso da combinação das bases selecionadas com as palavras chaves definidas, esta pesquisa contempla suficientemente os artigos de maior relevância já publicados nesta área de estudo.

2.1.3 Filtros de pesquisa

O total de 3660 artigos passou por filtros até obter um resultado mais aderente aos objetivos da pesquisa. De acordo com Vasconcelos (2014), estes filtros têm a função de eliminar artigos indesejáveis e de aperfeiçoar o processo de pesquisa para não haver a necessidade da leitura exaustiva de textos que não estão totalmente alinhados aos propósitos do trabalho.

O primeiro filtro tem o objetivo de eliminar, com o auxílio do EndNote®, os artigos em duplicidade publicados em bases distintas, por meio do comando “*Find Duplicates*”, que culminou na eliminação de 1512 materiais.

Por se tratar de uma quantidade elevada de documentos, estes foram limitados em artigos científicos e de revisão pois, segundo Vasconcelos (2014), “estes são evidências mais atualizadas do progresso científico e porque originam de um processo reconhecido no mundo acadêmico, avaliado por pares, documentado, registrado e formal.” (p. 11). Realizada esta etapa, 1088 materiais foram excluídos da lista, restando um total de 1060 artigos para a análise conseguinte.

Na sequência, efetuou-se a leitura dos títulos, palavras-chaves e resumos dos artigos para eliminar aqueles não alinhados com o propósito deste trabalho. Por alinhamento, de acordo com Della Bruna Junior, Ensslin, L. e Ensslin S. R. (2012), entende-se que o artigo descreve um estudo pertinente ao tema pesquisado, segundo a percepção do pesquisador. Este estágio foi o que mais exigiu tempo,

sendo dividido e realizado em etapas. Primeiramente, realizou-se a leitura dos títulos dos artigos e estes foram classificados no próprio EndNote® conforme Tabela 2. Neste caso, os artigos que receberam 5 estrelas foram classificados como aderentes à pesquisa, enquanto aqueles com 1 estrela foram descartados. Por fim, quando não possível identificar o foco do trabalho através da leitura do seu título, os artigos foram classificados com 3 estrelas para posterior leitura das palavras-chaves e resumos, a fim de buscar compreender melhor as abordagens de cada um.

Tabela 2 – Classificação dos artigos de acordo com os títulos

Classificação	Quantidade de materiais
<i>5 estrelas</i>	141
<i>3 estrelas</i>	439
<i>1 estrela</i>	480

Fonte: Autor (2017).

Dentre os 439 resumos lidos, 123 artigos foram incorporados ao grupo daqueles mais aderentes ao projeto de pesquisa, totalizando um portfólio bibliográfico bruto de 264 materiais.

Por fim, o último filtro aplicado é o da disponibilidade. Sendo assim, convencionou-se trabalhar apenas com os artigos disponíveis e com acesso gratuito ao seu conteúdo integral. Parafraseando Vasconcelos (2014), “esta não é uma decisão simples a ser tomada, pois no conjunto de artigos descartados pode haver material de interesse para a pesquisa.” (p. 14).

Neste processo, 113 artigos foram encontrados e começam a estruturar o portfólio bibliográfico deste estudo. Estes materiais foram obtidos através de diferentes ferramentas, seja através do EndNote®, do *Google Scholar*, das bases de dados científicos ou enviados pelos próprios autores após solicitação, através da plataforma *Research Gate*. Porém, este número representa, aproximadamente, 45% de todos aqueles considerados alinhados com a pesquisa, ficando bem abaixo da expectativa do presente estudo. Como esta não é uma quantidade satisfatória, já que mais da metade dos materiais foram descartados, serão realizadas posteriormente diferentes análises, sendo que algumas incluirão estes artigos sem acesso.

A Tabela 3 apresenta uma síntese de todo o processo de filtragem dos materiais até a obtenção de um resultado mais aderente aos objetivos do trabalho.

Tabela 3 – Filtros de seleção

Filtro	Quantidade de materiais
<i>Artigos encontrados</i>	3660
<i>Artigos não duplicados</i>	2148
<i>Somente artigos científicos</i>	1060
<i>Títulos / Palavras-Chaves / Resumos</i>	264
<i>Artigos disponíveis</i>	113

Fonte: Autor (2017).

Muitos autores, como Ensslin, L., Ensslin, S. e Pinto (2013), levam em consideração, nesta etapa de filtragem, a representatividade dos artigos em análise e de suas referências bibliográficas, a partir da análise da quantidade de citações de cada um na plataforma do *Google Scholar*. Porém, como o tema aqui abordado é atual, com a maioria dos artigos sendo publicados nos últimos dois anos, optou-se não fazer uso deste procedimento a fim de evitar a exclusão de artigos relevantes, mas que por serem atuais, ainda não foram explorados com tanta frequência.

2.1.4 Pré-análise dos artigos

Segundo Vasconcelos (2014), a pré-análise dos artigos tem a finalidade de reduzi-los àqueles que compõem a maior parte do aporte teórico do trabalho, valendo-se de regras de pertinência (artigos aderentes ao tema) e de homogeneidade (artigos que tratam em profundidade do tema).

De acordo com Souza Júnior, Melo e Santiago (2010), a etapa da pré-análise compreende uma leitura flutuante, ou seja, um primeiro contato com os textos, captando o conteúdo genericamente, sem maiores preocupações. Para Bardin (1977), durante esta leitura deve-se procurar conhecer o contexto através apenas do contato inicial e, assim, deixar fluir impressões e orientações.

Os seguintes critérios foram atribuídos para esta análise:

- Aderência do conteúdo com os objetivos deste trabalho;

- Contribuição para a pesquisa – análise dos resultados de cada trabalho;
- Robustez do aporte teórico – qualidade e quantidade de conteúdo apresentada pelos autores.

Cada trabalho foi avaliado de acordo com esses critérios pré-estabelecidos em uma escala de Likert e, para tal, pontuações de 1 e 3 foram atribuídas em cada critério para cada artigo, sendo 1 para critério não satisfeito e 3 para aqueles que o cumprem integralmente. Um critério extra foi elaborado, distribuindo 3 pontos para aqueles que possuem foco exclusivo ao setor automotivo. Sendo assim, a pontuação final de cada artigo teve o valor mínimo de 3 e o máximo de 12. A Tabela 4 mostra o resultado desta avaliação e este processo de ponderação completo dos 113 artigos está disponível para consulta no Apêndice A deste trabalho.

Tabela 4 – Resultado da pré-análise dos artigos

	Pontuação	Frequência	Total
Não aderentes	3	21	36
	4	9	
	5	6	
Portfólio Bibliográfico	4	5	77
	5	7	
	6	18	
	7	5	
	8	19	
	9	22	
	10	0	
	11	0	
TOTAL	12	1	113

Fonte: Autor (2017).

Foram considerados não aderentes os artigos que obtiveram pontuação mínima 1 no critério de aderência e, como consequência, 36 foram removidos da pesquisa. O restante, 77 artigos, são os que compõem na totalidade o portfólio bibliográfico e utilizados na análise bibliométrica realizada, apresentada no capítulo seguinte.

3 ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

Como parte subsequente da construção do portfólio bibliográfico para a pesquisa, está a análise bibliométrica dos artigos encontrados e definidos como relevantes para esta etapa, após passarem por múltiplos filtros e critérios de decisão. Tal análise, tem por objetivo evidenciar informações sobre o portfólio bibliográfico obtido por meio da análise e quantificação de suas características (LACERDA; ENSSLIN, L.; ENSSLIN, S. R., 2012).

Araújo (2006) define a bibliometria como uma técnica quantitativa e estatística de medição dos índices de produção e disseminação do conhecimento científico, surgindo como sintoma da necessidade do estudo e da avaliação das atividades de produção e comunicação científica. Porter (2007) enfatiza que, além das contagens propriamente ditas, uma análise mais consistente das conexões entre os temas pesquisados, ou entre autores e instituições, podem resultar em certas indicações sobre a evolução dos desenvolvimentos e inovações em estágios iniciais, possibilitando encontrar tendências de pesquisas e áreas emergentes.

A técnica possibilita o auxílio no processo de tomada de decisões, pois permite explorar, organizar e analisar grandes massas de dados que, caso não sejam avaliadas com algum método mais estruturado, não gerariam resultados tão valiosos para a tomada de decisões. (Daim *et al.*, 2008 *apud* Yoshida, 2010, p. 58).

De acordo com Wright e Spers (2006), este tipo de análise pode ser utilizado, também, no auxílio de métodos de prospecção, como o de cenários, que tem como objetivo estudar os possíveis contextos futuros. Para os autores, não se procura encontrar um acerto sobre previsões futuras, mas agregar informações e melhorá-las a fim de compreender as decisões envolvidas para que elas sejam tomadas.

O objetivo da análise bibliométrica aqui realizada é evidenciar, principalmente, os autores, centros de pesquisa, periódicos e palavras-chave de

maior destaque no portfólio bibliográfico, a fim de compreender suas influências neste campo de estudo. Desta maneira, sendo a Indústria 4.0 um conceito atual, identificar essas informações torna-se fundamental para um melhor entendimento do seu contexto de criação e expansão.

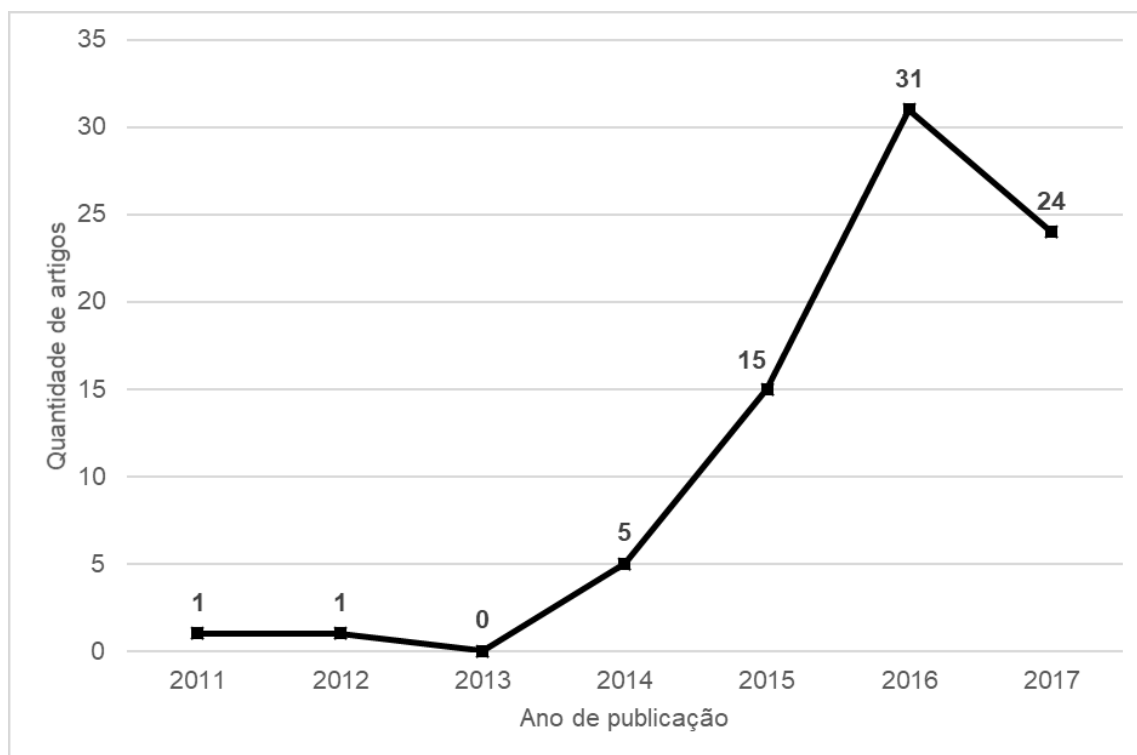
Além disso, identificar possíveis pontos de conexão entre as informações bibliométricas destacadas e a indústria automotiva também é uma tarefa desta análise, já que, como alertado anteriormente, percebe-se uma escassez de artigos que unem estes dois temas.

3.1 DATA DE PUBLICAÇÃO

A série histórica de publicação de artigos apresentada na Figura 3 mostra que a maior quantidade de trabalhos publicados com foco na Indústria 4.0 foi no ano de 2016, com um pico de 31 materiais. Entretanto, o decréscimo constatado pela quantidade de artigos em 2017, com relação aos anos anteriores, é justificado pela pesquisa nas bases ter sido realizada entre julho e agosto deste mesmo ano, não contemplando, desta maneira, o período completo. Imaginado um cenário hipotético, no qual a tendência de publicações nos meses seguintes seja igual aos meses anteriores, teríamos, no final de 2017, aproximadamente 50 artigos publicados aderentes a este trabalho.

Observa-se ainda que, pelo fato deste ser um tema relativamente novo, a primeira publicação identificada nas bases de dados pesquisadas, que trata do assunto, é de 2011, ano em que o termo Indústria 4.0 foi utilizado pela primeira vez na Feira de Hannover. Já em 2013, a partir de um trabalho conjunto entre governo alemão, academia e indústria, um trabalho com recomendações efetivas para sua implementação foi apresentado (SISTEMA FIRJAN, 2016a). Esta breve contextualização evidencia o motivo pelo qual o tema começou a ser efetivamente estudado a partir de 2014, com crescimento considerável nos últimos anos.

Figura 3 – Evolução das publicações ao longo dos anos do portfólio bibliográfico



Fonte: Autor (2017).

É importante salientar, porém, a importância de esperar resultados dos próximos meses e anos para obter-se conclusões mais precisas a respeito deste comportamento.

3.2 PERIÓDICOS

A Lei de Bradford, também conhecida por Lei da Dispersão da Produção Científica, originada em 1934, propõe que em um pequeno número de periódicos pode haver grande concentração de artigos sobre determinado assunto, entretanto, em muitos periódicos também podem existir artigos com este mesmo assunto, porém com menor frequência (ANDRADE, 2012).

Neste trabalho, dentre os 77 artigos analisados, 48 diferentes periódicos aparecem pelo menos uma vez, demonstrando uma grande difusão deste tema. Segundo Araújo (2006), pela Lei de Bradford, os periódicos mais importantes são aqueles que compõem um terço do total sobre o assunto. Desta maneira, os dez principais periódicos estão listados na Tabela 5 abaixo, representando 20,82% dos periódicos totais do portfólio, responsáveis pela publicação de 29 artigos,

equivalentes à 37,66% do total de artigos do portfólio, um pouco mais de um terço do número total.

Tabela 5 – Periódicos de maior destaque no portfólio bibliográfico

PERIÓDICO	ARTIGOS
<i>Procedia Manufacturing</i>	6
<i>AI and Society</i>	3
<i>SMT Surface Mount Technology Magazine</i>	3
<i>Journal of Industrial Engineering and Management</i>	3
<i>Journal of Security and Sustainability Issues</i>	3
<i>International Journal of Precision Engineering and Manufacturing - Green Technology</i>	3
<i>IFAC-PapersOnLine</i>	2
<i>International Journal of Automotive Technology and Management</i>	2
<i>Production Engineering</i>	2
<i>International Journal of Precision Engineering and Manufacturing</i>	2

Fonte: Autor (2017).

Dentre estes dez periódicos com mais artigos do portfólio bibliográfico, apenas quatro possuem avaliação *Journal Citation Reports* (JCR), que segundo a Thomson Reuters (2009), fornece um modo sistemático e objetivo de avaliar os principais periódicos de pesquisa do mundo, oferecendo uma perspectiva exclusiva para avaliação e comparação de periódicos por meio da cumulação e tabulação de contagens calculada pela divisão do número de citações do ano atual JCR pelo número total de artigos publicados nos cinco anos. Ou seja, quanto maior o número JCR, maior impacto este periódico possui na sua área de pesquisa. Desta maneira, neste trabalho, destacam-se o *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing - Green Technology*, com fator de impacto 3,494 e *Production Engineering* com 1,424.

3.3 AUTORES, FILIAÇÃO E PAÍS DE ORIGEM

A produtividade na forma de publicações, considerada como a parte com que diferentes pessoas contribuem para o progresso da ciência, foi estudada por Lotka em 1926, que estabeleceu os fundamentos da Lei do Quadrado Inverso,

afirmando que o número de autores que fazem n contribuições num determinado campo científico é aproximadamente $1/n^2$ daqueles que fazem uma só contribuição, e que a proporção daqueles que fazem uma única contribuição é de 60,8 por cento (URBIZAGASTEGUI, 2008).

