

Indústria 5.0: reflexões sobre uma nova abordagem paradigmática para a indústria

Autoria

Ricardo Pereira - rikardop@gmail.com

PPGEGC- Engenharia e Gestão do Conhecimento / UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina

Neri dos Santos - nerisantos@gmail.com

Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Gestão do Conhecimento / UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Resumo

Enquanto as empresas ao redor do mundo se adaptam à Indústria 4.0, a discussão sobre a Indústria 5.0 já começou. Trata-se de um conceito visionário que considera a sustentabilidade, a centralidade no ser humano, a resiliência organizacional e a colaboração ser humano-máquina como uma tendência para o futuro da indústria. Por se tratar de um tema novo, há pouco consenso sobre como defini-lo. O presente estudo, então, visando suprir essa lacuna, investigou e revisou o atual estado do conhecimento sobre a Indústria 5.0. A revisão de escopo foi utilizada para analisar publicações coletadas das bases Scopus, Scielo, Spell e Web of Science e de revistas de gestão e negócios do país e Anais do Enanpad, nesses dois últimos casos para retratar o contexto brasileiro. Os resultados apontam para um novo estágio da indústria que considera a tecnologia, ainda, como habilitadora dessa nova realidade, embora vise desprender-se de uma perspectiva tecnocêntrica, característica da Indústria 4.0. A Indústria 5.0, parte da premissa que o paradigma anterior negligencia questões relacionadas à sustentabilidade, segurança cibernética e centralidade no ser humano. Por fim, espera-se que esta pesquisa sirva de reflexão e provocação para que se avance em mais estudos sobre a Indústria brasileira.

Indústria 5.0: reflexões sobre uma nova abordagem paradigmática para a indústria

Resumo

Enquanto as empresas ao redor do mundo se adaptam à Indústria 4.0, a discussão sobre a Indústria 5.0 já começou. Trata-se de um conceito visionário que considera a sustentabilidade, a centralidade no ser humano, a resiliência organizacional e a colaboração ser humano-máquina como uma tendência para o futuro da indústria. Por se tratar de um tema novo, há pouco consenso sobre como defini-lo. O presente estudo, então, visando suprir essa lacuna, investigou e revisou o atual estado do conhecimento sobre a Indústria 5.0. A revisão de escopo foi utilizada para analisar publicações coletadas das bases *Scopus*, *Scielo*, *Spell* e *Web of Science* e de revistas de gestão e negócios do país e Anais do Enanpad, nesses dois últimos casos para retratar o contexto brasileiro. Os resultados apontam para um novo estágio da indústria que considera a tecnologia, ainda, como habilitadora dessa nova realidade, embora vise desprender-se de uma perspectiva tecnocêntrica, característica da Indústria 4.0. A Indústria 5.0, parte da premissa que o paradigma anterior negligencia questões relacionadas à sustentabilidade, segurança cibernética e centralidade no ser humano. Por fim, espera-se que esta pesquisa sirva de reflexão e provocação para que se avance em mais estudos sobre a Indústria brasileira.

1. Introdução

Embora as empresas de manufatura estejam atualmente situadas em um ponto de transição no que tem sido chamado de Indústria 4.0, uma nova onda revolucionária – Indústria 5.0 – está emergindo (LONGO; PADOVANO; UMBRELLO, 2020; DI NARDO; YU, 2021).

A Indústria 5.0 é um conceito visionário que considera a sustentabilidade, a centralidade no ser humano, a resiliência organizacional e a colaboração ser humano-máquina como uma tendência para o futuro da indústria (EUROPEAN COMMISSION, 2021; DI NARDO; YU, 2021). Surge como alternativa para um conjunto de desafios do mundo contemporâneo (mudanças climáticas, consumo rápido de recursos e de energia não renováveis, poluição do meio ambiente, injustiça social, dentre outros) que foram ampliados pela Pandemia da Covid-19 e a Guerra entre Rússia e Ucrânia, elevando o nível de complexidade e dinâmica desse contexto a um patamar não vistos desde a Segunda Guerra Mundial (1939-1945).

Esse panorama oferece evidências suficientes de que as práticas atuais devem ser alteradas, apontando para uma nova realidade na indústria representada por essa nova abordagem paradigmática, onde os valores humanos, o meio ambiente e o planeta são preservados e respeitados (LONGO; PADOVANO; UMBRELLO, 2020; EUROPEAN COMMISSION, 2021; SINDHWANI; AFRIDI; KUMAR; BANAITIS; LUTHRA, 2022).

Por se tratar de um tema novo, há pouco consenso sobre como defini-lo (MADSEN; BERG, 2021). O presente estudo, de modo a sanar essa necessidade de melhor compreensão do conceito, busca investigar e sumarizar o atual estado do conhecimento sobre Indústria 5.0 e o faz por meio de uma revisão de escopo (*scoping review*) realizada nas bases de dados *Scopus*, *Web of Science*, *Scielo* e *Spell* e nas principais revistas de

negócios e gestão do Brasil, além, dos anais do EnANPAD; nestes últimos dois casos, para retratar o contexto brasileiro.

O artigo está estruturado em quatro seções, incluindo esta introdução. A seção seguinte aborda os procedimentos metodológicos da pesquisa. Na terceira seção são apresentados os resultados decorrente do levantamento bibliográfico realizado na revisão. A seção que encerra o presente estudo, expõe as considerações finais, limitações e recomendações para trabalhos futuros.

2. Procedimentos metodológicos

O presente trabalho evidencia os estudos realizados sobre a Indústria 5.0, utilizando como método a revisão de escopo (*scoping review*) (ARKSEY, O'MALLEY, 2005; LEVAC, *et al.*, 2010; PETERS, *et al.*, 2020). Essa abordagem metodológica busca explorar os principais conceitos de um tema, averiguar a dimensão, o alcance e a natureza do estudo, condensando e publicando os dados, apontando as lacunas de pesquisas existentes (ARKSEY, O'MALLEY, 2005). Ademais, são úteis para examinar evidências emergentes quando ainda não está claro quais outras questões mais específicas podem ser colocadas para síntese (PETERS, *et al.*, 2020).

