

INDÚSTRIA 4.0 E A FLEXIBILIZAÇÃO DE SISTEMAS DE PRODUÇÃO PARA A CUSTOMIZAÇÃO DE BENS: UMA REVISÃO BIBLIOMÉTRICA

Camila Akemi Souza Kushiyama
Larissa Rochel Vieira
Patrícia Saltorato

Resumo

Este trabalho teve como objetivo explorar por meio de uma revisão bibliométrica a associação entre os temas Indústria 4.0 e flexibilização de sistemas de produção para a customização de produtos e serviços. Para tanto, foi conduzida uma pesquisa bibliométrica empregando os softwares *RStudio* e *VOSviewer* no processamento dos dados extraídos das bases de dados *Scopus* e *Web of Science*. Os resultados obtidos identificaram quais as palavras-chave com maior índice de ocorrência nos artigos, as publicações com o decorrer dos anos, os autores com maior número de pesquisas realizadas na área entre outras análises. Como principal conclusão do trabalho foi constatado que a indústria 4.0, a flexibilização dos sistemas produtivos e a customização em massa estão diretamente relacionados, a Alemanha é o país que mais aparece em citações de co-autoria e a quantidade de publicações acerca desse tema atingiu seu ápice no último ano.

Palavras-chave: Indústria 4.0, customização em massa, personalização em massa, sistema de produção flexível, digitalização, sistemas cyber-físicos, análise bibliométrica.

INDUSTRY 4.0 AND FLEXIBILIZATION OF PRODUCTION SYSTEMS FOR CUSTOMIZING GOODS: A BIBLIOMETRIC REVIEW

Abstract

This work aimed to explore through a bibliometric review the association between Industry 4.0 and production systems flexibility for the customization of products and services themes. In order to do so, a bibliometric research was conducted using *RStudio* and *VOSviewer* softwares to process the extracted data from *Scopus* and *Web of Science* databases. The results obtained identified which keywords had the highest occurrence rate in the articles; the publications over the years; the authors with the largest number of researches carried out in the area, among other analyses. The main conclusion of the work is that the industry 4.0 concept and the flexibility of production systems and mass customization are directly related, Germany is the country that appears most in co-authorship citations and the number of publications on this subject reached its summit in the last year.

Keywords: Industry 4.0, mass customization, mass customization, flexible production system, digitization, cyber-physical systems, bibliometric analysis.

1 INTRODUÇÃO

Os sistemas de produção têm mudado de maneira significativa ao longo tempo em função dos avanços tecnológicos e sociais alcançados. Desde a produção artesanal, passando pela produção em massa e customização em massa e desembocando na produção

personalizada contemporânea, observa-se que as empresas têm se empenhado cada vez mais na busca da satisfação das necessidades de seus consumidores por meio da produção de pequenos lotes, de produtos variados ou de produtos personalizados (ZHANG et al., 2019). Concomitantemente ao aumento da variedade de produtos, também tem sido percebida a diminuição no ciclo de vida dos mesmos, características que exigem a produção de produtos individualizados, com entrega rápida e baixos custos de manufatura, mudanças essas que têm sido alcançadas principalmente através de avanços da robótica (MERDAN et al., 2019).

Tais mudanças no paradigma produtivo, diretamente associadas ao aumento de flexibilidade dos sistemas produtivos têm sido, em parte, amparada em um conjunto de avanços tecnológicos inseridos no contexto daquela que vem sendo chamada de Indústria 4.0 (TESSARINI; SALTORATO, 2018). A Indústria 4.0, segundo Kra; Horbrand; Schilp (2019) engloba fatores como a digitalização e a descentralização de processos por meio de sistemas de produção cyber-físicos que têm se tornado cada vez mais flexíveis. Trata-se, nesse sentido, da transição de um sistema produtivo com tarefas automatizadas isoladas para uma fábrica inteligente com altos níveis de automação e processamento de dados visando à adaptação rápida à novas tarefas (WOJTYNEK; STEIL; WREDE, 2019).

A flexibilidade potencializada pela indústria 4.0 é uma das consequências do avanço de tecnologias disruptivas responsáveis pela eliminação das barreiras entre os mundos físico e virtual, com a integração de trabalhadores, máquinas e produtos inteligentes, sistemas de produção e processos, sendo guiada por dois agentes principais: os sistemas cyber-físicos (CPS) e a internet das coisas e serviços (IoT) (PEREIRA; ROMERO, 2017; TESSARINI; SALTORATO, 2018).

Os CPS são formados pela integração de usuários, máquinas e objetos através da internet por meio de algoritmos computacionais responsáveis por analisar, monitorar e controlar tal integração (GHOBAKHLOO, 2018). Eles funcionam por meio da integração de sistemas mecânicos no mundo físico através da criação de uma cópia virtual do mesmo possibilitada pela digitalização de dados e informações, estabelecendo ainda, processos de comunicação entre os mesmos (ALCÁCER; MACHADO, 2019).

Um dos pontos centrais acerca dos dispositivos desenvolvidos no contexto da Indústria 4.0 é o potencial tratamento que os dados podem receber visando à integração dos sistemas por meio de sua digitalização. A digitalização engloba: (i) O desenvolvimento dos campos de análise e inteligência artificial; (ii) A troca de informações entre sistemas físicos e digitais, como nos casos da manufatura aditiva e robótica, e; (iii) A melhor interação entre pessoas e máquinas, com métodos de realidade virtual e aumentada e *touch pads* (BENDUL; BLUNCK, 2019). Zaki

et al. (2019), destacaram como o uso de dados no setor de bens de consumo não tem só a função de otimizar a produção, mas também tem a função de atuar na integração entre manufatura, logística e demanda.

