Área: Sustentabilidade | **Tema:** Temas Emergentes em Sustentabilidade

CONSTRUÇÃO 4.0 SUSTENTÁVEL: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

SUSTAINABLE 4.0 BUILDING: a systematic literature review

Cristian Teixeira Marques

RESUMO

Uma nova estratégia introduzida aos mecanismos de produção vem trazendo uma nova perspectiva para indústria, através da interconexão de recursos, criando fábricas inteligentes com auto otimização dos processos de produção, prometendo cada vez mais eficiência (KAMBLE et al., 2018). Nesse contexto, a 4ª revolução cria um importante vínculo ao conceito de desenvolvimento sustentável, fortemente discutido atualmente pelas organizações. Embora originalmente aplicada à manufatura, a transformação digital na era da Indústria 4.0 está lenta, mas mudando o setor de construção (DALLASEGA et al., 2018).

Palavras-Chave: Indústria 4.0. Construção Civil. Sustentabilidade.

ABSTRACT

A alta complexidade da indústria da construção leva a altos níveis de incerteza no setor (OESTERREICH; TEUTEBERG, 2016). Desta forma, atingir um nível de integração e digitalização maior, como se traduz a proposta da indústria 4.0, pode ser um importante passo no alcance de benefícios. Com o crescente interesse em torno da Indústria 4.0, evidencia-se uma carência de revisões sistemáticas acerca da temática relacionando. Sendo assim, este trabalho busca explorar o status da pesquisa nos domínios da Indústria 4.0, sustentabilidade e construção, com base em uma revisão sistemática da literatura.

Keywords: Industry 4.0. Civil Construction. Sustainability.

CONSTRUÇÃO 4.0 SUSTENTÁVEL: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

1 INTRODUÇÃO

Uma nova estratégia introduzida em meio aos mecanismos de produção vem trazendo uma nova perspectiva para indústria, através da interconexão de recursos, máquinas e até mesmo de sistemas logísticos, criando fábricas inteligentes com a auto otimização dos processos de produção locais, prometendo cada vez mais eficiência, com o máximo de produção e a mínima utilização de recursos (KAMBLE; GUNASEKARAN; GAWANKAR, 2018; KOVACS, 2018). Nesse contexto, pode-se dizer que a quarta revolução industrial, cria um importante vínculo ao conceito de desenvolvimento sustentável, fortemente discutido atualmente pelas organizações.

De acordo com Oesterreich e Teuteberg (2016), o termo Indústria 4.0 compreende uma variedade de tecnologias que visam permitir o desenvolvimento de um ambiente de fabricação digital e automatizado, resultando em melhorias na qualidade dos produtos e na diminuição do tempo necessário para a colocação destes no mercado, bem como melhorias no desempenho das empresas como um todo. Para Carvalho et al. (2018), a Indústria 4.0 tem sido considerada uma das principais tendências nos sistemas de produção, com claras implicações para a sustentabilidade nas organizações.

O rápido desenvolvimento da tecnologia da informação e comunicação (TIC) e da Internet das coisas (IoT) vem facilitando a adoção de novas tecnologias por empresas para automatizar seus sistemas de produção, e esse desenvolvimento pode dar imensas oportunidades para os fabricantes protegerem e controlarem os impactos ambientais usando a tecnologia inteligente que pode ser desenvolvida via TIC e IoT (MOKTADIR et al., 2018).

Embora originalmente aplicada à manufatura, a transformação digital na era da Indústria 4.0 está lenta, mas mudando o setor de construção (DALLASEGA; RAUCH; LINDER, 2018). A indústria da construção enfrenta obstáculos diferentes do setor manufatureiro, afinal os projetos de construção geralmente são únicos, limitados no tempo, exigem altos graus de personalização e, em parte, são realizados em diferentes locais muitas vezes influenciados pelas condições climáticas. Além disso, devido à natureza temporária dos projetos de construção, faltam especificações completas e padronizadas para processos, materiais, trabalho e equipes (OESTERREICH; TEUTEBERG, 2016). Essa complexidade leva a altos níveis de incerteza no setor. Desta forma, atingir um nível de integração e digitalização maior, como se traduz a proposta da indústria 4.0, pode ser um importante passo no alcance de benefícios significantes em termos de redução de falhas, aumento de eficiência e produtividade.

Com o crescente interesse em torno da Indústria 4.0, evidencia-se uma carência de revisões sistemáticas acerca da temática relacionando a mesma ao setor da construção civil e ao conceito de desenvolvimento sustentável de maneira conjunta. Sendo assim, semelhante ao que foi feito por Kamble, Gunasekaran e Gawankar (2018), este trabalho busca explorar o status da pesquisa nos domínios da Indústria 4.0, sustentabilidade e construção, com base em uma revisão sistemática da literatura.

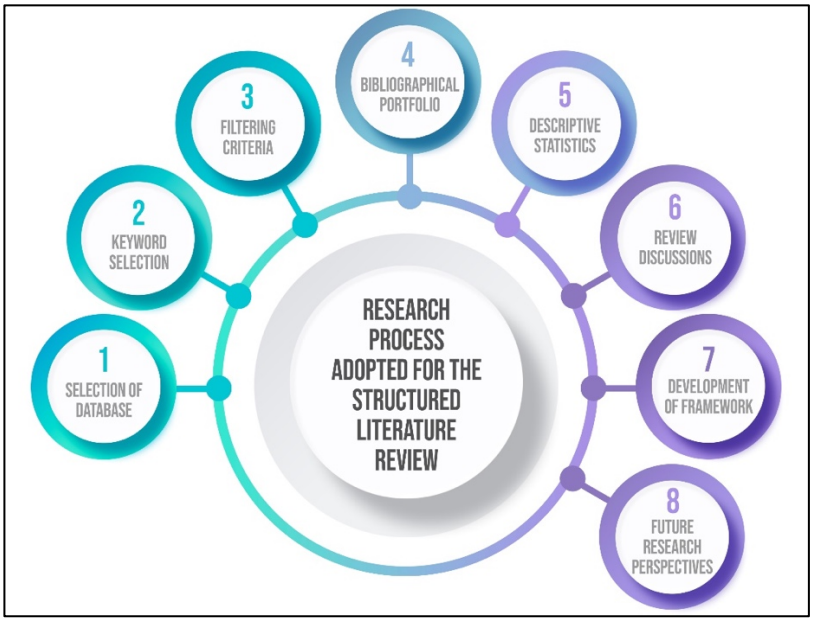
2 METODOLOGIA

O presente artigo apresenta uma revisão sistemática realizada com o objetivo de se identificar os estudos existentes relevantes com base em questões de pesquisa previamente formuladas, e avaliar as suas respectivas contribuições. De acordo com Caiado et al. (2017), as revisões sistemáticas são caracterizadas por uma busca abrangente e organizada de diferentes estudos, por meio da adoção de uma estratégia reproduzível de seleção, extração dos dados e

informações, análise e interpretação dos resultados, e verificação das implicações para o futuro das pesquisas, políticas e práticas. A sequência de passos adotada na construção desta revisão sistêmica, foi uma adaptação do método ProKnow-C, que se trata de uma abordagem sistemática para organizar o conhecimento a partir de uma revisão de literatura, e compreende os seguintes passos: elaboração de portfólio bibliográfico; análise bibliométrica e análise sistêmica (VIEGAS et al., 2016).

