



08, 09, 10 e 11 de novembro de 2022
ISSN 2177-3866

Indústria 5.0: humanização, resiliência e sustentabilidade são a nova revolução?

MICHELE KREMER SOTT

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS (UNISINOS)

KADIGIA FACCIN

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS (UNISINOS)

Agradecimento à orgão de fomento:

O presente trabalho foi realizado em parte com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), Brasil.

INDÚSTRIA 5.0: HUMANIZAÇÃO, RESILIÊNCIA E SUSTENTABILIDADE SÃO A NOVA REVOLUÇÃO?

1 Introdução

Para explorar o atual advento da Indústria 5.0 se faz necessário dar um passo atrás e compreender suas relações com a última revolução industrial. A estrondosa e amplamente discutida quarta revolução industrial, atrelada ao conceito de Indústria 4.0, trouxe consigo uma onda massiva de desenvolvimento tecnológico e novas formas de produzir produtos, prestar serviços, administrar processos e transmitir informações (Xu et al., 2021; Sott et al., 2021). O fenômeno que nasceu no governo alemão através de um projeto para integrar a indústria manufatureira através de tecnologias inovadoras, se expandiu para diversos setores através do desenvolvimento de negócios digitais, automatização de processos e plataformas digitais (Furstenau et al., 2020).

Desde seu surgimento, o conceito de Indústria 4.0 tem despertado o interesse de pesquisadores do mundo todo, que dedicam esforços para compreender as oportunidades e os desafios relacionados a transformação digital e seu impacto na sociedade e nas organizações. Apesar dos avanços, a literatura do campo de estudo está repleta de discordâncias sobre o assunto e parece não haver comum acordo entre os pesquisadores sobre o conceito de Indústria 4.0. Uma das definições mais amplamente utilizadas é a Kagermann (2015), que caracteriza a Indústria 4.0 como um conjunto de tecnologias capazes de desenvolver e orquestrar sistemas cyber-físicos em organizações de diferentes setores. Neste sentido, a maior parte das pesquisas na área são voltadas ao uso de novas tecnologias (Corradini et al., 2021; Kerin e Pham, 2019; Frank et al., 2019), o que justifica os passos lentos da quarta revolução devido aos custos elevados de investimentos em tecnologia (Grabowska et al., 2022).

Precisamente este viés da Indústria 4.0, focado no uso de tecnologias para aumentar a produtividade e a eficiência de diferentes processos organizacionais (Kipper et al., 2020), que desencadeou o surgimento do conceito de Indústria 5.0 (Rada, 2015; Sachsenmeier, 2016; Demir e Cicibas, 2017). Enquanto a Indústria 4.0 era amplamente discutida a partir da ótica tecnológica, a Indústria 5.0 tem sua abordagem centrada no ser humano, na resiliência e na sustentabilidade (Madsen e Berg, 2021). Assim, a Indústria 5.0 busca complementar a revolução anterior, possibilitando o desenvolvimento tecnológico e industrial sem comprometer os pilares ambiental e socioeconômico (Jafari et al., 2022).

Apesar da importância dos elementos da Indústria 5.0 abordados em estudos prévios, o conceito parece seguir os mesmos passos da Indústria 4.0, causando discordâncias sobre seu significado e abrangência. A partir deste pressuposto, este estudo busca responder a seguinte questão de pesquisa: *a Indústria 5.0 pode ser caracterizada como uma nova revolução industrial?*

Este artigo não pretende explorar todas as facetas da Indústria 5.0 ou todas as questões que precisam ser abordadas, nem esgotar o assunto. Este estudo objetiva explorar o que já foi desenvolvido até o momento e discutir para onde devemos ir frente as inerentes transformações e revoluções da indústria. A partir desta pergunta foi realizada uma bibliometria apoiada por uma revisão sistemática da literatura para apresentar um panorama geral sobre a Indústria 5.0 e os principais dilemas e elementos que permeiam a nova revolução. Além disso, é apresentada uma agenda futura com proposições de pesquisa no campo de estudo. Os resultados evidenciam a incipiência do tema e as divergências acerca da necessidade – ou não – de dar início a quinta revolução industrial.

2 Procedimentos metodológicos

Para explorar a literatura acadêmica do campo de estudo e identificar o que já se sabe sobre o campo de estudo, inicialmente levantou-se alguns dados bibliométricos com auxílio do software VosViewer (Van Eck e Waltman, 2011). Na sequência, o protocolo PRISMA-P (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) foi utilizado para guiar a revisão sistemática e assegurar a robustez e reprodutibilidade (Moher et al., 2019).

2.1 Análise bibliométrica

A análise bibliométrica de redes foi desenvolvida para obter um panorama geral do tema. Através dos dados bibliométricos foi possível identificar os Journals e autores mais produtivos do campo de estudo e gerar uma rede com os principais temas relacionados a Indústria 5.0. A rede foi criada com apoio do software VosViewer, considerando coocorrência de palavras-chaves do autor e palavras-chaves adicionais (*plus keywords*) com uma ocorrência mínima de 4 vezes. Inicialmente, os dados foram tratados e termos genéricos como “*article*” ou “*state-of-the-art*” foram removidos para não influenciar os resultados. Nas redes, o tamanho dos clusters é proporcional ao número de pesquisas associadas, logo, quanto maior o cluster, maior o número de coocorrências do termo entre artigos. Os clusters são formados por afinidade dos temas, considerando o número de ligações entre eles (Van Eck e Waltman, 2011). As linhas representam as associações entre os temas, sendo que quanto mais espessa a linha, maior a força de ligação entre os clusters (Furstenau et al., 2022).

2.2 Revisão sistemática da literatura

Após a análise bibliométrica, foi realizada uma revisão sistemática da literatura de cunho crítico-reflexivo. A busca de documentos foi realizada na ISI Web of Science (WoS) Core Collection, por se tratar de uma ampla base de dados que indexa um vasto acervo de periódicos de alto fator de impacto e artigos revisados por pares (Leydesdorff et al., 2013; Dias et al., 2021; Sott et al., 2020). A Tabela 1 mostra os atributos de identificação e seleção de documentos utilizados no estudo. Os filtros de busca e os critérios de inclusão e exclusão de documentos foram definidos a fim de refinar a seleção de pesquisas relevantes para o campo de estudo. Foram escolhidos apenas documentos publicados em Journals posicionados no Quadrante 1 (Q1) em, pelo menos, uma área do conhecimento (de acordo com a Web of Science, avaliação de 2021), uma vez que revistas de mais alto fator de impacto possuem políticas mais rígidas de revisão por pares e qualidade de pesquisa.

