



A importância da manufatura aditiva como tecnologia digital para a indústria 4.0: uma revisão sistemática

The Importance of Additive Manufacturing as Digital Technology for Industry 4.0: A Systematic Review

Danilo Inácio¹ 

Fabiano Oscar Drozda² 

William de Assis Silva³ 

Marcos Augusto Mendes Marques⁴ 

Robson Seleme⁵ 

Resumo

A indústria 4.0 também conhecida como quarta revolução industrial, possui foco na produção inteligente. Neste contexto, a manufatura aditiva é uma importante tecnologia, pois tem revolucionado a maneira de produzir peças. Essa técnica de processo por adição, estabelece sucessivas camadas de material até atingir a forma desejada. Este artigo foi desenvolvido com objetivo de apresentar uma análise sistemática que identificou artigos científicos que destacam a importância da manufatura aditiva na indústria 4.0. A pesquisa demonstra que publicações relacionadas ao tema são recentes, com crescimento de 2017 a 2019, observou-se características como a relação de autores, periódicos e relevância científica das publicações. Para validar a busca de conhecimento na pesquisa, utilizou-se a metodologia ProKnow-C, que proporciona um procedimento estruturado para revisão. O portfólio bibliográfico encontrado, destaca a versatilidade da manufatura aditiva que desempenha um papel fundamental na indústria 4.0, reduzindo tempo, custos e desperdícios, aumentando eficiência e assim permitindo uma prototipagem rápida.

Palavras-chave: Indústria 4.0; Impressão 3D; Prototipagem rápida; Tecnologia; Digital.

Abstract

Industry 4.0, also known as the fourth industrial revolution, has a focus on smart production. In this context, additive manufacturing is an important technology as it has revolutionized the way we produce parts. This addition technique establishes successive layers of material to the desired shape. This paper was developed to present a systematic analysis that identifies scientific papers that highlight the importance of additive manufacturing in industry 4.0. The research shows that publications related to the topic is recent with growth from 2017 to 2019 observe characteristics such as the relationship of authors, journals and scientific relevance of publications. To validate the search for knowledge in the research, we used the ProKnow-C methodology, which provides a structured review procedure. The bibliographic portfolio found highlights the versatility of additive manufacturing that plays a key role in industry 4.0, reducing time, costs and waste, increasing efficiency and thus enabling rapid prototyping.

Keywords: Industry 4.0; 3D printing; Rapid prototyping; Technology; Digital.

Cite as: (APA)

Inácio, D., Drozda, F. O., Silva, W. A., Marques, M. A. M., & Seleme, R. (2020). Revista Competitividade e Sustentabilidade, 7(3), 653-667.

¹ Universidade Federal do Paraná - UFPR. Brasil. E-mail: danilo.fdklm@gmail.com

² Universidade Federal do Paraná - UFPR. Brasil. E-mail: fabiano.drozda@gmail.com

³ Universidade Federal do Paraná - UFPR. Brasil. E-mail: wiliamdeassis@gmail.com

⁴ Universidade Federal do Paraná - UFPR. Brasil. E-mail: marquesammarcos@gmail.com

⁵ Universidade Federal do Paraná - UFPR. Brasil. E-mail: robsonseleme@hotmail.com

1 INTRODUÇÃO

O termo indústria 4.0 foi mencionado pela primeira vez, na Feira de Hannover, em 2011, na Alemanha, também conhecido como quarta revolução industrial, envolvendo as principais inovações tecnológicas aplicadas aos processos de produção no campo da automação, tecnologias de controle e informação buscando fortalecer a competitividade da indústria manufatureira alemã – Hermann et al. (2016a, citado por Santos et al., 2017). A Indústria 4.0 foi destacada como uma proposta para o desenvolvimento de um novo conceito de política econômica alemã com base em estratégias de alta tecnologia (Mosconi, 2015)

Segundo Zhong et al., (2017) a indústria 4.0 combina tecnologias integradas de sistemas de produção com processos de produção inteligentes para preparar o caminho para uma nova era tecnológica que transformará fundamentalmente as cadeias de valor da indústria, cadeias de valor de produção e modelos de negócios. Vilela et al., (2016) destacam que a coordenação de toda a cadeia reduz consideravelmente os custos, prazos, perdas e danos, melhorando o nível de serviço oferecido. Além disso, a utilização de novas tecnologias resulta em maior nível de desempenho operacional e satisfação dos clientes.

A integração tecnológica também está presente na rotina da sociedade por meio de smartphones, apps, laptops entre outros produtos. De uma forma geral, identifica-se nessas tecnologias oportunidades de: aumento da automação e mecanização nas indústrias; digitalização da manufatura, elaboração de redes integradas por meio de sensores e atuadores para análises e funções de controle e compactação de componentes computacionais (Assad Neto, Pereira, Drozda, & Santos, 2018)

Para aplicação das tecnologias, alguns princípios básicos são necessários no desenvolvimento a partir de sistemas de produção inteligentes, como a capacidade de operação em tempo real; virtualização; descentralização; orientação a serviços e modularidade (Wan et al., 2016). Esta nova era será marcada por processos completos de automação, digitalização e o uso de tecnologias eletrônicas e de informação na fabricação e serviços. O desenvolvimento de tecnologias como a impressão 3D, serviços de vendas on-line, como de veículos, exames médicos, pedidos de alimentos e assim por diante, terão um impacto significativo nas mudanças em pequenas e médias empresas (Sommer, 2015).

Neste contexto, tem-se a impressão 3D ou manufatura aditiva. Essa tecnologia foi apresentada na década de 1980, como um novo processo de fabricação baseado na adição de material. Esse processo pode ser definido como um princípio de fabricação por meio da adição sucessiva de material na forma de camadas, com comandos obtidos diretamente de um sistema computacional, com base na representação geométrica 3D do componente (Volpato, 2017).

Segundo Ngo et al., (2018) a impressão 3D é uma técnica de manufatura aditiva para a fabricação de uma ampla variedade de estruturas e geometrias complexas a partir de dados de modelos tridimensionais, no qual são impressos camadas sucessivas de materiais.

A manufatura aditiva está preparada para provocar uma revolução na forma como os produtos são projetados, fabricados e distribuídos aos usuários finais. Essa tecnologia ganhou significativo interesse acadêmico e de mercado devido à sua capacidade de criar geometrias complexas com propriedades de material personalizáveis (Gao et al., 2015).

Um dos principais impulsionadores da manufatura aditiva para se tornar mais acessível, está atribuído à expiração de patentes anteriores, o que permitiu aos fabricantes, a capacidade de desenvolver novos dispositivos que utilizam a impressão 3D. Desenvolvimentos recentes reduziram o custo de impressoras 3D, expandindo assim, suas aplicações em escolas,

bibliotecas, residências e laboratórios (Ngo et al., 2018).