Munn *et al.* (2018) recomendam a utilização da revisão de escopo (*scoping review*) nos seguintes casos:

- Como precursor de uma revisão sistemática;
- Identificar os tipos de evidência disponível em um determinado campo;
- Identificar e analisar lacunas de conhecimento;
- Esclarecer os principais conceitos / definições na literatura;
- Examinar como a pesquisa é realizada sobre um determinado tópico ou campo;
- Identificar as principais características ou fatores relacionados a um conceito.

Em síntese, as revisões de escopo são adequadas nos casos em que um tema ou corpo de conhecimento é novo ou em construção ou pouco evidenciado pela literatura. Esse método é altamente recomendado no presente caso, o qual demanda uma maior discussão sobre a definição do termo Indústria 5.0, averiguando seu impacto teórico, prático e implicações na sociedade.

Este estudo levou em consideração as diretrizes propostas por Arksey e O'Malley (2005) e ampliadas por Levac e colegas (2010). Os procedimentos metodológicos utilizados são descritos no quadro 01.

Quadro 01- Procedimentos metodológicos

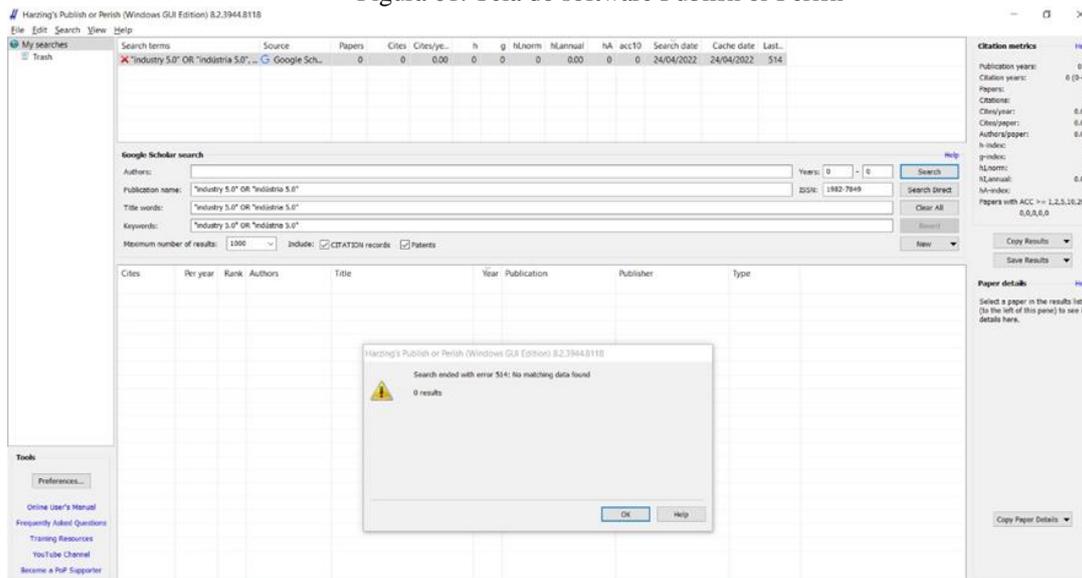
Etapas da Scoping Review propostas por Arksey e O'Malley (2005)	Definição de Arksey e O'Malley (2005); Levac, et. al. (2010); Peters, et. al., 2020)	Etapas concretizadas no presente estudo
Etapa 1: Identificação da questão de pesquisa / definição do objetivo do estudo	Etapa que visa alinhar, esclarecer e vincular o objetivo à questão da pesquisa. A questão de pesquisa na revisão de escopo deve ser claramente definida já que desempenha um papel significante nas etapas subsequentes.	Qual o atual estado do campo de pesquisa sobre Indústria 5.0? Investigar e sumarizar o atual estado do campo de pesquisa sobre Indústria 5.0

<p>Etapa 2: identificação dos estudos relevantes</p>	<p>Esta etapa envolve a identificação dos estudos relevantes e o plano de onde procurar, quais termos quais fontes de pesquisa, intervalo de tempo e língua. Busca-se equilibrar a viabilidade com amplitude e abrangência do processo de definição do escopo. Importante desenvolver e alinhar os critérios de inclusão com o objetivo e pergunta de pesquisa.</p>	<p>Nesta etapa definiu-se a estratégia de busca para o presente estudo a partir da <i>string TITLE ("industry 5.0") AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, "ar") OR LIMIT-TO (DOCTYPE , "re"))</i> nas bases de dados <i>Scopus, Web of Science, Scielo e Spell</i>. Não houve delimitação temporal. Para retratar o contexto brasileiro, foi feito levantamento nas principais revistas de negócios e gestão do Brasil, além, dos anais do EnANPAD (ver tabela 1). A busca foi restrita à artigos e revisões na língua inglesa e portuguesa. A quantidade de publicações obtidas nesta etapa estão listadas na tabela 02</p>
<p>Etapa 3: seleção dos estudos</p>	<p>A seleção de estudos não é linear, mas sim um processo iterativo que envolve pesquisar a literatura, refinar a estratégia de pesquisa e revisar artigos para inclusão no estudo. Descrever a abordagem planejada para pesquisa de evidências, seleção, extração de dados e apresentação das evidências.</p>	<p>Nesta etapa foram lidos os resumos, palavras-chave e títulos das publicações, organizando relacionando e identificando os estudos selecionados. A quantidade de publicações obtidas nesta etapa estão listadas na tabela 02</p>
<p>Etapa 4: mapeamento dos dados</p>	<p>Um formulário/planilha de dados é desenvolvido e usado para extrair dados de cada estudo. Pode ser adotado um método "analítico descritivo" para extrair informações contextuais ou orientadas ao processo de cada estudo.</p>	<p>Após a seleção dos artigos mais adequados ao objetivo da pesquisa, os principais dados desses estudos foram retirados e indexados em uma matriz de síntese (GARRARD, 2011).</p>
<p>Etapa 5: agrupamento, sumarização e relato dos resultados</p>	<p>Identifica-se as implicações dos resultados do estudo para políticas, práticas ou pesquisas. Selecionando a evidência. Uma estrutura analítica ou construção temática é usada para fornecer uma visão geral da amplitude da literatura.</p>	<p>Nesta etapa foi realizada a análise do conjunto de publicações selecionadas nas etapas anteriores por meio da análise temática de Braun e Clarke (2006) e visualização de similaridades, utilizando-se a ferramenta <i>Vosviewer</i>. O uso dessas técnicas possibilitou que os temas fossem identificados, codificados e agrupados durante o processo de leitura e análise dos artigos.</p>

Fonte: Arksey e O'Malley (2005); Levac, *et al.* (2010); Peters, *et al.*, 2020; Pereira *et al.*, 2021)

Para traçar um panorama dos estudos no Brasil, fez-se a busca nas principais revistas de gestão e administração do país, utilizando a equação booleana da etapa 2 do quadro 01, na ferramenta *Publish or Perish* (Harzing, 2007), fig. 01, informando os ISSN-ISBN das revistas e obtendo-se os resultados listados na tabela 1.