Já, considerando esta última, tem-se o crescimento da demanda por produtos sob medida, de alta qualidade e preço justo, impedindo as empresas de focarem em estratégias e custo unicamente, mas sim voltarem para a customização e personalização em massa através do uso da IoT para coleta e tratamento de dados internos / externos aos clientes, visando fornecer experiências únicas aos consumidores através de um melhor direcionamento da personalização dos seus produtos (AHELEROFF et al., 2019).

Segundo Lu; Xu (2019), a produção de bens e serviços altamente customizados pode ser alcançada com a ajuda da tecnologia de computação em nuvem, segundo a qual, recursos organizados em redes permitem sua rápida configuração e integração visando ao atendimento de um pedido. Somadas à computação em nuvem, o emprego de técnicas avançadas de processamento, armazenamento e análise de dados traz mais eficiência aos processos e melhores sistemas de planejamento e controle da produção, que por sua vez, aumentam a flexibilidade e robustez das operações (BENDUL; BLUNCK, 2019).

O aumento da flexibilidade na produção para atender à essa crescente customização de produtos no context da indústria 4.0, conta ainda com alguns componentes chaves como robôs colaborativos e dispositivos interconectados, sendo o maior desafio; a combinação desses agentes em um sistema coeso (WOJTYNEK; STEIL; WREDE, 2019). Pois, a diluição dos controles do processo produtivo entre uma míade de objetos inteligentes conectdos entre si traz consigo o *trade-off* entre a alta adaptabilidade e respostas rápidas vs certo grau de miopia desses objetos tomadores de decisão, o que torna necessária uma análise da combinação apropriada entre os graus de centralização e de descentralização (distribuição) do controle entre os vários agentes para que as decisões tomadas levem em conta o sistema como um todo e as consequências para o futuro (BENDUL; BLUNCK, 2019).

Lu e Xu (2019), ainda destacam outros desafios associados à interconectividade da produção, como o monitoramento das máquinas diante da audiência de conexão com internet e a disponibilidade de tecnologias que possibilitem reportes da produção em tempo real. Denkena, Dittrich e Jacob (2019) também chamam à atenção para a necessidade de tradução desses novos requerimentos sobre a manufatura em todas as etapas da mesma, ou seja, tanto as etapas internas, quanto as externas, o que aumenta consideravelmente o nível de complexidade associado à busca de adaptabilidade desses sistemas.

Os níveis de customização de produtos e serviços têm mudado ao longo do tempo.

MacCarthy; Fernandes (2000), assinalaram a chamada customização *mushroom*, Segundo a qual, ficava a cargo das etapas finais da produção, a possibilidade de combinar diversas formas possíveis de componentes ou módulos padronizados já montados; muito similar ao conceito da customização em massa, orientada para o produto por meio da sua categorização em famílias com configurações pré-definidas e limitadas visando à garantia da eficiência provida pelos sistemas de produção em massa (AHELEROFF et al., 2019).

Os autores ainda apresentam o conceito de personalização em massa, que através de técnicas empregadas no contexto da indústria 4.0, busca combinar a oferta de características únicas para clientes individuais com os baixos custos da produção em massa em uma abordagem ágil e com o uso de dados históricos, na tentativa de se adaptar às constantes mudanças de requisitos, sendo considerada um modelo orientado ao cliente e aos dados (AHELEROFF et al., 2019), ou *big data*. Zaki et al. (2019) reforçam que o avanço nas aplicações de *big data* implicam não só na segmentação de mercados, mas na tomada de decisão para clientes individuais.

A utilização de tecnologias associadas ao contexto da indústria 4.0 visando à produção de produtos e serviços altamente personalizados tem sido buscada de variadas formas. Bianconi, Felippucci e Buffi (2019) descrevem essas tecnologias no mercado de construção com representações digitais e a integração de processos do design à construção, enquanto, Kra, Horbrand e Schilp (2019) apresentam o uso de sistemas de transportes autônomos na intralógica de um sistema de manufatura para garantia de flexibilidade do mesmo.

Considerando este contexto, esta pesquisa buscou entender como as ferramentas da indústria 4.0 estão sendo aplicadas para a garantia de produtos cada vez mais adequados às necessidades individualizadas de consumidores cada vez mais exigentes e que tipo de mudanças os sistemas de produção vêm sofrendo nesse novo cenário. Para alcançar tal entendimento, o presente artigo propõe o levantamento e a respectiva análise da literatura acadêmica sobre os impactos dos elementos da indústria 4.0 nos sistemas de customização em massa, fornecendo um mapeamento dos trabalhos sobre o tema, identificando as tendências da literatura, assim como sua evolução. O método utilizado consistiu na análise bibliométrica de uma amostra de artigos da base de dados *Scopus* e *Web of Science* (WoS) entre 1992 e Maio / 2019.

2 METODOLOGIA

Considerando o objetivo de mapear a produção científica internacional sobre a relação entre a indústria 4.0 e a flexibilização dos sistemas produtivos para garantia de bens

personalizados, este estudo, de caráter exploratório-descritivo, buscou compreender se (e como) essa temática está sendo abordada. Para tanto, o método de pesquisa aqui proposto empregou uma análise bibliométrica de uma amostra de artigos da base de dados *Scopus* e *Web of Science* (WoS) entre 1992 e Maio / 2019.