A manufatura aditiva abrange uma ampla variedade de tecnologias que fabricam produtos camada por camada, sendo esses, objetos tridimensionais, impressos de acordo com a demanda. Algumas das tecnologias de manufatura aditiva mais amplamente utilizadas são FDM (*Fused Deposition Modelling*), SLA (*Stereolithography*), SLM (*Selective Laser Melting*), SLS (*Selective Laser Sintering*) e DLP (*Digital Light Processing*), mas também existem outras tecnologias de impressão 3D como o EBM (*Electron Beam Melting*) e LOM (*Laminated Object Manufacture*) (Petrovic et al., 2011). As impressoras que utilizam a tecnologia FDM são as mais comumente usadas para fabricar compósitos poliméricos (Wang, Jiang, Zhou, Gou, & Hui, 2017).

Independente da tecnologia utilizada as características fundamentais da manufatura aditiva são a redução do número de etapas e processos na fabricação de um objeto, a economia de material e a possibilidade de combinação de inéditas geometrias ou materiais. Para a produção de uma única peça de geometria complexa por meios convencionais, pode ser necessário o emprego de diversas máquinas, ferramentas específicas e diversos processos de usinagem e de acabamento até o produto final, enquanto, que uma máquina de manufatura aditiva pode produzir a peça em uma única etapa ou em um número significativamente menor de etapas (Hopkinson, Hague, & Dickens, 2006).

Com destaque para a manufatura aditiva, o objetivo deste artigo é apresentar uma análise sistemática para identificar os principais artigos científicos relacionados à manufatura aditiva na indústria 4.0, destacando a importância desta tecnologia nesta nova era. Para isso, serão avaliadas etapas como: selecionar as palavras-chave; selecionar as bases de dados; proceder à busca de artigos alinhados ao tema; identificar os artigos relevantes da amostra selecionada; analisar os resultados obtidos com relação à relevância científica, saliência de autores e periódicos de destaque, descrevendo o que os principais artigos destacam em relação à importância da manufatura aditiva na indústria 4.0.

A construção do conhecimento sobre o tema de pesquisa está embasada na metodologia *ProKnow-C* (*Knowledge Development Process – Constructivist*) desenvolvida pelo Laboratório de Metodologias Multicritério em Apoio à Decisão. O processo *ProKnow-C* constitui-se em uma metodologia estruturada em quatro etapas: 1) seleção do portfólio bibliográfico que proporcionará a revisão de literatura; 2) análise bibliométrica do portfólio bibliográfico; 3) análise sistêmica do portfólio bibliográfico; 4) elaboração dos objetivos de pesquisa (Afonso, Souza, Ensslin, & Ensslin, 2011).

A metodologia adotada proporciona obter um portfólio bibliográfico relevante ao tema de pesquisa, que será selecionado sob critérios definidos objetivamente, buscando manter os artigos de maior relevância científica ao tema neste portfólio (Ensslin, Ensslin, Lacerda, & Tasca, 2010).

A estrutura do presente artigo está dividida em cinco seções, sendo esta primeira seção de caráter introdutório em relação ao tema de pesquisa demonstrando o objetivo do trabalho. A segunda, destaca o procedimento metodológico empregado para seleção do portfólio bibliográfico. A terceira, apresenta a aplicação da metodologia com detalhes, evidenciando as etapas para a obtenção da amostra, e a análise bibliométrica realizada. A quarta são as considerações finais destacando as conclusões obtidas com a pesquisa e recomendações para trabalhos futuros, e por fim, a quinta parte que relaciona as referências bibliográficas utilizadas.

2 PROCEDIMENTO METODOLÓGICOS

Na sequência será apresentada a metodológico da pesquisa quanto ao seu enquadramento e a metodologia adotada para atingir os objetivos específicos propostos.

2.1 Metodologia quanto ao seu enquadramento

O enquadramento metodológico da pesquisa caracteriza-se como exploratória, pois se constitui em uma busca de artigos relacionados ao tema, sem finalidade de confirmar alguma hipótese. As coletas foram realizadas em artigos científicos disponibilizados nas bases de dados do Portal da Capes. A revisão sistemática torna a pesquisa quantitativa e qualitativa, devido bibliometria e análise dos artigos selecionados no portfólio bibliográfico.

As amostras foram obtidas utilizando artigos selecionados em quatro bases de dados que possuem maior relação com o tema de pesquisa e maior quantidade de publicações na área, a partir dos quais o procedimento de seleção do portfólio bibliográfico foi aplicado. Este procedimento é parte da metodologia *ProKnow-C* proposta pelo LabMCDA (Laboratório de Metodologias Multicritério em Apoio a Decisão), que estabelece os procedimentos de seleção e análise dos resultados adotados.

2.2 Metodologia para seleção do portfólio bibliográfico

A metodologia *ProKnow-C* utilizada para seleção do portfólio bibliográfico, consiste em uma sequência de procedimentos que se iniciam na definição do mecanismo de busca de artigos científicos, seguindo etapas pré-estabelecidas até atingir a fase de filtro e seleção do portfólio bibliográfico para análise. Na sequência está descrito cada etapa deste processo.

O primeiro passo foi a definição do tema a ser pesquisado, em seguida foi estipulado as palavras-chave para utilização nas plataformas de busca, a fim de encontrar os artigos científicos relacionados ao tema. As palavras-chave selecionadas foram utilizadas de forma isoladas e posteriormente combinadas por possuírem dois eixos principais de pesquisa.

As bases de dados utilizadas como mecanismos de busca de artigos científicos foram selecionadas de acordo com o grau de relevância com o tema, ou seja, as bases com maior consistência em relação ao tema de pesquisa em questão.

Para verificar se as palavras-chave selecionadas estavam adequadas ao tema de pesquisa, foram realizadas dez leituras de artigos, dentre os obtidos na pesquisa, confirmando assim, que as palavras-chave escolhidas estavam adequadas para busca dos artigos científicos. Após a confirmação da adequabilidade das palavras-chave ao tema foi realizada a busca de artigos em cada base de dados selecionada, obtendo-se um banco de dados com artigos bruto. Após essa etapa, os artigos seguem para a fase de filtro, com objetivo de se chegar a um portfólio bibliográfico relevante e reduzido.

Na fase de filtragem do banco de dados que possuem os artigos bruto, a primeira etapa refere-se à exclusão dos artigos repetidos, devido ao processo de busca ter acontecido em quatro bases diferentes. A segunda etapa da fase de filtro consistiu na leitura dos títulos dos artigos, no qual foram descartados parte dos artigos, devido a forma de busca das palavras-chave ser realizadas também nos resumos, incorporando assim, artigos que não tratavam do tema de pesquisa em específico.