Para desenvolver a revisão e ampliar a compreensão acerca da temática discutida, foi delimitada a seguinte questão de pesquisa: Qual o estado da literatura científica internacional sobre o tema indústria 4.0, sua relação com o conceito de desenvolvimento sustentável, e como estes temas vem sendo abordados de maneira conjunta e inseridos no setor da construção civil. Com isso, a metodologia de revisão estruturada adotou um processo de seis etapas (KAMBLE; GUNASEKARAN; GAWANKAR, 2018), conforme apresentado na Figura 1, sendo elas: (i) seleção do banco de dados; (ii) seleção das palavras-chave; (iii) critérios de filtragem (inclusão e exclusão); (iv) portfólio bibliográfico; (v) revisão bibliométrica; (vi) revisão sistêmica.

Figura 1 - Research process adopted for the structured literature review.



Fonte: autores.

2.1 SELEÇÃO DO BANCO DE DADOS

A estratégia de pesquisa foi desenvolvida inicialmente pela busca das fontes de dados relevantes. Sendo assim, para ter acesso a uma ampla gama de publicações científicas, foram escolhidos dois bancos de dados, Scopus e Science Direct. Essas bases são dois dos mais extensos bancos de dados de resumos e citações incluindo milhares de periódicos revisados por pares nos campos científico, técnico, e de ciências médicas e sociais. Juntos abrangem mais de 20 mil revistas científicas e mais de 14 milhões de publicações.

2.2 SELEÇÃO DAS PALAVRAS-CHAVE

Nesta pesquisa, o tema a ser aprofundado é a indústria 4.0 e a sua relação com o desenvolvimento sustentável e a indústria da construção, sendo estes, os três eixos norteadores da pesquisa. Com isso, as principais palavras-chave utilizadas – “industry 4.0”, “construction”

e “sustainability” – foram escolhidas com atenção ao objetivo principal do estudo, e sequencialmente combinadas por meio da expressão “AND”. Isto procurou recuperar as publicações que abordam simultaneamente, ou não, as temáticas em questão. A busca por artigos foi realizada utilizando combinações de palavras-chave nos títulos, resumos e palavras-chave dos artigos das bases de dados selecionadas.

2.3 CRITÉRIOS DE FILTRAGEM (INCLUSÃO E EXCLUSÃO)

A pesquisa inicial resultou em um total de 293 publicações na Scopus e 14.892 na Science Direct, assegurando que os diferentes aspectos da indústria 4.0 fossem abrangidos. Capítulos de livros, livros, teses de doutorado, notas editoriais etc. foram excluídos da pesquisa para garantir que a pesquisa tivesse origem em fontes acadêmicas (KAMBLE; GUNASEKARAN; GAWANKAR, 2018).

Nesta etapa o objetivo foi a generalização das evidências, aplicando uma extensa pesquisa de palavras-chave usando os principais bancos de dados, conforme descrito acima e escolhidos, conforme Viegas et al. (2016) e Kamble, Gunasekaran e Gawankar (2018). Os critérios para determinação dos estudos a serem considerados a partir da literatura científica, está detalhada na Tabela 1. Para o critério dos periódicos inclusos na pesquisa, a seleção foi feita por meio da análise do escopo das publicações de cada revista.

Tabela 1 – Critérios de seleção da revisão sistemática.

Sequência	Critério	Inclusão	Exclusão
1	Período	2010 a 2022	Qualquer estudo publicado antes de 2010
2	Área da matéria	Engenharia; Negócios, Gestão e Contabilidade; Ciência da Computação; Ciência de materiais; Ciências Sociais; Ciências Ambientais.	Qualquer outra área de pesquisa (por exemplo, Matemática; Ciências da decisão; Energia; Física e Astronomia; Química; Economia e Finanças; Artes e Humanidades; Psicologia etc.)
3	Periódicos	Procedia Engineering, Journal of Cleaner Production, Procedia – Social and Behavioral Sciences, Procedia CIRP, Procedia Manufacturing, Procedia Economics and Finance	Qualquer outro periódico que tenha escopo diferente da temática do estudo (Energy Procedia, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Construction and Building Materials, Energy Policy)
4	Tipo de Publicação	Artigos de Revisão e Artigos de pesquisa	Qualquer outro tipo de publicação (por exemplo, livros, contribuições para volumes editados, documentos de conferências, periódicos, documentos de trabalho)
5	Idioma	Inglês e espanhol (foram usadas palavras-chave em inglês)	Qualquer outro idioma
6	Tipo de Acesso	Acesso aberto e disponível online como texto completo	Não está disponível online como texto completo.

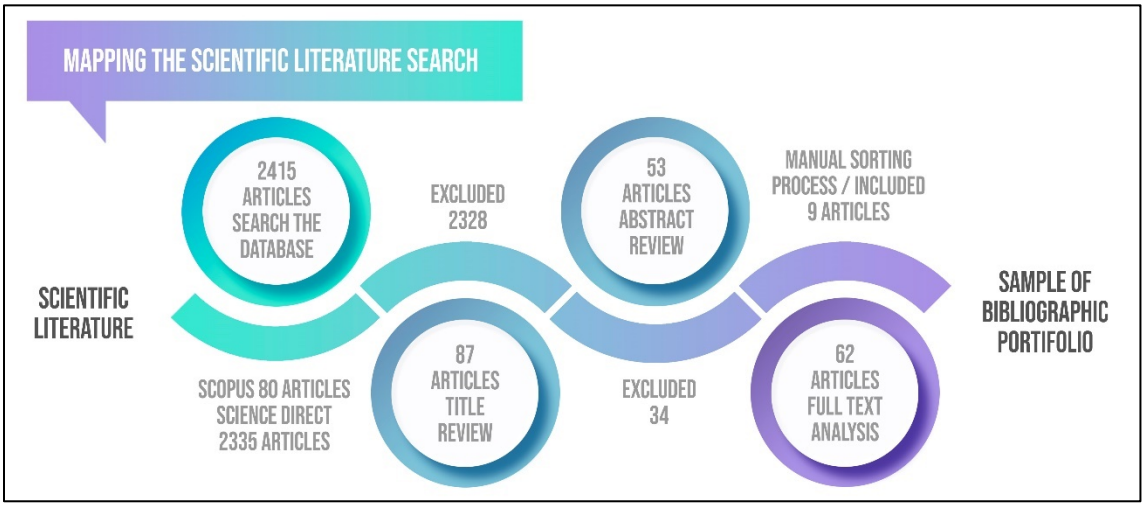
Fonte: autores.