Nesta etapa, primeiramente, foram separados os dados referentes ao número de autores por artigo, quantidade de trabalhos publicados em cada categoria, percentual em relação ao total e o valor aplicado à Lei de Lotka, conforme Tabela 6.

Tabela 6 – Percentual de artigo x Produtividade de Lotka

Nº Autores	Nº Artigos	%	Lotka
1	24	31,17	60,8
2	12	15,58	15,20
3	20	25,97	6,76
4	11	14,29	3,80
5	4	5,19	2,43
6	3	3,90	1,69
7	0	0,00	1,24
8	1	1,30	0,95
9	1	1,30	0,75
10	1	1,30	0,61
	77	100	94,23

Fonte: Autor (2017).

Ao analisar a produtividade, percebe-se que os valores estimados na pesquisa indicam que apenas o percentual de contribuições de 1 autor (31,17%) e de 7 autores (0%) são menores quando comparadas aos números da Lei do Quadrado Inverso, demonstrando que os autores aqui evidenciados têm uma produtividade estatística superior àquelas apresentadas pela Lei.

Entre os autores de maior relevância da amostra de artigos, tem-se como resultado a Tabela 7. Em geral, a produtividade de todos os autores, entre os principais e colaboradores é de 202 autores para 77 artigos, ou 2,62 autores por artigo.

Tabela 7 – Autores de maior destaque do portfólio bibliográfico

AUTOR	ARTIGOS	FILIAÇÃO	PAÍS
<i>Wan, Jiafu</i>	3	<i>South China University of Technology</i>	China
<i>Li, Di</i>	3	<i>South China University of Technology</i>	China
<i>Wang, Shiyong</i>	3	<i>South China University of Technology</i>	China
<i>Zhang, Chunhua</i>	2	<i>South China University of Technology</i>	China
<i>Drath, Rainer</i>	2	<i>ABB Corporate Research</i>	Alemanha
<i>Gerlitz, Laima</i>	2	<i>Wismar University of Applied Sciences</i>	Alemanha
<i>Hirsch-Kreinsen, Hartmut</i>	2	<i>TU Dortmund University</i>	Alemanha
<i>Zhou, Keliang</i>	2	<i>Jiangxi University of Science and Technology</i>	China

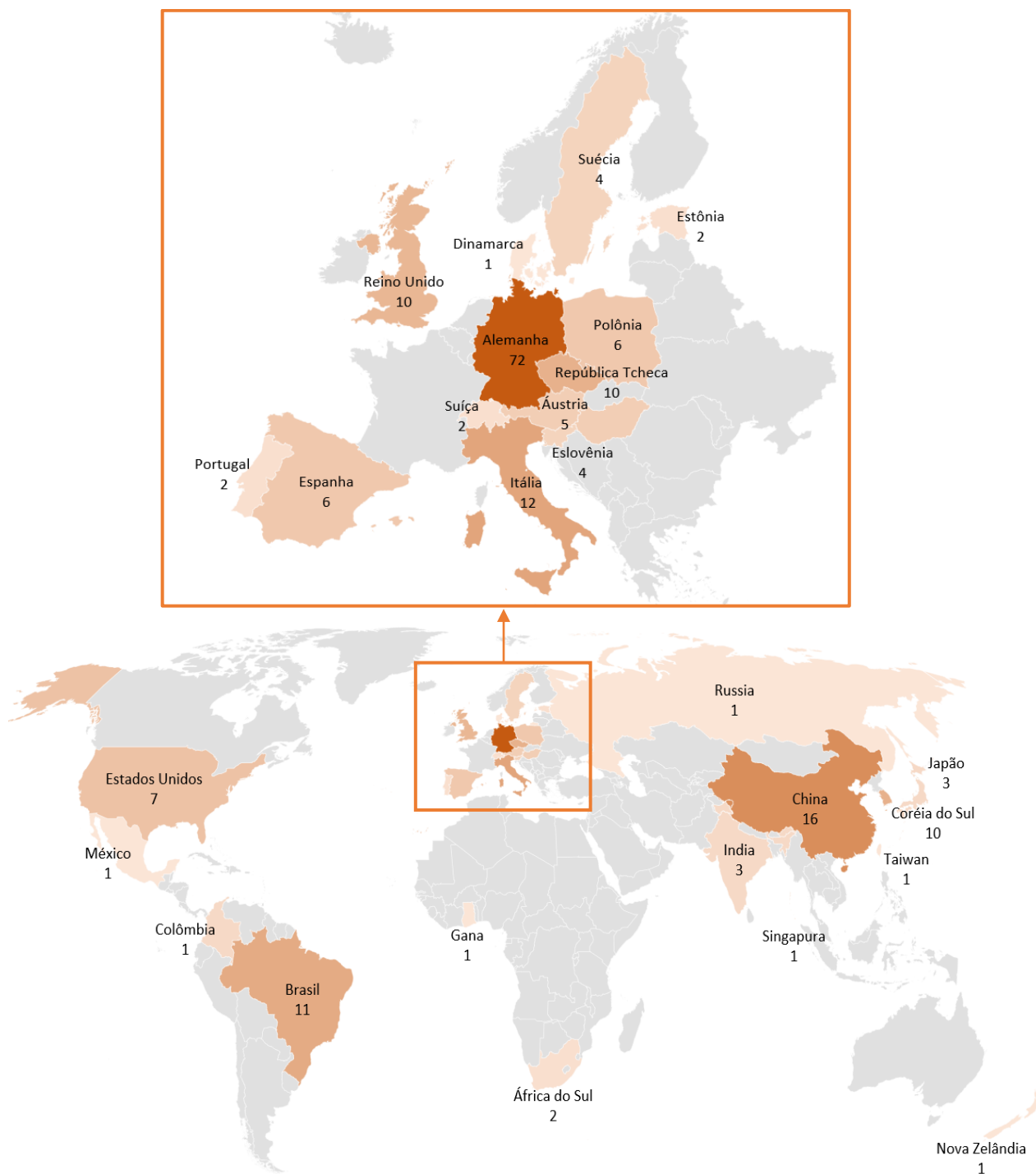
Fonte: Autor (2017).

A tabela acima contraria a lei do elitismo de Price, onde o número de membros da elite corresponde à raiz quadrada do número total de autores, assim como a metade do total da produção, sendo estes critérios considerados para se saber se a elite é produtiva ou não (ARAÚJO, 2006). Sendo assim, este número de autores de maior destaque deveria ser de 14 e não 8 como apresentado. Da mesma maneira, estes autores são responsáveis pela publicação de 11 artigos, correspondendo apenas a aproximadamente 15% dos artigos do portfólio, bem abaixo dos 50% estabelecidos por Price.

A conclusão realizada, a partir desta análise, é que não existe uma elite científica que esteja estudando e produzindo sobre a Indústria 4.0, apresentando-se como uma área de conhecimento com grande possibilidade de expansão e oportunidade para pesquisadores. Evidentemente, este ainda é um tema recente, com destaque para os últimos três anos, como apresentado na seção 3.1, e, conseqüentemente, não há tempo hábil para que certos pesquisadores tenham destaque sobre o assunto, o que provavelmente poderá ser verificado em estudos futuros.

Com relação aos países de cada autor, um mapa visual da distribuição pode ser visto na Figura 4.

Figura 4 – Mapa da distribuição de autores do portfólio por nacionalidade



Fonte: Autor (2017).

Apesar da grande discrepância, esta não é uma constatação que gera discussões, já que o termo Indústria 4.0 teve sua origem na Alemanha e por lá começou a ser disseminado. O país é responsável pela filiação de, aproximadamente, um terço da lista total de autores, o que comprova o seu forte domínio no cenário mundial.

A grande surpresa desta lista fica com autores filiados às instituições brasileiras, totalizando onze e ficando a frente de países como Estados Unidos e Japão, potências mundiais com alto poder de inovação. Com relação a esses dois países citados, por outro lado, esperava-se uma presença mais impactante por serem destaques na economia mundial e por possuírem, atualmente, planos de governo para alavancar a produtividade nacional nos mesmos moldes da estratégia alemã lançada a alguns anos atrás.

3.4 PALAVRAS-CHAVE

“Uma palavra-chave representa um conceito significativo que é abordado no conteúdo de um documento” (LIAO *et al.*, 2017). Segundo os autores, realizar uma análise das palavras-chave que são mencionadas nos artigos fornece um olhar preliminar de focos das pesquisas, áreas de estudo, tecnologias empregadas e características relacionadas à Indústria 4.0.

Para apresentação desta seção, as palavras-chave foram inicialmente agrupadas com o objetivo de unificar em uma única as suas diversas variações nas quais estavam expostas nos artigos analisados. Por exemplo, a contagem de artigos com a palavra-chave “*Industry 4.0*” engloba, além desta, artigos com outros termos, como “*Industrie 4.0*” e “*I4.0*”, recorrentes em diversos materiais e com o mesmo significado, porém apenas com variação na escrita. A mesma estratégia vale também para termos que se encontram no plural e singular, para palavras escritas em outros idiomas e para abreviações.

Desta maneira, as palavras-chave mais citadas em todo o material analisado estão apresentadas na Tabela 8, onde observa-se a presença de algumas utilizadas na busca inicial realizada nas bases de pesquisa, como “*Industry 4.0*”, “*automotive*” e “*innovation*”.

Tabela 8 – Palavras-chave de maior ocorrência no portfólio bibliográfico

PALAVRAS-CHAVE	ARTIGOS
<i>Industry 4.0</i>	59
<i>Manufacturing</i>	34
<i>Cyber-Physical Systems</i>	32
<i>Internet of Things</i>	20
<i>Big Data</i>	14
<i>Embedded Systems</i>	13
<i>Industrial Revolution</i>	12
<i>Smart Manufacturing</i>	9
<i>Automation</i>	7
<i>Learning Factory</i>	7
<i>Digitalization</i>	7
<i>Smart Factory</i>	6
<i>Innovation</i>	5
<i>Automotive</i>	5

Fonte: Autor (2017).

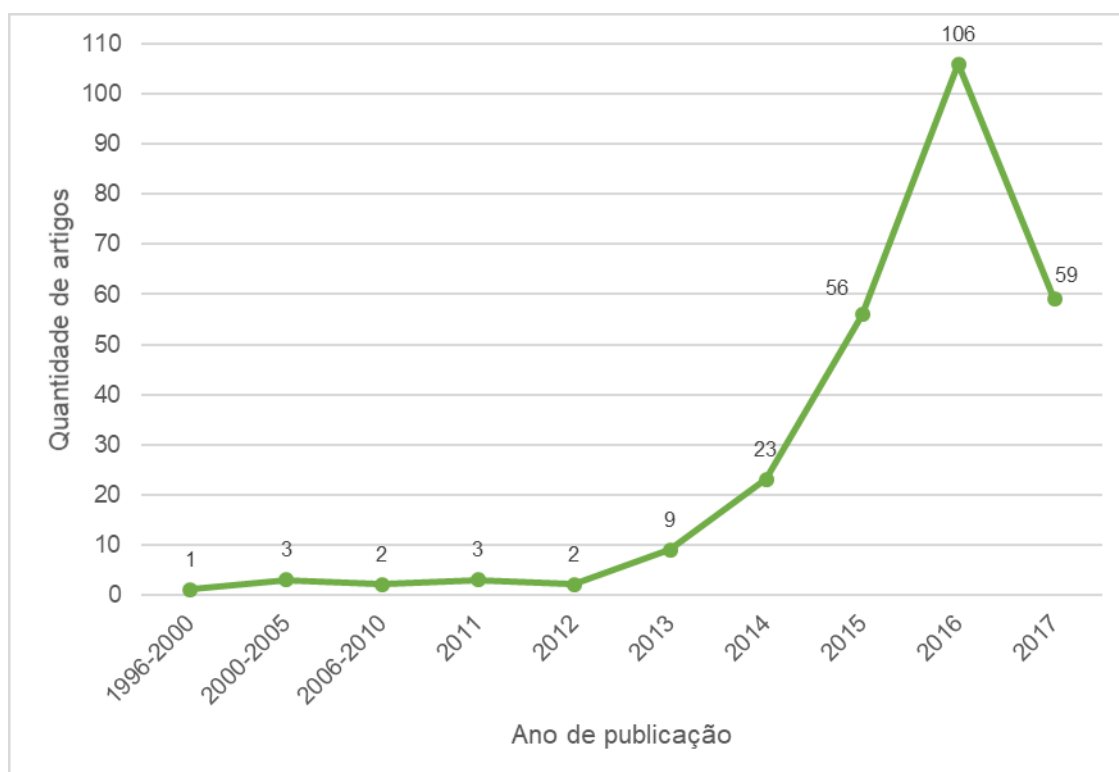
Porém, ao mesmo tempo que aparece nesta lista entre as mais citadas, percebe-se a pequena ocorrência da palavra “*automotive*”, comprovando a falta de artigos que relacionam o setor automotivo no contexto da Indústria 4.0, já que essas poucas aparições do termo são referentes à pesquisa inicial de inovações de processos ao longo dos anos neste setor industrial.

3.5 DEMAIS ANÁLISES

Nesta seção, procura-se fazer as mesmas análises realizadas anteriormente, porém de uma maneira mais geral, com a inclusão de todos os 151 artigos considerados relevantes após a leitura do título, resumo e palavras-chaves, mas que acabaram sendo excluídos pelo critério da não obtenção de acesso aos textos completos ou, ainda, por obter textos em idiomas diferentes do inglês, português ou francês, compreendidos pelo autor. Os 36 artigos excluídos da análise após a pré-leitura realizada também foram incorporados, totalizando 264 materiais.

A Figura 5 apresenta a evolução da publicação desses estudos, sendo possível perceber o mesmo comportamento inferido na amostra de artigos analisada anteriormente, referente aqueles que compõem o portfólio bibliográfico.

Figura 5 – Evolução das publicações ao longo dos anos



Fonte: Autor (2017).

As obras encontradas com data de publicação inferior a 2011, ano em que o termo Indústria 4.0 foi proposto pela primeira vez, estão relacionadas com a pesquisa inicial referente às inovações de processo no setor automotivo ao longo dos anos.

A lista de periódicos, representada na Tabela 9, destaca a forte presença do periódico alemão *ZWF Zeitschrift fuer Wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, com 59 artigos publicados sobre esta área de estudo. Este periódico fornece artigos especializados sobre desenvolvimentos recentes na engenharia de produção, bem como em processos industriais, abordando, além de pesquisadores, executivos de empresas. Por não ter realizado o filtro inicial de idiomas, estes artigos acabaram sendo incorporados previamente, sendo realizada inclusive a etapa de leitura dos resumos disponibilizados na língua inglesa.

Através da leitura dos resumos, foi possível identificar que estes artigos, na sua maioria, estão alinhados com os objetivos deste trabalho, mas, infelizmente,

além de estarem publicados em alemão, não estão disponíveis para acesso através do portal da Capes.

Tabela 9 – Periódicos de maior destaque

PERIÓDICO	ARTIGOS
<i>ZWF Zeitschrift fuer Wirtschaftlichen Fabrikbetrieb</i>	59
<i>Productivity Management</i>	24
<i>Procedia Manufacturing</i>	10
<i>AI and Society</i>	5
<i>IFAC-PapersOnLine</i>	5
<i>International Journal of Automotive Technology and Management</i>	5
<i>At-Automatisierungstechnik</i>	5
<i>Stahl und Eisen</i>	5
<i>Elektrotechnik und Informationstechnik</i>	4
<i>SMT Surface Mount Technology Magazine</i>	4

Fonte: Autor (2017).

Para completar esta lista da aparição de novos periódicos, também com alta quantidade de artigos (24), está o *Productivity Management*, revista alemã com artigos em inglês e alemão, porém também sem disponibilidade de obtenção através do portal de periódicos que a universidade oferece acesso. Outros periódicos alemães aparecem na lista (*At-Automatisierungstechnik*, *Stahl und Eisen* e *Elektrotechnik und Informationstechnik*), totalizando juntos 14 artigos publicados.

Os três primeiros periódicos da Tabela 9, juntos, são responsáveis por aproximadamente 35% dos artigos totais desta análise, cumprindo com a Lei de Bradford enunciada anteriormente.

