CEFET/RJ
DIRETORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

A RELAÇÃO ENTRE A INDÚSTRIA 4.0 E O *TRIPLE BOTTOM LINE*: OPORTUNIDADES E DESAFIOS

Carina da Conceição Rodrigues Acioli Ferreira

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção e Sistemas do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, CEFET/RJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de mestre em Engenharia de Produção e Sistemas.

Orientador:
Professor Dr. Augusto da Cunha Reis

Coorientador:
Professor Dr. Annibal José Roris Rodriguez Scavarda do Carmo

Rio de Janeiro
Dezembro de 2021

A RELAÇÃO ENTRE A INDÚSTRIA 4.0 E O *TRIPLE BOTTOM LINE*: OPORTUNIDADES E DESAFIOS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção e Sistemas do Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, CEFET/RJ, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de mestre em Engenharia de Produção Sistemas.

Carina da Conceição Rodrigues Acioli Ferreira

Banca Examinadora:

_____

Presidente, Professor Dr. Augusto da Cunha Reis (CEFET/RJ) (Orientador)

_____

Professor Dr. Annibal José Roris Rodriguez Scavarda do Carmo (UNIRIO) (Coorientador)

_____

Professora Dra. Vanessa de Almeida Guimaraes (CEFET/RJ)

_____

Professora Dra. Mirian Picinini Méxas (UFF)

SUPLENTES

_____

Professor Dr. Dadui Cordeiro Guerrieri (CEFET/RJ)

_____

Professor Dr. Christopher Rosa Pohlmann (Unisinos)

Rio de Janeiro
Dezembro de 2021

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central do CEFET/RJ

F383 Ferreira, Carina da Conceição Rodrigues Acioli
A relação entre a indústria 4.0 e o triple bottom line: oportunidades e desafios / Carina da Conceição Rodrigues Acioli Ferreira – 2021.
91f : il. color. , enc.

Dissertação (Mestrado). Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, 2021.
Bibliografia : f. 56-84
Orientador: Augusto da Cunha Reis
Coorientador: Annibal José Roris Rodriguez Scavarda do Carmo

1. Desenvolvimento sustentável. 2. Desenvolvimento econômico. 3. Indústria 4.0. 4. Inovações tecnológicas. 5. Covid-19. I. Reis, Augusto da Cunha (Orient.). II. Annibal José Roris Rodriguez Scavarda do Carmo (Co-orient.). III. Título.

CDD 338.927

Elaborada pelo bibliotecário Leandro Mota de Menezes – CRB/7 nº 5281

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por tudo!

Ao meu esposo, Marcelo, aos meus filhos, Maria Gabriela e João Gabriel, pelo carinho, pela motivação, pela inspiração e pelo apoio para que eu pudesse concretizar esta realização.

À minha mãe, Terezinha, às minhas irmãs, Tatiane e Natielen e a todos os meus familiares e amigos pelo apoio e pelo incentivo no desafio desta nova jornada.

Aos meus orientadores, Augusto Reis e Annibal Scavarda, pela valiosa orientação, pela amizade, pela atenção, pela paciência e por compartilharem comigo os seus conhecimentos.

Aos professores Alexandre Castro, Cristina Souza, Ronney Mancebo, Igor Santos e demais professores que também fizeram parte desta conquista.

Aos membros da banca examinadora.

Aos meus amigos e colegas do PPPRO que torceram por mim e me ajudaram nesta nova conquista.

Aos meus amigos e colegas de trabalho que me ajudaram nesta jornada.

A todos do CEFET/RJ que direta ou indiretamente contribuíram para esta fase de realizações.