2.4 PORTFOLIO BIBLIOGRÁFICO

Após a busca dos artigos científicos nas bases de dados mencionadas, a partir dos critérios de filtro destacados, a quantidade de artigos reduziu para um total de 80 artigos no Scopus e 2335 no Science Direct. Esta etapa do portfólio bibliográfico consiste na exclusão dos artigos que não estavam de acordo com os interesses da pesquisa, e que de alguma forma ainda estavam inclusos nos artigos das bases de dados. Assim como Viegas et al. (2016) e Caiado et al. (2017), a filtragem dos artigos foi feita por meio dos seguintes passos: (i) eliminação de artigos redundantes; (ii) alinhamento dos títulos dos artigos com a temática; (iii) alinhamento dos abstracts dos artigos com a temática; (iv) disponibilidade de artigos de texto completo nas bases de dados.

Com a leitura dos títulos da totalidade de artigos localizados relacionados à indústria 4.0, o desenvolvimento sustentável e o setor da construção, no âmbito desta pesquisa, foi possível de se garantir que a revisão evitasse as incertezas abrangendo assim todo o campo de forma exaustiva. Todo o processo da pesquisa pode ser observado na Figura 2. Em última análise, 62 artigos científicos foram considerados elegíveis para a revisão sistemática.

Figura 2 - Mapping the scientific literature search.



Fonte: autores.

Inicialmente o banco de dados apresentava 2415 artigos (sendo 80 do Scopus, e 2335 do Science Direct), os quais foram reduzidos, primeiro por meio de uma análise dos títulos à 87 artigos (2328 excluídos), e na sequência, com a leitura dos resumos, à 53 artigos (34 excluídos). Juntamente destes 53 artigos selecionados, outros 9 estudos foram incluídos através de um processo de triagem manual, de maneira a se garantir uma cobertura completa acerca da temática. Por fim, o total de 62 artigos selecionados foram analisados em profundidade (análise de texto completo) em um processo iterativo que resultou na amostra de Portfólio Bibliográfico.

De acordo com Caiado et al. (2017), o Portfólio Bibliográfico representa a percepção e a delimitação dos autores, bem como a representatividade dos artigos. Depois de identificados os artigos relevantes, um quadro para a extração de dados, foi construído em uma planilha do Microsoft Excel, a fim de serem identificadas informações como características bibliográficas da fonte, tipo de estudo e outras dimensões contextuais, como foco geográfico, período de publicação, periódicos, palavras-chave e foco adotado no estudo.

3 ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

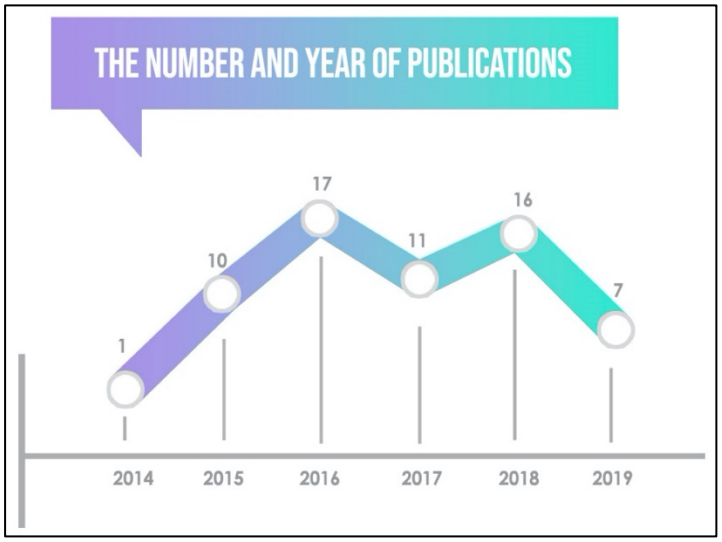
3.1 ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

Métodos bibliométricos são utilizados para examinar as características das publicações incluindo países, organizações de pesquisa, periódicos, campos de pesquisa, e análise de conteúdo como palavras em títulos, autores e palavras-chave (CAIADO et al., 2017). Esta seção demonstra a análise descritiva acerca do portfólio bibliográfico definido.

3.1.1 Ano de publicação

Um dos critérios para determinação dos estudos considerados a partir da literatura científica, foi o período de publicação de periódicos entre 2010 e 2019. Após as etapas de filtragem com inclusão/exclusão, foram selecionados os artigos que compõem o portfólio deste estudo. A partir das datas de publicação dos artigos selecionados foi elaborado o gráfico da Figura 3, que apresenta o desenvolvimento evolutivo de trabalhos com o enfoque da indústria 4.0. Como pode ser observado, existe uma tendência de aumento de artigos publicados, o que mostra o crescente nível de interesse dos pesquisadores, nesta nova revolução nos processos produção de uma maneira geral, desde 2015.

Figura 3 - The number and year of publications.



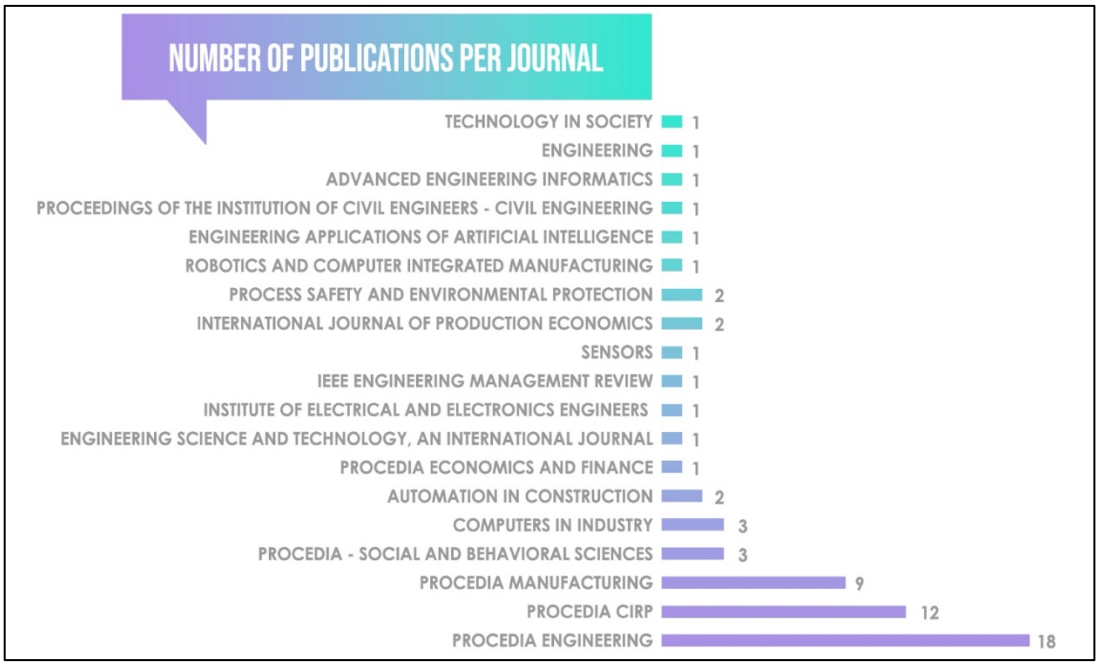
Fonte: autores.