Com relação aos principais autores, poucas mudanças são notadas, conforme Tabela 10. O destaque maior fica para Jürgen Kletti, alemão, sócio fundador da *MPDV Mikrolab GmbH*, empresa especializada na gestão de processos industriais. Em 2013, a empresa introduziu um novo conceito de gestão de processos industriais, *Manufacturing Execution System 4.0 (MES 4.0)* como chave para a Indústria 4.0 e por este motivo seu diretor, Prof. Dr. Ing. Jürgen Kletti, ganha grande notoriedade no tema a nível mundial.

Tabela 10 – Autores de maior destaque, filiação e país

AUTOR	ARTIGOS	FILIAÇÃO	PAÍS
<i>Kletti, Jürgen</i>	7	<i>MPDV Mikrolab GmbH</i>	Alemanha
<i>Wan, Jiafu</i>	5	<i>South China University of Technology</i>	China
<i>Li, Di</i>	5	<i>South China University of Technology</i>	China
<i>Wang, Shiyong</i>	5	<i>South China University of Technology</i>	China
<i>Metternich, Joachim</i>	4	<i>Technical University of Darmstadt</i>	Alemanha
<i>Meudt, Tobias</i>	4	<i>Technical University of Darmstadt</i>	Alemanha
<i>Kuhlenkötter, Berndt</i>	4	<i>Ruhr-University Bochum</i>	Alemanha

Fonte: Autor (2017).

Ao todo, 598 autores estão presentes nesta análise, sendo necessário aproximadamente 25 autores para compor a lista dos mais influentes no tema para, assim, atender a lei do elitismo de Price, porém, achou-se conveniente destacar apenas aqueles com um número de publicações maior que 4 artigos, já que a lista de autores com 2 e 3 artigos publicados é composta por 42 nomes, sendo inviável evidenciá-los nesta seção.

O destaque novamente fica por conta de autores alemães e chineses, dominando por completo a lista acima evidenciada. Entre os 598 autores com no mínimo uma publicação, mais de 50% (318 autores) são filiados a instituições alemãs, destacando a influência deste país na criação e disseminação dos conceitos desta nova revolução industrial. Com relação à filiação, esta é bem homogênea nos maiores centros de pesquisa do país, com destaques para as Universidades Técnicas de Darmstadt, Dortmund, Munique e Berlim e Universidade de Stuttgart, além da *ABB Corporate Research Center – Germany* e *Fraunhofer Institute for Industrial Engineering*.

No que se refere a citação de palavras-chave mais recorrentes, também poucas mudanças foram comprovadas, e por este motivo, entende-se não ser necessário sua inclusão nesta seção.

4 CONSTRUCTO TEÓRICO

Para formar a base teórica deste trabalho, foram selecionados alguns artigos, com pontuação nove ou mais na classificação realizada na etapa de pré-leitura da seção 2.1.4, para a leitura integral, conforme Quadro 1. Além disso, outras referências julgadas relevantes também foram incorporadas durante este desenvolvimento, principalmente aquelas citadas com maior frequência nos artigos do portfólio bibliográfico.

Quadro 1 – Artigos selecionados do portfólio bibliográfico para leitura completa

Título do artigo	Autor(es)	Ano
<i>“Industrie 4.0” and smart manufacturing - A review of research issues and application examples</i>	Thoben, K.; Wiesner, S.; Wuest, T.	2017
<i>A Complex View of Industry 4.0</i>	Roblek, V.; Meško, M.; Krapež, A.	2016
<i>A Perspective on Industry 4.0: From Challenges to Opportunities in Production Systems</i>	Khan, A.; Turowski, K.	2016
<i>Empowering User Interfaces for Industrie 4.0</i>	Pfeiffer, T.; Hellmers, J.; Schön, E.; Thomaschewski, J.	2016
<i>Industrie 4.0 and the latest trends in Monozukuri innovation in the auto industry</i>	Mikawa, S.	2015
<i>Industry 4.0</i>	Lasi, H.; Kemper, H.; Fettke, P.; Feld, T.; Hoffmann, M.	2014
<i>Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues</i>	Lu, Y.	2017
<i>Industry 4.0: Intelligent and flexible production</i>	Lydon, B.	2016
<i>Industry 4.0: Making the first move</i>	Ford, M.	2016
<i>Industry 4.0: Prerequisites and Visions</i>	Vogel-Heuser, B.; Hess, D.	2016
<i>Industry 4.0: Towards Future Industrial Opportunities and Challenges</i>	Zhou, K.; Liu, T.; Zhou, L.	2015
<i>Lean Automation enabled by Industry 4.0 Technologies</i>	Kolberg, D.; Zühlke, D.	2015
<i>Learning Factory: The Path to Industry 4.0</i>	Baena, F.; Guarin, A.; Mora, J.; Sauza, J.; Retat, S.	2017

Título do artigo	Autor(es)	Ano
<i>Past, present and future of Industry 4.0 - a systematic literature review and research agenda proposal</i>	Liao, Y.; Deschamps, F.; Loures, E.; Ramos, L.	2017
<i>Smart factory for industry 4.0: A review</i>	Hozdić, E.	2015
<i>Transition failure: Understanding continuity in the automotive industry</i>	Wells, P.; Nieuwenhuis, P.	2012

Fonte: Autor (2017).

4.1 HISTÓRIA DA INDUSTRIALIZAÇÃO

A industrialização começou com a introdução da máquina a vapor no final do século 18, na Inglaterra, quando equipamentos de fabricação mecânica revolucionaram a maneira como os produtos eram fabricados, substituindo a produção essencialmente artesanal pela produção fabril (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013; LYDON, 2016; AIRES; MOREIRA; FREIRE, 2017).

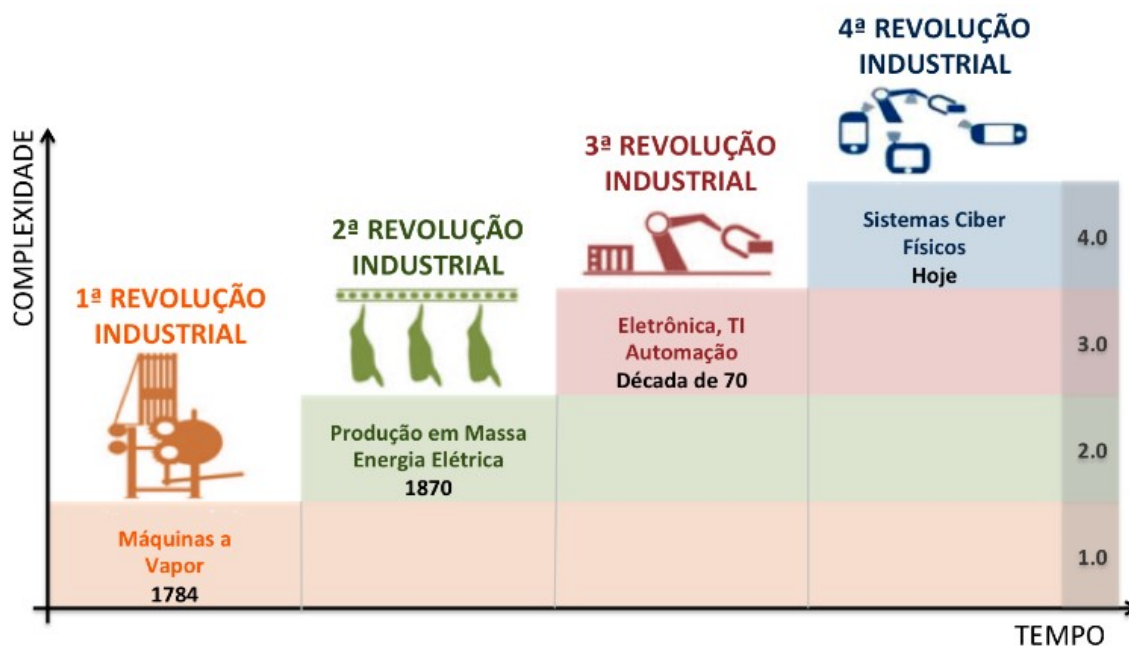
Esta primeira revolução industrial foi seguida por uma segunda, que se iniciou no início do século 20, após a introdução da linha de montagem por Henry Ford, resultando na produção em massa. Assim, outras fábricas começaram a aplicar as linhas de montagem para o aumento da eficiência e produtividade e redução de custos. A introdução da energia elétrica auxiliou o conjunto de mudanças (MIKAWA, 2015; LYDON, 2016).

Já no início da década de 1970, surge a terceira revolução industrial marcada principalmente pela utilização da eletrônica, como Controladores Lógicos Programáveis (CLPs), e tecnologias da informação (TI) para alcançar uma maior automação dos processos de fabricação (KAGERMANN; WAHLSTER; HELBIG, 2013; MIKAWA, 2015).

Durante a próxima década, a quarta revolução industrial dará início a uma era de produção descentralizada. O uso de tecnologia de sensores, interconectividade e análise de dados permitirá a fusão dos mundos reais e virtuais na produção, é o que afirma o Sistema Firjan (2016a). É importante ressaltar 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 (HERMANN; PENTEK; OTTO, 2016).

A Figura 6 apresenta uma síntese dessas revoluções industriais, destacando a inserção de maiores níveis de complexidade a medida que novas tecnologias foram introduzidas.

Figura 6 – As quatro revoluções industriais



Fonte: Adaptado de Hartmann e Bovenschulte (2013, p.26).

4.2 SURGIMENTO DA INDÚSTRIA 4.0

Para Hozdić (2015), significativas mudanças ocorreram nas áreas de produção e desenvolvimento industrial nos últimos anos. As fronteiras entre mercados foram excluídas, dando início à uma globalização abrangente, com demanda e oferta de produtos jamais vistos anteriormente com tamanha intensidade.

O Sistema Firjan (2016a) destaca a ascensão dos Tigres Asiáticos, iniciada na década de 70, para o aumento da participação dos países integrantes do bloco no valor agregado industrial global. Com o modelo denominado IOE – Industrialização Orientada para Exportação – para bens duráveis e, principalmente produtos eletrônicos, a indústria de manufatura dos países desenvolvidos moveu-se para o Oriente. A migração da produção desses países para outras partes do mundo, principalmente com a introdução da China à produção mundial, iniciou o

processo de desindustrialização desses países, enquanto o setor de serviços era impulsionado. Atualmente, os países emergentes são responsáveis por 40% de participação na economia global, fazendo com que a Europa perdesse, segundo o Parlamento Europeu (2015), um terço de sua base industrial nos últimos 40 anos. Com isso, “o mercado se torna mais global e menos nacional ou local, sendo refletido na ampla gama de produtos, na rápida obsolescência daqueles presentes no mercado e no surgimento de muitos outros.” (HOZDIĆ, 2015, p. 28).

Buscando recuperar a participação no mercado, aumentar a produtividade e elevar a competitividade da indústria alemã, foi lançado, em 2006, o projeto *High-Tech Strategy* para alavancar e difundir novas tecnologias em âmbito nacional. A fim de consolidar e promover a influência global da indústria alemã, em 2010, o governo decidiu dar continuidade no projeto, introduzindo o plano de ação denominado *High-Tech Strategy 2020*, focalizando as pesquisas de inovação em projetos selecionados e relacionados à evolução científica e tecnológica para os próximos dez anos. (SISTEMA FIRJAN, 2016a; LYDON, 2016).

Segundo BMBF (2014), este plano de ação tem o objetivo de tornar a Alemanha um líder mundial em inovação. A meta é que boas ideias sejam traduzidas rapidamente em produtos e serviços inovadores, pois essas novas soluções são os fatores que impulsionam a prosperidade e a qualidade de vida. Desta maneira, o documento lista cinco elementos centrais para uma política de inovação completamente consistente, conforme Figura 7, sendo elas:

1. Desafios prioritários para criação de valor e qualidade de vida: focado em soluções inovadoras que estão sendo moldadas por um poderoso impulso científico e tecnológico;
2. Redes de contatos e transferências: cooperação entre universidades, governo, instituições de pesquisa e empresas. A capacidade de todos os parceiros é utilizada em prol de um resultado mútuo;
3. O ritmo da inovação na indústria: estímulo à inovação também em pequenas e médias empresas;
4. Estrutura de inovação amigável: uma das tarefas mais importantes do estado é fornecer estrutura e condições propícias à inovação, pois somente assim será possível desenvolver boas ideias e levar ao sucesso econômico;
5. Transparência e participação: inovação é resultado da interação entre sociedade, desenvolvimento científico e possibilidades tecnológicas. Sendo

assim, todas as partes envolvidas devem ajudar a moldar as inovações em processos e produtos.

Figura 7 – Elementos centrais para inovação



Fonte: Adaptado de BMBF (2014, p. 4).

Quando relacionado ao primeiro item da lista, o governo federal decide concentrar sua política de pesquisa e inovação orientada para seis áreas de atuação prioritárias, sendo uma delas a digitalização das atividades econômicas e sociais (BMBF, 2014).

Desta maneira, em 2011, na Feira de Hannover, o conceito *Industrie 4.0* é introduzido, como resultado da união de esforços de universidades, indústrias e do governo alemão, com o objetivo de fortalecer a competitividade do setor de manufatura e tornar o país pioneiro na produção através da convergência com as tecnologias de informação e comunicação, prometendo revolucionar a produção industrial (SISTEMA FIRJAN, 2016a; BAENA *et al.*, 2017).

Segundo Thoben, Wiesner e Wuest (2017), é fundamental para a Alemanha, que tem uma das indústrias de manufatura mais competitivas do mundo, dominar os desafios de uma quarta revolução industrial.

4.3 DEFINIÇÃO DE INDÚSTRIA 4.0

Atualmente, pesquisadores definem a Indústria 4.0 sob a ótica de diversas perspectivas, de acordo com suas próprias compreensões sobre o tema, mas nenhuma é adotada com unanimidade neste meio (LU, 2017).

“A Indústria 4.0 é uma revolução possibilitada pela aplicação de tecnologias avançadas (como TI) no setor de produção para trazer novos valores e serviços para os clientes e a própria organização. Ela também traz flexibilidade e qualidade nos sistemas de produção para atender rapidamente às demandas de novos modelos de negócios e serviços inovadores. A digitalização e a virtualização são ferramentas para auxiliar nos serviços ao longo da cadeia produtiva de forma econômica para os clientes” (KHAN, TUROWSKI, 2016).

Para muitos autores, o conceito de Indústria 4.0, porém, é muito maior do que simplesmente a integração dos processos associados à produção, abrangendo, também, todas as diversas etapas da cadeia de valor: desde o desenvolvimento de produtos até o pós-venda, conforme Figura 8.

A chanceler alemã Merkel (2015) *apud* Sistema Firjan (2016a) define o conceito de Indústria 4.0 como a transformação completa de toda a esfera da produção industrial através da fusão da tecnologia digital e da internet com a indústria convencional.

Figura 8 – Etapas da cadeia de valor de um produto



Fonte: CNI (2016, p. 12).

Kagermann, Wahlster e Helbig (2013) elucidam a Indústria 4.0 como um novo nível de organização e gerenciamento da cadeia de valor ao longo do ciclo de vida dos produtos. Segundo os autores, este modelo de negócio possui um enorme potencial, pois permite que os requisitos individuais dos clientes sejam atendidos. Seguindo a mesma linha de raciocínio, para Thoben, Wiesner e Wuest (2017), a disponibilidade de todas as informações relevantes em tempo real é o que permitirá que os sistemas de fabricação atendam aos requisitos do cliente através de processos dinâmicos de engenharia. A CNI (2016) também acredita que a customização em massa é, claramente, uma das novas características da atividade industrial moderna, e isto devido principalmente ao aumento da flexibilidade das linhas de produção.

Hermann, Pentek e Otto (2016) também definem como um termo coletivo para tecnologias e conceitos de organização em toda a cadeia de valor, considerando a aplicação da Internet das Coisas no processo de fabricação como um elemento chave para a quarta revolução industrial.

“O conceito de Indústria 4.0 baseia-se na integração entre tecnologias de informação e comunicação e de tecnologias industriais, e depende, principalmente, da construção de um sistema ciber-físico para transformar uma fábrica inteligente e tornar a sua fabricação mais digital, informatizada, personalizada e sustentável. O objetivo é construir um modelo de produção altamente flexível de produtos e serviços personalizados e digitais, com interações em tempo real entre pessoas, produtos e dispositivos durante o processo de produção” (ZHOU, K; LIU; ZHOU, L, 2015).