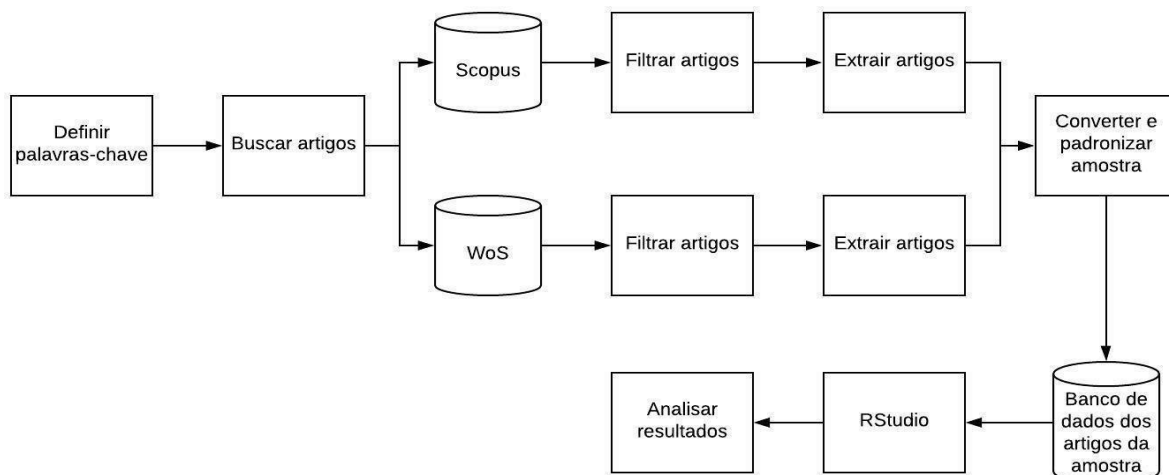
A bibliometria, segundo Bufrem e Prates (2005), como prática multidisciplinar, começou a ser utilizada para identificar comportamentos da literatura e sua evolução em determinados contextos e épocas. O termo está relacionado ao estudo dos processos quantitativos da produção, disseminação e uso da informação e designa também os processos e mecanismos avançados de busca on-line e técnicas de recuperação da informação.

A análise bibliométrica consiste na aplicação de técnicas estatísticas e matemáticas para descrever aspectos da literatura e de outros meios de comunicação (análise quantitativa da informação), tendo sido originalmente conhecida como “bibliografia estatística”, termo cunhado por Hulme em 1923, depois substituído pelo termo “bibliometria” criado por Otlet em 1934 no seu “*Traité de Documentation*” (ARAÚJO, 2006). Ela se mostra bastante relevante nas análises acerca da produção intelectual sobre determinado tema, como, por exemplo, as análises de citações, que permite a identificação e descrição de uma série de padrões na produção do conhecimento científico.

No caso deste trabalho inicialmente foram definidos os construtos “*industry 4.0*”, “*flexible production system*” e “*mass customization*” or “*mass personalization*”, a serem utilizados nas buscas dos artigos nas bases de pesquisa. A escolha desses termos deve-se à abrangência dos mesmos ao tratarem do assunto pretendido.

A pesquisa englobou a produção científica disponível na base de dados da *Scopus* e da *Web of Science* (WoS) desde 1992 até maio de 2019. A *Scopus* foi incluída nesta proposta metodológica por ser o maior banco de dados de resumos e citações da literatura acadêmica com revisão por pares, e a WoS por sua abrangência internacional e por fornecer uma pesquisa ampla de citações. A Figura 1 a seguir apresentada as etapas utilizadas na condução da pesquisa.

Figura 1 - Etapas da análise bibliométrica



Fonte: Elaborado pelos autores a partir do software LucidChart

Como critério inicial de inclusão, propôs-se que fossem incluídos apenas artigos de periódicos completos revisados por pares nos idiomas português e inglês. E como critério de exclusão inicial foram removidos os artigos que estivessem duplicados ou que não estivessem nos idiomas, inglês ou português. Dessa forma, a consulta inicial às bases *Scopus* e *WoS* resultou em 2848 artigos (Tabela 1). Após, aplicados os critérios de exclusão, foram computados 1374 documentos que passaram a constituir a base final (Tabela 2). Após a definição dessa amostra procedeu-se à importação dos metadados (título, resumo, autores, palavras-chave, periódico, ano, referências e número de citações) dos 1374 artigos das bases *Scopus* e *WoS*.

Tabela 1 – Resultados Iniciais considerando os critérios iniciais de inclusão

Database	Search String	Initial results
Web of Science	TÓPICO: ("industry 4.0") AND TÓPICO: ("flexible production system") OR TÓPICO: ("mass customization") OR TÓPICO: ("mass personalization")	2753
Scopus	Índices=SCI-EXPANDED, SSCI, A&HCI, CPCI-S, CPCI-SSH, ESCI Tempo estipulado=Todos os anos	95

Fonte: Elaborado pelos autores

Tabela 2 – Resultados Iniciais considerando os critérios iniciais de exclusão

Database	Search String	Initial results
Web of Science	TÓPICO: ("industry 4.0") AND TÓPICO: ("flexible production system") OR TÓPICO: ("mass customization") OR TÓPICO: ("mass personalization") Refinado por: IDIOMAS: (ENGLISH OR PORTUGUESE) AND TIPOS DE DOCUMENTO: (ARTICLE) Índices=SCI-EXPANDED, SSCI, A&HCI, CPCI-S, CPCI-SSH, ESCI Tempo estipulado=Todos os anos	1338
Scopus	(TITLE-ABS-KEY ("industry 4.0") AND TITLE-ABS-KEY ("flexible production system") OR TITLE-ABS-KEY ("mass customization") OR TITLE-ABS-KEY ("mass personalization")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE , "cp") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "ar"))	36