Em 2016, Oesterreich e Teuteberg (2016) afirmaram que a Indústria 4.0 ainda não possuía uma definição clara a seu respeito, e ainda mais quando relacionada ao ambiente construído. Além disso, segundo os autores, neste mesmo ano, o tópico Indústria 4.0 atraia a atenção da mídia na indústria da construção, porém os esforços de pesquisa e/ou melhores práticas ainda não estavam amplamente difundidos. Ao compara-se estas afirmações com os dados apresentados no gráfico da Figura 2, observa-se que justamente no ano de 2016 houve um aumento considerável de pesquisas relacionadas ao tema.

3.1.2 Contribuições de periódicos

Outra análise interessante é a quantidade de publicações por periódico, a qual é apresentado na Figura 4. No gráfico da Figura 4 é possível de se observar que mais da metade dos artigos foram publicados por apenas 3 do total de 19 periódicos que compõem o portfólio, sendo: 18 do Procedia Engineering; 12 do Procedia CIRP; e 9 do Procedia Manufacturing; totalizando 39 artigos. Juntos os três periódicos contribuíram significativamente para o portfólio bibliográfico.

Figura 4 - Number of publications per journal.

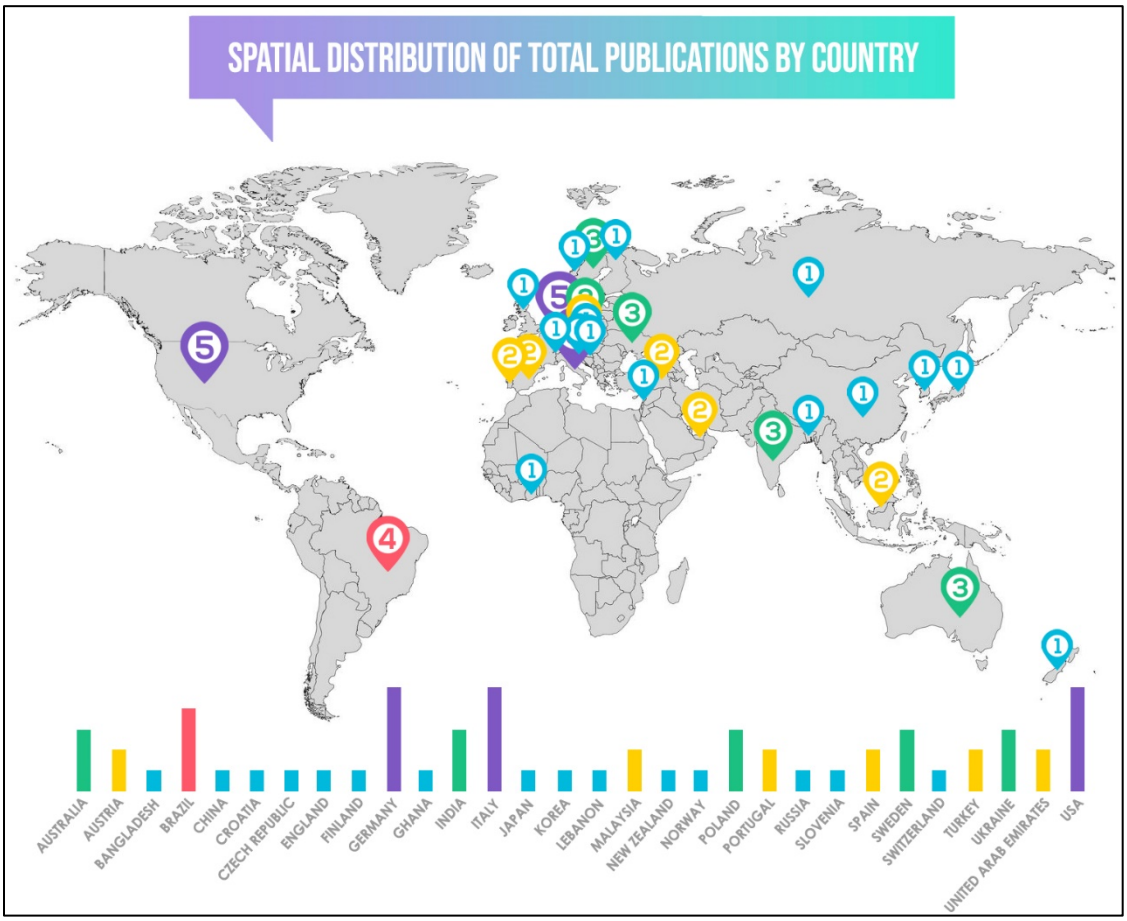


Fonte: autores.

3.1.3 Contribuições por país

A Figura 5 ilustra a distribuição geográfica dos estudos analisados, e esta demonstra o interesse global no tópico. As localizações dos autores, com vários países foram analisadas, mostrando que os EUA, a Itália e a Alemanha dominam a lista, com 5 artigos publicados cada um. Além disso na sequência tem-se o Brasil com 4 artigos, a Austrália, a Índia, a Polônia, a Suécia e a Ucrânia em seguida na lista com 3 contribuições cada um respectivamente.

Figura 5 - Spatial distribuition of total publications by country.