RESUMO

A Relação entre a Indústria 4.0 e o *Triple Bottom Line*: Oportunidades e Desafios

Apesar do crescente número de pesquisas voltadas ao tema sustentabilidade e ao tema indústria 4.0, raros são os estudos que contemplam a relação entre eles. Norteado pela questão problema: "Qual a relação e (ou) a aplicação da indústria 4.0 nas dimensões sociais, econômicas e ambientais da sustentabilidade?", este trabalho tem como propósito realizar uma revisão sistemática da literatura sobre a relação entre a indústria 4.0 e o *triple bottom line*. Além disso, mediante à análise dos resultados deste estudo, pretende-se apresentar algumas oportunidades e desafios que envolvem esta relação, realçar as lacunas e as limitações e sugerir futuras pesquisas. Atualmente, diversos países passam pela pandemia da covid-19, situação emergente que trouxe impactos imediatos sobre a sociedade, a economia e o meio ambiente. Neste cenário pandêmico, entre diversas aplicações e funcionalidades, as tecnologias da indústria 4.0, contribuem com as ações de combate e mitigação da disseminação da covid-19, na saúde e ajudam na continuidade de negócios. Ainda neste contexto, entre as diversas tecnologias da indústria 4.0, a aplicação da inteligência artificial associada ao *triple bottom line*, por exemplo, pode contribuir com: a epidemiologia, a previsão de possíveis doenças e pandemias, e com os aspectos socioeconômicos.

Palavras-chave: Covid-19; Indústria 4.0; Sustentabilidade; Tripé da Sustentabilidade.

ABSTRACT

The Relationship between Industry 4.0 and Triple Bottom Line: Opportunities and Challenges

Despite the growing number of researches focused on sustainability and Industry 4.0, few studies have contemplated the relationship between them. Guided by the problem question, "What is the relationship and (or) what is the industry 4.0 application within the sustainability environment?", This paper is interested in conducting a systematic literature review on the relationship between industry 4.0 and the triple bottom line. Furthermore, by analyzing the results of this research, it is intended to present some opportunities and challenges surrounding this relationship, highlight the gaps and limitations of the research, and suggest future research. Currently, several countries are going through the covid-19 pandemic, an emerging situation that has brought immediate impacts on society, the economy, and the environment. In this pandemic scenario, among various applications and functionalities, the disruptive technologies of industry 4.0, contribute to the actions to combat and mitigate the covid-19 dissemination, in health and help business continuity. Also in this context, among the various technologies of industry 4.0, the artificial intelligence application associated with triple bottom line, for example, can contribute to epidemiology, forecasting of possible diseases and pandemics, and socioeconomic aspects.

Keywords: Covid-19; Industry 4.0; Sustainability; Triple bottom line.

SUMÁRIO

Introdução 11
1. Indústria 4.0, Sustentabilidade e Covid-19 14
1.1 Indústria 4.0 14
1.1.1 *Big Data* 15
1.1.2 Cibersegurança 17
1.1.3 Computação em Nuvem 18
1.1.4 *Internet of Things* 19
1.1.5 Manufatura Aditiva ou Impressão 3D 20
1.1.6 Realidade Aumentada 21
1.1.7 Robótica 22
1.1.8 Simulação 23
1.1.9 Sistemas de Integração Vertical e Horizontal 24
1.2 Sustentabilidade 25
1.3 Sustentabilidade e Indústria 4.0 em meio à Covid-19 28
1.3.1 Impactos Sociais em tempos de Covid-19 30
1.3.2 Impactos Econômicos em tempos de Covid-19 31
1.3.3 Impactos Ambientais em tempos de Covid-19 31
2. Metodologia 34
3. Resultados 38
4. Discussão 46
5. Conclusão 55
Referências 56
ANEXO I – ARTIGOS SELECIONADOS NA BUSCA BIBLIOGRÁFICA 85
ANEXO II – INSTITUIÇÕES QUE REPRESENTAM OS 8 PAÍSES QUE MAIS PUBLICARAM SOBRE O TEMA 91

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Síntese do levantamento bibliográfico 36
Figura 2 – Quantidade de artigos por ano 37
Figura 3 – Mapa de coautorias (maior valor total link strength de 765) 39
Figura 4 – Mapa de coautorias (maior valor total link strength de 19) 39
Figura 5 – Mapa de coautorias (maior valor total link strength de 14) 40
Figura 6 – Mapa de coautorias (maiores valores total link strength de 11 e 10) 40
Figura 7 – Mapa das palavras-chaves (Item: industry 4.0) 41
Figura 8 – Mapa das palavras-chaves (Item: sustainability) 42
Figura 9 – Mapa das palavras-chaves (Item: triple bottom line) 42
Figura 10 – Mapa das palavras-chaves (Item: circular economy) 43
Figura 11 – Mapa das palavras-chaves (Item: industrial internet of things) 43
Figura 12 – Quantidade de publicação por periódico 44
Figura 13 – Mapa de coautorias entre países 45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Efeitos positivos entre a I4.0 e a sustentabilidade 46
Tabela 2 – Efeitos negativos entre a I4.0 e a sustentabilidade 47