Tabela 1. Atributos de identificação e seleção de documentos.

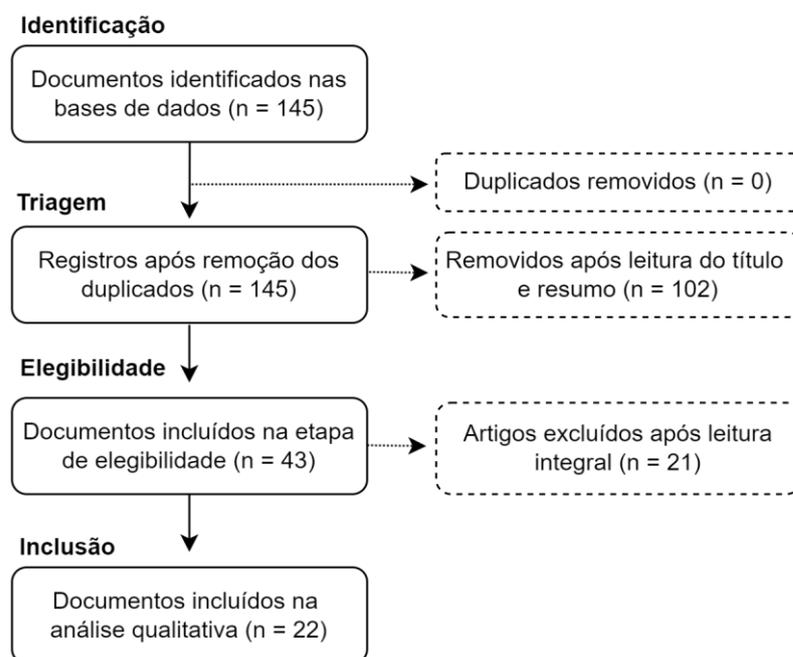
Atributos	Descrição
String de busca	(“ <i>industry 5.0</i> ” or “ <i>fifth industrial revolution</i> ”)
Refinado por	Tipo de documentos: artigos e revisões de literatura Idioma: documentos publicados em inglês Campos de busca: termos presentes no título, resumo, palavras-chaves do autor ou adicionais
Base de dados	ISI Web of Science (WoS) Core Collection
Critérios de inclusão	Artigos científicos Disponíveis digitalmente e na íntegra Revisados por pares Publicados em Journals do Quadrante 1 (Q1) Documentos em inglês
Critérios de exclusão	Documentos duplicados Artigos de conferências, livros ou documentos editoriais Artigos cujo foco não seja a Indústria 5.0 Estudos sem robustez metodológica

A coleta de dados foi realizada em julho de 2022. Foram extraídos 145 documentos da base de dados. Após identificados, os documentos foram tabelados com auxílio do Microsoft Excel e passaram pelas etapas de triagem, elegibilidade e inclusão do protocolo PRISMA.

3 Resultados e discussão

Considerando os 145 documentos identificados, 102 artigos foram excluídos na etapa de triagem por não atenderem os critérios previamente estabelecidos; 43 artigos foram lidos na íntegra e, destes, 22 artigos foram selecionados para compor a análise qualitativa deste estudo. A Figura 1 apresenta as etapas do protocolo PRISMA e respectivos resultados.

Figura 1. Etapas do PRISMA

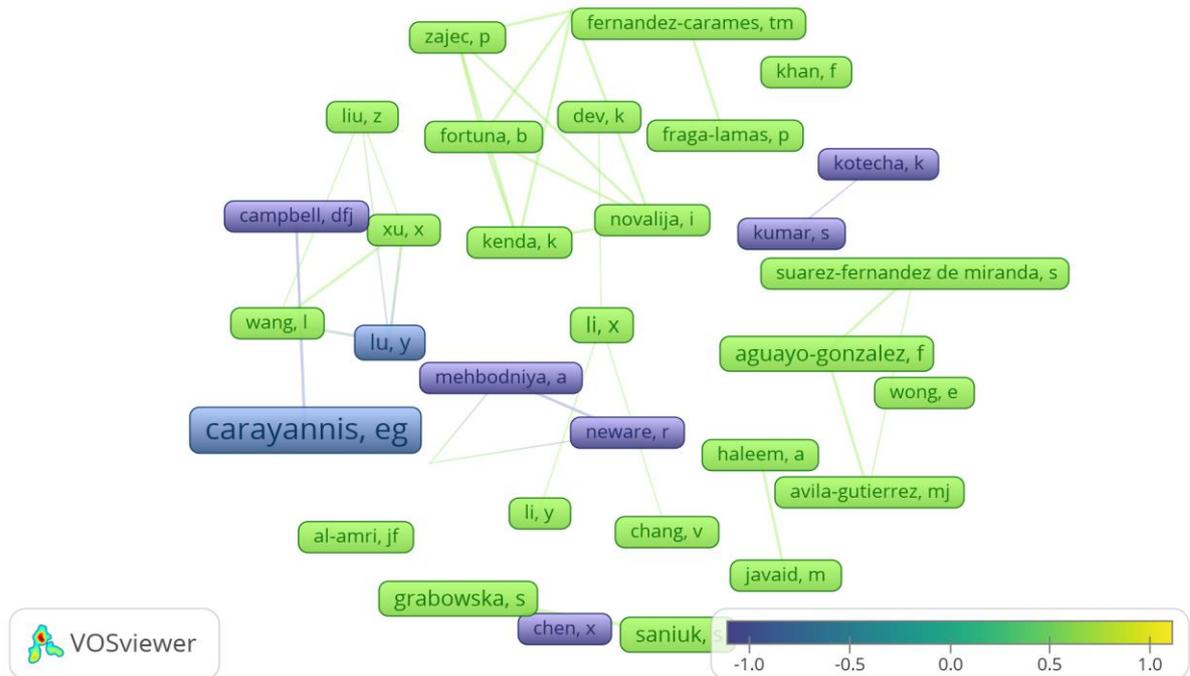


3.1 Análise bibliométrica de redes

Devido a incipiência do conceito, são poucas as pesquisas que discutem a Indústria 5.0 com algum nível de profundidade. O primeiro artigo publicado sobre o tema e indexado na Web of Science data de 2016 pelas palavras de Sachsenmeier (2016). Foi a partir deste ano que o conceito passou a ganhar mais atenção de pesquisadores. O autor Carayannis (Carayannis, Elias G) se destaca com 6 artigos publicados sobre o tema, o dobro de outros autores.