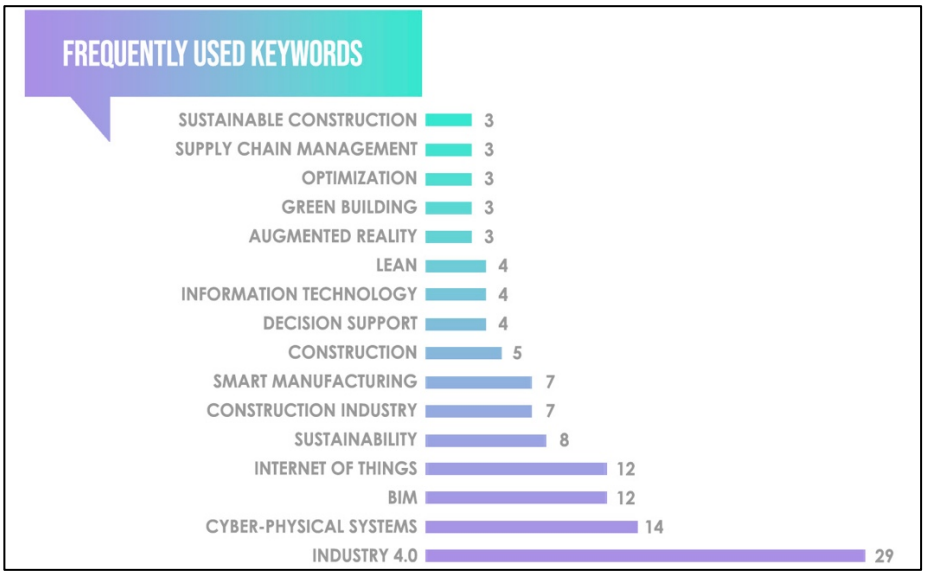


Fonte: autores.

3.1.4 Palavras-chave

As palavras-chave mais utilizadas em todos os artigos selecionados foram contabilizadas. “Industry 4.0” foi a palavra-chave mais usada (29 vezes, 34%), seguida por “cyber-physical systems” (14 vezes, 16%), “BIM” e “internet of things” (12 vezes cada uma, 14%), “sustainability” (8 vezes, 9%), “smart manufacturing” e “construction industry” (7 vezes cada uma, 8%). As outras palavras-chave mais usadas foram “construction”, “decision support”, “information technology”, “lean”, “augmented reality”, “green building”, “optimization”, “supply chain management” e “sustainable construction” (Figura 6). Além disso, 79% das palavras-chave (151 palavras), foram citadas apenas uma vez, e 12% (23 palavras-chave) foram citadas 2 vezes.

Figura 6 - Frequently used keywords.



Fonte: autores.

3.2 ANÁLISE DE CONTEÚDO – REVISÃO SISTÊMICA

Oesterreich e Teuteberg (2016) afirmam que a definição específica da Indústria 4.0 para a construção compreende uma ampla gama de tecnologias e conceitos interdisciplinares que permitem a digitalização, automação e integração do processo de construção em diferentes estágios. Segundo os autores, em alguns casos, a Indústria 4.0 é usada como sinônimo para descrever o uso crescente de Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) e outras tecnologias de fabricação, mas não contém mais especificações. Nesse sentido, tomando como modelo o trabalho desenvolvido por Oesterreich e Teuteberg (2016) e Kamble, Gunasekaran e Gawankar (2018), foram agrupadas as tecnologias, conceitos, sinônimos e termos identificados, em 4 clusters principais e 20 categorias/conceitos a fim de se construir uma lista de conceitos.

3.2.1 Clusters

Para a análise e síntese das publicações relevantes, utilizamos a abordagem conceitual de classificação de Oesterreich e Teuteberg (2016). Dessa forma as publicações científicas foram agrupadas em 4 clusters principais e 20 categorias como pode ser observado na tabela da Tabela 2. É importante ressaltar que existem sobreposições entre os clusters e as categorias definidas, uma vez que vários dos artigos relevantes poderiam ser atribuídos a mais de um cluster.

Tabela 2 – Lista de conceitos e classificação em clusters.

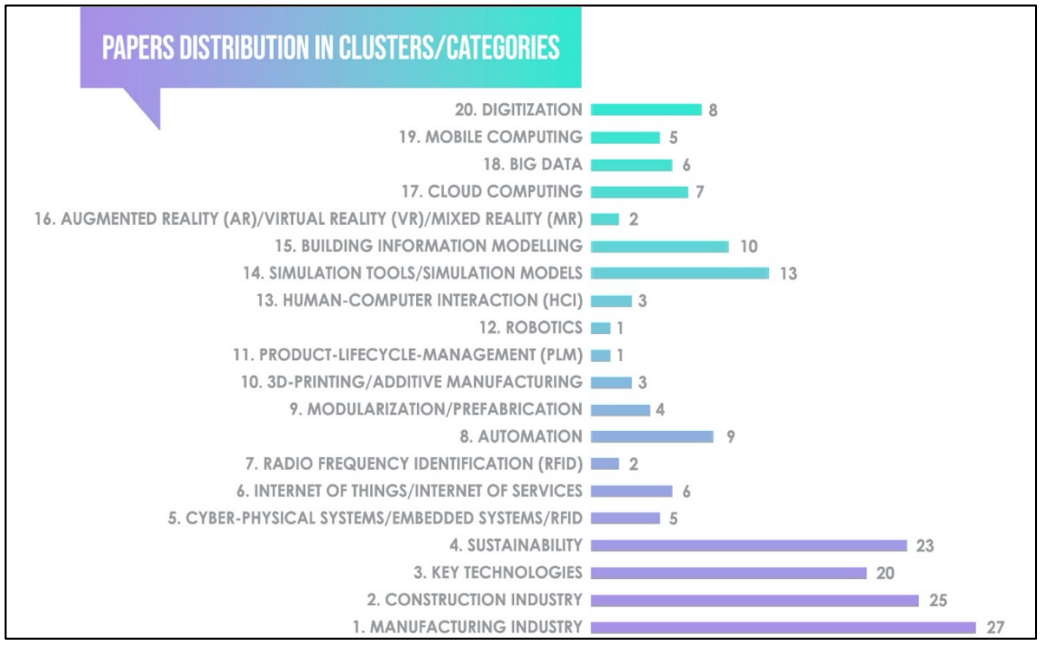
Clusters		Categories
Industry 4.0 Concepts	1	Manufacturing industry
	2	Construction industry
	3	Key Technologies
	4	Sustainability
Smart Factory	5	Cyber-Physical systems, Embedded systems
	6	Internet of Things, Internet of Services
	7	Radio Frequency Identification (RFID)
	8	Automation

	9	Modularization, Prefabrication
	10	3D-Printing, Additive Manufacturing
	11	Product Lifecycle Management (PLM)
	12	Robotics
	13	Human-Computer Interaction (HCI)
Simulation and modelling	14	Simulation tools, Simulation models
	15	Building Information Modelling
	16	Augmented Reality (AR), Virtual Reality (VR), Mixed Reality (MR)
Digitization and virtualization	17	Cloud Computing
	18	Big Data
	19	Mobile Computing
	20	Digitization

Fonte: autores.