Como critério para manutenção dos artigos no banco de dados, a terceira etapa na fase de filtro, consistiu na verificação da relevância científica dos artigos selecionados, através de uma análise crítica realizada primeiramente pela busca da quantidade de citações que cada artigo possui. Esta informação foi adquirida no *Google Scholar*, que apresenta o número de citações de cada artigo fazendo a busca pelo título. De posse desta informação, foi

estabelecido que os artigos com citações foram classificados como artigos com reconhecimento científico confirmado e os não citados como artigos com reconhecimento científico ainda não confirmado. A metodologia *ProKnow-C* recomenda que o pesquisador calcule a representatividade de cada artigo em relação ao banco de artigos completo, considerando o número de citações, e sugere-se um ponto de corte de 85%. No entanto, o tema pesquisado, nesta fase estava com uma pequena quantidade de artigos, sendo assim, não foi adotado essa sugestão de corte.

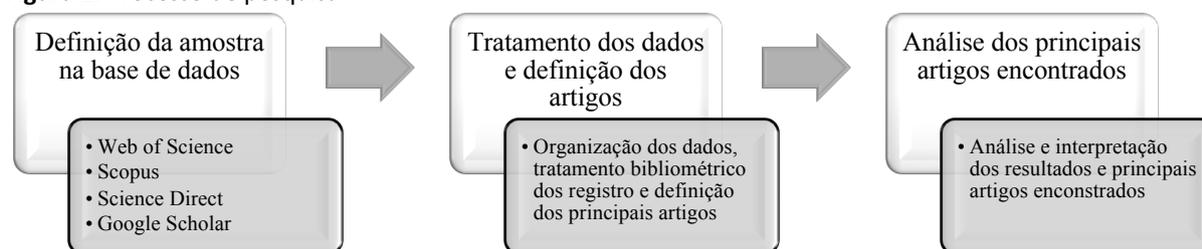
Dos artigos classificados como de reconhecimento científico confirmado, passou-se para a etapa de leitura do resumo, para verificar se o artigo estava alinhado ao tema de pesquisa, definindo assim, os artigos que permanecem ou não no banco de artigos. Após esta seleção foi realizada uma lista dos autores destes artigos, chamada banco de autores.

Para os artigos com relevância científica ainda não confirmada, o primeiro fator considerado foi o ano em que o artigo foi publicado. Foram considerados os artigos dos últimos três anos, que seguiram para a fase de leitura do resumo. Nos artigos mais antigos foram avaliados se algum dos autores faz parte do banco de autores formado anteriormente entre os artigos com relevância científica confirmada. Após esta classificação foram realizadas as leituras dos resumos, mantendo-se assim, apenas os artigos alinhados ao tema de pesquisa.

A última etapa da formação do referencial bibliográfico consistiu na união dos artigos, cuja relevância científica foi verificada com os artigos atuais, na sequência foi verificado a disponibilidade integral dos artigos, pois até este momento foram utilizados somente os resumos. Com isso, os artigos que não estavam disponível integralmente, foram descartados. Para os artigos disponíveis integralmente, procedeu-se a leitura integral, definindo-se o alinhamento com o tema de pesquisa. Os artigos considerados alinhados ao tema permaneceram na relação passando a compor o portfólio bibliográfico no tema de pesquisa.

A presente contribuição dessa pesquisa consiste em uma análise sistemática sobre a manufatura aditiva (impressão 3D), devido a sua importância e sucesso em suas aplicações dentro da indústria 4.0, conhecida também como a quarta revolução industrial. É importante destacar que a análise sistemática da bibliografia não substitui o estudo aprofundado e qualitativo dos textos, dessa forma, os principais artigos encontrados foram analisados detalhadamente. Para o desenvolvimento da pesquisa de acordo com os objetivos descritos na introdução foram estabelecidas três etapas resumidas, conforme ilustrado na figura 1.

Figura 1. Processo de pesquisa



Fonte: Os autores.

3 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A pesquisa em questão seguiu as etapas descritas no item 2 (procedimento metodológicos). Na sequência do trabalho, estão demonstrados em detalhes, os procedimentos e as decisões tomadas na aplicação da metodologia *ProKnow-C* utilizada para atingir os objetivos do trabalho.

3.1 Palavras-chave

O objetivo de nosso trabalho é fazer uma revisão de literatura sobre a importância da manufatura aditiva na indústria 4.0. Entende-se que se trata de dois eixos de pesquisa, sendo assim, foram definidas palavras-chave para ambos os eixos. Para o eixo relativo à manufatura aditiva, foram escolhidas três palavras-chave: *"Additive manufacturing"*, *"3D Printing"*, e *"Rapid prototyping"*. Para seleção das palavras-chave relativas do eixo de indústria 4.0, também foram escolhidas três, tais como: *"industrie 4.0"*, *"industry 4.0"* e *"smart factory"*. Para a definição destas palavras-chave utilizou-se como referência a literatura da área (Lacerda, Ensslin, & Ensslin, 2012)

As buscas por artigos foram realizadas utilizando-se combinações entre as palavras-chave do primeiro e segundo eixos de pesquisa. Com isso, foram realizadas 9 combinações entre ambos os eixos, totalizando 3.033 artigos na soma das bases de dados selecionadas para a pesquisa. As palavras-chaves selecionadas proporcionam as combinações apresentadas no quadro 1.

Quadro 1: Combinações de palavras-chave

EIXOS	COMBINAÇÕES DE PALAVRAS-CHAVE		
	EIXO 1 PALAVRAS-CHAVES	EIXO 2 PALAVRAS-CHAVES	
TERMO ESTUDADO (1)	<i>"Additive Manufacturing"</i>	AND	
OPERADOR BOLEANO	OR		
TERMO ESTUDADO (2)	<i>"3D Printing"</i>		
OPERADOR BOLEANO	OR		
TERMO ESTUDADO (3)	<i>"Rapid prototyping"</i>		
			<i>"Industrie 4.0"</i>
			OR
			<i>"Industry 4.0"</i>
			OR
		<i>"Smart factory"</i>	

Fonte: Os autores.

3.2 Bases de dados de pesquisa

As bases de dados a serem utilizadas para a pesquisa dos artigos primeiramente foram definidas pela adequação do conteúdo da base ao tema e, em seguida, pela quantidade de artigos disponíveis relacionados ao tema de pesquisa. Sendo assim, optou-se por considerar para a composição do portfólio bibliográfico as quatro bases de maior destaque entre os estudos de maior relevância:

Scopus; Web of science; Science Direct e Google scholar.

Para cada uma destas quatro bases de dados foram realizadas as pesquisas, conforme as combinações definidas, entre as palavras-chave de ambos os eixos de pesquisa. A pesquisa foi realizada buscando todos os artigos publicados em periódicos que contivessem as combinações de palavras-chave pesquisadas no título, nas palavras-chave ou no resumo do artigo sem restrição temporal. Na tabela 1 está apresentado os resultados obtidos.