Fonte: Elaborado pelos autores

Concluída esta etapa, foi realizada a extração dos arquivos gerados em cada base, e assim, procedeu-se à organização e sistematização dos dados coletados utilizando-se o *software Microsoft Excel* para padronizar os metadados dos artigos da amostra, e assim integrar os dados em um único arquivo visando à análise bibliométrica com o *software R* (Figura 2):

Figura 2 – Resultados após Emprego do Software R

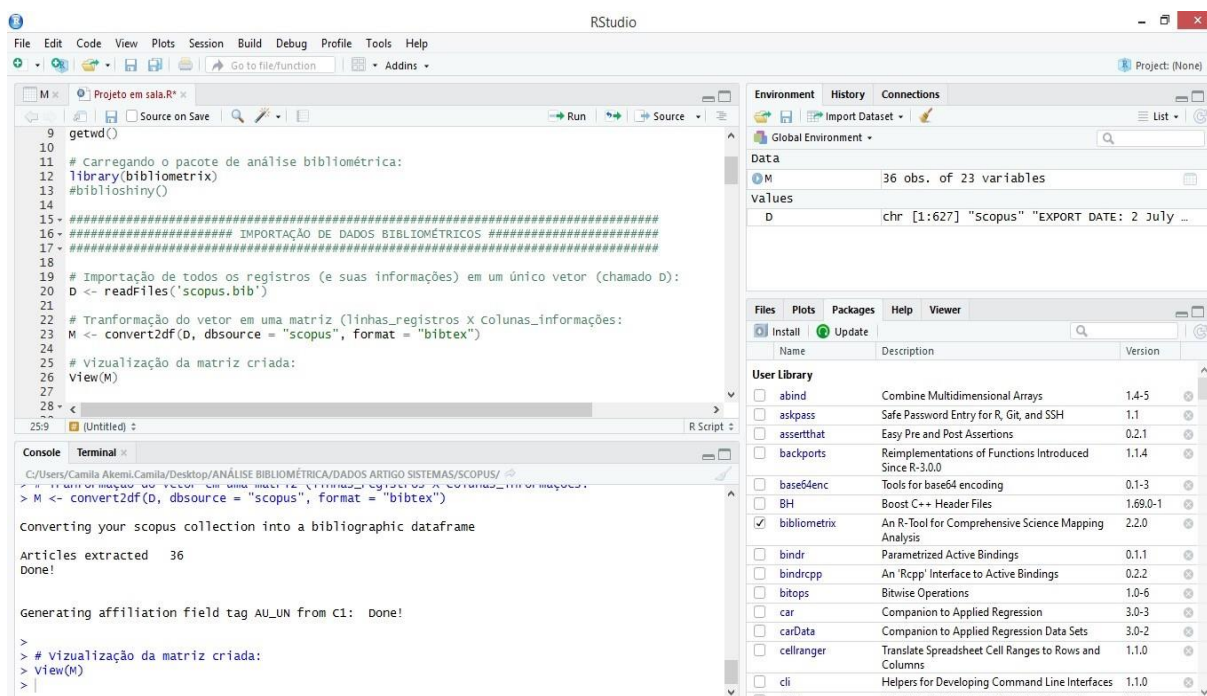
Description	Results
Documents	1374
Sources (Journals, Books, etc.)	415
Keywords Plus (ID)	1796
Author's Keywords (DE)	3426
Period	1992 - 2019
Average citations per documents	24.17
Authors	2751
Author Appearances	3989
Authors of single-authored documents	135
Authors of multi-authored documents	2616
Single-authored documents	155
Documents per Author	0.499
Authors per Document	2
Co-Authors per Documents	2.9
Collaboration Index	2.15
Document types	
ARTICLE	1297
ARTICLE, EARLY ACCESS	1
ARTICLE, PROCEEDINGS PAPER	76

Fonte: Elaborado pelos autores

A partir dos artigos da amostra foram realizadas análises bibliométricas empregando o

software *RStudio* (Figura 3), um software livre para análise de dados e uso estatístico (ARIA et al., 2017) e o suporte do *software VOSViewer* para a construção e visualização de redes bibliométricas.

Figura 3 – Tela do Software RStudio



Fonte: Elaborado pelos autores

4 RESULTADOS

Nesta seção são apresentados os resultados relativos às análises bibliométricas da amostra de artigos que discutem o tema pesquisado, qual seja, a relação entre a indústria 4.0 e a customização em massa. Dentre esses resultados destacam-se as principais fontes de pesquisa; a evolução do volume de artigos no período compreendido pela amostra; os países e autores que mais produzem; os estudos mais citados dentre a amostra; as principais referências utilizadas, e por fim a análise de co-ocorrência das palavras-chaves mais utilizadas pelos autores; apresentados a seguir.

4.1 VOLUME DE PUBLICAÇÃO POR PERIÓDICO

Os 1374 documentos da amostra considerada para análise estão distribuídos em 415 fontes. Destas, as dez principais (com maior volume de publicações sobre o tema) são revistas

científicas. A Tabela 3 dispõe esses periódicos com os respectivos volumes de publicações. O corte realizado após a décima revista se deu em função do volume de artigos. Foram excluídas da Tabela 3, as revistas que tinham menos de 20 artigos sobre o tema pesquisado.