No primeiro cluster proposto (Industry 4.0 Concepts), foram enquadrados os artigos que apresentam uma abordagem mais conceitual acerca da Indústria 4.0. Os outros três clusters (Smart Factory, Simulation and modelling, Digitization and virtualization) consideram as publicações que abordam a temática por meio de uma abordagem mais específica dentro do universo das tecnologias e processos característicos da Indústria 4.0. A quantidade de artigos que aborda de maneira geral e conceitual a Indústria 4.0 é consideravelmente maior do que aqueles que apresentam estudos focados com aplicações específicas, reafirmando novamente a ideia de que a manufatura inteligente é um campo de estudo emergente e que acaba de começar a ganhar atenção. A Figura 7 apresenta a distribuição das publicações científicas selecionadas conforme as 20 categorias propostas. Uma matriz conceitual mais detalhada, incluindo todas as referências.

Figura 7 - Papers distribution in clusters/categories.



Fonte: autores.

Os resultados da análise de conteúdo qualitativa mostram que depois das 4 primeiras categorias referentes a primeiro cluster (Industry 4.0 Concepts), as ferramentas e modelos de simulação juntamente do Building Information Modelling (BIM) são considerados como as tecnologias centrais para a digitalização do ambiente de produção da construção, como foi

mencionado em 13 e 10 das publicações investigadas, respectivamente. Este resultado é semelhante ao apresentado por Oesterreich e Teuteberg (2016), onde as descobertas estatísticas da literatura mais citadas na Indústria 4.0, como simulação e modelagem, foram descritas como um dos conceitos mais relevantes para gerenciar a crescente complexidade dos processos de manufatura.

Entre as outras tecnologias e categorias associadas estão conceitos de fabricação inteligente bem conhecidos como a Modularização (4 artigos), a Robótica (1 artigo), e o Product-Lifecycle-Management (PLM) (1 artigo), assim como também as tecnologias de informação e comunicação (TIC) como a Computação Móvel (5 artigos) e Identificação por Radiofrequência (RFID) (5 artigos). As tecnologias base e os conceitos característicos da Indústria 4.0 como Big Data (6 artigos), Computação na Nuvem (7 artigos), Internet das Coisas (IoT) (6 artigos), Automação (9 artigos), Impressão 3D (3 artigos) e Sistemas Ciberfísicos (CPS) ou embarcados (5 artigos). Além disso, Realidade Aumentada (RA), Realidade Virtual (VR), Realidade Mista (MR) (2 artigos) e Interação Humano-Computador (HCI) (3 artigos) são os principais componentes da Indústria 4.0 para permitir um ambiente de construção digitalizado.

4 CONCLUSÃO

Este artigo teve como objetivo principal investigar o estado atual da arte sobre o tema da Indústria 4.0 relacionada a indústria da construção e a sustentabilidade, através da realização de uma Análise de Revisão Sistemática pela metodologia ProKnow-C. Com isso, 62 artigos foram cuidadosamente analisados, e como resultado, esta revisão indica que a Indústria 4.0 é uma área emergente com um aumento no número de publicações nos últimos anos. A literatura revela que os estudos sobre a Indústria 4.0 focam principalmente em conceitos básicos e teóricos, demonstrando os benefícios e desafios para o setor, as tecnologias relacionadas, e as principais implicações quanto ao uso potencial de diferentes perspectivas.

A definição específica do setor para o conceito Industry 4.0 na construção compreende uma infinidade de tecnologias interdisciplinares para permitir a digitalização, automatização e integração dos processos de construção em todas as etapas da cadeia de valor. Tecnologias centrais como Building Information Modeling (BIM), Cloud Computing ou Internet of Things são apenas algumas delas. O estado da arte dessas tecnologias encontra-se em diferentes níveis de maturidade. Por um lado, várias tecnologias já alcançaram maturidade do mercado e estão atualmente disponíveis, como por exemplo, o BIM, a computação em nuvem, a computação móvel, e a modularização. Por outro lado, outras tecnologias ainda estão em fase de formação, e estudo quando em aplicações específicas, como por exemplo, a manufatura aditiva e a realidade aumentada.

REFERÊNCIAS

Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI). **Agenda brasileira para a Indústria 4.0.** Brasília, 2017. Disponível em: < http://www.industria40.gov.br/>. Acesso em: 13 dezembro 2018.

AHMAD, Tayyab; AIBINU, Ajibade; THAHEEM, Muhammad Jamaluddin. BIM-based iterative tool for sustainable building design: A conceptual framework. **Procedia Engineering**, [s.i.], v. 180, p.782-792, 2017. Doi: 10.1016/j.proeng.2017.04.239.

AHN, Yong Han et al. Integrated Construction Process for Green Building. **Procedia Engineering**, [s.i.], v. 145, p.670-676, 2016. Doi: 10.1016/j.proeng.2016.04.065.

ALADAG, Hande; DEMIRDÖGEN, Gökhan; ISđK, Zeynep. Building Information Modeling (BIM) Use in Turkish Construction Industry. **Procedia Engineering**, [s.i.], v. 161, p.174-179, jan. 2016. Doi: 10.1016/j.proeng.2016.08.520.

AMETEPEY, Ofori; AIGBAVBOA, Clinton; ANSAH, Kwame. Barriers to successful implementation of sustainable construction in the Ghanaian construction industry. **Procedia Manufacturing**, [s.i.], v. 3, p.1682-1689, 2015. Doi: 10.1016/j.promfg.2015.07.988.

ANDERSSON, Niclas; LESSING, Jerker. The Interface between industrialized and project-based construction. **Procedia Engineering**, [s.i.], v. 196, p.220-227, 2017. Doi: 10.1016/j.proeng.2017.07.193.

ARMSTRONG, Alexander et al. Enabling innovation in building sustainability: Australia's National Construction Code. **Procedia Engineering**, [s.i.], v. 180, p.320-330, 2017. Doi: 10.1016/j.proeng.2017.04.191.

AZIZ, Nor Diana; NAWAWI, Abdul Hadi; ARIFF, Nor Rima Muhamad. ICT Evolution in Facilities Management (FM): Building Information Modelling (BIM) as the Latest Technology. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, [s.i.], v. 234, p.363-371, jan. 2016. Doi: 10.1016/j.sbspro.2016.10.253.

BENDUL, Julia C.; BLUNCK, Henning. The design space of production planning and control for industry 4.0. **Computers in Industry**, [s.l.], v. 105, p.260-272, fev. 2019. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.compind.2018.10.010.