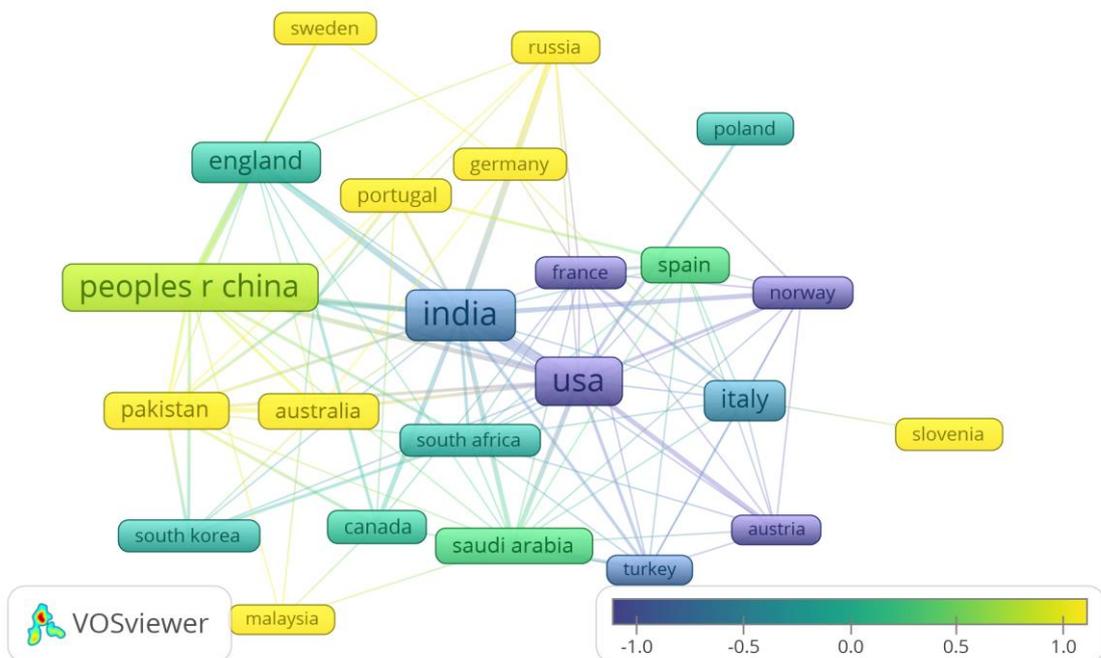
A Figura 2 mostra a rede de autores que mais publicaram sobre o tema, onde o tamanho do cluster é proporcional ao número de documentos publicados e as linhas representam as coautorias entre os autores. A cor representa as produções ao longo do tempo, sendo que as cores mais escuras (tons de roxo ou azul) marcam autores que publicam a mais tempo sobre o tema, enquanto tons de verde e amarelo denotam autores cujas publicações são mais recentes.

Figura 2. Autores que mais publicaram sobre o tema.



O periódico com maior número de artigos é o *Sustainability* - MDPI, com 12 artigos publicados sobre o tema, seguido pelo *IEEE Transactions on Industrial Informatics* e *Applied Sciences-Basel* com 9 documentos cada. A produção científica dos países é apresentada na Figura 3.

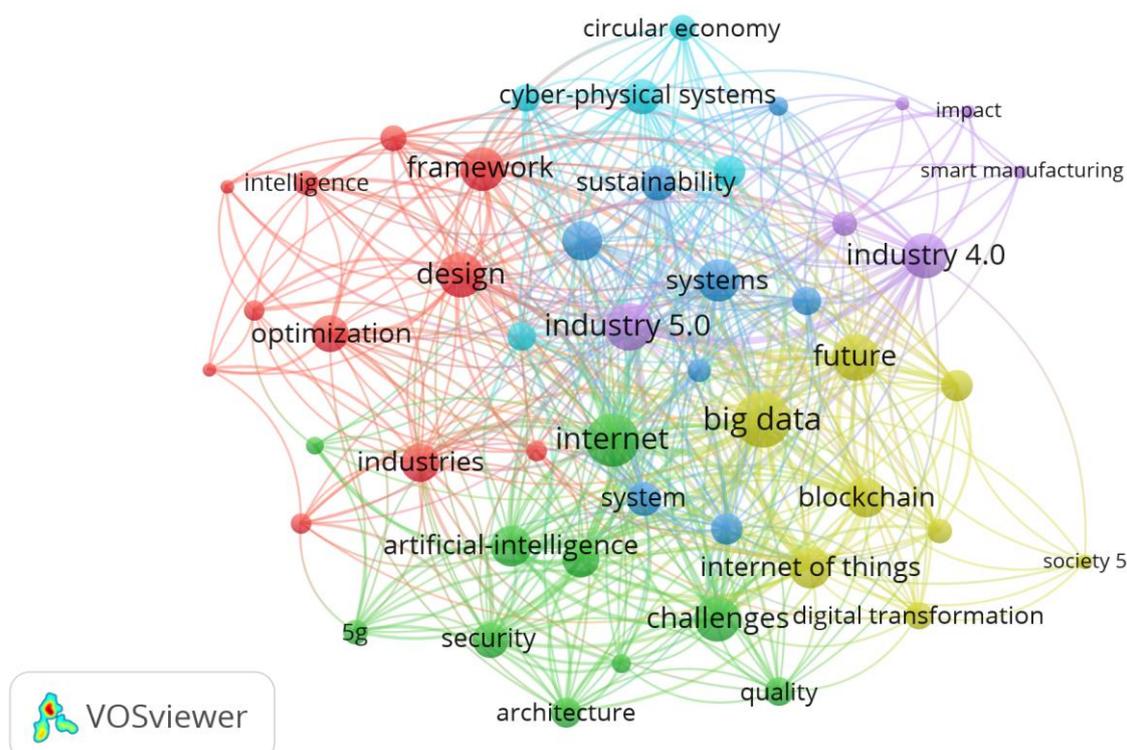
Figura 3. Países que mais publicaram sobre o tema.



É possível perceber que a Índia se destaca com o maior número de publicações sobre o tema (25 documentos), seguida por Estados Unidos (USA) com 23 e China (peoples r china) com 22 documentos. Estes também são os países com o maior número de citações e com o maior número de publicações em parceria com outros países, o que denota o caráter internacional das pesquisas. Países como Rússia, Alemanha e Portugal (em amarelo) começaram recentemente a pesquisar sobre o tema. Esta análise é importante para compreender onde o conhecimento sobre a Indústria 5.0 tem se desenvolvido e como tem se expandido para mais países.