Tabela 1: Quantidade de artigos científicos encontrados nas bases de dados de pesquisa

BASE DE DADOS	WEB OF SCIENCE	SCOPUS	SCIENCE DIRECT	GOOGLE SCHOLAR	TOTAL
ARTIGOS DO EIXO 1	34.711	51.451	36.478	18.800	141.440
ARTIGOS DO EIXO 2	4.172	7.708	1.107	17.200	30.187
COMBINAÇÃO DE ARTIGOS DOS EIXOS 1 E 2	112	211	40	2.670	3.033

Fonte: Os autores.

Fazendo uma comparação entre as bases de dados selecionadas, é possível verificar que a classificação por quantidade de publicações científicas, utilizando para busca, as combinações das palavras-chave descritas anteriormente no quadro 1, temos a seguinte sequência:

(1) *Google Scholar*; (2) *Scopus*; (3) *Science Direct*; (4) *Web of Science*.

Utilizando as bases de dados relacionadas, realizou-se uma análise para identificar o aumento ou declínio de publicações sobre o tema manufatura aditiva relacionada à indústria 4.0, utilizando a combinação de artigos dos Eixos 1 e 2 no percurso temporal de 2014 a 2019. Foram identificados poucos artigos que mencionavam a ideia de manufatura aditiva com indústria 4.0 antecedendo esse período, mesmo 3 anos após o primeiro mencionamento do termo Indústria 4.0 que ocorreu em 2011 na Alemanha, sendo a partir deste ponto, considerado início da quarta revolução industrial.

Para analisar a evolução das publicações dos artigos relacionados ao tema em periódicos, foi verificado inicialmente a quantidade de artigos publicados em cada base de dados, fazendo uma separação por ano considerando artigos publicados a partir de 2014, conforme demonstrado na tabela 2.

Tabela 2: Publicações anuais das bases de dados selecionadas

BASE DE DADOS	NÚMERO DE PUBLICAÇÕES ORDENADAS POR ANO						TOTAL
	ANO DA PUBLICAÇÃO						
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	
WEB OF SCIENCE	0	3	18	23	44	24	112
SCOPUS	0	6	24	24	79	78	211
SCIENCE DIRECT	0	0	3	6	17	14	40
GOOGLE SCHOLAR	87	147	346	572	873	645	2670
TOTAL	87	156	391	625	1013	761	3033

Fonte: Os autores.

Nota-se que as publicações sobre o tema são bastante recentes, com destaque para os três últimos anos com maior contribuição de pesquisas, conforme demonstrado na tabela 2. Cabe destacar que no período em andamento de 2019 provavelmente terá mais

publicações sobre o tema em questão.

A partir desses artigos selecionados, em cada base de dados foram inseridas diferentes formas de filtro, obtendo assim, os artigos específicos para análise, pois em cada base de dados existe um sistema de busca diferenciado para delimitação do tema. No entanto, o objetivo comum para cada base de dados foi o de encontrar artigos mais específicos e direcionados ao tema em questão.

3.3 Processo de filtro das amostras

Em relação aos filtros realizados, o primeiro passo do processo consistiu na identificação e eliminação dos artigos repetidos, etapa na qual reduziu a quantidade de artigos de 3.033 para 2850 artigos. No passo seguinte, que se refere à leitura dos títulos dos artigos com o objetivo de verificar a adequabilidade do artigo ao tema de pesquisa, uma grande parte dos artigos é descartada, e permanecem no processo 52 artigos, que foram considerados alinhados com o tema de pesquisa. Nesta etapa, foram considerados os artigos que tratam do tema mais específico manufatura aditiva voltado para indústria 4.0. Assim, foram descartados os artigos que apenas comentam a manufatura aditiva como um dos pilares, mas sem aprofundamento do estudo.

O processo de filtro por relevância científica dos artigos foi realizado por meio da identificação da quantidade de citações em cada base de dados específica. Com base nas informações obtidas, foi possível calcular a representatividade de cada artigo em relação ao conjunto total. No entanto, devido pequena quantidade de artigos encontrados nesta etapa, não foi estipulado ponto de corte conforme recomendado pela metodologia (85%). Sendo assim, os artigos que tiveram ao menos uma citação foi considerado como de relevância científica confirmada resultando em uma quantidade de 17 artigos que representam 32.7% do banco de artigos atual.

Para verificar o alinhamento dos artigos com o tema de pesquisa, foram feitas as leituras dos resumos dos 17 artigos classificados como de reconhecimento científico. Nesta fase, 6 artigos foram descartados, permanecendo 11 no processo. A partir desses artigos, foram identificados todos os autores, criando um banco de dados de autores para utilização no processo de identificação da relevância científica dos artigos que ainda não possui relevância confirmada.

Os artigos com relevância científica ainda não confirmada (35), inicialmente é avaliado com relação ao tempo de publicação. Artigos publicados a partir de 2017 são direcionados para a leitura do resumo (21), enquanto os artigos mais antigos (14) foram analisados os autores para verificar se um deles compõem o banco de autores formado anteriormente com base na relação de artigos com relevância científica confirmada, neste processo nenhum artigo foi selecionado, sendo os 14 artigos descartados. Com isso, 21 artigos tiveram seus resumos lidos para verificação do alinhamento com o tema de pesquisa, dos quais 7 foram descartados e 14 artigos permaneceram no processo.

Somando os artigos que permaneceram no processo de seleção, obtêm-se 25 artigos no portfólio bibliográfico. Neste momento, verifica-se a disponibilidade do texto de forma integral desses artigos, onde foram identificados 8 artigos cujos textos não estavam disponíveis por completo, sendo estes descartados. Os 17 artigos que permaneceram no processo, seguiram para a fase de leitura integral do texto, onde outros 5 artigos foram descartados por não apresentarem alinhamento direto com o tema de pesquisa. Por fim, chega-se a um portfólio bibliográfico com 12 artigos relacionados ao tema de pesquisa. Estes artigos classificados estão apresentados no quadro 2.