BLANCO-NOVOA, Oscar et al. A Practical Evaluation of Commercial Industrial Augmented Reality Systems in an Industry 4.0 Shipyard. **Ieee Access**, [s.l.], v. 6, p.8201-8218, 2018. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). http://dx.doi.org/10.1109/access.2018.2802699.

BONENBERG, Wojciech; WEI, Xia. Green BIM in sustainable infrastructure. **Procedia Manufacturing**, [s.i.], v. 3, p.1654-1659, 2015. Doi: 10.1016/j.promfg.2015.07.483.

CARVALHO, Núbia et al. Manufacturing in the fourth industrial revolution: A positive prospect in Sustainable Manufacturing. **Procedia Manufacturing**, [s.i.], v. 21, p.671-678, 2018. 10.1016/j.promfg.2018.02.170.

CRAVEIRO, Flávio et al. Additive manufacturing as an enabling technology for digital construction: A perspective on Construction 4.0. **Automation in Construction**, [s.l.], v. 103, p.251-267, jul. 2019. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2019.03.011.

DALENOGARE, Lucas Santos et al. The expected contribution of Industry 4.0 technologies for industrial performance. **International Journal of Production Economics**, [s.l.], v. 204, p.383-394, out. 2018. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2018.08.019.

DALLASEGA, Patrick. Industry 4.0 Fostering Construction Supply Chain Management: Lessons Learned from Engineer-to-Order Suppliers. **Ieee Engineering Management Review**, [s.l.], v. 46, n. 3, p.49-55, 1 set. 2018. Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE). http://dx.doi.org/10.1109/emr.2018.2861389.

DALLASEGA, Patrick; RAUCH, Erwin; LINDER, Christian. Industry 4.0 as an enabler of proximity for construction supply chains: A systematic literature review. **Computers in Industry**, [s.l.], v. 99, p.205-225, ago. 2018. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.compind.2018.03.039.

EROL, Selim et al. Tangible Industry 4.0: a scenario-based approach to learning for the future of production. **Procedia Cirp**, [s.i.], v. 54, p.13-18, 2016. Doi: 10.1016/j.procir.2016.03.162.

FERNÁNDEZ-CARAMÉS, Tiago et al. A Fog Computing Based Cyber-Physical System for the Automation of Pipe-Related Tasks in the Industry 4.0 Shipyard. **Sensors**, [s.l.], v. 18, n. 6, p.1961-1987, 17 jun. 2018. MDPI AG. http://dx.doi.org/10.3390/s18061961.

FRANK, Alejandro Germán; DALENOGARE, Lucas Santos; AYALA, Néstor Fabián. Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. **International Journal of Production Economics**, [s.l.], v. 210, p.15-26, abr. 2019. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.01.004.

GRIGOR'EVA, Larisa S; OLEINIK, Pavel P. Modelling of processing construction waste management system. **Procedia Engineering**, [s.i.], v. 153, p.208-216, 2016. Doi: 10.1016/j.proeng.2016.08.104.

HAGER, Izabela; GOLONKA, Anna; PUTANOWICZ, Roman. 3D printing of buildings and building components as the future of sustainable construction? **Procedia Engineering**, [s.i.], v. 151, p.292-299, 2016. Doi: 10.1016/j.proeng.2016.07.357.

HERTERICH, Matthias M.; UEBERNICKEL, Falk; BRENNER, Walter. The Impact of Cyber-Physical Systems on Industrial Services in Manufacturing. **Procedia Cirp**, [s.i.], v. 30, p.323-328, 2015. Doi: 10.1016/j.procir.2015.02.110.

JENSEN, Christopher A. Staged competition as a driver of construction innovation. **Procedia Engineering**, [s.i.], v. 196, p.872-879, 2017. Doi: 10.1016/j.proeng.2017.08.019.

KAMARUDDIN, Siti Syariazulfa; MOHAMMAD, Mohammad Fadhil; MAHBUB, Rohana. Barriers and Impact of Mechanisation and Automation in Construction to Achieve Better Quality Products. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, [s.i.], v. 222, p.111-120, jan. 2016. Doi: 10.1016/j.sbspro.2016.05.197.

KAMBLE, Sachin S.; GUNASEKARAN, Angappa; GAWANKAR, Shradha A. Sustainable Industry 4.0 framework: A systematic literature review identifying the current trends and future perspectives. **Process Safety and Environmental Protection**, [s.l.], v. 117, p.408-425, jul. 2018. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.psep.2018.05.009.

KHADDAJ, Maggie; SROUR, Issam. Using BIM to Retrofit Existing Buildings. **Procedia Engineering**, [s.i.], v. 145, p.1526-1533, 2016. Doi: 10.1016/j.proeng.2016.04.192.

KOO, Dan D. et al. An Internet-of-Things (IoT) system development and implementation for bathroom safety enhancement. **Procedia Engineering**, [s.i.], v. 145, p.396-403, jan. 2016. Doi: 10.1016/j.proeng.2016.04.004.

KOVACS, Oliver. The dark corners of industry 4.0 – Grounding economic governance 2.0. **Technology in Society**, [s.l.], v. 55, p.140-145, nov. 2018. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.techsoc.2018.07.009.

LEE, Jay et al. Industrial big data analytics and cyber-physical systems for future maintenance & service innovation. **Procedia Cirp**, [s.i.], v. 38, p.3-7, 2015. Doi: 10.1016/j.procir.2015.08.026.

LEE, Jay; KAO, Hung-an; YANG, Shanhu. Service innovation and smart analytics for Industry 4.0 and big data environment. **Procedia Cirp**, [s.i.], v. 16, p.3-8, 2014. Doi: 10.1016/j.procir.2014.02.001.

MALTESE, Sebastiano et al. Sustainability assessment through green BIM for environmental, social and economic efficiency. **Procedia Engineering**, [s.i.], v. 180, p.520-530, 2017. Doi: 10.1016/j.proeng.2017.04.211.

MASOOD, Tariq; EGGER, Johannes. Augmented reality in support of Industry 4.0—Implementation challenges and success factors. **Robotics and Computer-integrated Manufacturing**, [s.l.], v. 58, p.181-195, ago. 2019. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.rcim.2019.02.003.

MAYR, A. et al. Lean 4.0 – A conceptual conjunction of lean management and Industry 4.0. **Procedia Cirp**, [s.i.], v. 72, p.622-628, 2018. 10.1016/j.procir.2018.03.292.

MEHRAN, Donya. Exploring the Adoption of BIM in the UAE construction industry for AEC firms. **Procedia Engineering**, [s.i.], v. 145, p.1110-1118, 2016. Doi: 10.1016/j.proeng.2016.04.144.