A fim de visualizar amplamente os caminhos de pesquisa do campo de estudo, foi gerada uma rede baseada em coocorrência de palavras-chaves. A Figura 4 evidencia os termos que mais se destacam na área, distribuídos em cinco grupos de diferentes cores. Os clusters verdes e amarelos parecem fortemente relacionados a tecnologias digitais como inteligência artificial, 5G, Internet, internet das coisas (IoT), big data e *blockchain*. Nestes clusters também se destaca o surgimento do tema “*society 5.0*”, que tem ganhado força na literatura em discussões atreladas a Indústria 5.0 (para mais informações ver Carayannis e Morawska-Jancelewicz, 2022; Sarfraz et al., 2021).

Figura 4. Temas mais importantes do campo de estudo – baseado em coocorrência.



Os clusters vermelhos, por sua vez, aparecem relacionados a artigos que discutem a integração entre máquinas e humanos, o que é particularmente evidenciado pelos clusters “*design*” e “*optimization*” e pode ser visto nos trabalhos de Nahavandi (2019) e Jafari et al. (2022). Os clusters da cor azul discutem a natureza sustentável da Indústria 5.0, evidenciada pelos temas “*circular economy*” e “*sustainability*”. Os estudos relacionados aos clusters azuis trilham um caminho diferente daqueles vinculados aos clusters verdes e amarelos. Os dois últimos permanecem ancorados ao uso da tecnologia para nortear a Indústria 5.0, ao exemplo do uso de big data e inteligência artificial para criar redes digitais complexas que, quando hiperconectadas, podem auxiliar na criação e compartilhamento de conhecimento e no desenvolvimento sustentável (Özdemir e Hekim, 2018). Em contrapartida, os estudos

relacionados aos clusters azuis parecem renunciar, em um primeiro momento, a discussão sobre tecnologia. Tais pesquisas sugerem ações capazes de driblar os propósitos exclusivos de produtividade, e debruçam-se sobre caminhos para alcançar sustentabilidade ambiental, saúde, segurança (Ávila-Gutiérrez et al., 2022), e as competências necessárias para promover humanização (Grabowska et. 2022), justiça social e desenvolvimento sustentável (Mazur e Walczyna, 2022).

Por fim, os clusters “*Industry 5.0*” e “*Industry 4.0*” aparecem em lilás, interagindo com os outros temas. O cluster da Indústria 5.0 aparece no centro da rede, ramificando-se em todas as direções e atingindo um maior número de temas que o cluster da Indústria 4.0. A relação da Indústria 5.0 com diversas tecnologias (exemplo: big data, inteligência artificial, internet das coisas) reforça o que foi mencionado anteriormente e evidencia duas vertentes de pesquisa: a primeira relacionada ao uso da tecnologia; e a segunda dedicada ao desenvolvimento sustentável, a resiliência e a centralidade humana.

3.2 Indústria 4.0: um breve histórico

Antes de discutir o conceito de Indústria 5.0 se faz necessário reforçar o que caracteriza a revolução anterior, também chamada de Indústria 4.0. As revoluções industriais sempre foram marcadas por grandes transformações, como a energia a vapor (primeira revolução), a eletricidade e o petróleo (segunda revolução), o computador e a Internet (terceira revolução), e o surgimento de novas tecnologias digitais (quarta revolução) (Callaghan, 2019). Em 2011 foi talhado o conceito de Indústria 4.0, que rapidamente ganhou espaço em pesquisas científicas, organizações, feiras e conferências em todo o mundo. A tendência 4.0 passou a representar o uso de tecnologias de automação na indústria manufatureira e, aos poucos, foi ganhando espaço em outras áreas e dando forma aos conceitos de agricultura 4.0, serviços 4.0 e varejo 4.0 (Xu et al., 2018; Sakrabani et al., 2019; Liu et al., 2020). O número de tecnologias que passaram a ser vinculadas à quarta revolução industrial também aumentou ao longo do tempo. Se inicialmente tecnologias como internet das coisas, computação em nuvem, big data, inteligência artificial e sistemas cyber-físicos dominavam as discussões sobre o tema (Löffler e Tschiesner, 2013; Givehchi et al., 2013), ao longo do tempo tecnologias como robôs autônomos, data mining, *blockchain* e muitas outras foram ganhando espaço (Bai et al., 2020, Kayikci et al., 2022).

A Indústria 4.0 tem uma literatura rica, mas repleta de lacunas. Deficiências relacionadas a integração de múltiplas tecnologias ainda são amplamente discutidas, especialmente quando se trata da resiliência de sistemas produtivos complexos (Xu et al., 2018). O avanço tecnológico também desperta antigas contrariedades e incertezas, como o paradoxo tecnológico (Ricardo, 1821; Amendola, 1972) e o paradoxo da produtividade (Solow, 1987). De um lado, autores argumentam que a tecnologia gera dicotomia entre controle e caos, em uma corda bamba entre gerar eficiência ou dependência, promover conectividade ou afastamento, sentimentos de inteligência ou ignorância, resolver ou causar problemas (Sørensen, 2011; Krishnan et al., 2018). Sob outra perspectiva, autores defendem a capacidade tecnológica e reiteram características que eram negligenciadas antigamente, apontando uma série de benefícios relacionados a tecnologias emergentes (Kijek e Kijek, 2019). As controvérsias reforçam a necessidade de estudos em profundidade sobre o potencial das tecnologias e seu impacto na produtividade das organizações, mas também na sustentabilidade e na sociedade (Furstenau et al., 2020).

Tais inquietações relacionadas ao papel, ao potencial e ao impacto das tecnologias digitais levantaram inúmeras questões sobre a Indústria 4.0, especialmente no que tange a sua capacidade de atuar em prol do desenvolvimento sustentável e socioeconômico. É precisamente a partir de tais inquietudes que nasceu o conceito de Indústria 5.0.