Quadro 2: Portfólio bibliográfico

AUTOR	TÍTULO	ANO	CITAÇÕES
U.M. Dilberoglu; B. Gharehpapagh; U. Yaman; M. Dolen.	<i>The Role of Additive Manufacturing in the Era of Industry 4.0</i>	2017	81
H. Gaub.	<i>Customization of mass-produced parts by combining injection molding and additive manufacturing with Industry 4.0 technologies</i>	2016	42
A. Ceruti; P. Marzocca; A. Liverani; C. Bil.	<i>Maintenance in Aeronautics in an Industry 4.0 Context: The Role of Augmented Reality and Additive Manufacturing</i>	2019	15
B. Chung; S.I. Kim; J.S. Lee.	<i>Dynamic supply chain design and operations plan for connected smart factories with additive manufacturing</i>	2018	4
S. Chong; G.T. Pan; J. Chin; P.L. Show; T.C. Yang; C.M. Huang.	<i>Integration of 3D printing and Industry 4.0 into engineering teaching</i>	2018	2
D. Mazur; A. Paszkiewicz; M. Bolanowski; G. Budzik; M. Oleksy.	<i>Analysis of possible SDN use in the rapid prototyping process as part of the Industry 4.0</i>	2019	2
H.G. Lemu.	<i>On Opportunities and Limitations of Additive Manufacturing Technology for Industry 4.0 Era</i>	2018	1
M. Niemeläa; A. Shia; S. Shirowzhana; S.M.E. Sepasgozar; C. Liu.	<i>3D Printing Architectural Freeform Elements: Challenges and Opportunities in Manufacturing for Industry 4.0</i>	2019	0
G. D'Emilia; A. Di Ilio; A Gaspari; E. Natale; R. Perilli; A.G. Stamopoulos.	<i>The role of measurement and simulation in additive manufacturing within the frame of Industry 4.0</i>	2019	0
G. Thorsteinsson; T. Page.	<i>The Evolution of 3D printing and Industry 4.0</i>	2018	0
P. Krowicki; G. Iskierka; B. Poskart; M. Habiniak; T. Będza; B. Dybała.	<i>Scanπ - Integration and Adaptation of Scanning and Rapid Prototyping Device Prepared for Industry 4.0</i>	2018	0
G. Schuh; M. Salmen; C. Kelzenberg; J. Lange.	<i>Integration of Tool Making into Agile Product Development using Industry 4.0 Technologies and Additive Manufacturing Technologies</i>	2018	0

Fonte: Os autores.

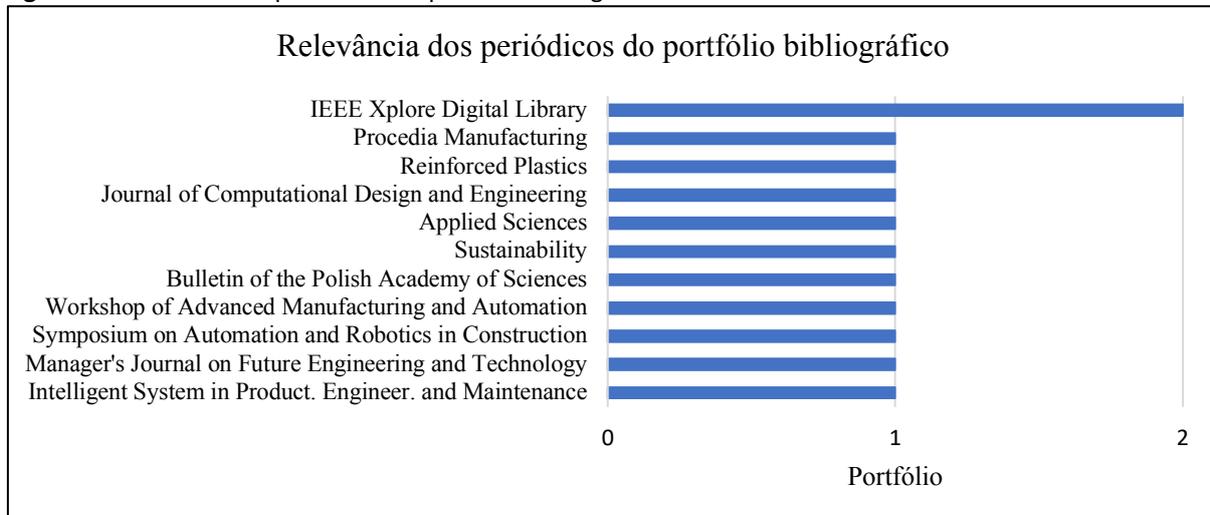
3.4 Análise bibliométrica do portfólio bibliográfico

A análise bibliométrica dos artigos selecionados faz parte da construção do portfólio bibliográfico para conhecimento sobre o tema de pesquisa. Esta análise, tem por objetivo demonstrar informações sobre o portfólio encontrado e quantificação de suas características (Ensslin et al., 2010)

Inicialmente, foram avaliados os periódicos nos quais os artigos do portfólio

bibliográfico estão publicados. Nesta avaliação* é possível verificar, que o portfólio possui artigos diluídos em 11 periódicos diferentes, com destaque para o *IEEE Xplore Digital Library (Sensors Journal and Workshop)* que concentra 2 periódicos, conforme demonstrado na figura 2.

Figura 2. Relevância dos periódicos do portfólio bibliográfico



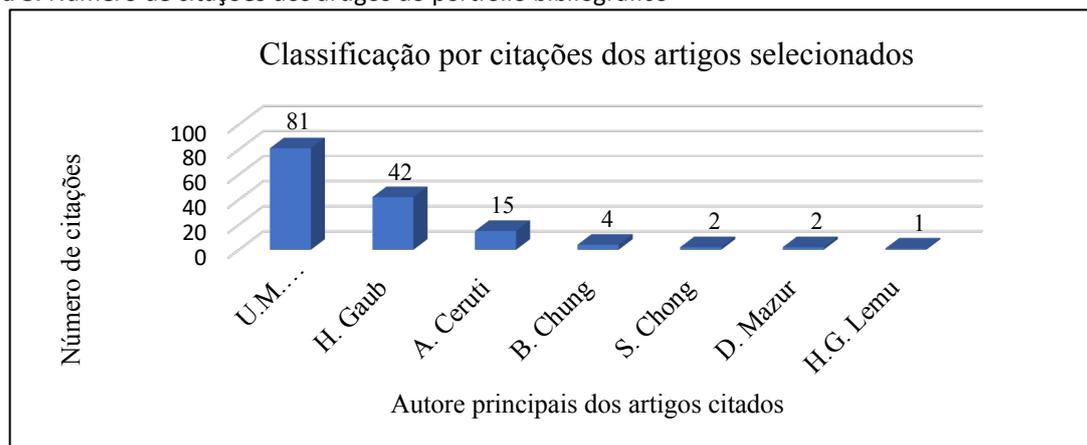
Fonte: Os autores.

Em relação aos periódicos nos quais os artigos contidos nas referências do portfólio bibliográfico estão publicados, observa-se grande variabilidade, uma vez que estão distribuídos em 183 periódicos diferentes. Entre estes periódicos, destaca-se o *IEEE Xplore Digital Library (Sensors Journal and Workshop)*, que concentra a maior quantidade, com 16 artigos do total das referências, 14 artigos estão publicados em *Procedia CIRP* e 8 artigos em *Procedia Manufacturing*. Dentre os *Journals* o destaque está com *Rapid Prototyping Journal* que surge na quarta posição com 7 artigos. Na sequência da classificação tem-se 3 periódicos com 5 artigos, 5 periódicos com 4 artigos, 3 periódicos com 3 artigos e 19 dos periódicos estão com 2 artigos publicados.