Ainda segundo Kagermann, Wahlster e Helbig (2013), a Indústria 4.0 é a integração técnica da utilização de Sistemas Ciber-Físicos (CPS) na manufatura e logística e o uso da Internet das Coisas e Serviços nos processos industriais.

De acordo com Lu (2017), a Indústria 4.0 é a promoção da interconexão e informatização nas indústrias tradicionais, proporcionando mudanças disruptivas na cadeia de suprimentos, modelos de negócios e de processos e um aumento de valor na cadeia organizacional e em todo ciclo de vida do produto. Segundo o autor, os objetivos do programa são fornecer personalização em produtos manufaturados, fazer adaptação automática e flexível da cadeia produtiva, rastrear peças e produtos, facilitar a comunicação entre peças, produtos e máquinas, proporcionar maior interação entre homem e máquina, otimizar a produção com a utilização de IoT nas fábricas inteligentes e fornecer novos tipos de serviços e modelos de

negócios na cadeia de valor. Thoben, Wiesner e Wuest (2017) acrescentam que este novo modelo compreende uma mudança de paradigma, da fabricação automatizada para um conceito de fabricação inteligente, já que neste modelo, os mundos físico e virtual crescem juntos e objetos, incluindo máquinas, estão equipados com as mais diversas tecnologias.

Para Schütte (2012), a Indústria 4.0 baseia-se no pressuposto de que a produção industrial no futuro próximo será caracterizada pela forte individualização de produtos sob as condições de produção altamente flexíveis, pela forte integração entre clientes e parceiros comerciais nos negócios e a conexão de produção e serviços de alta qualidade que levam aos chamados produtos híbridos (produtos que integram duas gerações tecnológicas distintas para desempenhar uma mesma função).

A CNI (2016) destaca que os impactos vão muito além de ganhos de produtividade, envolvendo também encurtamento de prazos de lançamento de novos produtos no mercado, maior flexibilidade na linha de produção e até mesmo a capacidade das empresas de se entregarem em cadeias globais de valor.

4.4 OUTRAS INICIATIVAS PARALELAS

Com a crescente atenção às pesquisas envolvendo o futuro da manufatura, governos e empresas de grandes potências mundiais têm notando essa tendência e estão agindo rapidamente. (LIAO *et al.*, 2017).

Segundo Liao *et al.* (2017), tendo-se como base as perspectivas de planos de governo lançadas nos últimos anos, destacam-se:

- Estados Unidos: desde 2011, o governo começou uma série de discussões a nível nacional, ações e recomendações intitulado *Advanced Manufacturing Partnership* (AMP), para garantir que o país esteja preparado para conduzir a próxima geração da manufatura.
- Alemanha: em 2012, o governo alemão lança o seu plano de ação *High-Tech Strategy 2020*, com investimento anual de sete bilhões de euros para o desenvolvimento de tecnologias de ponta. Um dos dez projetos deste plano é intitulado *Industrie 4.0*, representando as ambições alemãs no setor de manufatura.

- França: o governo iniciou em 2013 uma revisão em suas estratégias, nomeado *La Nouvelle France Industrielle*, onde 34 iniciativas foram definidas como prioridades das políticas industriais francesas.
- Reino Unido: também em 2013, o governo britânico apresentou uma proposta de longo prazo para seu setor de manufatura até o ano de 2050, denominado *Future of Manufacturing*. O objetivo é fornecer uma política reorientada e reequilibrada para apoiar o crescimento e a resiliência da fabricação do Reino Unido nas próximas décadas.
- Coreia do Sul: em 2014, o governo da sul coreano anunciou o projeto *Innovation in Manufacturing 3.0*, que enfatizou quatro estratégias de propulsão e atribuições para um novo salto da fabricação coreana.
- China: o governo chinês emitiu a estratégia *Made in China 2025*, onde prioriza dez campos no setor de manufatura para acelerar a informatização e a industrialização na China. Entre os setores contemplados, estão o automotivo e o de máquinas agrícolas.
- Japão: em 2015, o governo japonês adotou o *5th Science and Technology Basic Plan*, onde foram prestadas atenções particulares ao setor de manufatura para a realização de sua *Super Smart Society* líder mundial.

4.5 PRINCÍPIOS DA INDÚSTRIA 4.0

A Indústria 4.0 aborda ações de pesquisa e desenvolvimento em certas áreas para apoiar a adoção de seus princípios e servir como base para alcançá-los (ZHOU, K.; ZHOU, F.; LIU, 2015; THOBEN; WIESNER; WUEST, 2017).

Segundo Kagermann, Wahlster e Helbig (2013), faz-se necessário englobar oito áreas-chave para implementar este conceito com êxito, como segue:

- *Padronização dos sistemas e construção de uma arquitetura de referência:* um conjunto de padrões uniformes precisa ser desenvolvido para que as redes entre diferentes fábricas e empresas possa ser conectada e integrada.
- *Gestão eficiente de sistemas complexos:* as fábricas do futuro terão sistemas e produtos de alta complexidade, precisando serem gerenciados de maneira eficiente. Faz-se necessário, então, a elaboração de planos

apropriados e um modelo explicativo precisa ser desenvolvido para otimizar o gerenciamento.

- *Estabelecimento de uma infraestrutura de banda larga industrial abrangente e confiável:* a Indústria 4.0 exige critérios rigorosos nas suas redes de comunicação, como confiabilidade, velocidade e alta qualidade.
- *Segurança:* este princípio abrange dois tipos de segurança – primeiramente, deve ser assegurado que as instalações de produção, principalmente a interação humana com a máquina, e o próprio produto não prejudiquem as pessoas e o meio ambiente. Além disso, todos os dados e informações exigem medidas de privacidade e autorização de acesso, evitando o uso indevido destes ou o acesso não autorizado às instalações de produção.
- *Organização e plano do trabalho:* com mudanças de máquinas e pessoas, o meio ambiente e os processos de trabalho também mudarão, dando ao empregado maior liberdade e responsabilidade, e exigindo maior demanda no gerenciamento da produção.
- *Treinamento e desenvolvimento profissional contínuo:* as empresas têm a responsabilidade e obrigação de treinar seus funcionários de maneira adequada. É necessário estabelecer programas de desenvolvimento profissional contínuo para ajudar os trabalhadores a lidar com as novas demandas e habilidades de cada cargo.
- *Estabelecimento de uma estrutura regulamentar:* em conjunto com as mudanças organizacionais, a legislação deve abranger essas inovações, particularmente para os regulamentos de privacidade e responsabilidade.
- *Melhorando a eficiência no uso de recursos:* ao melhorar a produtividade com a utilização de novos materiais, implantação de novos processos, aquisição de novas tecnologias, entre outras medidas, deve-se procurar uma maior efetividade no uso dos recursos, reduzindo os consumos de energia e gerando menos resíduos.

4.6 TECNOLOGIAS CHAVES PARA A INDÚSTRIA 4.0

A Indústria 4.0 é um sistema complexo e flexível que envolve tecnologias de manufatura digital, comunicação de rede, informática, automação e diversas outras áreas. Por um lado, a base de sua implementação baseia-se em design e simulação digital, processos de fabricação altamente automatizados, redes de gerenciamento de dados de produção e gerenciamento dos processos de produção, possibilitando gestão, análise e tomada de decisão.

Por outro lado, como já mencionado, a Indústria 4.0 baseia-se em Sistemas Ciber-Físicos, que utiliza tecnologias de computação, comunicação e controle em estreita colaboração para alcançar sistemas de produção inteligentes em tempo real, controle dinâmico e serviços de informação. (ZHOU, K.; LIU; ZHOU, L., 2015; HOZDIĆ, 2015). A Figura 9 apresenta uma síntese das tecnologias que compõem este novo conceito industrial.

Figura 9 – Tecnologias chaves relacionadas à Indústria 4.0



Fonte: Endeavor Brasil (2017, p. 3).

A seguir serão abordadas as principais tecnologias desta lista, que se referem a CPS, Internet móvel e Internet das Coisas, computação em nuvem e *Big*

Data. (ZHOU, K.; LIU; ZHOU, L., 2015; ROBLEK; MEŠKO; KRAPEŽ, 2016; LU, 2017).

4.6.1 Sistemas ciber-físicos (CPS)

O conceito foi definido pela primeira vez em 2006 por James Truchard, que introduz o conceito de que o mundo virtual e o mundo físico podem ser incorporados pelos sistemas ciber-físicos. (ZHOU, K; LIU; ZHOU, L; 2015). Para Hozdić (2015), o desenvolvimento paralelo de sistemas de informática e tecnologias de informação e comunicação levaram a uma estreita compressão do físico e virtual com reflexo nos sistemas de produção, causando a construção de novos sistemas de produção baseados em conexões ciber-físicas.

Na definição mais simples, os CPS são sistemas de integração de computação, redes e sistemas físicos. (ZHOU, K; LIU; ZHOU, L; 2015; ROBLEK; MEŠKO; KRAPEŽ, 2016; LU, 2017). Para os autores, computadores e redes integrados poderão monitorar e controlar os processos físicos em tempo real.

Shafiq *et al.* (2015) definem o CPS como "a convergência dos mundos físico e digital, estabelecendo redes globais de negócios que incorporam máquinas, sistemas de armazenagem e instalações de produção." (p. 1149). Para Lasi *et al.* (2014), os CPS consistem em microcontroladores que controlam os sensores e atuadores. Os dados e as informações são trocados entre terminais de computadores embarcados, aplicativos sem fio ou mesmo na nuvem. Segundo os autores, os CPS complexos, dinâmicos e integrados irão colaborar no planejamento, análise, modelagem, design, implementação e manutenção em todo o processo de fabricação.

Como uma tecnologia emergente, Lu (2017) afirma que os CPS deverão oferecer soluções promissoras para transformar o funcionamento e o papel de muitos sistemas industriais existentes, sendo capaz de aumentar a produtividade, promover o crescimento, modificar o desempenho do trabalho e produzir bens de alta qualidade com menores custos através da coleta e análise de dados precisos. Para Wan *et al.* (2011), a medida que a tecnologia CPS se desenvolve, ocupará uma posição importante em muitas áreas da indústria, principalmente na fabricação de veículos, máquinas, metalurgia, geração de energia e transporte e logística.

Jiang e Li (2014) *apud* Zhou, K., Liu e Zhou, L. (2015), acreditam que a Indústria 4.0 é equivalente ao CPS, pois ambos possuem um papel semelhante no desenvolvimento das indústrias do futuro, na medida em que promovem a inovação industrial. Para Schütte (2012), o CPS desempenha um papel decisivo nesta iniciativa alemã, a fim de orientar e otimizar as empresas e as redes de valor agregado em tempo real e, por este motivo, está se tornando cada vez mais importante em todo o mundo e tem sido um conceito crítico para a criação de grandes centros de produção.

De fato, a Indústria 4.0 faz uso da tecnologia CPS para construir uma plataforma de Sistema de Produção Ciber-Físico (CPPS), que conecta o espaço virtual com o mundo físico para permitir que os equipamentos de uma fábrica sejam mais inteligentes, criando melhores condições de produção que permitem a produção inteligente. (ZHOU, K; LIU; ZHOU, L; 2015). O CPPS permite e apoia a comunicação entre humanos, máquinas e produtos, sendo seus elementos capazes de adquirir e processar dados, e podem, por exemplo, autocontrolar certas atividades e interagir com humanos através de certas interfaces. (BRETTEL *et al.*, 2014).

Segundo Lasi *et al.* (2014), os CPPS envolvem humanos, máquinas e produtos, e combinam computação, redes e processos físicos no processo de produção, a fim de tornar a produção mais eficiente em termos de custo e tempo com produtos altamente qualificados. Os computadores e redes integrados no CPPS servem como sede para monitorar e controlar os processos físicos, *feedbacks* e as avaliações de desempenho no processo de produção.

No que diz respeito ao futuro do CPS, os desafios para os estudiosos e os profissionais são como implementá-lo para tornar mais confiável, estável e capaz. (LU, 2017). Monostori *et al.* (2016) observam que CPPS serão impulsionados pelo desenvolvimento de entidades computacionais, procedimentos relacionados a dados, automação e tecnologias dos sistemas de produção e tecnologias de informação e comunicação. Eles também afirmam que os CPPS dominarão os sistemas de fabricação como uma nova geração de indústria.

4.6.2 Internet das Coisas (IoT)

A estratégia da Indústria 4.0 observou que, no futuro próximo, será feito cada vez mais uso da internet para as interações entre humanos e máquinas, possibilitando processos de fabricação mais inteligentes. À medida que o poder de computação e a capacidade de armazenamento de dispositivos móveis aumentam, os terminais e aplicativos móveis serão usados para projetar, fabricar e gerenciar o processo de industrialização. (ZHOU, K.; LIU; ZHOU, L., 2015).

A Internet das Coisas (IoT) é um paradigma inovador que ganha progressivamente terreno no cenário das modernas telecomunicações sem fio. A ideia básica deste conceito é a presença generalizada de uma variedade de coisas (objetos), como RFID, sensores, atuadores, celulares, entre outros que, através de esquemas de endereçamento exclusivos, são capazes de interagir uns com os outros e cooperar com seus vizinhos para atingir metas comuns e para troca de informação e comunicação, realizando identificação inteligente, localização, rastreamento, monitoramento e gerenciamento. (HOZDIĆ, 2015; ZHOU, K.; LIU; ZHOU, L., 2015).

Em termos simplificados, Hozdić (2015) define a Internet das Coisas como uma rede mundial de objetos interligados e uniformes que se comunicam através de protocolos padrões. Em tais redes, um grande número de dispositivos apresentam um endereço exclusivo para troca de dados. Essa rede de objetos físicos, sistemas, plataformas e aplicativos com tecnologia embarcada para comunicar, sentir ou interagir com ambientes internos e externos implica uma infraestrutura de rede que interliga objetos físicos e virtuais gerando um grande volume e processamento de dados que desencadeiam ações de comando e controle das coisas. (SISTEMA FIRJAN, 2016b).

Ainda de acordo com o Sistema Firjan (2016b), três tipos de aplicações de IoT foram definidas para explicar seu funcionamento: a aplicação para o usuário final, quando a IoT é incorporada à rotina do consumidor; a aplicação em negócios e serviços, quando a tecnologia se torna mais acessível e tangível ao consumidor (aqui se enquadram o surgimento de novos modelos de negócios e produtos-serviços híbridos); e a aplicação industrial, em que a tecnologia é invisível ao consumidor final, sendo esta última aplicação impulsionada pela Indústria 4.0.

A IoT aplicada à indústria, também chamada de Internet Industrial das Coisas (IIoT) poderá melhorar a eficiência operacional, sendo necessário o emprego de melhores práticas em toda a cadeia de valor (tecnologia atualizada de produtos, equipamentos de produção, abordagem de venda, soluções de TI, gestão da cadeia de suprimentos etc.). O objetivo é gerar resultados como maior redução de custos, aumento de produtividade e ganhos em escala, melhoria de produtos e abertura de mercados (SISTEMA FIRJAN, 2016b).

4.6.3 Computação em nuvem

De acordo com Moresi (2011), o termo *Cloud Computing*, ou computação em nuvem, surgiu em 2006 em uma palestra de Eric Schmidt, da *Google*, sobre como sua empresa gerenciava seus data centers. Hoje, computação em nuvem, se apresenta como o cerne de um movimento de profundas transformações do mundo da tecnologia.

“A computação em nuvem é um modelo para habilitar o acesso por rede ubíquo, conveniente e sob demanda a um conjunto compartilhado de recursos de computação (como redes, servidores, armazenamento, aplicações e serviços) que possam ser rapidamente provisionados e liberados com o mínimo de esforço de gerenciamento ou interação com o provedor de serviços”. (MELL; GRANCE, 2011, p. 2).

Para Taurion (2009), com a computação em nuvem, os usuários estarão movendo seus dados e aplicações para a nuvem, podendo acessá-los de forma simples e de qualquer local, sendo uma maneira bastante eficiente de maximizar e flexibilizar os recursos computacionais.

A computação em nuvem surge da necessidade de construir infraestruturas de TI complexas, onde os usuários não têm que realizar instalação, configuração e atualização de softwares. Sendo assim, segundo Ruschel, Zanotto e Mota (2010), para os usuários utilizarem os serviços, necessitam apenas ter em suas máquinas um sistema operacional, um navegador e acesso à Internet. Todos os recursos e processamentos computacionais ficam disponíveis na Internet, com isso, o computador é apenas um chip ligado à internet, a grande nuvem de computadores.