Tabela 3 - Fontes em que o tema pesquisado se concentra, volume de publicações e respectivas classificações SJR e JCR

Posição	Fontes	Publicações	SJR	JCR
1	International Journal of Production Research	98	1.585	3.199
2	International Journal of Production Economics	59	2.475	4.998
3	Int. J. of Advanced Manufacturing Technology	58	0.987	2.496
4	Journal of Intelligent Manufacturing	53	1.389	3.535
5	Int. Journal of Operations & Production Managt.	32	2.095	4.111
6	Production Planning & Control	32	1.427	3.340
7	Computers in Industry	31	1.242	4.769
8	Int. Journal of Computer Integrated Manufacturing	28	0.878	2.090
9	IEEE Transactions on Engineering Management	25	0.833	1.867
10	Concurrent Engineering Research and Applications	22	0.549	1.127
Total			438	

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de SCOPUS e Web of Science

Além do volume de publicações nos dez periódicos que mais publicaram sobre o tema pesquisado desde 1992, a Tabela 1 ainda inclui os fatores de impacto vigentes (referente a 2018) segundo os índices SJR (Scimago Journal & Country Rank) e JCR (Journal Citation Reports) de cada um desses periódicos. O índice SJR fornecido pela base Scopus considera para avaliar os periódicos indexados naquela base; o número de citações e o prestígio da revista na qual o artigo foi citado.

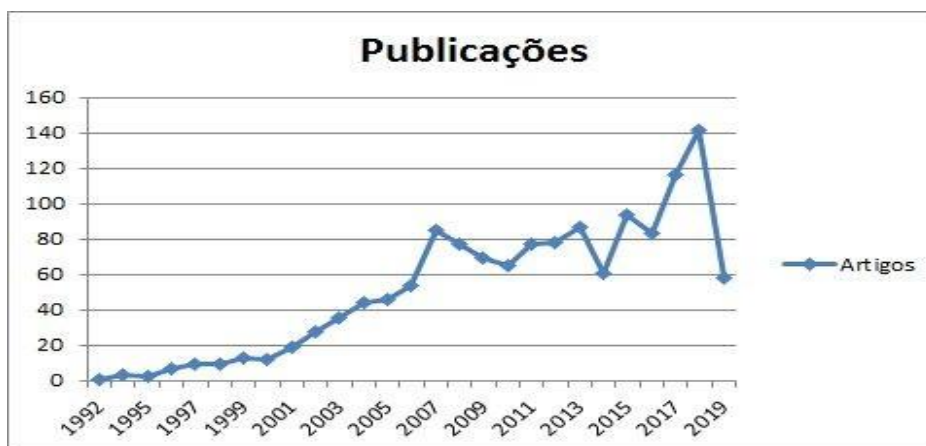
O índice JCR representa o número médio de citações recebidas em um ano pelos artigos publicados nos dois anos anteriores à publicação do índice. Este índice é reconhecido internacionalmente por avaliar e comparar os periódicos entre si, sendo valores mais altos associados à periódicos tidos como de maior impacto / status.

4.2 VOLUME DA PRODUÇÃO CIENTÍFICA ANUAL

Os termos que orientaram as buscas desta pesquisa; “customização em massa” e “indústria 4.0”, surgiram respectivamente, ao final da década de 1980 nos EUA e, em 2011 na Alemanha. Já o termo “sistema de produção flexível” habitava o menu das novas formas de organização do trabalho desde meados de década de 1970. Em 2018, as publicações relacionando estes termos atingiram seu pico máximo em relação ao período 1992-2019, perfazendo um total de 141 artigos (Gráfico 1). Porém o atual mapeamento se encerrou em

maio e, considerando ainda que, nos últimos três anos anteriores o volume de publicações relacionando os temas aqui propostos vem crescendo há a possibilidade de que em 219, sejam publicados mais que 141 artigos.

Gráfico 1 - Publicações entre 1992 e maio de 2019



Fonte: Elaborado pelos autores

Um dos motivos que justificariam o maior número de publicações recentemente pode estar associado à difusão de novas tecnologias envolvendo a indústria 4.0, assim como aos melhores resultados obtidos a partir da personalização em massa.

4.3 AUTORES COM MAIS TRABALHOS PUBLICADOS

Considerando os 1374 artigos da amostra, tem-se 2751 autores, ou seja, duas vezes mais que a quantidade de artigos publicados. Este resultado corrobora a quantidade média de autores por documento que é de 2. O que resulta em 0,499 documentos por autor e também 2,9 coautores por documento. A média de referências bibliográficas por documento (artigo) é de 24,17 artigos. Em relação ao volume total de autores pesquisando sobre o tema, tem-se os dez que mais produziram sumarizados na Tabela 4 abaixo:

Tabela 4 - Autores mais relevantes sobre o assunto entre 1992 e maio de 2019

Posição	Autor	Artigos
1	Mitchell M. Tseng	22
2	Cipriano Forza	17
3	Jianxin Jiao	16
4	Yi Wang	15
5	Alessio Trentin	13
6	W. Liu	12
7	X. Xu	12
8	Y. Yang	12
9	M. Zhang	12
10	Yingfeng Zhang	12
Total		143

Fonte: Elaborado pelos autores a partir de SCOPUS e Web of Science

Foram destacados os dez autores acima pois o décimo primeiro autor tinha menos de dez artigos, o que tornaria a classificação muito extensa. Ademais a partir da Tabela 4, é possível ter uma boa percepção do grau de concentração das publicações sobre o tema.

O pesquisador que mais produziu sobre estes temas, Mitchell M. Tseng, trabalha atualmente com três áreas; sistemas de produção, customização e manufatura. Ele foi eleito membro da Academia Internacional de Pesquisa de Produção (CIRP), da Sociedade Americana de Engenheiros Mecânicos (ASME) e da Academia de Ciências de Engenharia de Hong Kong (HKAES).