Figura 01. Tela do software Publish or Perish



Fonte: Elaborado pelos autores (2022)

Tabela 1. Artigos pré-selecionados (brutos) nas revistas brasileiras

Revista	ISSN-ISBN	Quantidade de publicações	Qualis*
Revista de Administração Pública (FGV)	0034-7612	-	A2
Revista de Administração de empresas (RAE-FGV)	0034-7590	-	B1
Revista de Administração Contemporânea	1982-7849	-	B1
RAI- Revista de Administração e Inovação	1809-2039	-	B1
Revista de Administração Mackenzie	1678-6971	-	B1
RAUSP	1984-6142	-	B1
Gestão e Produção	1806-9649	-	B1
Revista Brasileira de Gestão de Negócios	1983-0807	-	B1

Fonte: Autores da Pesquisa (2019). *Quadrênio 2013-2016. Área de avaliação interdisciplinar

Ao final do levantamento o arcabouço bibliográfico de análise considerou 51 publicações para análise e discussão, conforme procedimentos sumarizados na tabela 2.

Tabela 2. Levantamento bibliográfico realizado

Base de dados	Número de artigos
<i>Scopus</i>	51
<i>Web of Science</i>	(+) 34
<i>Scielo</i>	(+) 01
<i>Spell</i>	-
<i>Artigos nacionais*</i>	-
Duplicados	(-) 33
Rejeitados	(-) 02
Total	= 51

Fonte: Autores da pesquisa (2019).

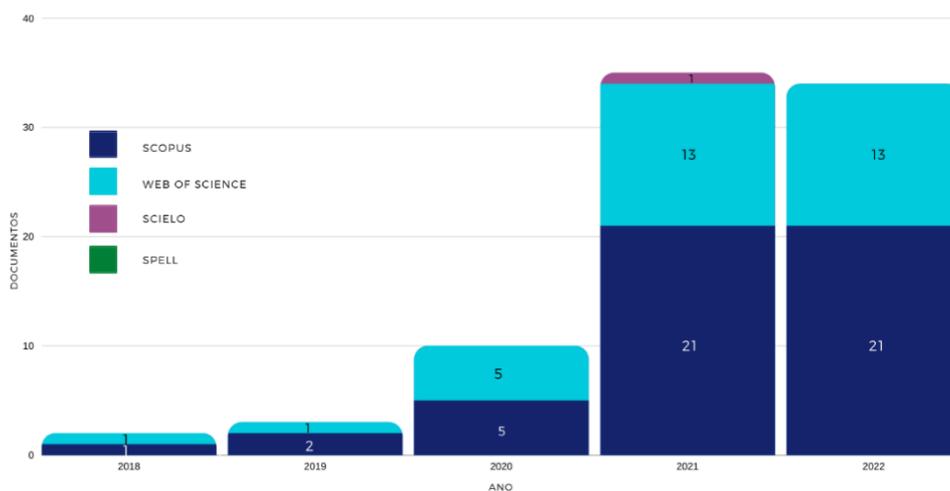
*levantamento bibliográfico realizado nas revistas/periódicos relacionados na tabela 01

3. Análise dos resultados

3.1. A Indústria 5.0 em números

Em levantamento bibliográfico realizado nas bases científicas *Scopus*, *Scielo*, *Spell* e *Web of Science* identificou-se o conjunto de publicações retratadas no gráfico da figura 02. É possível verificar uma evolução abrupta das publicações, em especial no último ano. É uma tendência que se prolonga ao ano corrente, que já apresenta a mesma quantidade de artigos do ano anterior. Essa constatação indica o interesse por estudos/pesquisas relacionadas à Indústria 5.0.

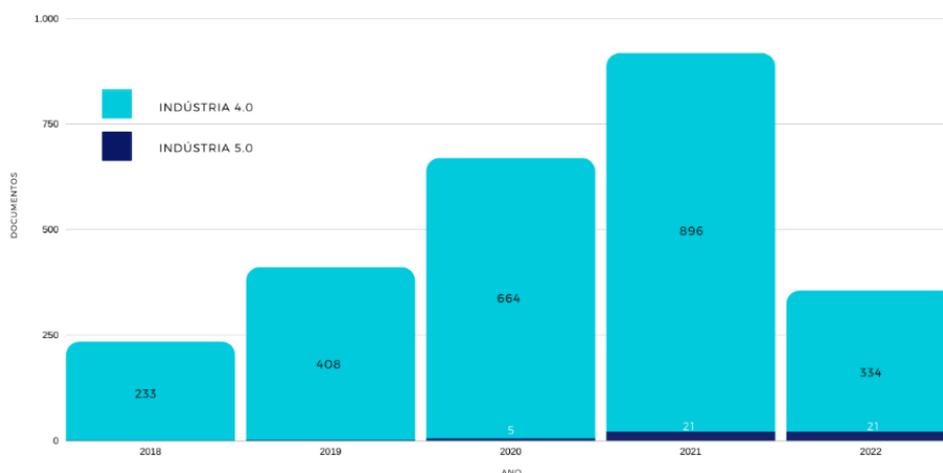
Figura 02. Quantidade de publicações sobre Indústria 5.0 no tempo



Fonte: os autores (2022)

Em contrapartida, ao compararmos a quantidade de pesquisas da Indústria 4.0 com as da 5.0 é visível a ampla diferença entre os paradigmas, em favor da primeira (fig. 03). Por essa análise é possível verificar que os estudos sobre a Indústria 4.0 continuam a despertar o interesse acadêmico e que ambos os paradigmas coexistem.