Em relação aos autores do portfólio de pesquisa, evidencia-se que não há autores de destaque, pois todos os 47 autores, aparecem uma única vez conforme demonstrado anteriormente no quadro 2 (portfólio bibliográfico). Já na análise dos autores presentes nas referências dos artigos do portfólio bibliográfico apesar da grande variabilidade a pesquisa aponta para uma maior concentração de publicações para o autor G. Schuh que está citado em 8 artigos e também é autor de 1 artigo no portfólio de pesquisa, na sequência aparecem 5 autores citados em 4 artigos, 11 autores citados em 3 artigos, 55 autores citados em 2 artigos e 762 autores citados em 1 artigos, totalizando 834 autores, sendo que 19 desses autores constam no portfólio bibliográfico da pesquisa.

Na busca e análise por relevância científica dos artigos do portfólio, observam-se alguns destaques: o artigo de U.M. Dilberoglu, et al., (2017) que apresenta o maior número de citações, na sequência o artigo de H Gaub. (2016) e A. Ceruti, et al., (2019), conforme demonstrado na figura 3. O artigo de G. Schuh, et al., (2018) que consta no portfólio bibliográfico, até o momento não foi citado, mesmo sendo um autor de destaque em relação ao tema pesquisado.

Figura 3. Número de citações dos artigos do portfólio bibliográfico

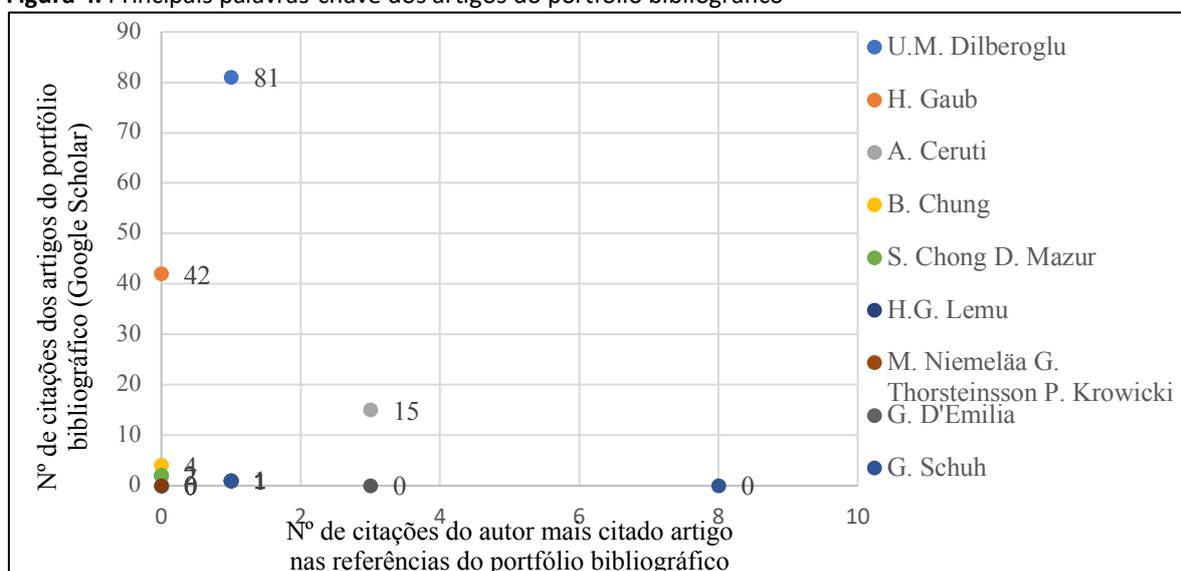


Fonte: Os autores.

Em relação a quantidade de citações dos artigos presentes nas referências dos artigos do portfólio bibliográfico, identifica-se maior variabilidade, obtendo-se documentos que possuem de 0 a 9.368 citações. Dos 379 artigos publicados em periódicos que estão citados nas referências, 111 apresentam mais de 100 citações, destes 20 são acima de 500 citações e destes, 17 possuem acima de 1.000 citações. Verificou-se ainda que os documentos que possuem acima de 1.000 citações, apenas 5 são relacionados ao tema de pesquisa, os demais artigos tratam de conceitos gerais utilizados como base para elaboração do trabalho e não estão relacionados diretamente ao tema pesquisado.

Analisando conjuntamente a relevância científica dos artigos, medida pela quantidade de citações de cada artigo e a incidência de artigos do mesmo autor que estão presentes nas referências bibliográficas do portfólio, obtém-se os resultados conforme demonstrado na figura 4. Com isso, é possível verificar a existência de dois artigos com maior destaque, sendo os dos autores: U.M. Dilberoglu e H. Gaub, et al., que se destacam pela quantidade de citações na relação de artigos do portfólio bibliográfico, e o artigo de G. Schuh et al., onde o fator de destaque é o autor, que possui a maior quantidade de artigos nas referências do portfólio. Nesta avaliação não foram evidenciados artigos que se destacassem em ambos critérios.

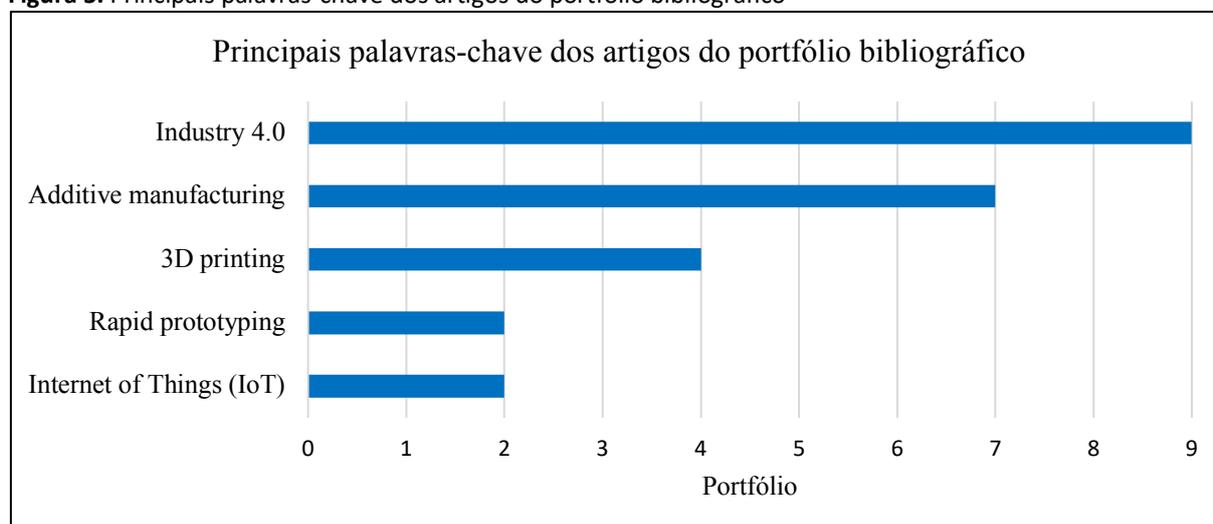
Figura 4. Principais palavras-chave dos artigos do portfólio bibliográfico



Fonte: Os autores.