4.4 TRABALHOS DE MAIOR IMPACTO

Dentre os 1374 artigos analisados, foram listados os dez mais citados dentre a amostra, conforme ilustra a Tabela 5:

Tabela 5 – Publicações mais citadas da amostra

Autor	Artigo	Ano	Citações
Rebecca Duray	Approaches to mass customization: configurations and empirical validation	2000	160
Cynthia Huffman	Variety for sale: Mass customization or mass confusion?	1998	100
Lampel	Customizing customization	1996	69
Zipkin	The limits of mass customization	2001	64
Jianxin Jiao	A methodology of developing product family architecture for mass customization	1999	62
Salvador	Modularity, product variety, production volume, and component sourcing: theorizing beyond generic prescriptions	2002	61
Nikolaus Franke	The “I Designed It Myself” effect in mass customization	2010	61
Qiang Tu	The impact of time-based manufacturing practices on mass customization and value to customer	2001	56
Frank Piller	Does mass customization pay? An economic approach to evaluate customer integration	2004	50
Nikolaus Franke	Testing the value of customization: When do customers really prefer products tailored to their preferences?	2009	47
Total		730	

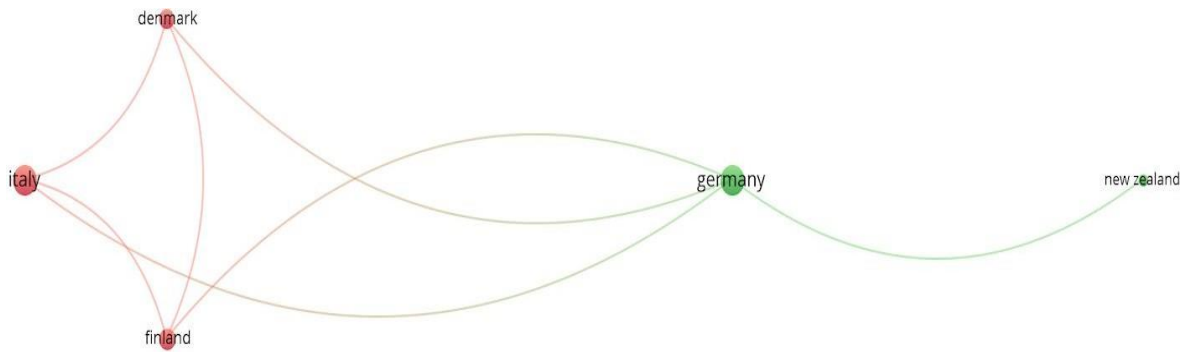
Fonte: Elaborado pelos autores a partir de SCOPUS e Web of Science

Os artigos listados abordam a customização em massa de forma geral, especializando-se em algum aspecto desta, seja, o econômico, o sustentável, o mercadológico, etc. Dentre estes, no artigo mais citado da lista (160), *Approaches to mass customization: configurations and empirical validation*, a autora, Rebeca Duray propõe um modelo para classificar personalizadores de massa, além de categorizar também, 126 desses. Nele, os autores, ainda exploram o desempenho das várias configurações voltadas para a customização em massa. Este artigo apresenta ainda, um processo de validação do modelo proposto, estando nesse processo uma das principais justificativas para seu alto volume de citações.

4.5 CO-AUTORIA NAS PUBLICAÇÕES CONSIDERANDO OS PAÍSES

Dentre as obras mais citadas acima, apenas o artigo de Zipkin não apresentou co-autores. Foi realizada uma análise de co-autoria em relação aos países dos autores, tendo sido constatadas as presenças de 2 clusters, representados pelas duas cores distintas na Figura 4, e a presença de 5 países conectados por meio de 7 ligações.

Além disso, todos os países apresentados na Figura 3 estão conectados com a Alemanha, que é o país que mais vem se dedicando a pesquisas sobre a indústria 4.0, conceito lá, formulado.

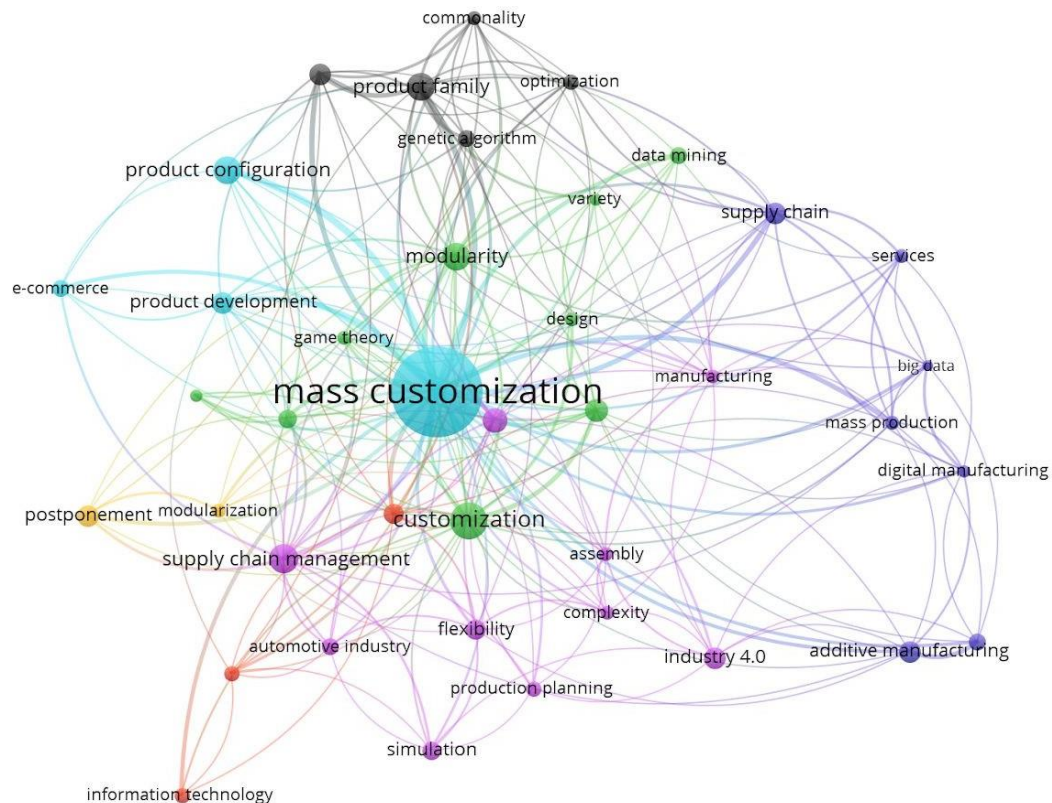
Figura 4 - Análise de co-autoria em relação aos países