Figura 03. Quantidade de publicações sobre Indústria 4.0 e Indústria 5.0 no tempo



Fonte: os autores (2022)

Tabela 3. Artigos mais citados sobre Indústria 5.0*

O	Ano	Autor	Título/Fonte	Citações
11	2018	Özdemir, V., Hekim, N.	Birth of Industry 5.0: Making Sense of Big Data with Artificial Intelligence , "the Internet of Things " and Next-Generation Technology Policy	133
12	2019	Nahavandi, S.	Industry 5.0—a human-centric solution	130
13	2020	Longo, F., Padovano, A., Umbrello, S..	Value-oriented and ethical technology engineering in industry 5.0 : A human-centric perspective for the design of the factory of the future	43
14	2022	Maddikunta, P.K.R., Pham, Q.-V., B, P., (...), Ruby, R., Liyanage, M.	Industry 5.0: A survey on enabling technologies and potential applications	36
15	2020	Javaid, M., Haleem, A., Singh, R.P., (...), Raina, A., Suman, R.	Industry 5.0: Potential applications in covid-19	36
16	2016	Sachsenmeier, P.	Industry 5.0—The Relevance and Implications of Bionics and Synthetic Biology	35
17	2020	Aslam, F., Aimin, W., Li, M., Rehman, K.U.	Innovation in the era of IoT and industry 5.0: Absolute innovation management (AIM) framework	30
18	2020	Javaid, M., Haleem, A.	Critical components of industry 5.0 towards a successful adoption in the field of manufacturing	27
19	2021	ElFar, O.A., Chang, C.-K., Leong, H.Y., (...), Chew, K.W., Show, P.L.	Prospects of Industry 5.0 in algae: Customization of production and new advance technology for clean bioenergy generation	17
110	2021	Xu, X., Lu, Y., Vogel-Heuser, B., Wang, L.	Industry 4.0 and Industry 5.0— Inception, conception and perception	14
111	2021	Carayannis, E.G., Draper, J., Bhaneja, B.	Towards Fusion Energy in the Industry 5.0 and Society 5.0 Context: Call for a Global Commission for Urgent Action on Fusion Energy	09
112	2021	Fraga-Lamas, P., Lopes, S.I., Fernández-Caramés, T.M.	Green iot and edge AI as key technological enablers for a sustainable digital transition towards a smart circular economy : An industry 5.0 use case	06
113	2019	Mihardjo, L.W.W., Sasmoko, Alamsyah, F., Elidjen	Boosting the firm transformation in industry 5.0: Experience-agility innovation model	05
114	2021	Rupa, Ch., Midhunchakkaravarthy, D., Hasan, M.K., Alhumyani, H., Saeed, R.A.	Industry 5.0: Ethereum blockchain technology based DApp smart contract	04
115	2021	Madsen, D.Ø., Berg, T.	An exploratory bibliometric analysis of the birth and emergence of industry 5.0	03
116	2022	Sharma, M., Sehrawat, R., Luthra, S., Daim, T., Bakry, D.	Moving Towards Industry 5.0 in the Pharmaceutical Manufacturing Sector: Challenges and Solutions for Germany	02
117	2021	Du, A., Shen, Y., Zhang, Q., Tseng, L., Aloqaily, M.	CRACAU: Byzantine Machine Learning meets Industrial Edge Computing in Industry 5.0	02
118	2021	Alvarez-Aros, E.L., Bernal-Torres, C.A.	Technological competitiveness and emerging technologies in industry 4.0 and industry 5.0	02
119	2022	Zong, L., Memon, F.H., Li, X., Wang, H., Dev, K.	End-to-End Transmission Control for Cross-Regional Industrial Internet of Things in Industry 5.0	01
120	2022	Fatima, Z., Tanveer, M.H., Waseemullah, (...), Ahmed, N., Tahir, M.	Production Plant and Warehouse Automation with IoT and Industry 5.0	01

A Tabela 03 relaciona as publicações com maior número de citações. O artigo mais citado é de autoria de Özdemir e Hekim (2018) intitulado de “*Birth of industry 5.0: Making sense of big data with artificial intelligence, ‘the internet of things’ and next generation technology policy*”, que foi citado 133 vezes. Nesse artigo, os autores apontam que a Indústria 5.0 “trata-se de construir redes digitais complexas e hiperconectadas sem comprometer a segurança e a sustentabilidade a longo prazo de um ecossistema de inovação e seus constituintes” (p. 74). Em segundo lugar está “*Industry 5.0—A human-centric solution*” escrito por Nahavandi (2019), citado 130 vezes. Trata-se de um artigo

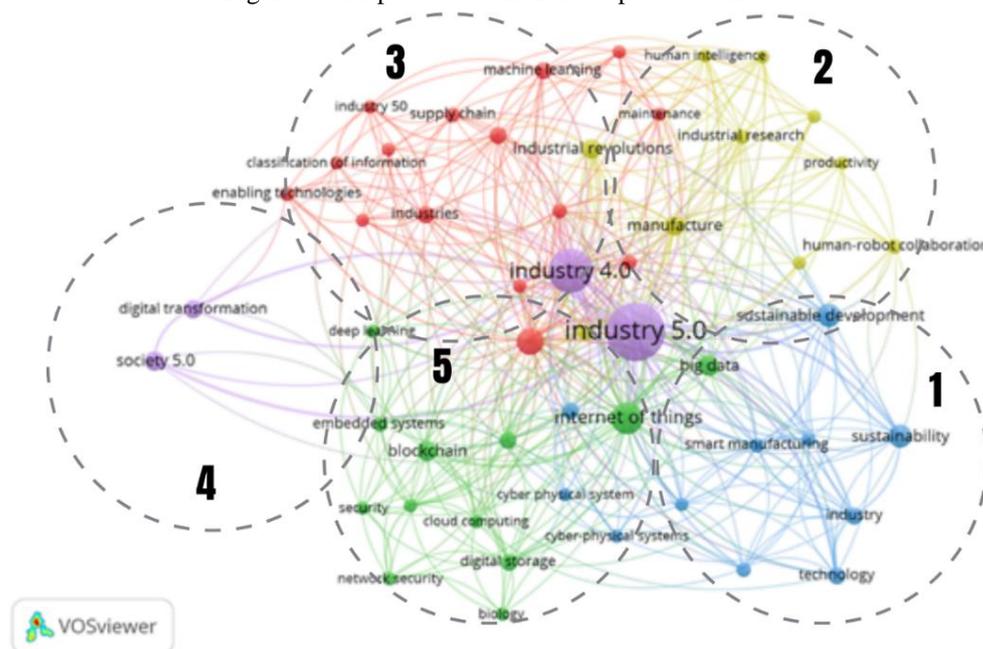
conceitual, em que o autor descreve a Indústria 5.0 como uma situação “onde os robôs estão entrelaçados com o cérebro humano e trabalham como colaboradores ao invés de concorrentes”. O terceiro artigo mais citado, de Longo, Padovano e Umbrello (2020), segue a mesma linha do artigo de Nahavandi, tratando da relação entre humanos e máquinas, indicando o advento da “era do aumento” quando os dois (homens e robôs) colaboram e trabalham em simbiose. Nesse artigo, levantam-se questões éticas significativas sobre o impacto da tecnologia nos trabalhadores e na sociedade em geral.