“A computação em nuvem se originou de uma plataforma de mecanismos de pesquisa, e é uma tecnologia de computação que pode oferecer baixo custo e alto desempenho. A tecnologia de virtualização fornece computação em nuvem com extensões flexíveis, alocação dinâmica e compartilhamento de recursos. O modelo de computação em nuvem fornece serviços ao usuário, incluindo software, hardware, plataformas e outros recursos de infraestrutura de TI, conforme necessário. Essa flexibilidade permite otimizar e muito os recursos computacionais, pois apenas o recurso estritamente necessário é utilizado para uma determinada aplicação.” (ZHOU, K; LIU; ZHOU, L.; 2015, p. 2150).

Atualmente, a computação em nuvem está mudando a maneira como as indústrias fazem seus negócios na medida em que os recursos dinamicamente escaláveis e virtualizados são fornecidos como um serviço pela Internet. Este modelo cria uma nova oportunidade para as empresas. A computação em nuvem está emergindo como um dos principais capacitadores da indústria de manufatura; ela pode transformar o modelo de negócio de fabricação tradicional, ajudá-lo a alinhar a inovação de produtos com a estratégia de negócios e criar redes de fábricas inteligentes que incentivem a colaboração efetiva. Na fabricação em nuvem, os recursos distribuídos são encapsulados em serviços em nuvem e gerenciados de forma centralizada, e os clientes podem usar os serviços da nuvem de acordo com seus requisitos. Os usuários da nuvem podem solicitar serviços que vão do design do produto, fabricação, teste, gerenciamento e todas as outras etapas do ciclo de vida de um produto. (XU, 2012).

Silva (2017a) cita três principais vantagens da computação em nuvem para a Indústria 4.0:

- Agilidade e facilidade no compartilhamento de dados: como a nuvem não é um local físico, possibilita que várias pessoas em diferentes lugares, desde que autorizadas, tenham acesso aos mesmos arquivos, garantindo grande agilidade nas ações. A nuvem permite que os funcionários consigam interagir com o conteúdo armazenado em tempo real, auxiliando na colaboração e integração entre departamentos e permitindo uma comunicação rápida e otimizada.
- Monitoramento com mobilidade: a nuvem promove um maior controle das operações e acompanhamento de demandas em tempo hábil, mesmo que não se esteja observando fisicamente de perto. Isso permite um melhor aproveitamento dos *insights* e melhoria na tomada de decisões, visto que o

gestor tem acesso a dados que o permite monitorar a performance da indústria com flexibilidade e eficiência.

- Economia: com a implementação da computação em nuvem, a indústria consegue reduzir seus gastos, pois a partir dela, há economia na aquisição de serviço de apoio e suporte à problemas técnicos e servidores. Além disso, o tempo gasto para obtenção de informações também será otimizado devido à possibilidade de acesso a dados com maior flexibilidade.

4.6.4 Big Data

O Big Data é definido por Silva (2017b) como um conjunto de dados extremamente amplo e complexo e que, por este motivo, necessita de ferramentas específicas para tratar, de forma que toda informação nestes meios possa ser encontrada, analisada e transformada em valor, em tempo hábil.

Segundo Zhou, K., Liu e Zhou, L. (2015), no processo de fabricação, um ou mais microprocessadores podem ser instalados em várias máquinas para coletar dados de produção e estes sensores e microprocessadores ubíquos têm gerado uma enorme fonte de dados com um tamanho além das escalas tradicionais. Ainda de acordo com os autores, a tecnologia de banco de dados convencional possui dificuldades em completar a captura, armazenamento, gerenciamento e análise dessa coleta de dados em grande escala. Em termos de gestão, as empresas de manufatura precisam gerenciar uma ampla gama de dados, envolvendo grandes quantidades de dados estruturados e não estruturados, como dados do produto, da operação, da cadeia de valor e dados externos.

“À medida em que a customização em massa e a colaboração em rede são desenvolvidas, as empresas também precisam aceitar dados personalizados de muitos consumidores em tempo real, enquanto gerencia também outros tipos relevantes de dados. A tecnologia *Big Data* está usando novos modos de processamento para obter informações valiosas rapidamente a partir de vários tipos de dados, a fim de obter uma compreensão profunda, obter informações e fazer descobertas para uma tomada de decisão precisa. Na futura indústria, o CPS integrará dados de sensores e sistemas de informações da empresa. Durante este processo, grandes volumes de dados serão enviados para um banco de dados na nuvem para armazenar, analisar e tomar decisões que guiarão o processo de produção”. (ZHOU, K.; LIU; ZHOU, L., 2015, p. 2150).

Jain (2016) estabelece 5 V's para que determinado conjunto de dados seja considerado *Big Data*, conforme Figura 10.

Figura 10 – 5 V's do *Big Data*



Fonte: Autor (2017).

- Volume: se a quantidade de dados gerados é grande o suficiente para que tecnologias clássicas não estejam sendo satisfatórias no processamento adequado.
- Velocidade: refere-se à velocidade com que os dados são gerados, armazenados, processados e analisados.
- Variedade: diz respeito aos diversos formatos em que os dados se apresentam, podendo ou não ser estruturados.
- Veracidade: relacionado à obtenção de informações verídicas condizentes com a realidade daquele instante.
- Valor: a partir do investimento em infraestrutura necessária para coletar e interpretar dados em grande escala de todo o sistema, é importante garantir que os *insights* gerados sejam baseados em dados precisos e levem a melhorias mensuráveis no final de cada operação.

4.7 CASES DA INDÚSTRIA 4.0

Na unidade de equipamentos eletroeletrônicos da **Siemens** em Amberg, na Alemanha (Figura 11), as máquinas operam 24 horas por dia, produzindo mais de mil tipos de produtos, especialmente diferentes variantes de CLPs (Controladores Lógicos Programáveis). Atualmente, aproximadamente, 15 milhões de CLPs são produzidos por ano no local, o equivalente a um controlador feito por segundo, que são encomendados automaticamente pelo sistema. O próprio CLP controla a produção de forma automatizada com, pelo menos, 75% da cadeia produtiva sendo realizada por computadores ou máquinas. A automação extrema leva a um baixíssimo índice de defeitos: 12 peças com defeito a cada um milhão produzido. (SIEMENS, 2014).

Figura 11 – Fábrica da Siemens em Amberg, na Alemanha



Fonte: Siemens (2015).

A planta já recebeu vários prêmios e é reconhecida na Alemanha como símbolo das indústrias do futuro e caso de sucesso da Indústria 4.0. A fábrica tem a combinação ideal de dois elementos essenciais para a I4.0: o real e o virtual. Lá, os produtos controlam os seus próprios processos de fabricação com a representação digital de toda a cadeia de valores física, por meio de um código de identificação, e informa às máquinas sobre suas necessidades e quais etapas de produção serão obrigados a seguir. (SIEMENS, 2014; CNI, 2016; PIZZINI, 2017).

Recentemente a **Adidas**, gigante alemã de produtos esportivos, anunciou a ampliação de seu modelo de fábrica chamado *Speedfactory*. Essa concepção de fábrica de alta produtividade teve início com a construção da primeira unidade em Ansbach, na Alemanha, no início de 2016. A planta é 100% robotizada em sua linha de produção, contando com apenas dez profissionais altamente qualificados, em um processo de manufatura descentralizado e flexível.

O projeto consiste em uma estrutura completamente automatizada para fabricar os tênis da marca, fazendo essa tarefa com uma rapidez incomparável ao de outros mecanismos e é resultado de uma investida da marca em oferecer uma experiência ainda mais personalizada e altamente tecnológica ao consumidor.

Para tal, a empresa pretende ter as *Speedfactories* instaladas em diversos lugares pelo mundo; com isso, ela permite às pessoas adquirirem qualquer calçado na hora, seja em lojas ou através de uma experiência digital, como por exemplo a iniciativa *Futurecraft 3D*, uma tecnologia de impressão tridimensional criada pela Adidas, que tem como objetivo oferecer calçados com solas adaptadas cuidadosamente ao jeito de andar e às necessidades de cada pessoa. Para tal, o sistema coleta dados da maneira de caminhar e, em seguida, cria uma sola que segue cada contorno e ponto de pressão de cada pé analisado com precisão. (THE ECONOMIST, 2017).

A **Bosch**, por sua vez, também está planejando aumentar a produtividade através de soluções propostas pela Indústria 4.0, com o objetivo de assegurar uma competitividade duradoura e de longo prazo. Para isso, o grupo desenvolveu robôs de transporte de preço econômico com um alto nível de autonomia, utilizando produtos fabricados pela própria empresa. Esses robôs estão interligados entre si e, por causa de sua conexão com a nuvem de dados, eles são capazes de se comunicar com as instalações de fabricação, bem como com o sistema de gestão empresarial (ERP). Além disso, eles são capazes de interagir com os funcionários. Com esta medida, as despesas de transporte manual, bem como estoque disponível, estão sendo reduzidas devido a sistemas de transporte autônomos. (PLATTFORM INDUSTRIE 4.0, 2017a).

Uma outra medida adotada pela Bosch é a implantação do que foi nomeado Configurador de Regras de Produção, aplicado na planta de Homburg, na Alemanha, visando a redução de esforços para o monitoramento de dados relevantes do processo. O monitoramento contínuo e a reação rápida também

reduzem os esforços para resolver problemas e os efeitos causados por eles. O Configurador de Regras de Produção é uma ferramenta abrangente e fácil de usar para modelagem gráfica de regras para o monitoramento de processos de produção, bem como montagem e teste. As regras podem combinar dados de diferentes máquinas e, portanto, permitir a análise de interdependências entre diferentes etapas do processo. O software monitora as tendências das características especificadas do processo e detecta quando os limites de alerta precocemente definidos são alcançados. Em seguida, o Configurador de Regras de Produção envia mensagens aos responsáveis na linha de produção, que conseqüentemente podem reajustar processos e evitar problemas de qualidade ou quebras de linha. (PLATTFORM INDUSTRIE 4.0, 2017b).

A **Volkswagen**, empresa que se destaca mundialmente por investir em modernos conceitos de fabricação de veículos, buscando sempre melhorar sua produtividade, aumentando a eficiência operacional, eliminando erros e reduzindo custos, também vêm desenvolvendo fábricas inteligentes. Na produção da montadora, os veículos são acompanhados por um dispositivo chamado de *Tag RFID*. Este dispositivo possibilita acessar informações armazenadas no servidor, podendo até incluir e gravar novos dados ao longo do processo de manufatura, ou seja, quando o veículo chega a um posto de trabalho, os seus dados são transmitidos por rádio frequência através de antenas, gerando uma troca de informações entre o sistema físico e os sistemas virtuais. Com a verificação do modelo, versão e motorização do veículo, as máquinas, robôs e dispositivos tomam as decisões em tempo real para a realização das diferentes operações do sistema de manufatura. Atualmente, os dados estão armazenados em servidores, porém, futuramente, estas informações passarão a ser armazenados em nuvem. (MENDES; SIEMON; CAMPOS, 2017).

Ainda na manufatura da empresa, veículos guiados automaticamente (AGV) efetuam a alimentação de insumos dos postos de trabalho de forma autônoma, recolhendo em sua trajetória os *racks* vazios e otimizando o sistema logístico do chão de fábrica. Esta máquina funciona através da identificação de faixas pintadas no chão e referencia-se por sensores que identificam o trajeto a ser percorrido. (MENDES; SIEMON; CAMPOS, 2017).

A **Volkswagen do Brasil** utiliza os conceitos de sistemas ciber-físicos, em que sistemas reais são desenvolvidos por meio de sistemas virtuais, melhorando a

eficiência, ergonomia e flexibilidade do seu sistema produtivo, sendo atualmente uma das empresas mais avançadas rumo à Indústria 4.0 em território nacional. A Fábrica Digital utiliza programas computacionais interligados que simulam virtualmente os processos produtivos antes de suas implantações. Os modelos virtuais são conceituados através da metodologia de gerenciamento de ciclo de vida do produto (PLM); com isso, qualquer necessidade de alteração nas instalações físicas pode ser simulada e avaliada, em qualquer fase de fabricação do produto, através de uma plataforma digital. Dessa forma, problemas e erros que poderiam surgir posteriormente, agora, podem ser detectados e corrigidos virtualmente, reduzindo custo e tempo de implementação.

Também no Brasil, a **Embraer** começou a treinar de forma virtual, em 3D, o que os trabalhadores fariam no chão de fábrica um ano antes do início da produção. O projeto teve 12 mil horas de testes antes das aeronaves decolarem. Defeitos que, normalmente, seriam detectados somente com o avião no ar, foram resolvidos ainda na fase de preparação. Na linha de montagem, os operários usam computadores e tablets com tecnologia de realidade aumentada e, em caso de dúvida, há sempre um vídeo para explicar como realizar a operação. Com todos os ganhos da digitalização, o tempo de montagem já caiu 25%. (CNI, 2016).

4.8 CONTEXTUALIZAÇÃO DA INDÚSTRIA AUTOMOTIVA

Drucker (1943) *apud* Pires (2003) já definia a indústria automobilística como sendo “a indústria das indústrias”. Segundo o autor, esta referência tinha como principal motivação a grande capacidade desta indústria em indicar novos caminhos para a produção e organização: foi assim com a introdução dos conceitos de produção em massa introduzido por Henry Ford e também com o conceito de produção enxuta delineado pela Toyota, com Eiji Toyoda e Taiichi Ohno. Além do Fordismo e Toyotismo, tradicionalmente conhecidos, outros sistemas de produção também surgiram em ambientes de indústrias automotivas, como o Sistema Volvo e Sistema Hyundai.

Da mesma maneira que as indústrias têm passado por diversas transformações, os automóveis seguem a mesma evolução, destacadas pela consultoria Roland Berger (2015) por diferentes etapas:

- Automotiva 1.0: o primeiro momento, na primeira metade do século XX, foi a fase de criação e constituição do mercado automotivo, quando a indústria era totalmente integrada aos seus fornecedores que fabricavam as peças, em um contexto de produção em massa, com pouquíssima tecnologia embarcada.
- Automotiva 2.0: grandes cadeias de fabricantes e fornecedores foram constituídas, atuando em um mercado com dezenas de variáveis, muito poder de troca e ainda produtos melhores e muito mais rápidos que na geração anterior.
- Automotiva 3.0: fase atual da indústria há alguns anos. Atualmente, fornecedores e fabricantes de diversos lugares do mundo já têm um campo de atuação global e conectado, com penetração mundial de seus produtos. A tecnologia buscou melhorar a performance de alguns veículos com uma maior inserção da eletricidade, melhorias na segurança e muito mais eficiência para os modelos.
- Automotiva 4.0: este novo conceito visa trabalhar a conversão entre três mercados: o automotivo, o digital, e o de telecomunicações. Sendo assim, será possível, cada vez mais, conduzir veículos que oferecem todos os tipos de conexões com os dispositivos móveis, além da evolução que a mobilidade compartilhada e os carros autônomos podem proporcionar.

Para trilhar este caminho, significa que cada um dos componentes da cadeia automotiva – indústria de autopeças, montadora, logística, distribuidores de veículos e cliente – estarão conectados através da Internet das Coisas e utilizando a nuvem para uma comunicação em tempo real, de forma transparente, sem perdas de tempo ou produtividade, produzindo exatamente o que foi solicitado pelo cliente no modelo, forma e conteúdo, com o máximo de aproveitamento de tempo e material, sem perdas, desperdícios ou produtos diferentes do desejado.

Para que estes diferentes *players* se adaptem à nova revolução industrial, é necessário seguir algumas recomendações para esta transição, descritas na sequência.

4.9 O CAMINHO RUMO À INDÚSTRIA 4.0

Segundo a PwC (2016), para avançar com a indústria 4.0, é muito importante adquirir e implantar capacidades digitais. Esse processo leva tempo, por

isso, a fim de obter ou manter uma vantagem sobre concorrentes, será preciso assegurar o comprometimento da alta direção e fazer investimentos significativos em implementação. Baseado em *cases* de sucesso desta transformação, a consultoria definiu pilares a serem seguidos, conforme Figura 12.

Figura 12 – *Blueprint* para a implantação da Indústria 4.0



Fonte: PwC (2016, p. 29).

Etapa 1 – Mapear sua estratégia para Indústria 4.0: Segundo a PwC (2016), muitas empresas já começaram a digitalização de seus negócios, mas, com frequência, o processo tem início em silos organizacionais e não segue uma abordagem holística.