LISTA DE SIGLAS

BD	*Big Data*
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CE	Economia Circular
CN	Computação em Nuvem
CSV	*Comma-Separated Values*
I4.0	Indústria 4.0
IIoT	*Industrial Internet of Things*
IA	Inteligência Artificial
IoT	*Internet of Things*
RA	Realidade Aumentada
RIS	*Research Information Systems*
TBL	*Triple Bottom Line*
TI	Tecnologia da Informação
UNEP	UN Environment Programme
WHO	World Health Organization
Wos	Web of Science

Introdução

As transformações tecnológicas levam às constantes mudanças e fazem com que muitas organizações revejam os seus modelos de negócios existentes (YADAV et al., 2020a; SCHWAB et al., 2019). O desenvolvimento tecnológico leva a uma transformação no mundo dos negócios e exige que as organizações sejam mais inteligentes, mais eficientes e busquem a sustentabilidade (YADAV et al., 2020a; BACQ et al., 2019; DE BERNARDI et al., 2019b, 2019c; BRACCINI, MARGHERITA, 2019; CANTELE, ZARDINI, 2019; JAGTAP, DUONG, 2019; TIRABENI et al., 2019; DE BERNARDI, TIRABENI, 2018; MADAN SHANKAR et al., 2017). De tal forma que, a sobrevivência das empresas depende da resiliência às mudanças emergentes e aos desafios relacionados ao conceito de indústria 4.0 (I4.0) (DE BERNARDI et al., 2020; BERTELLO et al., 2019; MARTÍNEZ-OLVERA, MORA-VARGAS, 2019; TIRABENI et al., 2019; MÜLLER et al., 2018; KHAN, VORLEY, 2017; LIN et al., 2017; SCUOTTO et al., 2017). Tais como, desafios científicos, tecnológicos, sociais e econômicos (ZHOU et al., 2015). Além disso, as dimensões sociais, econômicas e ambientais da sustentabilidade tornaram-se fatores proeminentes (YADAV et al., 2020a; GBEDEDO et al., 2018). Com isso, as organizações passaram a buscar tecnologias inovadoras que além de satisfazer as necessidades dos clientes, também possam contribuir com os requisitos de sustentabilidade (YADAV et al., 2020a; BENDUL, BLUNCK, 2019).

As tecnologias inovadoras da I4.0 e o objetivo de alcançar o desenvolvimento sustentável estão entre os temas emergentes na sociedade (SHARMA et al., 2020a). O desenvolvimento e a adoção das tecnologias da I4.0 favorecem funções-chaves em diversas áreas, funções estas que permitem conectar as organizações tanto internamente como externamente com enfoque nos fornecedores e nos clientes. Isto permite um melhor fluxo de informações e ajuda a impulsionar a produtividade (BAG et al., 2020b; SCHUH et al., 2013). Por meio da tecnologia do sistema ciberfísico, como máquinas e componentes autônomos, a I4.0 tem o potencial de conectar os mundos físico e digital. Esta conexão favorece o desenvolvimento industrial e permite a melhoria da produtividade e da eficiência entre as organizações (SHARMA et al., 2020a; CAGLIANO et al., 2019; PEREIRA, ROMERO, 2017).

A implementação das tecnologias da I4.0 com a adoção das práticas sustentáveis

voltadas aos objetivos ambientais, sociais e econômicos favorece o comprometimento entre a responsabilidade empresarial para com a sociedade (SCAVARDA et al., 2019). A I4.0 tem o potencial de desbloquear os sistemas de produção industrial, e integrada com a sustentabilidade, apresenta sinergia e pode contribuir com a sociedade (JABBOUR et al., 2018; DUBEY et al., 2017).