Da análise da lista da tabela 3 podem ser percebidas algumas tendências de pesquisa sobre Indústria 5.0, tais como:

- a) Estudos teóricos/conceituais ou revisões sistematizadas de literatura/análises bibliométricas que buscam explicar/detalhar/ampliar a discussão sobre a Indústria 5.0 e temas adjacentes (I2, I3, I8, I10, I15);
- b) Estudos que tratam das tecnologias habilitadoras da Indústria 5.0 (I1, I4, I5, I6, I7, I11, I14, I17, I18, I19, I20);
- c) Estudo que relacionam Indústria 5.0 e sustentabilidade (I12), centralidade no ser humano (I2, I3, I9)
- d) Estudos que analisam a aplicação de tecnologias relacionadas à Indústria 5.0 em contextos/casos específicos/concretos (I7, I16, I17).

Essas tendências observadas nos artigos mais citados são refletidas e comprovadas pelo mapa de coocorrência de palavras-chave representado pela figura 04. Essa técnica coocorrência possibilita a identificação de relações entre as palavras-chave do conjunto de documentos selecionados, permitindo a construção de uma estrutura conceitual de um domínio de conhecimento. A ideia é que, quando as palavras-chave coocorrem frequentemente em documentos, os conceitos atribuídos a essas palavras estão relacionados. Nesta análise, usa-se o conteúdo dos documentos para construir uma medida de similaridade. O resultado da análise é uma rede de temas e suas relações representam o espaço conceitual de um campo (ZUPIC; CARTER, 2015; PEREIRA; ROSA; CUNHA, 2021; PEREIRA; MENEGALI; FIALHO, 2022).

Figura 04. Mapa de coocorrência de palavras-chave



Fonte: elaborados pelos autores utilizando o software Vosviewer (2022)

O grafo apresentado na Figura 04 mostra a rede de palavras-chave com maior ocorrência entre os artigos do portfólio bibliográfico de análise. A rede está subdividida em cinco *clusters*, representados pelas cores azul, amarela, vermelha, roxa e verde.

Cada agrupamento (cluster) agrega as palavras-chave que apresentam similaridades e interações entre temas correlatos. O *cluster* 1, de cor azul agrega palavras-chave relacionadas com estudos que relacionam Indústria 5.0 a uma de suas dimensões: a sustentabilidade. O *cluster* 2, de cor amarela, apresenta a interação entre as palavras-chave referentes à Indústria 5.0 e colaboração entre ser humano e robôs (o que dá origem ao termo co-bot). O *cluster* 3, de cor vermelha, aglutina palavras-chave que estão relacionadas com as tecnologias que habilitam a Indústria 5.0. O *cluster* 4, de cor roxa, reúne palavras-chave associadas à Indústria 5.0, Transformação digital e o impacto da desse novo paradigma da indústria na sociedade (Sociedade 5.0). Por fim, o *cluster* 5, de cor verde, agrega palavras-chave relacionadas, também, com tecnologias voltadas à Indústria 5.0, embora trazendo outra perspectiva da Indústria 5.0 que é a segurança cibernética e resiliência organizacional.

4. Discussão

4.1. A indústria por uma perspectiva quadridimensional

Vários autores observam que a Indústria 5.0 tem raízes no paradigma da Indústria 4.0, caracterizando-a “como um avanço evolucionário, incremental (mas criticamente necessário) que se baseia no conceito e nas práticas da Indústria 4.0” (ÖZDEMIR; HEKIM, 2018, pp. 71-72), embora seja possível vislumbrar, pelo menos quatro perspectivas de análise. A primeira está relacionada com a visão da Comissão Europeia (EUROPEAN COMMISSION) que indica que a Indústria 5.0 “complementa o paradigma da Indústria 4.0, fazendo com que a pesquisa e a inovação conduzam a transição para uma indústria sustentável, centrada no ser humano e resiliente, movendo o foco do valor exclusivo dos acionistas (*shareholders*) para todos os *stakeholders* envolvidos. Entre essa corrente há autores que destacam o papel da sustentabilidade, enquanto outros se concentram em adotar uma abordagem centrada no ser humano e resiliente (MADSEN; BERG, 2021; SINDHWANI *et al.*, 2022). Por outro lado, há uma outra perspectiva que considera a tecnologia como habilitadora da Indústria 5.0, ou seja, um conjunto de novas tecnologias que caracterizarão esse novo paradigma da indústria visando a colaboração/inter-relação entre homem e máquina (PASCHEK; MOCAN; DRAGHICI, 2019; MADSEN; BERG, 2021). Para os adeptos a essa corrente, a maior característica da Indústria 5.0 é a “Personalização”; ou seja, “o projeto e a produção por meio de vários dados de sensores que estarão diretamente vinculados fornecendo produtos personalizados aos usuários em tempo real” (DI NARDO; YU, 2021, p.1). Para esses autores, o alto grau de automação que a Indústria 5.0 trará não reduziria o valor humano, mas sim o aumentaria por meio da colaboração homem-máquina.