MOKTADIR, Md. Abdul et al. Assessing challenges for implementing Industry 4.0: Implications for process safety and environmental protection. **Process Safety and Environmental Protection**, [s.l.], v. 117, p.730-741, jul. 2018. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.psep.2018.04.020.

MONIZZA, Gabriele Pasetti; BENDETTI, Cristina; MATT, Dominik T. Parametric and Generative Design techniques in mass-production environments as effective enablers of Industry 4.0 approaches in the Building Industry. **Automation in Construction**, [s.l.], v. 92, p.270-285, ago. 2018. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2018.02.027.

MUHURI, Pranab K.; SHUKLA, Amit K.; ABRAHAM, Ajith. Industry 4.0: A bibliometric analysis and detailed overview. **Engineering Applications of Artificial Intelligence**, [s.l.], v. 78, p.218-235, fev. 2019. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.engappai.2018.11.007.

NAZARKO, Lukasz. Technology Assessment in Construction Sector as a Strategy towards Sustainability. **Procedia Engineering**, [s.i.], v. 122, p.290-295, jan. 2015. Doi: 10.1016/j.proeng.2015.10.038.

OESTERREICH, Thuy Duong; TEUTEBERG, Frank. Understanding the implications of digitisation and automation in the context of Industry 4.0: A triangulation approach and elements of a research agenda for the construction industry. **Computers in Industry**, [s.l.], v. 83, p.121-139, dez. 2016. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.compind.2016.09.006.

PIRES, Matheus Cardoso et al. Towards a simulation-based optimization approach to integrate pupply chain planning and control. **Procedia Cirp**, [s.i.], v. 72, p.520-525, 2018. 10.1016/j.procir.2018.03.288.

Price Waterhouse Coopers (PWC). **Pesquisa Global Indústria 4.0: Relatório Brasil**. 2016. Disponível em: <https://www.pwc.com.br/pt/publicacoes/servicos/assets/consultoria-negocios/2016/pwc-industry-4-survey-16.pdf>. Acesso em: 27 novembro 2018.

QIN, Jian; LIU, Ying; GROSVENOR, Roger. A Categorical Framework of Manufacturing for Industry 4.0 and Beyond. **Procedia Cirp**, [s.i.], v. 52, p.173-178, 2016. Doi: 10.1016/j.procir.2016.08.005.

SCHUMACHER, Andreas; EROL, Selim; SIHN, Wilfried. A maturity model for assessing Industry 4.0 readiness and maturity of manufacturing enterprises. **Procedia Cirp**, [s.i.], v. 52, p.161-166, 2016. Doi: 10.1016/j.procir.2016.07.040.

SMALL, Edgar P.; MAZROOEI, Mansoor Al. Alternative approaches for development of a construction-specific decision support tool for sustainable construction operations. **Procedia Engineering**, [s.i.], v. 145, p.1013-1020, 2016. Doi: 10.1016/j.proeng.2016.04.131.

STEFANIč, Matej; STANKOVSKI, Vlado. A review of technologies and applications for smart construction. **Proceedings of The Institution of Civil Engineers - Civil Engineering**, [s.l.], v. 172, n. 2, p.83-87, maio 2019. Thomas Telford Ltd. http://dx.doi.org/10.1680/jcien.17.00050.

STOCK, T.; SELIGER, G. Opportunities of Sustainable Manufacturing in Industry 4.0. **Procedia Cirp**, [s.i.], v. 40, p.536-541, 2016. Doi: 10.1016/j.procir.2016.01.129.

TONELLI, Flavio et al. A Novel Methodology for Manufacturing Firms Value Modeling and Mapping to Improve Operational Performance in the Industry 4.0 era. **Procedia Cirp**, [s.i.], v. 57, p.122-127, 2016. Doi: 10.1016/j.procir.2016.11.022.

TRSTENJAKA, Maja; COSICA, Predrag. Process planning in Industry 4.0 environment. **Procedia Manufacturing**, [s.l.], v. 11, p.1744-1750, jun. 2017. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.303.

TULENHEIMO, Risto. Challenges of implementing new technologies in the world of BIM – Case study from construction engineering industry in Finland. **Procedia Economics and Finance**, [s.i.], v. 21, p.469-477, 2015. Doi: 10.1016/S2212-5671(15)00201-4.

TUPA, Jiri; SIMOTA, Jan; STEINER, Frantisek. Aspects of risk management implementation for Industry 4.0. **Procedia Manufacturing**, [s.l.], v. 11, p.1223-1230, jun. 2017. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.248.

ULLAH, Amm Sharif. Modeling and simulation of complex manufacturing phenomena using sensor signals from the perspective of Industry 4.0. **Advanced Engineering Informatics**, [s.l.], v. 39, p.1-13, jan. 2019. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.aei.2018.11.003.

URIARTE, Ainhoa Goienetxea; NG, Amos H. C.; MORIS, Matías Urenda. Supporting the learn journey with simulation and optimization in the context of Industry 4.0. **Procedia Manufacturing**, [s.i.], v. 25, p.586-593, 2018. 10.1016/j.promfg.2018.06.097.

VESTIN, Alexander; SÄFSTEN, Kristina; LÖFVING, Malin. On the way to a smart factory for single-family wooden house builders in Sweden. **Procedia Manufacturing**, [s.i.], v. 25, p.459-470, 2018. 10.1016/j.promfg.2018.06.129.

WAGNER, Tobias; HERRMANN, Christoph; THIEDE, Sebastian. Industry 4.0 impacts on lean production systems. **Procedia Cirp**, [s.i.], v. 63, p.125-131, 2017. Doi: 10.1016/j.procir.2017.02.041.

WANG, Chao; CHO, Yong K. Performance Evaluation of Automatically Generated BIM from Laser Scanner Data for Sustainability Analyses. **Procedia Engineering**, [s.i.], v. 118, p.918-925, jan. 2015. Doi: 10.1016/j.proeng.2015.08.531.

YILMAZ, Mustafa; BAKIS, Adem. Sustainability in Construction Sector. **Procedia - Social and Behavioral Sciences**, [s.i.], v. 195, p.2253-2262, jan. 2015. Doi: 10.1016/j.sbspro.2015.06.312

ZHANG, Jinyue. BIM-enabled Modular and Industrialized Construction in China. **Procedia Engineering**, [s.i.], v. 145, p.1456-1461, 2016. Doi: 10.1016/j.proeng.2016.04.183.

ZHONG, Ray Y. et al. Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review. **Engineering**, [s.l.], v. 3, n. 5, p.616-630, out. 2017. Elsevier BV. http://dx.doi.org/10.1016/j.eng.2017.05.015.