Desta maneira, após o entendimento necessário sobre o tema, faz-se necessário uma avaliação da própria maturidade digital atual em todas as áreas da I4.0 para entender quais pontos fortes podem ser construídos e quais sistemas/processos serão necessários integrar em soluções futuras, podendo assim definir metas claras para os próximos anos, priorizando medidas que trarão mais valor para o negócio e garantindo seu alinhamento com a estratégia global.

Quando começar a pensar onde pretende-se estar no futuro, é importante avaliar o que pode ganhar colaborando com clientes, fornecedores, parceiros de tecnologia e até mesmo concorrentes, sem deixar que as restrições atuais limitem a sua visão. Nesta etapa é necessário ampliar o foco para além de detalhes técnicos e avaliar os impactos que novas aplicações teriam na cadeia de valor e nos relacionamentos com os clientes.

Construir capacidades, adaptar processos e a área de TI e conduzir a mudança cultural necessária levará anos. Demonstrar a liderança clara da alta administração é crucial, mas igualmente importante é convencer os principais *stakeholders* de que eles terão de arregaçar as mangas e implementar as mudanças desejadas.

Etapa 2 - Criar projetos-piloto: Esta etapa consiste em utilizar projetos-piloto para estabelecer provas de conceito e demonstrar o valor gerado para o negócio. Por isso é importante escolher projetos certos, adotando um escopo restrito, mas destacando o conceito *end-to-end* da Indústria 4.0. Nem todo projeto terá sucesso, mas eles ajudarão a trabalhar em uma abordagem interfuncional e ágil com clientes e parceiros de tecnologia – o padrão do futuro.

Com a comprovação dos primeiros sucessos, pode-se obter o comprometimento da organização e garantir recursos para uma implementação maior. As equipes devem planejar os pilotos de forma pragmática, para compensar padrões e infraestrutura que ainda não existem.

Embora os pilotos já possam trazer benefícios para o negócio, o seu objetivo mais importante é gerar *insights* sobre como a empresa pode trabalhar ao longo de funções e ecossistemas e quais as mudanças que pode precisar fazer em TI, segurança, ferramentas e capacidades de processos e pessoas.

Etapa 3 - Definir as capacidades de que você precisa: Com base nos projetos-pilotos, pode-se mapear detalhadamente a arquitetura empresarial e as capacidades necessárias para permitir novos modelos de negócios digitais ou a digitalização interna.

Etapa 4 - Tornar-se um *expert* em dados: Com a Indústria 4.0, uma grande quantidade de dados estará disponível e é importante pensar em como pode-se organizar a análise e aprender a extrair valor destes dados criando vínculos diretos com a tomada de decisões e o desenho de sistemas inteligentes.

Com isso, é possível melhorar os produtos e construir novas ofertas de serviços. Segundo a consultoria, para definir e desenvolver uma estratégia eficaz de análise de dados, é necessário foco em: Análise preditiva e previsões (*forecast*); Análises prescritivas; Tomada de decisões orientada aos negócios; *Feedback* automatizado para a organização e conectividade para os funcionários.

Etapa 5 - Transformar-se em uma empresa digital: Para poder capturar todo o potencial da Indústria 4.0 requer-se a transformação completa da empresa. O

tom deve ser definido pelo topo, com liderança clara, comprometimento e visão dos executivos e *stakeholders* financeiros. Após projetos-pilotos bem executados e uma visão clara de onde pretende-se chegar, é preciso fomentar uma cultura digital, isto é, todos os funcionários terão de pensar e agir como nativos digitais, dispostos a experimentar novas tecnologias e aprender novas formas de operar. Vale destacar, ainda, que a mudança não cessa ao implementar a Indústria 4.0, sendo necessário se reinventar diariamente de forma ágil para se manter à frente do jogo.

Etapa 6 - Planejar uma abordagem ecossistêmica: A Indústria 4.0 precisa se estender muito além da integração horizontal e vertical dentro da organização. Empresas pioneiras alcançam desempenho inovador ao entender as necessidades dos consumidores e utilizar tecnologias digitais para criar e fornecer valor ao cliente em uma solução integrada e inovadora. Sendo assim, verdadeiros avanços no desempenho acontecem quando é possível entender o comportamento do consumidor e poder orquestrar o papel da empresa no futuro ecossistema de parceiros, fornecedores e clientes.

4.10 SUGESTÕES DE APLICAÇÕES DA INDÚSTRIA 4.0

A partir do constructo teórico realizado, buscou-se identificar possíveis aplicações para cada uma das três primeiras etapas definidas pela literatura como essenciais à implantação de modelos de Indústria 4.0: estratégia, projetos-pilotos e capacitações, destacando o que se espera das organizações em cada degrau e ações necessárias para adaptação às indústrias do setor automotivo brasileiro.

Vale ressaltar que este setor não inclui somente as montadoras, que já estão bem avançadas rumo à digitalização, mas também toda a cadeia de suprimentos envolvida, englobando fornecedores de primeiro (*tier 1*) e segundo nível (*tier 2*), ou seja, fornecedores diretos e subfornecedores.

4.10.1 Planejamento estratégico

A primeira etapa é definir estratégias que promovam a transição da indústria e, para isso, entende-se como essenciais:

1. Entender os conceitos envolvidos na Indústria 4.0 e seus impactos nos processos industriais:
 - Elaborar *workshops* para disseminação do conteúdo.
 - Assegurar que a liderança da empresa está preparada e disposta a iniciar essa mudança.
2. Induzir a adoção das tecnologias da Indústria 4.0:
 - Fazer o uso de meios para demonstração das tecnologias associadas, aplicados a setores priorizados;
 - Visitar plantas de fábricas inteligentes já em funcionamento para troca de conhecimentos e informações.
3. Elaborar estratégia de implantação:

Buscando auxiliar no planejamento a longo prazo de implementação da Indústria 4.0, o

Quadro 2 apresenta as características a serem levadas em consideração nesta análise.

Quadro 2 – Planejamento estratégico de implantação da Indústria 4.0

	PONTOS FORTES	LIMITAÇÕES	AMEAÇAS	OPORTUNIDADES
CENÁRIO	<ul style="list-style-type: none"> • Avaliar a própria maturidade digital atual em todas as áreas da I4.0, destacando os pontos fortes a serem explorados e os pontos fracos a serem desenvolvidos. • Além disso, com um entendimento maior sobre o tema, é possível identificar os riscos e oportunidades relacionados à essa transformação. 			
OBJETIVO	<ul style="list-style-type: none"> • Definir metas para os próximos anos, respondendo basicamente uma única pergunta: qual nível de digitalização a empresa pretende atingir em um determinado período de tempo? 			
ESTRATÉGIAS	<ul style="list-style-type: none"> • Identificar setores com maior potencial para adoção de tecnologias ligadas à Indústria 4.0. • Identificar setores cuja pressão competitiva para a adoção destas tecnologias será mais forte a curto prazo. • Verificar o impacto futuro para cada caso. 			
	DESCRIÇÃO	RESPONSÁVEL	PRAZO	CUSTO
PROGRAMA DE AÇÃO	<ul style="list-style-type: none"> • Criação de projetos-pilotos, tendo sempre alguém responsável por promover e disseminar a ideia central e uma avaliação de prazo e custo para a empresa para a adoção de cada projeto. • Desenvolvimento das capacitações necessárias sob a ótica da organização, das pessoas, dos processos e implantação das tecnologias necessárias. 			

Fonte: Autor (2017).

4.10.2 Proposta de projetos

Tendo elaborado as estratégias e o entendimento de onde pretende-se chegar, com visão à longo prazo, deve-se começar a implantar os projetos-pilotos.

Desta maneira, o Quadro 3 expõe alguns exemplos de possíveis projetos elaborados a partir de pesquisa bibliográfica realizada e da inserção do autor em uma empresa fornecedora de peças plásticas para a indústria automotiva, apresentando como é atualmente em muitas das empresas e a situação futura pretendida, bem como os benefícios esperados com a implementação das tecnologias e mudanças organizacionais necessárias.

Quadro 3 – Projetos da Indústria 4.0 aplicados na cadeia automotiva

Projeto	Atualmente	Possível solução	Benefícios
Manutenção preditiva	<ul style="list-style-type: none"> • Aproximadamente 75% dos casos onde faz-se uso de manutenção corretiva poderiam ser resolvidos com manutenção preditiva; • Manutenção corretiva não planejada custa 2x mais que a manutenção preditiva. 	<ul style="list-style-type: none"> • Utilização de sensores para monitoramento constante das variáveis de controle (temperatura, pressão, etc.); • Cada máquina emite um fluxo contínuo de registros de dados, os quais devem ser analisados em tempo real; • Processamento e análise de <i>Big Data</i>, sendo importante que os dados gerados façam parte de uma base de dados comum, armazenada na nuvem, para acesso de todos interessados; • Sistemas capazes de diagnosticar seus estados atuais e desencadear ações apropriadas assim que ocorrerem situações críticas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Prevenção das falhas antes que elas ocorram, e quando possível, faz a correção automaticamente; • Redução dos custos de manutenção; • Redução dos tempos ociosos; • Aumento da vida útil das máquinas e equipamentos; • Relatórios de condições atuais de operação das máquinas e dos índices de qualidade do sistema, auxiliando dessa forma na determinação da capacidade do mesmo, que é uma informação importante para as áreas estratégicas da empresa.
Falhas de equipamentos	<ul style="list-style-type: none"> • Lâmpadas de sinalização; • Sinal sonoro de alarme. 	<ul style="list-style-type: none"> • Funcionários equipados com relógios inteligentes, recebendo as mensagens de erro e locais da falha; • CPS equipado com sensores adequados, reconhecendo falhas e acionando automaticamente ações de reparo quando convém. 	<ul style="list-style-type: none"> • Redução do tempo entre a ocorrência da falha até a notificação. • Independente da localização do funcionário. • Correção da falha automaticamente.

Projeto	Atualmente	Possível solução	Benefícios
<p>Monitoramento do transporte de peças do fornecedor até a montadora</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Não há informações de posições na entrega e condições do transporte das mercadorias; • Altos custos associados em casos de danos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sensor RFID em cada container ou <i>pallet</i> que é transportado; • Gravação de dados de todos os produtos, número da nota fiscal, destino e cliente que vai receber a encomenda. • Rastreamento durante todo o trajeto de parâmetros da qualidade da peça durante o transporte; • Armazenamento de todos os parâmetros nas nuvens para análises. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema de alerta devido ao monitoramento em tempo real e maior transparência da real situação da mercadoria; • Redução de estoque; • Aumento de produtividade; • Menor custo por defeitos; • Automatizar envio e entrega prevendo exatamente o tempo de chegada.
<p>Produtos inteligentes</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Na grande maioria das empresas este conceito ainda não existe 	<ul style="list-style-type: none"> • Sensores RFID em cada produto da linha de montagem; • Leitores espalhados em cada estação de trabalho, executando as atividades de acordo com um cronograma de trabalho pré-estabelecido no produto; • Ao final, um leitor verifica se a configuração obtida equivale ao pedido feito; 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento de produtividade; • Coleta de informações individualizadas por produto e linha de produção, automaticamente; • Facilidade na elaboração de indicadores; • Produtos podem ser customizados com maior facilidade; • Dados mais precisos.

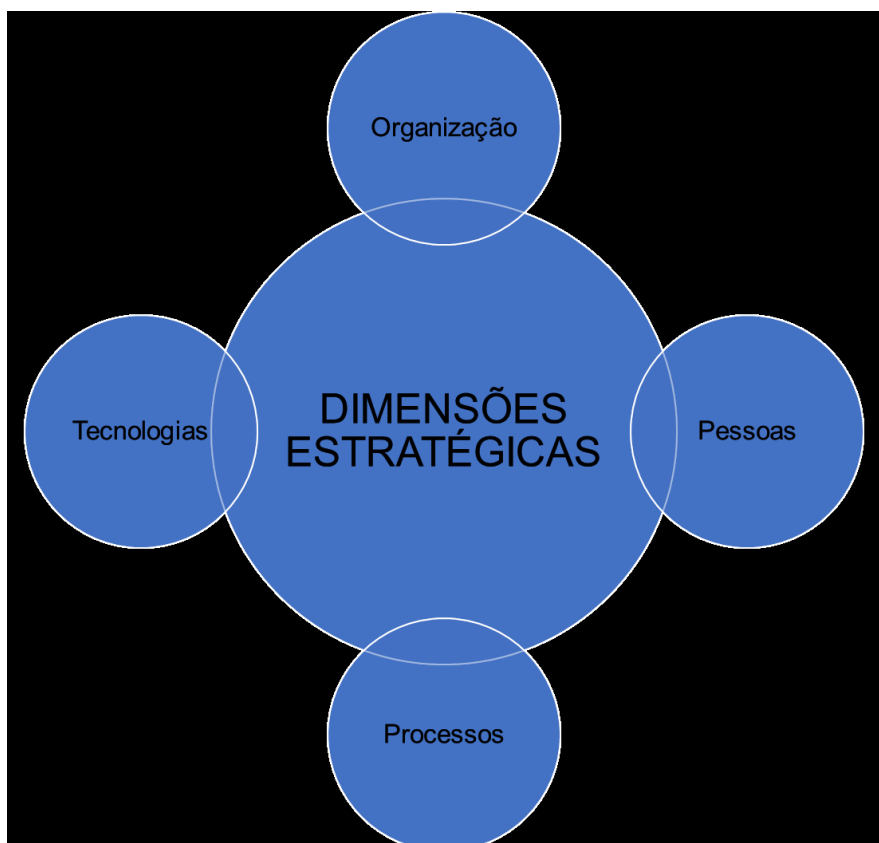
Projeto	Atualmente	Possível solução	Benefícios
Fabricação de protótipos	<ul style="list-style-type: none"> • Métodos tradicionais, como fresamento, torneamento e corte plano convencional; 	<ul style="list-style-type: none"> • Impressão 3D. 	<ul style="list-style-type: none"> • Peças termoplásticas leves e resistentes, com repetibilidade de propriedades mecânicas; • Benefícios técnicos, de qualidade, flexibilidade e agilidade; • Menores custos;
Controle de estoque	<ul style="list-style-type: none"> • Esforço elevado para conferência no recebimento da mercadoria e inspeção de qualidade; • Uso de planilhas manuais, que acaba induzindo ao erro humanos e à inserção de informações imprecisas do estoque. 	<ul style="list-style-type: none"> • Etiqueta RFID em cada produto que entra no estoque; • Dados armazenados na nuvem para conferência; • Na saída do produto um leitor medirá a etiqueta e pode conferir qual produto está saindo, para onde será enviado, uso e aplicação. • Quando restarem poucas unidades, um alarme pode ser acionado, indicando a necessidade de aquisição de novos produtos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aumento de produtividade direta; • Facilidade para realizar inventário; • Redução de estoque; • Redução de custos; • Facilitar os trâmites de recebimento das mercadorias; • Segurança aos dados.

Fonte: Autor (2017).

4.10.3 Capacitações

Para implementar estes projetos, é necessário considerar quatro dimensões estratégicas, conforme Figura 13, consideradas facilitadores da Indústria 4.0.

Figura 13 – Dimensões estratégicas consideradas na I4.0



Fonte: Autor (2017).

Organização:

- Passo 1: mudar a cultura enraizada de setores da empresa que envolvem controles físicos de produção (com papéis e formulários, por exemplo), digitalizando esses sistemas;
- Passo 2: investir em infraestrutura de TI, principalmente em banda larga e rede móvel, pois, como visto, a internet é o centro desta transformação;
- Passo 3: desenvolver uma área de TI ágil, que possa responder com flexibilidade a demandas de negócios, melhorando continuamente os serviços.

Pessoas:

- Passo 1: desenvolver estratégias para atrair pessoas com as competências digitais adequadas;
- Passo 2: introduzir novas funções e atualizar o perfil dos profissionais atuais, considerando novas competências digitais.
- Passo 3: treinamentos para atender necessidades específicas;

Processos:

- Passo 1: otimizar os processos industriais, transformando-os cada vez mais ágeis e flexíveis;
- Passo 2: garantir a segurança de dados.