Apesar do dissenso conceitual, é possível identificar um alinhamento no que se refere à Indústria 5.0 fornecer uma visão da indústria que vai além da eficiência e produtividade como os únicos objetivos, reforçando o papel e a contribuição da indústria para a sociedade (EUROPEAN COMMISSION, 2021). Outra questão que parece ter adesão dos pesquisadores e enfatizada pela Comissão Europeia, é o fato desta nova revolução lidar com os aspectos da tecnologia e da vida humana que não são acobertados na Indústria 4.0 (PASCHEK; MOCAN; DRAGHICI, 2019; SINDHWANI *et al.*, 2022).

Fig. 1. Valores centrais/chave da Indústria 5.0



Fonte: European Commission (2021); Xu; Lu; Vogel-Heuser, Wang (2021)

Há que se enfatizar esse ponto, pois é o que justifica a necessidade de uma nova abordagem paradigmática para a solução dos desafios que são impostos às organizações, governos, e à sociedade de maneira geral. Esses desafios, em grande parte, impactam o mundo atualmente, embora venham ganhando projeção de forma gradativa, em especial nos últimos duzentos anos, período que coincide com as revoluções industriais.

4.2. Um novo estágio para a indústria

O numeral que sucede ao termo indústria indica uma evolução paradigmática denominada de revolução industrial.

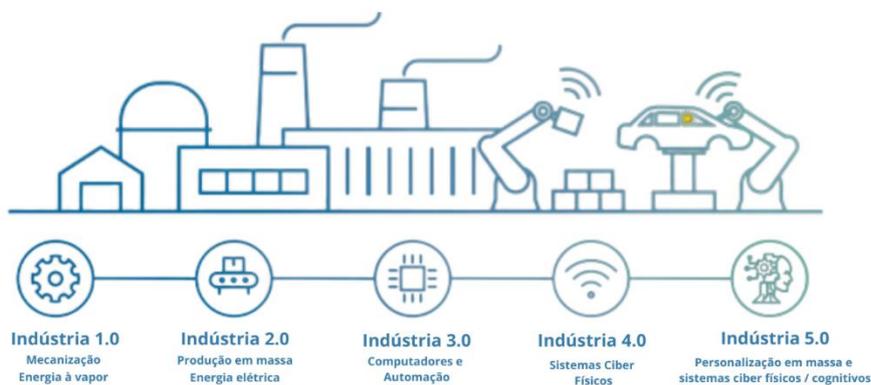
No decorrer dos últimos dois séculos ocorreram quatro revoluções industriais, cada uma produzindo um nível mais alto de tecnologia. Assim, a tecnologia e o *know-how* técnico continuaram evoluindo com a mudança dos tempos. À medida que “a humanidade progrediu ao longo da história, cada estudo no avanço da ciência levou às revoluções industriais em diferentes períodos” (SINDHWANI *et al.*, 2022, p.01).

A primeira revolução industrial, denominada de Indústria 1.0, teve origem por volta de 1760 por meio da geração de energia mecânica a partir de água, vapor e combustíveis fósseis (NAHAVANDI, 2019; SINDHWANI *et al.*, 2022). A máquina à vapor permitiu a transição da sociedade agrícola e feudal para o novo processo de fabricação. Essa transição incluiu o uso do carvão como principal energia enquanto os trens eram o principal meio de transporte. A indústria têxtil e de aço eram dominantes em termos de emprego, valor da produção e capital investido (XU; DAVID; KIM, 2018). Seguiu-se da segunda revolução industrial, a Indústria 2.0, tendo como marco cronológico a primeira metade do século XIX, por volta da década de 1840, proporcionada pela energia elétrica, seguida da invenção do motor de combustão interna, que levou a uma era de rápida industrialização usando petróleo e eletricidade, favorecendo o advento das fábricas com linhas de montagem, possibilitando a produção em massa (XU; DAVID; KIM, 2018; NAHAVANDI, 2019; SINDHWANI *et al.*, 2022).

A era dos computadores, transistores e, posteriormente, chips de silício, dispositivos eletrônicos e tecnologias da informação (TI) caracterizaram a Terceira Revolução Industrial (Indústria 3.0), familiarizando a indústria com o conceito de automação, nas décadas de 1960 e 1970 (XU; DAVID; KIM, 2018).

A Indústria 4.0, por seu turno, trata-se de uma iniciativa do governo alemão, que visa criar fábricas inteligentes com um objetivo simples e semelhante às revoluções anteriores: aumentar a produtividade e alcançar a produção em massa com tecnologia inovadora (DEMIR; DÖVEN; SEZEN, 2019). Utiliza tecnologias como inteligência artificial (IA), computação em nuvem, Internet das Coisas (IoT), possibilitando uma interface em tempo real entre os mundos físico e virtual (sistemas ciberfísicos) (NAHAVANDI, 2019; SINDHWANI *et al.*, 2022).

Figura 05. Revoluções industriais



Fonte: adaptado de Furniturk Magazine Online; Intellias Whitepaper (2022)

A Indústria 4.0 combina tecnologias de sistemas de produção incorporados com processos de produção inteligentes visando uma nova era tecnológica que busca transformar as cadeias de valor da indústria, cadeias de valor de produção e modelos de negócios. Os sistemas de manufatura são atualizados para um nível inteligente, onde são aproveitadas as tecnologias avançadas de informação e fabricação para alcançar processos de fabricação flexíveis, inteligentes e reconfiguráveis (ZHONG *et al.*, 2017)

Embora a Indústria 4.0 ainda não esteja bem desenvolvida, os últimos anos testemunharam pesquisas que possibilitaram progressos na implementação da quinta etapa desta jornada, a Indústria 5.0. Esta fase, como já mencionado, concentra-se em conceitos de sustentabilidade, bioeconomia e um ambiente colaborativo de tecnologia e seres humanos, fabricação autônoma com inteligência humana, estabelecendo assim uma indústria resiliente que incorpora valores sociais e humanos (NAHAVANDI, 2019; EUROPEAN COMMISSION, 2021; SINDHWANI *et al.*, 2022).

A introdução da Indústria 5.0 é baseada na observação ou suposição de que “a Indústria 4.0 se concentra menos nos princípios originais de justiça social e sustentabilidade, mas mais na digitalização e tecnologias orientadas por IA para aumentar a eficiência e a flexibilidade da produção” (p. 530). O conceito de Indústria 5.0, destaca a importância da pesquisa e inovação para apoiar a indústria no longo prazo visando apoiar as necessidades humanas dentro dos limites planetários (XU; LU; VOGEL-HEUSER, WANG, 2021).