Fonte: Elaborados pelos autores a partir do *VOSViewer*

4.6 MAPA DE CO-OCORRÊNCIA DE PALAVRAS-CHAVE

Dentre as especificações de filtragem dos artigos analisados, obteve-se um total de 3467 palavras-chave encontradas nas publicações que interligam a indústria 4.0 e a flexibilização dos sistemas produtivos.

Para identificar quais são as principais palavras-chave contidas nas pesquisas sobre os temas pesquisados foi utilizado o software *VOSViewer* para construção e visualização de redes bibliométricas. Este software oferece a opção de importar dados diretamente das bases de dados empregadas nesta pesquisa, a *Scopus* e a *WoS*. Assim, foram realizadas a conversão para um único arquivo em formato txt, para que assim a ferramenta pudesse ler o arquivo e gerar o mapa da Figura 5.

Figura 5 - Mapa de co-ocorrência de palavras-chave

Fonte: Elaboração pelos autores

Optou-se por listar as 40 palavras-chaves mais usadas para ilustrar o potencial de integração entre as mesmas mesmo que a incidência das últimas (palavras-chave) pareçam baixas para o tema em questão, como pode ser observado no Apêndice A.

Foram utilizadas as palavras-chave dos próprios autores visando demonstrar exatamente o que os mesmos buscavam retratar ao desenvolverem seus artigos. Utilizando as palavras-chave do apêndice A foi construído um mapa de co-ocorrência (Figura 4) que consiste em um mapeamento das relações entre elas. Este mapeamento apresenta a frequência com que cada palavra-chave foi utilizada pelos autores, assim como a força de sua ligação, que representa o relacionamento de cada termo com as outras palavras.

O agrupamento de todos esses tópicos formou uma malha, de 238 ligações, destacando os pontos principais das pesquisas conduzidas junto à amostra de artigos analisada. As ligações entre as palavras representam com quais outros termos ela também está relacionada, e o tamanho do vértice em cada tópico mostra quais destas palavras são mais utilizadas.

O *VOSViewer* utiliza um método de visualização baseado na distância entre os nós da rede analisada, de modo que a distância entre dois nós indica aproximadamente a intensidade da relação entre eles, sendo tal relação tão maior quanto menor for a distância (VAN ECK;

WALTMAN, 2014).

No mapa gerado verifica-se a presença de 7 clusters; classificações ou agrupamentos de conjunto de dados que apresentam características semelhantes de alguma forma. No mapa da Figura 4, os clusters estão representados por diferentes cores.

Observa-se através do mapa que a indústria automotiva é estudada pelos autores paralelamente à gestão da cadeia de suprimentos e à indústria 4.0 por meio de simulação. O setor automotivo foi um dos setores que mais se desenvolveram nos últimos anos com o suporte da indústria 4.0, sendo um exemplo emblemático deste desenvolvimento, as tecnologias para redução da emissão de gases tóxicos no ambiente. Outra observação que se pode fazer a partir do mapa, é a incipiência de palavras-chave abordando o *e-commerce* em relação a customização em massa e a indústria 4.0.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os avanços tecnológicos direcionados pelo contexto da indústria 4.0 têm alterado vários aspectos nos sistemas produtivos e contribuído de maneira significativa para a difusão de produtos cada vez mais personalizados e com custos de produção e tempos de processamento que atendam às demandas atuais do mercado.

Sistemas de produção estão cada vez mais flexíveis através de uma maior integração dos processos de demanda, manufatura e logística, dentre outros atores do ambiente produtivo, como os sistemas cyber - físicos. Essa maior interação é possibilitada por avanços nos campos de *big data* e internet das coisas (IoT), através de uma coleta minuciosa, processamento, análise e armazenamento de dados, que permitem tanto a oferta de produtos mais adequados às necessidades dos consumidores, quanto o desenvolvimento de sistemas produtivos altamente adaptáveis às mudanças necessárias à personalização de forma eficiente e otimizada.

O crescimento no interesse pelo assunto relacionado à flexibilização dos sistemas produtivos para a oferta de bens cada vez mais personalizados por meio de ferramentas da indústria 4.0 pode ser comprovado através de uma revisão bibliométrica sobre o tema. Foi percebido um acentuado crescimento no número de artigos publicados ao longo dos anos, sendo que a maior parte deles pertence à Alemanha, país no qual o termo indústria 4.0 teve seu surgimento.