Tecnologias:

- Passo 1: implantar novas tecnologias necessárias é fundamental para o desenvolvimento da Indústria 4.0, começando inicialmente por aquelas relacionadas aos projetos-pilotos selecionados. Desta maneira, as tecnologias discutidas anteriormente, como Big Data, computação na nuvem, CPS e IoT entram nesta etapa com o objetivo de otimizar os processos industriais.
- Passo 2: desenvolver programas de prospecção tecnológica dentro do ambiente industrial;
- Passo 3: realizar intercâmbio tecnológico e comercial, principalmente com empresas líderes nessas tecnologias.

Seguindo estas três etapas acima descritas, entende-se um início para formação de um ambiente inovador nos moldes do que a Indústria 4.0 propõe, ressaltando a importância de cada uma das quatro capacitações necessárias para este desenvolvimento.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No limiar de uma nova revolução industrial, na qual as redes digitais estão relacionadas as redes operacionais de uma fábrica inteligente, buscou-se melhor compreender a Indústria 4.0 e elaborar, baseado na literatura, um modelo de implantação para indústrias do setor automotivo.

Para isso, inicialmente, adotou-se uma metodologia de estudo que fosse capaz de selecionar os melhores materiais bibliográficos concernindo este tema. Neste contexto, a metodologia de Vasconcelos (2012) foi fundamental para iniciar este trabalho, permitindo selecionar um portfólio bibliográfico capaz de atender as necessidades de desenvolvimento das demais etapas.

Com a realização da análise bibliométrica, tornou-se possível evidenciar os autores, centros de pesquisa, periódicos e palavras-chave de maior destaque no portfólio bibliográfico, a fim de compreender suas influências na Indústria 4.0.

Desta maneira, observou-se, por exemplo, que *Procedia Manufacturing* é o periódico mais relevante nesta área, bem como Jiafu Wan, Di Li e Shiyong Wang, chineses, da *South China University of Technology*, são os autores com maior número de publicações no portfólio bibliográfico. É necessário ressaltar que estes autores são filiados à *School of Mechanical and Automotive Engineering*, ou seja, um centro de engenharia mecânica e automotiva, mostrando mais uma vez a importância deste setor nos estudos relacionados. Ainda nesta etapa, autores alemães se destacaram com mais de 35% das publicações totais, fortalecendo o país como berço de desenvolvimento da Indústria 4.0.

O constructo teórico foi formado com base, principalmente, na literatura previamente selecionada, permitindo destacar as principais características que envolvem esta nova revolução industrial. Histórico da indústria, surgimento da Indústria 4.0, conceitos envolvidos, programas paralelos, tecnologias-chaves e aplicações reais foram apresentadas, procurando-se entender melhor as implicações e oportunidades que este modelo propõe.

Com isso, tornou-se possível elaborar algumas sugestões de implantação que englobasse três vertentes: um planejamento estratégico sólido, capaz de promover uma auto avaliação industrial e as estratégias necessárias para alcançar metas futuras; algumas propostas de projetos a serem implementados, baseados em algumas necessidades mais comuns da indústria e os benefícios esperados; e as mudanças organizacionais, considerando infraestrutura, pessoas, processos e tecnologias necessárias para esta migração de indústria tradicional para Indústria 4.0, como muitos autores denominam.

Algumas dificuldades foram limitantes durante todas as etapas descritas, principalmente a impossibilidade de acesso à diversos artigos relacionados ao tema, com a exclusão de 151 artigos nesta filtragem, impedindo análises mais precisas. Além disso, o fato de poucas organizações estarem funcionando como modelos de Indústria 4.0 e o difícil acesso a indústrias automotivas impediram a elaboração de um modelo mais prático, tendo todo este desenvolvimento baseado exclusivamente na literatura. Por fim, por ter destacado diversas vezes que esta é uma área de estudos recentes, ainda não foi possível encontrar trabalhos direcionados completamente à indústria automotiva.

Como sugestão de trabalhos futuros, recomenda-se realização de conversas diretamente com profissionais desta área de estudo, buscando executar uma análise mais prática desta revolução industrial. Já com relação à análise bibliométrica, pode-se determinar necessária uma atualização nos próximos anos destes índices de avaliação de periódicos, autores, datas, nacionalidades, entre outros, pois é sensato analisar a mudança e o progresso por se tratar de uma nova área de estudos, servindo também como base de comparação para outros trabalhos que possam surgir.

Por fim, este constructo teórico elaborado serve como base para diversos outros trabalhos, já que apresenta uma síntese de diversos tópicos essenciais para o entendimento deste tema. Além disso, a utilização do portfólio bibliográfico selecionado também servirá para a elaboração de futuros trabalhos, pois apresenta o que há de mais relevante publicado e a disposição para pesquisa.

REFERÊNCIAS

ACCENTURE. **The growth game-changer**: how the industrial internet of things can drive progress and prosperity. 2015. Disponível em: <https://www.accenture.com/_acnmedia/Accenture/Conversion-Assets/DotCom/Documents/Global/PDF/Dualpub_18/Accenture-Industrial-Internet-Things-Growth-Game-Changer.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2017.

AIRES, Regina Wundrack do Amaral; MOREIRA, Fernanda Kempner; FREIRE, Patricia de Sá. Indústria 4.0: competências requeridas aos profissionais da quarta revolução industrial. In: VII Congresso Internacional de Conhecimento e Inovação, 2017, Foz do Iguaçu, PR. **Anais...** Foz do Iguaçu: Proceeding Ciki, 2017. Disponível em: <<http://proceeding.ciki.ufsc.br/index.php/ciki/article/view/314/153>>. Acesso em: 13 out. 2017.

ANDRADE, Fabiana Souza de. **Análise bibliométrica da produção científica de pesquisadores e referências de um periódico da engenharia de produção**. 2012. 64 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS. 2012.

ANFAVEA – ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS FABRICANTES DE VEÍCULOS AUTOMOTORES. **Anuário da indústria automobilística brasileira**. 2017. Disponível em: <<http://www.virapagina.com.br/anfavea2017/#12>>. Acesso em: 17 abr. 2017.

ARAÚJO, Carlos Alberto. Bibliometria: evolução histórica e questões atuais. **Em Questão**, Porto Alegre, RS, v. 12, n. 1, p. 11-32, 2006.

BAENA, Felipe *et al.* Learning Factory: The Path to Industry 4.0. **Procedia Manufacturing**, v. 9, p. 73-80, 2017.

BARDIN, Laurence. **Análise de conteúdo**. Lisboa, Portugal. Edições 70, 1977.

BMBF – FEDERAL MINISTRY OF EDUCATION AND RESEARCH. **The new High-Tech Strategy Innovations for Germany**. Berlim, 2014. Disponível em: <https://www.bmbf.de/pub/HTS_Broschuere_eng.pdf>. Acesso em: 13 out. 2017.

BRETTEL, Malte. How virtualization, decentralization and network building change the manufacturing landscape: An Industry 4.0 Perspective. **International Journal of Information and Communication Engineering**, v. 8, n. 1, p. 37-44, 2014.

CARDOSO, Manuel. **A nova revolução industrial: A Industria 4.0**. 2016. Disponível em: <<http://maptechnology.com.br/pt-br/node/181>>. Acesso em: 10 abr. 2017.

CISCO. **The Internet of Everything: Global Public Sector Economic Analysis**. 2013. Disponível em: <http://internetofeverything.cisco.com/sites/default/files/docs/en/ioe_value_at_stake_public_sector%20_analysis_faq_121913final.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2017.

CISCO. **The Internet of Everything: Global Public Sector Economic Analysis**. 2013. Disponível em: <http://internetofeverything.cisco.com/sites/default/files/docs/en/ioe_value_at_stake_public_sector%20_analysis_faq_121913final.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2017.

CNBC – CONSUMER NEWS AND BUSINESS CHANNEL. **A decade to mass extinction event in S&P 500**. 2014. Disponível em: <<http://www.cnbc.com/2014/06/04/15-years-to-extinction-sp-500-companies.html>>. Acesso em: 10 abr. 2017.

CNI – CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Desafios para Indústria 4.0 no Brasil**. Brasília, DF, 2016. Disponível em: <<http://www.pedbrasil.org.br/ped/artigos/079F8BA3E7E5281B.0%20no%20Brasil.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2017.

DELLA BRUNA JUNIOR, Emílio; ENSSLIN, Leonardo; ENSSLIN, Sandra Rolim. Seleção e análise de um portfólio de artigos sobre avaliação de desempenho na cadeia de suprimentos. **GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, Bauru, SP, v. 7, n. 1, p. 113-125, 2012.

ENDEAVOR BRASIL. **Indústria 4.0: as oportunidades de negócio de uma revolução que está em curso**. Disponível em: <<https://endeavor.org.br/industria-4-0-oportunidades-de-negocio-de-uma-revolucao-que-esta-em-curso/>>. Acesso em: 12 out. 2017.

ENSSLIN, Leonardo; ENSSLIN, Sandra Rolim; PINTO, Hugo de Moraes. Processo de investigação e análise bibliométrica: avaliação da qualidade dos serviços bancários. **RAC**, Rio de Janeiro, RJ, v. 17, n. 3, p. 325-349, 2013.

HAHN, José R. **Entrevista**. [18 de março, 2017]. Joinville: Diário Catarinense. Entrevista concedida a Estela Benetti. Disponível em: <<http://dc.clicrbs.com.br/sc/colunistas/estela-benetti/noticia/2017/03/no-brasil-acreditamos-que-neste-ano-a-internet-industrial-vai-sair-do-papel-diz-presidente-da-abii-9751340.html>>. Acesso em: 04 abr. 2017.

HARTMANN, Ernst A.; BOVENSCHULTE, Marc. Skills needs analysis for “Industry 4.0” based on roadmaps for smart systems. In: SKOLKOVO Moscow School of Management & International Labour Organization, 2013, Moscow, Russia, **Anais...** Moscow: Skolkovo, 2013, p. 24-37. Disponível em: <<https://www.iit-berlin.de/en/publications/skills-needs-analysis-for-201cindustry-4-0201d-based-on-roadmaps-for-smart-systems>>. Acesso em: 12 out. 2017.

HERMANN, Mario; PENTEK, Tobias; OTTO, Boris. Design principles for Industrie 4.0 scenarios. In: 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS), 2016, Havaí, Estados Unidos, **Anais...** Havaí: IEEE, 2016, p. 3928-3937. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7427673/>>. Acesso em: 13 out. 2017.

HOZDIĆ, Elvis. Smart factory for Industry 4.0: a review. **International Journal of Modern Manufacturing Technologies**, v. 7, n. 1, p. 28-35, 2015.

JAIN, Anil. **The 5 Vs of Big Data**. New York, Estados Unidos, 2016. Disponível em: <<https://www.ibm.com/blogs/watson-health/the-5-vs-of-big-data/>>. Acesso em: 02 nov. 2017.

KAGERMANN, Henning; WAHLSTER, Wolfgang; HELBIG, Johannes. **Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0**: Final report of the Industrie 4.0 Working Group. Frankfurt, Alemanha, 2013, 82p.

KHAN, Ateeq; TUROWSKI, Klaus. A perspective on Industry 4.0: from challenges to opportunities in production systems. **Proceedings of the International Conference on Internet of Things and Big Data**, Roma, Itália, v. 1, p. 441-448, 2016.

LACERDA, Rogério Tadeu de Oliveira; ENSSLIN, Leonardo; ENSSLIN, Sandra Rolim. Uma análise bibliométrica da literatura sobre estratégia e avaliação de desempenho. **Gestão & Produção**, São Carlos, SP, v. 19, n. 1, p. 59-78, 2012.

LASI, Heiner *et al.* Industry 4.0. **Business & Information Systems Engineering**, v. 6, n. 4, p. 239-242, 2014.

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.

LU, Yang. Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues. **Journal of Industrial Information Integration**, v. 6, p. 1-10, 2017.

LYDON, Bill. Industry 4.0: Intelligent and flexible production. **InTech Magazine**, n. 3, p. 1-5, 2016.

MCKINSEY. **Unlocking the potential of the internet of things**. 2015. Disponível em: <<http://www.mckinsey.com/businessfunctions/business-technology/our-insights/the-internet-of-things-the-value-of-digitizing-the-physical-world>>. Acesso em: 18 abr. 2017.

MELL, Peter; GRANCE, Timothy. **The NIST Definition of Cloud Computing**. Gaithersburg, Estados Unidos, 2011.

MENDES, Cleiton Rodrigues; SIEMON, Franz Biondi; CAMPOS, Milena Monteagudo de. Estudos de caso da indústria 4.0 aplicados em uma empresa automobilística. **POSGERE**, São Paulo, SP, v. 1, n. 4, p. 15-25, 2017.

MIKAWA, Susumu. Industrie 4.0 and the Latest Trends in Monozukuri Innovation in the Auto Industry. **NEC Technical Journal**, v. 10, n. 1, p. 28-32, 2015.

MONOSTORI, Laszlo. *et al.* Cyber-physical systems in manufacturing. **CIRP Annals - Manufacturing Technology**, v. 65, n. 2, p. 621-641, 2016.

PARLAMENTO EUROPEU. **Industry 4.0**: Digitalisation for productivity and growth. 2015. Disponível em: <[http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2015/568337/EPRS_BRI\(2015\)568337_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/BRIE/2015/568337/EPRS_BRI(2015)568337_EN.pdf)>. Acesso em: 29 set. 2016

PIRES, Francisco. **Gerenciamento da cadeia de suprimentos**: tendências da indústria automobilística brasileira. 2003. Disponível em: <<http://www.ilos.com.br/web/gerenciamento-da-cadeia-de-suprimentos-tendencias-da-industria-automobilistica-brasileira/>>. Acesso em: 01 nov. 2017.

PIZZINI, Karina. Da Alemanha ao Brasil: Siemens investe na digitalização e fomenta debate sobre a indústria 4.0 no Brasil. **Manufatura em foco**, v. 26, p. 10-16, 2016.

PLATTFORM INDUSTRIE 4.0. **Autonomous Floor Roller**. 2017a. Disponível em: <<http://www.plattform-i40.de/I40/Redaktion/EN/Use-Cases/207-autonomous-floor-roller/article-autonomous-floor-roller.html>>. Acesso em: 27 out. 2017.

_____. **Industrie 4.0 at Homburg**. 2017b. Disponível em: <<http://www.plattform-i40.de/I40/Redaktion/EN/Use-Cases/218-production-rules-configurator/article-production-rules-configurator.html>>. Acesso em: 27 out. 2017.

PORTER, Alan L. How “tech mining” can enhance R&D management. **Research Technology Management**, v. 50, n. 2, p. 15-20, 2007.

PwC. **Indústria 4.0**: Digitização como vantagem competitiva no Brasil. 2016. Disponível em: <<https://www.pwc.com.br/pt/publicacoes/servicos/assets/consultoria-negocios/2016/pwc-industry-4-survey-16.pdf>>. Acesso em: 02 nov. 2017.

ROBLEK, Vasja; MEŠKO, Maja; KRAPEŽ, Alojz. A complex view of Industry 4.0. **SAGE Journal**, v. 6, n. 2, p. 1-11, 2016.

ROLAND BERGER. **THINK ACT Automotive 4.0**. Michigan, Estados Unidos. Beyond Mainstream, 2015.

RUSCHEL, Henrique; ZANOTTO, Mariana Susan; MOTA, Wélton Costa da. **Computação em Nuvem**. Curitiba/PR, Brasil, 2010. Disponível em: <<https://www.ppgia.pucpr.br/~jamhour/RSS/TCCRSS08B/Welton%20Costa%20da%20Mota%20-%20Artigo.pdf>>. Acesso em: 01 nov. 2017.

SANTOS, Raimundo Nonato Macedo; ALCÂNTARA-ELIEL, Regiane; ELIEL, Oscar. A ciência e o novo estado do conhecimento: a contribuição da Ciência da Informação. **Ci. Inf.**, Florianópolis, SC, v. 11, n. 22, p. 16-29, 2006.

SCHÜTTE, Georg. **Industrie 4.0**. In: Integrated Research Agenda Cyber Physical Systems, 2012, Berlim. Disponível em: <https://www.bmbf.de/pub/reden/sts_20120412.pdf>. Acesso em: 11 ago. 2017

SHAFIQ, Syed Imran. *et al.* Virtual Engineering Object (VEO): toward experience-based design and manufacturing for Industry 4.0. **Cybernetics and Systems**, v. 46, n. 1-2, p. 35-50, 2015.