Ademais, os temores de governos e da sociedade quanto à desumanização da indústria no futuro e a necessidade de considerar o desenvolvimento sustentável e o papel crucial do Ser Humano nos pressupostos do desenvolvimento futuro da indústria, tornou-

se a base para a construção dos pressupostos da Indústria 5.0 (SANIUK; GRABOWSKA; STRAKA, 2022). E ainda, em termos conceituais, no que se refere à natureza tecnocrática do conceito da Indústria 4.0, e a forte ênfase em tecnologia e automação, a afastam do alinhamento paradigmático necessário para ser a solução dos problemas/desafios listados na introdução deste trabalho (MADSEN; BERG, 2021). Essa posição tem direcionado a busca por um novo paradigma que torne a Indústria (aqui representando as demais organizações) mais “sustentável, centrada no ser humano e resiliente” (EUROPEAN COMMISSION, 2021).

Quadro 2. Comparações entre os paradigmas da Indústria 4.0 e 5.0 e Sociedade 5.0

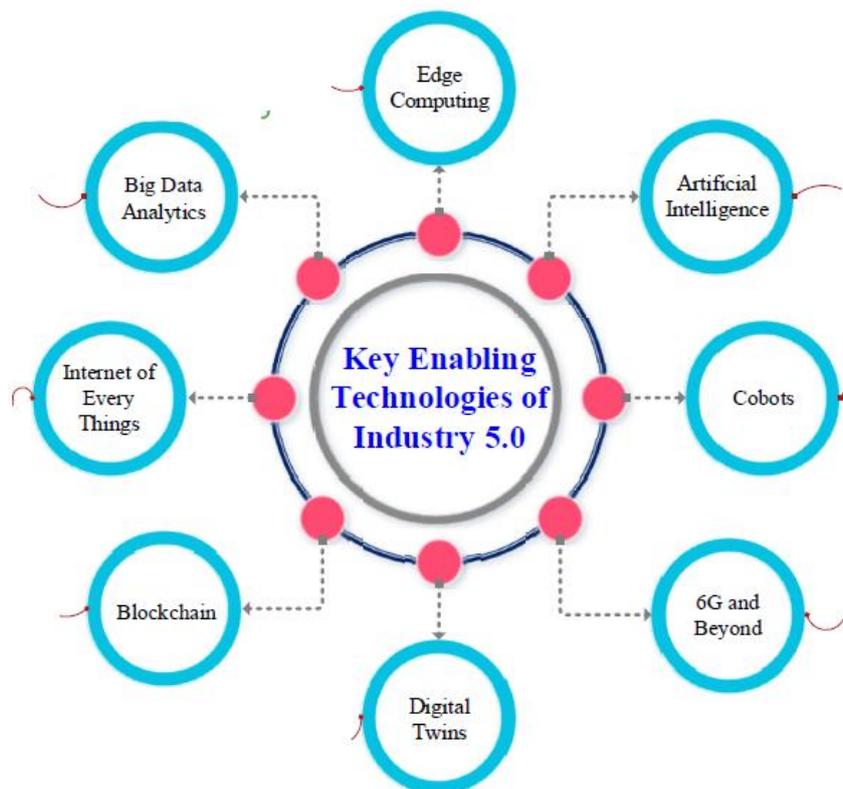
Indústria 4.0	Sociedade 5.0	Indústria 5.0
Tecnocêntrica	Humanocêntrica	Equilíbrio entre o tecnocentrismo e humanocentrismo

Fonte: Carayannis; Morawska-Jancelewicz (2022)

4.3. As tecnologias habilitadoras da Indústria 5.0

Uma das perspectivas apontadas na subseção 4.1 indica que as tecnologias são determinantes, também, na Indústria 5.0. As tecnologias que possibilitem a interação entre homens e robôs, trazendo o primeiro novamente para o “chão de fábrica” se revertem em oportunidades que credenciam essa nova Revolução Industrial como o futuro da indústria.

Figura 06. Tecnologias habilitadoras da Indústria 5.0



Fonte: Maddikunta; Pham; Deepa; Dev; Gadekallua; Ruby; Liyanage (2021)

Várias tendências tecnológicas facilitadoras, como Edge Computing, Gêmeos digitais (Digital Twins), Internet de todas as coisas (IoE), *big data analytics*, cobots, 6G e blockchain são integrados com habilidades cognitivas e inovação que podem ajudar as indústrias a aumentar a produção e entregar produtos personalizados mais rapidamente. Essas tecnologias capacitadoras tornam a Indústria 5.0 uma ferramenta de produção avançada com foco na interação entre máquinas e humanos. As máquinas inteligentes são projetadas para trabalhar colaborativamente com seres humanos, e este trabalho colaborativo facilita as capacidades humanas mais produtivas (MADDIKUNTA; PHAM; DEEPA; DEV; GADEKALLUA; RUBY; LIYANAGE, 2021).

A Fig. 06 traz um esboço das tecnologias habilitadoras da Indústria 5.0. Esse estudo não tratará de forma detalhada cada uma dessas tecnologias elencadas nesta subseção.

5. Considerações finais

As diferentes etapas da industrialização reforçaram a urbanização global e, como consequência da industrialização, muitos dos problemas citados nesse estudo (ex. esgotamento recursos naturais, aquecimento global, crescente disparidade econômica, dentre outros) foram originados ou alavancados, em grande parte pela forma nociva como se deu todo esse processo de desenvolvimento da indústria.

Como forma de reverter esse quadro de insustentabilidade e vulnerabilidade cibernética, advém um novo estágio para a Indústria que surge da observação de que a Indústria 4.0 privilegia a tecnologia, em detrimento do ser humano e o meio ambiente.

O conceito de Indústria 5.0 destaca a importância da pesquisa e inovação para apoiar a indústria no longo prazo e, de certa forma, se tornar provedora resiliente de prosperidade fazendo com que a produção respeite os limites do planeta, colocando o trabalhador da indústria no centro do processo de produção. A Indústria 5.0 pode ser considerada por quatro perspectivas, que consideram uma visão da indústria que vai além da eficiência e produtividade como os únicos objetivos, reforçando o papel e a contribuição da indústria para a sociedade, movendo seu foco para a transição para uma indústria sustentável, centrada no ser humano e resiliente.