3.3 Indústria 5.0: o que realmente sabemos sobre?

Se as revoluções anteriores foram marcadas por grandes transformações como a energia a vapor, a eletricidade, a Internet ou o estopim tecnológico, qual a grande mudança que justifica a quinta revolução? Aparentemente, ainda não se sabe. Ao analisar a literatura, percebe-se que as justificativas e os elementos que dão forma a Indústria 5.0 são discutidos no contexto da Indústria 4.0 a muito tempo. Os pesquisadores que se dedicam a escrever sobre o tema parecem fazer uso dos mesmos fundamentos para caracterizar a Indústria 5.0: centralidade humana, sustentabilidade e, em alguns casos, resiliência. Com base nestes que são definidos como os pilares da Indústria 5.0, é que nasce o questionamento: *será mesmo uma revolução?*

3.3.1 Indústria 5.0: conceitos e definições

Após a Indústria 4.0, a Indústria 5.0 surgiu com o intuito de colocar o ser humano no centro das discussões, como acusa a abordagem “*human-centric*” apresentada por Nahavandi (2019). De acordo com o autor, na Indústria 5.0 os humanos executarão atividades relacionadas a criatividade e inovação, enquanto os robôs farão atividades técnicas. Para Madsen e Berg (2021) a Indústria 5.0 pode ser vista como uma nova economia (*bioeconomy*) que integra ecologia, indústria e economia, a fim de utilizar recursos biológicos renováveis em produtos de valor agregado. Indo além, a Indústria 5.0 surge para reforçar a importância da pesquisa e da inovação, de modo resiliente e sustentável, que auxilie no desenvolvimento da indústria e da economia a serviço da humanidade (Xu et al., 2021), de forma democrática e através de cocriação de conhecimento (Özdemir e Hekim, 2018). A Tabela 2 apresenta algumas das principais definições sobre a Indústria 5.0 encontradas na literatura.

Tabela 2. Principais conceitos identificados na literatura.

Autor(es)/ano	Definição
Madsen e Berg (2021)	<i>“a Indústria 5.0 é um novo conceito visionário que busca tornar a indústria mais sustentável, centrada no ser humano e na resiliência”</i>
Majerník et al. (2022)	<i>“[...] 5ª Revolução Industrial se concentrará em um ambiente mais sustentável economicamente, em indústrias mais flexíveis e socialmente resilientes, centradas no homem e no seu bem-estar industrial através da cooperação homem-máquina-robô e na criação de locais de trabalho mais inclusivos”</i>
Grabowska et al. (2022)	<i>“a essência da Indústria 5.0 está concentrada em três áreas de desenvolvimento: centrada no ser humano, sustentabilidade e resiliência”</i>
Sindhwani et al. (2022)	<i>“o objetivo da Indústria 5.0 é estabelecer métodos sustentáveis e ecologicamente corretos e aprimorar o trabalho e experiências de serviço. Tem a visão de colaboração entre humanos e robôs em sistemas digitais avançados, formando assim um ambiente inteligente”</i>
Javaid et al. (2020)	<i>“a Indústria 5.0 é uma combinação de novas e avançadas tecnologias para criar inovações”</i>
Xu et al. (2021)	<i>“reconhecer o poder da indústria para alcançar objetivos sociais além dos empregos e do crescimento, para se tornar um provedor resiliente de prosperidade, fazendo a produção respeitar os limites do planeta e colocando o bem-estar do trabalhador no centro dos processos de produção”</i>
ElFar et al. (2021)	<i>“a Indústria 5.0 tem a capacidade de conciliar humanos e máquinas, e busca maneiras de operarem em conjunto para aumentar a capacidade de fabricação e desempenho”</i>
Maddikunta et al. (2022)	<i>“seu objetivo é alavancar a criatividade do ser humano especialistas em colaboração com máquinas eficientes, inteligentes e precisas, a fim de obter recursos eficientes e soluções de fabricação preferidas pelo usuário”</i>

É possível perceber que, embora a centralidade humana, a sustentabilidade e a resiliência apareçam em quase todas as definições, não existe consenso sobre o conceito. Para alguns autores como Javaid et al. (2020) as tecnologias digitais norteiam o percurso da quinta

revolução. Para autores como Majerník et al. (2022), as discussões partem da busca pela sustentabilidade e pelo bem-estar humano, e a indústria e as tecnologias devem ancorar o objetivo inicial.

No entanto, através das definições não é perceptível nenhuma grande mudança que possa nomear a busca pela sustentabilidade, pela resiliência ou pela centralidade humana como uma nova “revolução” industrial. Pode se tratar da evolução do próprio conceito de Indústria 4.0, como pode ser visto no estudo de Johri et al. (2021) que argumenta que, embora os aspectos da Indústria 5.0 sejam essenciais, se trata de um desenvolvimento incremental do que já se conhecia como Indústria 4.0. Isso também é perceptível através de alguns conceitos ainda incipientes na literatura, como Indústria 4.0 simétrica, Indústria 4.0 Plus ou Indústria 4.0-S. Tais contraposições reforçam o questionamento: *será mesmo uma revolução?*

3.3.2 *Centralidade humana versus tecnologias 5.0*

Sachsenmeier (2016) foi o primeiro autor a discutir o papel paradoxal da transformação digital, defendendo que as transições de paradigmas se tornam destrutivas e brutais, especialmente para a esfera social. Para o autor, a Indústria 5.0 aborda a própria essência da humanidade e suas relações com a natureza. O autor projeta o que parece ser o cenário ideal para as sociedades de todo o mundo, incluindo o bem-estar humano, a integridade física e a preservação ambiental. Esta visão é contrariada por pesquisadores que vinculam a Indústria 5.0 ao desenvolvimento de tecnologias digitais como *edge computing*, inteligência artificial, *big data analytics*, *internet of every things*, *blockchain*, *digital twins*, 6G e robôs colaborativos (*cobots*) (Maddikunta et al., 2022).

Entre as visões anteriores se encontram autores que acreditam que a Indústria 5.0 é o coeficiente indispensável para democratizar a coprodução de conhecimento a partir de big data, trazendo lado a lado o desenvolvimento tecnológico e humano (Özdemir e Hekim, 2018). A principal diferença entre estas visões se dá pelo fato de que somente uma delas coloca a qualidade de vida e o bem-estar dos humanos como propósito, as demais idealizam a integração entre indivíduos e máquinas, mas parecem manter o objetivo final voltado ao crescimento econômico das organizações. Embora sejam divergentes sobre o propósito final, as visões não se anulam, uma vez que ambas buscam lidar com diferentes aspectos da tecnologia e da vida humana que, embora utilizem lentes diferentes, não são excludentes.

3.3.3 *Resiliência e sustentabilidade*

Historicamente, o desenvolvimento sustentável dá voz a acaloradas discussões, principalmente relacionadas as diferentes percepções acerca de problemas de degradação ambiental e mazelas sociais (Lélé, 1991; Likić-Brborić, 2019). No contexto das revoluções industriais não é diferente, causando divergências entre estudos e gerando dúvidas sobre possíveis caminhos futuros. Afinal, o desenvolvimento sustentável é o futuro necessário da sociedade ou não passa de um conceito utópico?