Em relação as palavras-chave identificadas no portfólio bibliográfico a análise demonstra a ocorrência de 43 palavras-chave diferentes. A partir disto é possível verificar que as palavras escolhidas para realização desta pesquisa, encontram-se entre as palavras-chave do portfólio bibliográfico encontrado. Três palavras-chave se destacam entre as demais, estando presente em 9 artigos “*Industry 4.0*”; 7 artigos “*Additive manufacturing*”; 4 artigos “*3D printing*”; outras 2 palavras-chave se destacam por estarem presentes em 2 artigos cada, conforme demonstrado na figura 5.

Figura 5. Principais palavras-chave dos artigos do portfólio bibliográfico



Fonte: Os autores.

3.5 Importância da manufatura aditiva

A partir do portfólio bibliográfico encontrado foi possível verificar que o destaque em relação a importância da manufatura aditiva para a indústria 4.0 está relacionada a possibilidade de produção personalizada, com grande variedade de formas de peças, produzindo produtos no formato desejado e individualizado, podendo também ser produzida na escala desejada por não depender de moldes. Devido a essa versatilidade, a manufatura aditiva desempenha um papel fundamental na indústria 4.0, economizando custos, tempo e material, sendo uma tecnologia decisiva para a eficiência do processo, reduzindo a sua complexidade e permitindo a prototipagem rápida.

Segundo Dilberoglu et al., (2017) a importância da manufatura aditiva está relacionada a parte física das *smart factories*, no qual é limitada pela capacidade dos sistemas de produção existentes. Isso torna a manufatura aditiva como um dos componentes vitais da Indústria 4.0, devido à necessidade de customização em massa, métodos de fabricação não tradicionais são necessários para serem desenvolvidos. Assim, a manufatura aditiva torna-se uma tecnologia-chave para a fabricação de produtos customizados devido à sua capacidade de criar objetos sofisticados com atributos avançados (novos materiais, formas). Graças ao aumento da qualidade do produto, a manufatura aditiva está sendo usada atualmente em várias indústrias, como aeroespacial, biomédica e manufatura.

Para Schuh et al., (2018), na indústria 4.0 a manufatura aditiva, atualmente é uma das tecnologias emergentes mais promissoras e apresentam grandes benefícios para a fabricação de ferramentas, especialmente em termos de redução de custos e encurtamento de tempos de desenvolvimento. A manufatura aditiva associada a indústria 4.0 demonstra potencial para

o desenvolvimento e fabricação de ferramentas mais rápido, mais eficaz e mais flexível.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A indústria 4.0 representa um movimento em tecnologia de automação inteligente, algumas tecnologias são consideradas pilares desta quarta revolução industrial, dentre elas a manufatura aditiva, a qual apresenta uma ampla gama de estruturas geométricas para produção de peças personalizadas de maneira eficiente.

Este trabalho teve por objetivo fazer uma revisão sistemática para identificar os principais artigos científicos que destacam a importância da manufatura aditiva para a indústria 4.0. Para suportar este objetivo geral, os seguintes objetivos específicos foram estabelecidos: selecionar as palavras-chave; selecionar as bases de dados; proceder a busca de artigos alinhados ao tema; identificar os artigos relevantes da amostra selecionada; analisar os resultados obtidos com relação a relevância científica, saliência de autores e periódicos de destaque, descrevendo a importância da manufatura aditiva na indústria 4.0.

Para seleção do portfólio bibliográfico utilizou-se a metodologia *ProKnow-C*, desenvolvido pelo LabMCDA, o qual se mostrou como uma ferramenta efetiva na seleção de informação, proporcionando uma busca de maneira clara, objetiva e com rigor científico, gerando informação relevante, minimizando a seleção de conteúdo, de forma aleatória. Destaca-se que o pesquisador em algumas etapas da metodologia, também influencia nos resultados obtidos por meio de seus julgamentos. No entanto, essa característica não torna a pesquisa menos válida em relação à aplicação da metodologia, uma vez que esta segue etapas determinadas e as decisões tomadas foram justificadas pelo pesquisador.

A metodologia aplicada permitiu identificar que a produção científica que destaca a manufatura aditiva relacionada à indústria 4.0 tem apresentado um crescimento nos últimos anos, as primeiras publicações relacionadas ao tema ocorreram em 2014 e foram aumentando a cada ano, com destaque para o ano de 2018 com 1013 publicações.

Em relação à relevância das publicações científicas, os artigos do portfólio bibliográfico obtido não apresentam uma quantidade elevada de citações se comparados a outras áreas mais tradicionais da ciência. Em sua grande maioria, os artigos ficaram abaixo de 5 citações. Três artigos se destacam neste parâmetro: U.M. Dilberoglu, et al., (2017) com 81 citações, H Gaub. (2016) com 42 citações, e A. Ceruti, et al., (2019) com 15 citações.

No portfólio bibliográfico encontrado, não foi possível identificar autores de destaque, verificando-se apenas artigos com autores diferentes. Em relação aos periódicos destaca-se o *IEEE Xplore Digital Library (Sensors Journal and Workshop)*, com maior presença no portfólio bibliográfico.

Destaca-se como a importância da manufatura aditiva para a indústria 4.0 a possibilidade de uma produção flexível com tempo e custo de desenvolvimento reduzidos, utilizando uma quantidade menor de materiais devido à sua produção camada por camada, diminuindo assim, a sua complexidade, com uma prototipagem rápida e processos de produção descentralizados de forma personalizada com grande variedade de peças no formato desejado.

Os resultados obtidos estão limitados à amostra de periódicos pesquisados e às combinações das palavras-chave utilizadas, sendo assim, não podem ser extrapolados para todo o conjunto de publicações da área. Para futuras pesquisas, recomenda-se aplicar a mesma metodologia, *ProKnow-C*, para as outras tecnologias que são consideradas pilares da indústria 4.0, como por exemplo, a internet das coisas, *big data*, computação em nuvem,

robôs autônomos, simulação computacional, integração horizontal e vertical, segurança cibernética e realidade aumentada.