Há que se fazer algumas observações finais, em especial com relação a incipiência de estudos no Brasil, o que justifica a importância desse artigo para provocar discussões sobre o futuro da Indústria no Brasil.

Referências

- ARKSEY H, O'MALLEY L. Scoping studies: towards a methodological framework. **International Journal of Social Research Methodology**, v. 8, n. 1, p. 19-32, 2005.
- BELLANTUONO, N.; NUZZI, A.; PONTRANDOLFO, P.; SCOZZI, B. Digital Transformation Models for the I4.0 Transition: Lessons from the Change Management Literature. **Sustainability**. 2021, 13, 12941. <https://doi.org/10.3390/su132312941>
- CARAYANNIS, E.; JANCELEWICZ, J. The Futures of Europe: Society 5.0 and Industry 5.0 as Driving Forces of Future Universities. **J Knowl Econ**, 2022. <https://doi.org/10.1007/s13132-021-00854-2>

- DI NARDO, M.; YU, H. Special Issue. Industry 5.0: The prelude to the sixth industrial revolution. **Appl. Syst. Innov**, 2021, 4, 45.
- EUROPEAN COMMISSION. Industry 5.0: Human-Centric, Sustainable and Resilient. European Commission, Directorate-General for Research and Innovation: Luxembourg, 2021.
- EUROPEAN COMMISSION. Industry 5.0: Towards a Sustainable, Human-Centric and Resilient European Industry; European Commission, Directorate-General for Research and Innovation: Luxembourg, 2021.
- LEVAC, D.; COLQUHOUN, H.; O'BRIEN, K. Scoping studies: advancing the methodology. *Implementation Science*, v. 5, n. 1, p. 69, 2010.
- LONGO, F.; PADOVANO, A.; UMBRELLO, S. Value-oriented and ethical technology engineering in industry 5.0: a human-centric perspective for the design of the factory of the future, **Appl. Sci.** 10, 4182, 2020. <https://doi.org/10.3390/app10124182>.
- MADSEN, D.; BERG, T. An Exploratory Bibliometric Analysis of the Birth and Emergence of Industry 5.0. **Appl. Syst. Innov.** 2021, 4, 87. <https://doi.org/10.3390/asi4040087>
- MADDIKUNTA, P. K. R., PHAM, Q.-V., B, P., DEEPA, N., DEV, K., GADEKALLU, T. R., ... LIYANAGE, M. Industry 5.0: A survey on enabling technologies and potential applications. **Journal of Industrial Information Integration**, 100257, 2021. doi:10.1016/j.jii.2021.100257
- MUNN, Z.; PETERS, M.; STERN, C.; TUFANARU, C.; MCARTHUR, A.; AROMATARIS, E., Systematic review or scoping review? Guidance for authors when choosing between a systematic or scoping review approach', **BMC Med Res Methodol**, v. 18, n. 1, p. 143, 2018.
- NAHAVANDI, S. Industry 5.0—A Human-Centric Solution. **Sustainability**. 2019; 11(16):4371. <https://doi.org/10.3390/su11164371>
- ØSTERGAARD, E. Welcome to Industry 5.0, InTech, 2018. <https://www.isa.org/intech-home/2018/march-april/features/welcome-to-industry-5-0>.
- PASCHEK, D.; MOCAN, A.; DRAGHICI, A. Industry 5.0 - the expected impact of next industrial revolution, in: Thriving on Future Education, Industry, Business and Society; **Proceedings of the Make Learn and TIIM International Conference 2019**, ToKnowPress, Piran, Slovenia, 2019, pp. 125–132.
- PEREIRA, R.; LACERDA, L. L. L.; CUNHA, C. J. C. A. COMPETÊNCIAS DO LÍDER EM UM MUNDO VUCA: UMA REVISÃO DE ESCOPO. In: **Convibra 2021 - XVIII Congresso Virtual de Administração**, 2021, Online. Anais do XVIII Congresso Virtual de Administração, 2021. v. 1. p. 1-17.
- PEREIRA, R.; MENEGALI, C.; FIALHO, F.A.P. (re) Pensando o design Thinking. In: **(re) Pensando o design Thinking**. (orgs). FIALHO, F.A.P; PEREIRA, R.; MENEGALI, C. Editora Arquétipos: Florianópolis, 2022
- PEREIRA, R.; ROSA, K. C. M.; CUNHA, C. J. C. A. Teoria Implícita da Liderança: uma revisão bibliométrica e mapeamento científico utilizando VOSviewer®. In: **SEMEAD XXIV - Seminários em Administração**, 2021, São Paulo. Anais do XXIV Seminários em Administração -Semead 2021, 2021.
- PETERS M.; GODFREY C.; MCINERNEY P.; MUNN Z.; TRICCO A.; KHALIL, H. Chapter 11: Scoping Reviews (2020 version). In: Aromataris E, Munn Z (Editors). **Joanna Briggs Institute Reviewer's Manual**, JBI, 2020.
- ROJAS, C.; PEÑAFIEL, G.; BUITRAGO, D.; ROMERO, C. Society 5.0: A Japanese Concept for a Superintelligent Society. **Sustainability** 2021, 13, 6567. <https://doi.org/10.3390/su13126567>

- SANIUK, S.; GRABOWSKA, S.; STRAKA, M. Identification of Social and Economic Expectations: Contextual Reasons for the Transformation Process of Industry 4.0 into the Industry 5.0 Concept. **Sustainability**, 14, 1391, 2022. <https://doi.org/10.3390/su14031391>
- TIPU, S.A.A. Organizational change for environmental, social, and financial sustainability: A systematic literature review. **Rev Manag Sci** (2021). <https://doi.org/10.1007/s11846-021-00494-5>
- XU, X.; LU, Y.; VOGEL-HEUSER, B.; WANG, L. Industry 4.0 and Industry 5.0: Inception, conception and perception, **Journal of Manufacturing Systems**, V. 61, pp. 530-535, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2021.10.006>.
- ZHONG, R.; XU, X.; KLOTZ, E.; NEWMAN, S. Intelligent Manufacturing in the Context of Industry 4.0: A Review. **Engineering**, 3(5), 616–630, 2017. doi:10.1016/j.eng.2017.05.015