De acordo com Mazur e Walczyna (2022), nenhuma das revoluções industriais anteriores tinham planos de ação ou objetivos de desenvolvimento sustentável, o que justifica o apelo de posicionar tal elemento como base para a Indústria 5.0. Em contraponto a este argumento, Ghobakhloo (2020) explica que, embora em um primeiro momento a Indústria 4.0 tenha aguçado o interesse de praticantes e pesquisadores interessados em aumentar a qualidade e a produtividade em sistemas produtivos através da tecnologia, a maturidade do tema tem, cada vez mais, direcionado os olhares para questões atreladas ao desenvolvimento social, a resiliência e a proteção ambiental. Este argumento é plenamente válido se forem observadas pesquisas recentes que exploraram as competências humanas requeridas para a Indústria 4.0 (Kipper et al., 2021; Raton et al., 2022), meios para aumentar a resiliência organizacional (Sinha et al., 2022; Singh et al., 2022), e que medem o impacto das tecnologias ou buscam formas de

usá-las a favor da sustentabilidade (Strandhagen et al., 2022; Caiado et al., 2022, Ejsmont et al., 2020).

Se inicialmente a sustentabilidade, a resiliência e o bem-estar social foram fatores negligenciados nos estudos da quarta revolução industrial, estudos recentes provam o contrário através de ações que visam tornar os processos organizacionais mais sustentáveis, resilientes e humanos. As vulnerabilidades da Indústria 4.0 não parecem suficientemente fortes para justificar a criação de um novo e prematuro conceito. A transição para uma nova revolução precisa ter caráter sistêmico e justificar seus efeitos nos mercados, nos negócios e na cultura (Johri et al., 2021).

4 Conclusão e agenda de pesquisa

Este estudo buscou investigar a literatura sobre Indústria 5.0 a fim de compreender o conceito e os pilares que o ancoram. Embora conceitualmente a Indústria 4.0 e a Indústria 5.0 não sejam necessariamente opostas nem geracionais (pois uma não precisa terminar para outra começar) o que se discute neste estudo é a confusão entre os conceitos. É necessário reconhecer que os pilares identificados através da revisão da literatura (sustentabilidade, resiliência e centricidade humana) são pilares fundamentais para o desenvolvimento das organizações e da sociedade e, no entanto, ainda foram pouco discutidos no contexto da Indústria 4.0. Apesar de reconhecer a importância de tais pilares, parece inapropriado assumi-los como as principais engrenagens de uma nova revolução industrial. O movimento 5.0 pode facilmente ser entendido como uma evolução da Indústria 4.0 sem, necessariamente, caracterizar uma revolução da indústria.

A crítica ao conceito se dá, principalmente, pelo fato de as revoluções anteriores terem sido marcadas por grandes transformações e inovações tecnológicas, enquanto o conceito de Indústria 5.0 parece permear o âmbito ambiental, educacional e diplomático. Além disso, o fenômeno sugere a ausência de valores socioambientais nas revoluções anteriores, embora tais questões são discutidas na literatura a décadas. O conceito parece se aproximar mais de um modismo e de uma urgência desmedida de talhar novos conceitos, do que uma necessidade verídica de revolução.

Por fim, esta pesquisa não é livre de limitações. O estudo se limitou a explorar artigos disponíveis na base Web of Science e publicados em Journals do primeiro quadrante. É possível que estudos que não foram incluídos nesta análise tenham explorado o conceito sob diferentes óticas e devem ser averiguados em estudos futuros. Como desvantagem, este estudo não oferece evidências empíricas relacionadas aos elementos atrelados ao conceito da Indústria 5.0, ainda que este não seja o objetivo do estudo.

4.1 Agenda de pesquisa

No momento, o debate sobre a quinta revolução industrial é teórico, mas logo virão à tona diferentes estudos empíricos buscando justificar o emprego do conceito. Algumas proposições são apresentadas a seguir, a fim de questionar a necessidade da quinta revolução industrial, ou ainda, de posicionar seus elementos dentro da atual Indústria 4.0.

Proposição 1 - Existem capacidades e objetivos organizacionais (como cultura colaborativa e potencial de aprendizagem) que medeiam a sustentabilidade e a centricidade humana. Os resultados sugerem que quando tais capacidades e objetivos organizacionais são claramente alinhados, a Indústria 4.0 tem o potencial de operar preocupando-se com o bem-estar humano e dirigindo ações em direção a sustentabilidade.

No entanto, o potencial de aprendizagem humana e o uso de tecnologias digitais a favor da sustentabilidade são pouco explorados na literatura. Na prática não é diferente, os trabalhos empíricos permanecem ancorados, em sua maior parte, pelo desenvolvimento ou implementação da tecnologia para o aumento da eficiência e da produtividade. A falta de

alinhamento com os objetivos do desenvolvimento sustentável e social não devem justificar a busca precoce por um novo conceito de revolução industrial.

Proposição 2 - Existem recursos de resiliência (como monitoramento de KPIs e estratégias de redundância) que medeiam a relação entre a transformação digital e o potencial de resiliência organizacional. Quando tais recursos são incorporados no contexto da Indústria 4.0 o potencial de resiliência aumenta, possibilitando respostas rápidas e estratégias de redundância para os sistemas produtivos.

Assim, a capacidade de realizar um monitoramento adequado indica a disponibilidade – ou não – de recursos necessários. O uso de tecnologias da Indústria 4.0 como mineração de dados ou *machine learning* podem, ainda, operar gerando previsões para o ecossistema organizacional, atuando a favor da resiliência. É pela falta de tais capacidades que o potencial da Indústria 4.0 não é totalmente explorado, não se tratando da necessidade de uma nova revolução, e sim de explorar o potencial da revolução corrente.

O ponto em comum entre as proposições acima se dá pelo reconhecimento da subutilização de recursos e capacidades organizacionais existentes ou pela falta de planejamento estratégico que inclua os elementos da quinta revolução industrial no contexto da Indústria 4.0. Tais elementos não caracterizam uma transformação de mercado capaz de justificar o surgimento do novo conceito. É possível observar na literatura que há uma capacidade substancial da Indústria 4.0 ainda inexplorada. Além disso, estudos anteriores no campo da Indústria 5.0 parecem não reconhecer a sustentabilidade, a resiliência ou o posicionamento humano nas organizações como fatores que vem sendo estudados a inúmeras décadas, antes mesmo da quarta revolução industrial.