Uma limitação dos resultados aqui apresentados a partir da metodologia proposta para esta pesquisa foi a desconsideração de outros idiomas além do português e inglês, uma vez que um número considerável de pesquisas se encontra na Alemanha. Assim, para trabalhos futuros

sobre o tema, poderiam ser exploradas mais a fundo os conceitos e as ferramentas dentro do contexto da indústria 4.0 considerando os artigos de origem alemã.

REFERÊNCIAS

- AHELEROFF, S; PHILIP, R.; ZHONG, R. Y.; XU, X. The degree of mass personalisation under industry 4.0. **Procedia CIRP**, v. 81, p. 1394–1399, 2019.
- ALCÁCER, V.; CRUZ-MACHADO, V. Scanning the Industry 4.0: A Literature Review on Technologies for Manufacturing Systems. **Engineering Science and Technology, an International Journal**, v. 22, n. 3, p. 899–919, 2019.
- ARAÚJO, C. A. Bibliometria: evolução histórica e questões atuais. **Em Questão: Revista da Faculdade de Biblioteconomia e Comunicação da UFRGS**. Porto Alegre, 12 (1), 11-32, 2006.
- ARIA, M.; CUCCURULLO, C. bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. **Journal of Informetrics**, v. 11, n. 4, p. 959–975, 2017.
- BENDUL, J. C.; BLUNCK, H. The design space of production planning and control for industry 4.0. **Computers in Industry**, v. 105, p. 260–272, 2019.
- BIANCONI, F.; FILIPPUCCI, M.; BUFFI, A. Automated design and modeling for mass-customized housing. A web-based design space catalog for timber structures. **Automation in Construction**. 103, 13 - 25. 2019.
- BUFREM, L. S.; PRATES, Y. (2006). O saber científico registrado e as práticas de mensuração da informação. **Ciência da Informação**, [S.l.], 34 (2).
- DENKENA, B; DITTRICH, M. A.; JACOB, S. Methodology for integrative production planning in highly dynamic environments. **Production Engineering**, 13, 317 – 324. 2019.
- GHOBAKHLOO, M. The future of manufacturing industry: a strategic roadmap toward Industry 4.0. **Journal of Manufacturing Technology Management**, 29 (6), 910 – 936, 2018.
- KRÄ, M.; HÖRBRAND, S.; SCHILP, J. Dynamic production control for flexibility in cyber-physical production systems using an autonomous transport system. **Procedia CIRP**, v. 81, p. 1160–1165, 2019.
- LU, Y.; XU, X. Cloud-based manufacturing equipment and big data analytics to enable on-demand manufacturing services. **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, v. 57, n. October 2018, p. 92–102, 2019.
- MACCARTHY, B. L.; FERNANDES, F. C. F. A multi-dimensional classification of production systems for the design and selection of production planning and control systems. **Production Planning & Control: The Management of Operations**, 11 (5), 481-496, 2000.
- MERDAN, M.; HOEBERT, T., LIST, E., & LEPUSCHITZ, W. Knowledge-based cyber-physical systems for assembly automation. **Production and Manufacturing Research**, v. 7, n. 1, p. 223–254, 2019.
- PEREIRA, A. C.; ROMERO, F. A review of the meanings and the implications of the

Industry 4.0 concept. **Procedia Manufacturing**, v. 13, p. 1206–1214, 2017.

TESSARINI, G.; SALTORATO, P. Impactos da indústria 4.0 na organização do trabalho: uma revisão sistemática da literatura. **Revista Produção Online**, 18(2), 743-769, 2018.

VAN ECK, N.J.; WALTMAN, L. Visualizing bibliometric networks. In Y. Ding, R. Rousseau, & D. Wolfram (Eds.), **Measuring scholarly impact: Methods and practice**, 285–320, 2014.

WOJTYNEK, M.; STEIL, J. J.; WREDE, S. Plug, Plan and Produce as Enabler for Easy Workcell Setup and Collaborative Robot Programming in Smart Factories. **KI - Künstliche Intelligenz**, v. 33, n. 2, p. 151–161, 2019.

ZAKI, M., SHAPIRA, P., THEODOULIDIS, B., & NEELY, A. Redistributed Manufacturing and the Impact of Big Data: A Consumer Goods Perspective. **Production Planning & Control**, 30 (7), 568-581, 2019.

ZHANG, X. MING, X., LIU, Z., QU, Y., & YIN, D. State-of-the-Art Review of Customer to Business (C2B) Model. In **Computers & Industrial Engineering**. 132, 207 - 222, 2019.

APÊNDICE A - Palavras-chave mais utilizadas pelos autores

Posição	Palavras-chave	Ocorrência	Força da ligação
1	Mass customization	419	272
2	Product family	40	60
3	Modularity	42	57
4	Customization	75	55
5	Supply chain management	48	50
6	Product platform	27	40
7	Supply chain	26	40
8	Personalization	29	36
9	Product configuration	43	36
10	Product development	27	30
11	Product design	31	29
12	Commonality	10	27
13	Mass production	12	27
14	Modular design	23	26
15	Product variety	20	26
16	Additive manufacturing	25	25
17	Genetic algorithm	17	23
18	Postponement	26	22

19	3d printing	15	21
20	Game theory	10	21
21	Big data	7	20
22	Data minig	17	20
23	Flexibility	23	20
24	Digital manufacturing	8	19
25	Manufacturing	11	19
26	E-commerce	15	17
27	Variety	9	17
28	Design	11	16
29	Assembly	12	15
30	Simulation	18	15
31	Automotive industry	15	14
32	Case study	14	14
33	Complexity	12	14
34	Modularization	12	14
35	Optimization	13	14
36	Services	10	14
37	Industry 4.0	24	13
38	Information technology	13	12
39	Product differentiation	8	12
40	Product planning	14	10