REFERÊNCIAS

- Afonso, M. H. F., Souza, J. V. de, Ensslin, S. R., & Ensslin, L. (2011). Como construir conhecimento sobre o tema de pesquisa? Aplicação do processo ProKnow-C na busca de literatura sobre avaliação do desenvolvimento sustentável. *Revista de Gestão Social e Ambiental*, 5(2), 47–62.
- Ceruti, A., Marzocca, P., Liverani, A., & Bil, C. (2019). Maintenance in Aeronautics in an Industry 4.0 Context: The Role of Augmented Reality and Additive Manufacturing. *Journal of Computational Design and Engineering*.
- Chong, S., Pan, G.-T., Chin, J., Show, P. L., Yang, T. C. K., & Huang, C.-M. (2018). Integration of 3D Printing and Industry 4.0 into Engineering Teaching. *Sustainability*, 10(11), 3960.
- D’Emilia, G., Di Ilio, A., Gaspari, A., Natale, E., Perilli, R., & Stamopoulos, A. G. (2019, June). The role of measurement and simulation in additive manufacturing within the frame of Industry 4.0. In *2019 II Workshop on Metrology for Industry 4.0 and IoT (MetroInd4.0&IoT)* (pp. 382–387). IEEE.
- Dilberoglu, U. M., Gharehpapagh, B., Yaman, U., & Dolen, M. (2017). The Role of Additive Manufacturing in the Era of Industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, 11, 545–554.
- Do Chung, B., Kim, S. I., & Lee, J. S. (2018). Dynamic supply chain design and operations plan for connected smart factories with additive manufacturing. *Applied Sciences*, 8(4), 583.
- Ensslin, L., Ensslin, S. R., Lacerda, R. T. de O., & Tasca, J. E. (2010). ProKnow-C, knowledge development process-constructivist. *Processo Técnico Com Patente de Registro Pendente Junto Ao INPI.*, 10(4), 2015.
- Gao, W., Zhang, Y., Ramanujan, D., Ramani, K., Chen, Y., Williams, C. B., ... Zavattieri, P. D. (2015). The status, challenges, and future of additive manufacturing in engineering. *CAD Computer Aided Design*, 69, 65–89.
- Gaub, H. (2016). Customization of mass-produced parts by combining injection molding and additive manufacturing with Industry 4.0 technologies. *Reinforced Plastics*, 60(6), 401–404.
- Hermann, M., Pentek, T., & Otto, B. (2016, January). Design principles for industrie 4.0 scenarios. In *2016 49th Hawaii international conference on system sciences (HICSS)* (pp. 3928–3937). IEEE.
- Hopkinson, N., Hague, R. J. M., & Dickens, P. M. (2006). *Rapid manufacturing: an industrial revolution for the digital age*. Chichester, England: John Wiley.
- Krowicki, P., Iskierka, G., Poskart, B., Habiniak, M., Będza, T., & Dybała, B. (2018, September). Scanπ - Integration and adaptation of scanning and rapid prototyping device prepared for industry 4.0. In *International Conference on Intelligent Systems in Production Engineering and Maintenance* (pp. 574–586). Springer, Cham.
- Lacerda, R. T. de O., Ensslin, L., & Ensslin, S. R. (2012). Uma análise bibliométrica da literatura sobre estratégia e avaliação de desempenho. *Gestao e Producao*, 19(1), 59–78.
- Lemu, H. G. (2018, September). On opportunities and limitations of additive manufacturing technology for industry 4.0 era. In *International Workshop of Advanced Manufacturing and Automation* (pp. 106–113). Springer, Singapore.

- Mazur, D., Paszkiewicz, A., Bolanowski, M., Budzik, G., & Oleksy, M. (2019). Analysis of possible SDN use in the rapid prototyping process as part of the Industry 4.0. *Bulletin of the Polish Academy of Sciences-Technical Sciences*, 67(1), 21–30.
- Mosconi, F. (2015). *The new European industrial policy: Global competitiveness and the manufacturing renaissance. The New European Industrial Policy: Global Competitiveness and the Manufacturing Renaissance*. London: Routledge.
- Assad Neto, A., Pereira, G. B., Drozda, F. O., & Santos, A. de P. L. (2018). A busca de uma identidade para a indústria 4.0. *Brazilian Journal of Development*, 4(4), 1379–1395.
- Ngo, T. D., Kashani, A., Imbalzano, G., Nguyen, K. T. Q., & Hui, D. (2018). Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges. *Composites Part B: Engineering*, 143, 172–196.
- Niemelä, M., Shi, A., Shirowzhan, S., Sepasgozar, S., & Liu, C. (2019, May). 3D Printing Architectural Freeform Elements: Challenges and Opportunities in Manufacturing for Industry 4.0. In *Proceedings of the 36th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC)*. Banff, Canada.
- Petrovic, V., Vicente Haro Gonzalez, J., Jordá Ferrando, O., Delgado Gordillo, J., Ramón Blasco Puchades, J., & Portolés Griñan, L. (2011). Additive layered manufacturing: sectors of industrial application shown through case studies. *International Journal of Production Research*, 49(4), 1061–1079.
- Schuh, G., Salmen, M., Kelzenberg, C., & De Lange, J. (2018, August). Integration of tool making into agile product development using industry 4.0 technologies and additive manufacturing technologies. In *2018 - Portland International Conference on Management of Engineering and Technology: Managing Technological Entrepreneurship: The Engine for Economic Growth, Proceedings (PICMET)* (pp. 1–9). IEEE.
- Sommer, L. (2015). Industrial revolution - industry 4.0: Are German manufacturing SMEs the first victims of this revolution? *Journal of Industrial Engineering and Management*, 8(5), 1512–1532.
- Thorsteinsson, G., & Page, T. (2018). The evolution of 3D printing and industry 4.0. *Manager's Journal on Future Engineering and Technology*, 14(1), 1.
- Vilela, B. D. A., Alves, C. D. S., Ferreira, R. F. C., Freitas, K. A. de, & Souza Junior, W. C. de. (2016). Coordenação em cadeias de suprimentos: o papel da tecnologia da informação e da gestão orientada por processos. *Exacta*, 14(4), 645–660.
- Volpato, N. (2017). *Manufatura aditiva: tecnologias e aplicações da impressão 3D*. São Paulo: Blucher.
- Wan, J., Tang, S., Shu, Z., Li, D., Wang, S., Imran, M., & Vasilakos, A. V. (2016). Software-Defined Industrial Internet of Things in the Context of Industry 4.0. *IEEE Sensors Journal*, 16(20), 7373–7380.
- Wang, X., Jiang, M., Zhou, Z., Gou, J., & Hui, D. (2017). 3D printing of polymer matrix composites: A review and prospective. *Composites Part B: Engineering*, 110, 442–458.
- Zhong, R. Y., Xu, X., Klotz, E., & Newman, S. T. (2017). Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review. *Engineering*, 3(5), 616–630.