Ademais, este trabalho levanta algumas oportunidades para estudos futuros, como: (i) no decorrer do amadurecimento do conceito de Indústria 5.0, realizar estudos empíricos capazes de comprovar – ou refutar – a necessidade da quinta revolução; (ii) analisar em profundidade os elementos (centricidade humana, resiliência e sustentabilidade) no contexto da quarta revolução, a fim de analisar se tais fatores são explorados íntegra ou parcialmente; (iii) descobrir quais são – caso existam – os principais fatores da Indústria 5.0 que promovem a resiliência, a sustentabilidade e a criação de valor social, e que não poderiam ser criados através da Indústria 4.0; (iv) identificar os facilitadores e os desafios associados a quinta revolução para compreender sua capacidade de solucionar problemas perduráveis da Indústria 4.0, e; (v) testar as proposições acima em pesquisas em profundidade, capazes de responder os questionamentos levantados neste estudo.

Referências

Amendola, M. (1972). Modello " neo-austriaco" e transizione fra equilibri dinamici. Monte dei Paschi di Siena.

Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. *Journal of informetrics*, 11(4), 959-975.

Ávila-Gutiérrez, M. J., Suarez-Fernandez de Miranda, S., & Aguayo-González, F. (2022). Occupational Safety and Health 5.0—A Model for Multilevel Strategic Deployment Aligned with the Sustainable Development Goals of Agenda 2030. *Sustainability*, 14(11), 6741.

Bai, C., Dallasega, P., Orzes, G., & Sarkis, J. (2020). Industry 4.0 technologies assessment: A sustainability perspective. *International journal of production economics*, 229, 107776.

Caiado, R. G. G., Scavarda, L. F., Azevedo, B. D., de Mattos Nascimento, D. L., & Quelhas, O. L. G. (2022). Challenges and benefits of sustainable industry 4.0 for operations and supply chain management—A framework headed toward the 2030 agenda. *Sustainability*, 14(2), 830.

- Callaghan, C. W. (2019). Transcending the threshold limitation: a fifth industrial revolution?. *Management Research Review*.
- Carayannis, E. G., & Morawska-Jancelewicz, J. (2022). The futures of Europe: Society 5.0 and Industry 5.0 as driving forces of future universities. *Journal of the Knowledge Economy*, 1-27.
- Cobo, M. J., López-Herrera, A. G., Herrera-Viedma, E., & Herrera, F. (2012). SciMAT: A new science mapping analysis software tool. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, 63(8), 1609-1630.
- Corradini, C., Santini, E., & Vecciolini, C. (2021). The geography of Industry 4.0 technologies across European regions. *Regional Studies*, 55(10-11), 1667-1680.
- Demir, K. A., & Cicibas, H. (2017, October). Industry 5.0 and a Critique of Industry 4.0. In *Proceedings of the 4th international management information systems conference, Istanbul, Turkey* (pp. 17-20).
- Dias, J. L., Sott, M. K., Ferrão, C. C., Furtado, J. C., & Moraes, J. A. R. (2021). Data mining and knowledge discovery in databases for urban solid waste management: A scientific literature review. *Waste Management & Research*, 39(11), 1331-1340.
- Ejmont, K., Gladysz, B., & Kluczek, A. (2020). Impact of industry 4.0 on sustainability—bibliometric literature review. *Sustainability*, 12(14), 5650.
- ElFar, O. A., Chang, C. K., Leong, H. Y., Peter, A. P., Chew, K. W., & Show, P. L. (2021). Prospects of Industry 5.0 in algae: Customization of production and new advance technology for clean bioenergy generation. *Energy Conversion and Management: X*, 10, 100048.
- Frank, A. G., Dalenogare, L. S., & Ayala, N. F. (2019). Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies. *International Journal of Production Economics*, 210, 15-26.
- Furstenau, L. B., Rodrigues, Y. P. R., Sott, M. K., Leivas, P., Dohan, M. S., López-Robles, J. R., ... & Choo, K. K. R. (2022). Internet of things: Conceptual network structure, main challenges and future directions. *Digital Communications and Networks*.
- Furstenau, L. B., Sott, M. K., Kipper, L. M., Machado, E. L., Lopez-Robles, J. R., Dohan, M. S., ... & Imran, M. A. (2020). Link between sustainability and industry 4.0: trends, challenges and new perspectives. *Ieee Access*, 8, 140079-140096.
- Ghobakhloo, M. (2020). Industry 4.0, digitization, and opportunities for sustainability. *Journal of cleaner production*, 252, 119869.
- Givehchi, O., Trsek, H., & Jasperneite, J. (2013, September). Cloud computing for industrial automation systems—A comprehensive overview. In *2013 IEEE 18th Conference on Emerging Technologies & Factory Automation (ETF A)* (pp. 1-4). IEEE.
- Grabowska, S., Saniuk, S., & Gajdzik, B. (2022). Industry 5.0: improving humanization and sustainability of Industry 4.0. *Scientometrics*, 1-28.
- Jafari, N., Azarian, M., & Yu, H. (2022). Moving from Industry 4.0 to Industry 5.0: What Are the Implications for Smart Logistics?. *Logistics*, 6(2), 26.
- Javid, M., Haleem, A., Singh, R. P., Haq, M. I. U., Raina, A., & Suman, R. (2020). Industry 5.0: Potential applications in COVID-19. *Journal of Industrial Integration and Management*, 5(04), 507-530.
- Johri, P., Singh, J. N., Sharma, A., & Rastogi, D. (2021, December). Sustainability of Coexistence of Humans and Machines: An Evolution of Industry 5.0 from Industry 4.0. In *2021 10th International Conference on System Modeling & Advancement in Research Trends (SMART)* (pp. 410-414). IEEE.
- Kagermann, H. (2015). Change through digitization—Value creation in the age of Industry 4.0. In *Management of permanent change* (pp. 23-45). Springer Gabler, Wiesbaden.