SIEMENS. **Amberg**. 2015. Disponível em:
<https://www.siemens.com/press/pool/de/pressebilder/2015/corporate/2015-02-Amberg/300dpi/IM2015020439CO_300dpi.jpg>. Acesso em: 02 nov. 2017.

_____. **Símbolo da nova revolução industrial**, fábrica completa 25 anos como a melhor e mais eficiente da Alemanha. 2014. Disponível em:
<<http://w3.siemens.com.br/home/br/pt/cc/imprensa/pages/simbolo-da-nova-revolucao-industrial-fabrica-completa-25-anos-como-a-melhor-e-mais-eficiente-da-alemanha.aspx>>. Acesso em: 02 nov. 2017.

SILVA, Débora. **O papel da cloud na indústria 4.0**. 2017a. Disponível em:
<<http://www.logiquesistemas.com.br/blog/cloud-na-industria-4-0/>>. Acesso em: 15 out. 2017.

_____. **Big Data na Indústria 4.0**. 2017b. Disponível em:
<<http://www.logiquesistemas.com.br/blog/big-data-na-industria-4-0/>>. Acesso em: 15 out. 2017.

SISTEMA FIRJAN. **Indústria 4.0**. Cadernos SENAI de Inovação, Rio de Janeiro, RJ, 2016a. Disponível em: <<http://www.firjan.com.br/publicacoes/publicacoes-de-inovacao/industria-4-0-1.htm>>. Acesso em: 07 jun. 2017.

_____. **Indústria 4.0: Internet das Coisas**. Cadernos SENAI de Inovação, Rio de Janeiro, RJ, 2016b. Disponível em:
<<http://www.firjan.com.br/publicacoes/publicacoes-de-inovacao/industria-4-0.htm>>. Acesso em: 27 out. 2017.

SOUZA JÚNIOR, Marcílio Barbosa Mendonça de; MELO, Marcelo Soares Tavares de; SANTIAGO, Maria Eliete. A análise de conteúdo como forma de tratamento dos dados numa pesquisa qualitativa em Educação Física escolar. **Movimento**, Porto Alegre, RS, v. 16, n. 03, p. 31-49, 2010.

TAURION, Cezar. **Computação em Nuvem: Transformando o mundo da tecnologia da informação**. Rio de Janeiro/RJ, Brasil. Brasport, 2009.

THE ECONOMIST. **Adidas's high-tech factory brings production back to Germany**. 2017. Disponível em:
<<https://www.economist.com/news/business/21714394-making-trainers-robots-and-3d-printers-adidass-high-tech-factory-brings-production-back>>. Acesso em: 28 out. 2017.

THOBEN, Klaus-Dieter; WIESNER, Stefan Alexander; WUEST, Thorsten. "Industrie 4.0" and Smart Manufacturing – a review of research issues and application examples. **International Journal of Automation Technology**, v. 11, n. 1, p. 4-17, 2017.

THOMSON REUTERS. **Journal Citation Reports®**: Suportado pelo ISI Web of Knowledges. 2009. Disponível em: <http://www.caism.unicamp.br/PDF/Journal_Citation_Reports_JCR_Tutorial.pdf>. Acesso em: 16 nov. 2017.

URBIZAGASTEGUI, Ruben. A produtividade dos autores sobre a Lei de Lotka. **Ci. Inf.**, Brasília, DF, v. 37, n. 2, p. 87-102, 2008.

VASCONCELOS, Alexandre Meira de. **Dimensões e componentes de análise para avaliação da qualidade em serviços turísticos no brasil**. 2012. 80 p. Projeto de qualificação (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC. 2012.

WAN, Jiafu *et al.* Advances in cyberphysical systems research. **KSII Transactions on Internet and Information Systems**, v. 5, p. 1891-1908, 2011.

WRIGHT, James Terence Coulter; SPERS, Renata Giovinazzo. O país no futuro: aspectos metodológicos e cenários. **Estudos Avançados**, São Paulo, SP, v. 20, n. 56, p. 13-28, 2006.

XU, Xun. **From cloud computing to cloud manufacturing**. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, v. 10, n. 1, p. 75-86, 2012.

YOSHIDA, Nelson D. Análise bibliométrica: um estudo aplicado à previsão tecnológica. **Future Studies Research Journal**, v. 2, n. 1, p. 52-84, 2010.

ZHOU, Keliang; LIU, Taigang; ZHOU, Lifeng. Industry 4.0: Towards future industrial opportunities and challenges. In: 12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, 2015, Zhangjiajie, China. **Anais... Zhangjiajie: IEEE Xplore**, 2016. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7382284>>. Acesso em: 12 out. 2017.

APÊNDICE A – Classificação dos artigos

	Aderência aos objetivos: apresenta estudos de dificuldades, tendências, novidades da Indústria 4.0, cases aplicados, entre outros.	Contribuição para a pesquisa: considera resultados, originalidade e relevância acadêmica.	Robustez do aporte teórico: considera quantidade e qualidade.	Relação com Setor Automotivo. (3 pontos)	TOTAL
“Industrie 4.0” and smart manufacturing-a review of research issues and application examples	3	3	3	0	9
A Complex View of Industry 4.0	3	3	3	0	9
A new era	3	3	3	0	9
A Novel Approach for Teaching IT Tools within Learning Factories	3	3	3	0	9
A Perspective on Industry 4.0: From Challenges to Opportunities in Production Systems	3	3	3	0	9
A review of industrial wireless networks in the context of Industry 4.0	2	1	2	0	5
About the importance of autonomy and digital twins for the future of manufacturing	1	1	1	0	3
Agile Factory - An Example of an Industry 4.0 Manufacturing Process	2	1	2	0	5
Analysis of implementation of an automated process in a footwear company: A case study by the optic of the hyundai production system and industry 4.0	3	3	2	0	8
Applications of artificial intelligence in intelligent manufacturing: a review	1	2	1	0	4
Big data in manufacturing: a systematic mapping study	1	1	1	0	3
Challenges and trends in manufacturing measurement technology - The "industrie 4.0" concept	3	1	1	0	5
China's manufacturing locus in 2025: With a comparison of "Made-in-China 2025" and "Industry 4.0"	2	3	3	0	8
Clusters and Industry 4.0-do they fit together?	3	2	2	0	7
Coming to a Factory Near You: Industry 4.0	1	1	1	0	3
Connecting the smart factory	1	1	1	0	3
Critical Competencies for the Innovativeness of Value Creation Champions: Identifying Challenges and Work-integrated Solutions	1	3	3	0	7
Cyber-physical systems in manufacturing	2	2	1	0	5
Design for product and service innovation in industry 4.0 and emerging smart society	2	3	3	0	8
DESIGN MANAGEMENT AS A DOMAIN OF SMART AND SUSTAINABLE ENTERPRISE: BUSINESS MODELLING FOR INNOVATION AND SMART GROWTH IN INDUSTRY 4.0	2	3	3	0	8
Designing a 'concept of operations' architecture for next-generation multi-organisational service networks	1	1	1	0	3
Digital innovation and the fourth industrial revolution: epochal social changes?	2	2	2	0	6
Digitalisation and employment in manufacturing: Pace of the digitalisation process and impact on employment in advanced Italian manufacturing companies	2	2	2	0	6
Digitalisation and the regulation of work: theoretical issues and normative challenges	3	3	2	0	8
Digitization of industrial work: development paths and prospects	2	2	2	0	6
Do Web 4.0 and Industry 4.0 Imply Education X.0?	1	1	1	0	3
DOES INDUSTRY 4.0 INFLUENCE EFFICIENCY OF FINANCIAL MANAGEMENT OF A COMPANY?	2	2	2	0	6

	Aderência aos objetivos: apresenta estudos de dificuldades, tendências, novidades da Indústria 4.0, cases aplicados, entre outros.	Contribuição para a pesquisa: considera resultados, originalidade e relevância acadêmica.	Robustez do aporte teórico: considera quantidade e qualidade.	Relação com Setor Automotivo. (3 pontos)	TOTAL
Economic language and economy change: with implications for cyber-physical systems	1	1	1	0	3
Empowering User Interfaces for Industrie 4.0	3	3	3	0	9
Energy-Efficient Through-Life Smart Design, Manufacturing and Operation of Ships in an Industry 4.0 Environment	3	1	1	0	5
Engineering the smart factory	2	2	2	0	6
Enhancing process control in industry 4.0 scenarios using Cyber-Physical systems	1	1	1	0	3
External knowledge and information technology: Implications for process innovation performance	1	1	1	0	3
Factories of the future: challenges and leading innovations in intelligent manufacturing	2	1	1	0	4
Guest Editorial Industry 4.0-Prerequisites and Visions	3	3	3	0	9
Heavyweight for industry 4.0	1	1	1	0	3
Helping to shape industry 4.0	1	1	1	0	3
How to cope with the global value chain: Lessons from Italian automotive suppliers	3	3	3	0	9
Human-CPS Interaction - requirements and human-machine interaction methods for the Industry 4.0	1	1	1	0	3
Implementation of a Learning Environment for an Industrie 4.0 Assistance System to Improve the Overall Equipment Effectiveness	1	2	1	0	4
Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook	2	3	3	0	8
Indústria 4.0 aponta caminhos para chegar à fábrica do futuro	2	2	2	0	6
Industrial engineering curriculum in industry 4.0 in a South African context	3	2	2	0	7
Industrial operations supporting industry 4.0	3	3	2	0	8
Industrial revolution - Industry 4.0: Are German manufacturing SMEs the first victims of this revolution?	2	3	3	0	8
Industrie 4.0 and the latest trends in Monozukuri innovation in the auto industry	3	3	3	3	12
Industrie 4.0: Hit or Hype?	2	2	2	0	6
Industry 4.0	3	3	3	0	9
Industry 4.0 – An Introduction in the phenomenon	2	2	2	0	6
Industry 4.0 and the current status as well as future prospects on logistics	2	3	3	0	8
Industry 4.0 as a Cyber-Physical System study	1	1	1	0	3
Industry 4.0 implies lean manufacturing: Research activities in industry 4.0 function as enablers for lean manufacturing	2	3	3	0	8
Industry 4.0 learning factory didactic design parameters for industrial engineering education in South Africa	2	2	2	0	6
INDUSTRY 4.0. THE END LEAN MANAGEMENT?	2	1	2	0	5

	Aderência aos objetivos: apresenta estudos de dificuldades, tendências, novidades da Indústria 4.0, cases aplicados, entre outros.	Contribuição para a pesquisa: considera resultados, originalidade e relevância acadêmica.	Robustez do aporte teórico: considera quantidade e qualidade.	Relação com Setor Automotivo. (3 pontos)	TOTAL
Industry 4.0: A major opportunity and the response to the smart factory	1	1	1	0	3
Industry 4.0: A review on industrial automation and robotic	1	1	2	0	4
Industry 4.0: A survey on technologies, applications and open research issues	3	3	3	0	9
Industry 4.0: Implications for the Asia pacific Manufacturing Industry	2	2	2	0	6
Industry 4.0: Intelligent and flexible production	3	3	3	0	9
Industry 4.0: Making the first move	3	3	3	0	9
Industry 4.0: Towards Future Industrial Opportunities and Challenges	3	3	3	0	9
Industry 4.0: Who benefits?	2	1	1	0	4
Innovation in supply chains - Solving the agency dilemma in supply networks by using industry 4.0 technologies	2	3	2	0	7
Innovation process in the automobile MNCs: Implications for the role of the international subsidiaries	2	2	2	3	9
Intelligent production systems in the era of industrie 4.0-Changing mindsets and business models	3	3	3	0	9
Lean Automation enabled by Industry 4.0 Technologies	3	3	3	0	9
Lean Intelligent Production System and Value Stream Practice	2	2	2	0	6
Learning Factory: The Path to Industry 4.0	3	3	3	0	9
Learning in the AutFab – The Fully Automated Industrie 4.0 Learning Factory of the University of Applied Sciences Darmstadt	3	2	3	0	8
Machine Tool 4.0 for the new era of manufacturing	2	2	2	0	6
Making existing production systems Industry 4.0-ready: Holistic approach to the integration of existing production systems in Industry 4.0 environments	3	3	2	0	8
Making Sense of Manufacturing Data	2	1	1	0	4
Manufacturing and the Cloud	2	2	2	0	6
Manufacturing Information Bus from the Perspective of Cyber Physical Manufacturing System (CPMS)	1	1	1	0	3
Maximizing Smart Factory Systems by Incrementally Updating Point Clouds	2	2	2	2	8
Measurement of Operator-machine Interaction on a Chaku-chaku Assembly Line	1	2	1	0	4
Mobile services for customization manufacturing systems: An example of industry 4.0	2	1	2	0	5
NEW LOGISTICS AND PRODUCTION TRENDS AS THE EFFECT OF GLOBAL ECONOMY CHANGES	2	1	1	0	4
Operational Excellence towards Sustainable Development Goals through Industry 4.0	1	1	1	0	3
Past, present and future of Industry 4.0 - a systematic literature review and research agenda proposal	3	3	3	0	9
Process improvement trends for manufacturing systems in industry 4.0	2	3	3	0	8
PROJECT MANAGEMENT FOR INCREASING LOGISTICS PRODUCTIVITY IN DIRECTION OF INDUSTRY 4.0	2	2	2	0	6
Reference model of Industrie 4.0 service architectures: Basic concepts and approach	1	2	1	0	4

	Aderência aos objetivos: apresenta estudos de dificuldades, tendências, novidades da Indústria 4.0, cases aplicados, entre outros.	Contribuição para a pesquisa: considera resultados, originalidade e relevância acadêmica.	Robustez do aporte teórico: considera quantidade e qualidade.	Relação com Setor Automotivo. (3 pontos)	TOTAL
Reindustrialization: A challenge to the economy in the first quarter of the twenty-first century	3	3	2	0	8
Research on design of the smart factory for forging enterprise in the industry 4.0 environment	1	1	1	0	3
Schedule coordination in cyber-physical supply networks Industry 4.0	1	1	1	0	3
Semantic Degrees for Industrie 4.0 Engineering Deciding on the Degree of Semantic Formalization to Select Appropriate Technologies	1	1	1	0	3
Smart factory for industry 4.0: A review	3	3	3	0	9
Smart Industry: How ICT Will Change the Game!	1	1	1	0	3
Smart manufacturing: Past research, present findings, and future directions	3	2	3	0	8
Society. Personality. Technologies: Social Paradoxes of industry 4.0	2	1	1	0	4
Software-Defined Industrial Internet of Things in the Context of Industry 4.0	1	1	1	0	3
Special Issue on Future Digital Design and Manufacturing: Embracing Industry 4.0 and Beyond	1	1	1	0	3
Stakeholder integration for the successful product-process co-design for next-generation manufacturing technologies	1	2	1	0	4
Strategic factor analysis for industry 4.0	3	2	2	0	7
Supply chain wide transformation of traditional industry to industry 4.0	3	3	3	0	9
Sustainability aspects of a digitalized industry – A comparative study from China and Germany	2	3	3	0	8
Sustainable business models and structures for industry 4.0	2	2	2	0	6
Textile Learning Factory 4.0 – Preparing Germany's Textile Industry for the Digital Future	3	3	2	0	8
The Digital Twin: Demonstrating the Potential of Real Time Data Acquisition in Production Systems	1	1	1	0	3
The Digitization of Manufacturing and its Societal Challenges: Framework for the Future of Industrial Labor	3	2	2	0	7
The Economics and Strategy of Manufacturing and the Cloud	1	1	1	0	3
The fourth industrial revolution (industry 4.0): Intelligent manufacturing	1	1	1	0	3
The future of industrial communication: Automation networks in the era of the internet of things and industry 4.0	1	1	1	0	3
The internet information and technology research directions based on the fourth industrial revolution	2	2	2	0	6
The Vision of "Industrie 4.0" in the Making-a Case of Future Told, Tamed, and Traded	3	2	3	0	8
Three stage maturity model in SME's towards industry 4.0	2	2	2	0	6
Towards a lean automation interface for workstations	1	1	1	0	3
Towards smart factory for industry 4.0: a self-organized multi-agent system with big data based feedback and coordination	1	1	1	0	3
Transforming to a Hyper-connected Society and Economy – Towards an "Industry 4.0"	2	2	2	0	6
Transition failure: Understanding continuity in the automotive industry	3	3	3	0	9
Transition towards an Industry 4.0 State of the LeanLab at Graz University of Technology	3	3	3	0	9
When should workers embrace or resist new technology?	1	2	1	0	4