- Kayikci, Y., Subramanian, N., Dora, M., & Bhatia, M. S. (2022). Food supply chain in the era of Industry 4.0: Blockchain technology implementation opportunities and impediments from the perspective of people, process, performance, and technology. *Production Planning & Control*, 33(2-3), 301-321.
- Kerin, M., & Pham, D. T. (2019). A review of emerging industry 4.0 technologies in remanufacturing. *Journal of cleaner production*, 237, 117805.
- Kijek, T., & Kijek, A. (2019). Is innovation the key to solving the productivity paradox?. *Journal of Innovation & Knowledge*, 4(4), 219-225.
- Kipper, L. M., Furstenu, L. B., Hoppe, D., Frozza, R., & Iepsen, S. (2020). Scopus scientific mapping production in industry 4.0 (2011–2018): a bibliometric analysis. *International Journal of Production Research*, 58(6), 1605-1627.
- Kipper, L. M., Iepsen, S., Dal Forno, A. J., Frozza, R., Furstenu, L., Agnes, J., & Cossul, D. (2021). Scientific mapping to identify competencies required by industry 4.0. *Technology in Society*, 64, 101454.
- Krishnan, M., Mischke, J., & Remes, J. (2018). Is the Solow Paradox Back?. *The McKinsey Quarterly*.
- Lélé, S. M. (1991). Sustainable development: a critical review. *World development*, 19(6), 607-621.
- Leydesdorff, L., Carley, S., & Rafols, I. (2013). Global maps of science based on the new Web-of-Science categories. *Scientometrics*, 94(2), 589- 593.
- Likić-Brborić, B. (2019). Global migration governance, civil society and the paradoxes of sustainability. In *Migration, Civil Society and Global Governance*. Taylor & Francis.
- Liu, Y., Ma, X., Shu, L., Hancke, G. P., & Abu-Mahfouz, A. M. (2020). From Industry 4.0 to Agriculture 4.0: Current status, enabling technologies, and research challenges. *IEEE Transactions on Industrial Informatics*, 17(6), 4322-4334.
- Löffler, M., & Tschiesner, A. (2013). The Internet of Things and the future of manufacturing. *McKinsey & Company*, 4.
- Maddikunta, P. K. R., Pham, Q. V., Prabadevi, B., Deepa, N., Dev, K., Gadekallu, T. R., ... & Liyanage, M. (2022). Industry 5.0: A survey on enabling technologies and potential applications. *Journal of Industrial Information Integration*, 26, 100257.
- Madsen, D. Ø., & Berg, T. (2021). An exploratory bibliometric analysis of the birth and emergence of industry 5.0. *Applied System Innovation*, 4(4), 87.
- Majerník, M., Daneshjo, N., Malega, P., Drábik, P., & Barilová, B. (2022). Sustainable Development of the Intelligent Industry from Industry 4.0 to Industry 5.0. *Advances in Science and Technology Research Journal*, 16(2), 12-18.
- Mazur, B., & Walczyna, A. (2022). Sustainable Development Competences of Engineering Students in Light of the Industry 5.0 Concept. *Sustainability*, 14(12), 7233.
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D. G., & PRISMA Group*. (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: the PRISMA statement. *Annals of internal medicine*, 151(4), 264-269.
- Nahavandi, S. (2019). Industry 5.0—A human-centric solution. *Sustainability*, 11(16), 4371.
- Özdemir, V., & Hekim, N. (2018). Birth of industry 5.0: Making sense of big data with artificial intelligence, “the internet of things” and next-generation technology policy. *Omics: a journal of integrative biology*, 22(1), 65-76.
- Rada, M. (2015) INDUSTRY 5.0 - from virtual to physical, 1 December 2015, <https://www.linkedin.com/pulse/industry-50-from-virtual-physical-michael-rada>, Accessed on 11 July 2022.

- Raton, Y. C., Raco, J. R., Krejci, J. V., Ohoitumur, J., Sopotan, J. E., Tumewu, T. W., ... & Ngenget, S. (2022). Soft skills of higher education in industry 4.0 era using buckley's fuzzy-AHP. *International Journal of the Analytic Hierarchy Process*, 14(1).
- Ricardo, D. (1821). *On the principles of political economy*. London: J. Murray.
- Sachsenmeier, P. (2016). Industry 5.0—The relevance and implications of bionics and synthetic biology. *Engineering*, 2(2), 225-229.
- Sakrabani, P., Teoh, A. P., & Amran, A. (2019). Strategic impact of retail 4.0 on retailers' performance in Malaysia. *Strategic Direction*.
- Sarfraz, Z., Sarfraz, A., Iftikar, H. M., & Akhund, R. (2021). Is COVID-19 pushing us to the fifth industrial revolution (society 5.0)? *Pakistan journal of medical sciences*, 37(2), 591.
- Sindhwani, R., Afridi, S., Kumar, A., Banaitis, A., Luthra, S., & Singh, P. L. (2022). Can industry 5.0 revolutionize the wave of resilience and social value creation? A multi-criteria framework to analyze enablers. *Technology in Society*, 68, 101887.
- Singh, D., Sharma, A., & Rana, P. S. (2022). Role of Industry 4.0 Practices in Supply Chain Resilience. *ECS Transactions*, 107(1), 6607.
- Sinha, N., Noor, M. F., & Kumar, A. (2022). Improving Supply Chain Resilience under COVID-19 Outbreak through Industry 4.0: A Review on Tools and Technologies. *Making Complex Decisions toward Revamping Supply Chains amid COVID-19 Outbreak*, 141-164.
- Solow, R. (1987). *We'd better watch out*. *New York Times Book Review*, 36.
- Sørensen, C. (2011). *Enterprise mobility: tiny technology with global impact on work*. Springer.
- Sott, M. K., Furstenu, L. B., Kipper, L. M., Rodrigues, Y. P. R., López-Robles, J. R., Giraldo, F. D., & Cobo, M. J. (2021). Process modeling for smart factories: using science mapping to understand the strategic themes, main challenges and future trends. *Business Process Management Journal*. Vol. 27 No. 5, pp. 1391-1417.
- Sott, M. K., Bender, M. S., Furstenu, L. B., Machado, L. M., Cobo, M. J., & Bragazzi, N. L. (2020). 100 years of scientific evolution of work and organizational psychology: A bibliometric network analysis from 1919 to 2019. *Frontiers in psychology*, 11, 598676.
- Strandhagen, J. W., Buer, S. V., Semini, M., Alfnes, E., & Strandhagen, J. O. (2022). Sustainability challenges and how Industry 4.0 technologies can address them: A case study of a shipbuilding supply chain. *Production Planning & Control*, 33(9-10), 995-1010.
- Van Eck, N. J., & Waltman, L. (2011). Text mining and visualization using VOSviewer. *arXiv preprint arXiv:1109.2058*.
- Xu, L. D., Xu, E. L., & Li, L. (2018). Industry 4.0: state of the art and future trends. *International journal of production research*, 56(8), 2941-2962.
- Xu, X., Lu, Y., Vogel-Heuser, B., & Wang, L. (2021). Industry 4.0 and Industry 5.0—Inception, conception and perception. *Journal of Manufacturing Systems*, 61, 530-535.