A I4.0 integra tecnologias modernas e sistemas de informação e promove benefícios como, por exemplo, melhoria nas capacidades de produção (MEHRPOUYA et al., 2019; THOBEN et al., 2017), melhoria na competitividade, otimização da mão-de-obra e contribuição com a redução de energia (MEHRPOUYA et al., 2019; LU et al., 2016). Por outro lado, os efeitos e implicações reais entre a relação I4.0 e sustentabilidade nas dimensões sociais, econômicas e ambientais podem ser incertos, visto que pesquisadores, consultores e profissionais apresentam visões contraditórias quanto aos seus potenciais benefícios e riscos. Um exemplo prático desta contradição se dá por meio dos benefícios que a I4.0 pode proporcionar, tais como: eficácia, eficiência e flexibilidade nas operações de produções. Em contrapartida, a adoção da I4.0 pode levar a riscos como mudanças das qualificações da força de trabalho e vulnerabilidade com a segurança dos dados (KIEL et al., 2017; KAGERMANN et al., 2013).

Neste momento relacionado a dezembro de 2021, o mundo passa pela pandemia da covid-19, situação emergente que trouxe e ainda traz efeitos imediatos sobre o desenvolvimento sustentável. A perspectiva pandemia levou milhões de pessoas ao adoecimento e muitas delas ao óbito, mudou de forma repentina as normas, o impacto na sociedade, nos sistemas de saúde e nos negócios (GALANAKIS et al., 2021). Para mitigar a disseminação e os efeitos da covid-19, os países realizam o bloqueio total ou parcial das atividades humanas (CHAKRABORTY, MAITY, 2020). Diante desta realidade, as tecnologias que impulsionam a I4.0, contribuem com as ações voltadas à saúde, ajudam as pessoas a se reaproximarem neste tempo de distanciamento social e auxiliam na continuidade dos negócios.

Entre diversas aplicações, estas tecnologias contribuem com a produção em massa de respiradores e de protetores faciais, e com a realização de atividades em home office (ACIOLI et al., 2021). Na educação, a pandemia faz com que as instituições de ensino mundial adotem formas de ensino remoto (TIMMERS et al., 2020). De um lado, a I4.0 permite que os alunos possam manter o distanciamento social e continuar a realização de

suas atividades de estudos. Por outro lado, devido à falta de infraestrutura, muitos alunos não conseguem continuar tendo acesso ao conhecimento.

Segundo o UN Environment Programme (UNEP), a covid-19 afeta a saúde, o rendimento e a educação, causando várias mortes, uma queda na taxa global de crescimento do rendimento per capita e um aumento na taxa de abandono escolar. De acordo com a UNEP, a taxa de crianças das escolas primárias, por exemplo, incluindo as que não têm acesso à *internet*, pode atingir 60%. Para a UNEP, a sociedade não apresenta esta percentagem desde 1980 (UN, 2020c). A I4.0 apresenta um potencial de crescimento em suas tecnologias inovadoras. Tais tecnologias ajudam na formação de mão-de-obra a distância que em tempos de covid-19 pode contribuir com o distanciamento social e evitar a disseminação da doença (ACIOLI et al., 2021; GALANAKIS et al., 2021; MURRAY et al., 2019).

No contexto do desenvolvimento sustentável e tecnológico, o mundo moderno tende a avançar rapidamente, tanto no ponto de vista tecnológico, quanto nos pontos de vista das dimensões sociais e econômicas, tornando a temática sustentabilidade cada vez mais proeminente e necessária (ASIIMWE, DE KOCK, 2019). Apesar do aumento de pesquisas que tratam de tópicos relacionados à I4.0 durante os últimos anos, os estudos voltados à integração entre a I4.0 e a sustentabilidade são raros (JABBOUR et al., 2018; DUBEY et al., 2017). Diante disso, a presente pesquisa tem como objetivo geral: investigar a relação entre a I4.0 e as dimensões sociais, econômicas e ambientais da sustentabilidade. Para alcançar o objetivo geral, esta pesquisa traz os seguintes objetivos específicos: mapear a tendência de desenvolvimento das ferramentas da I4.0 no contexto da sustentabilidade; identificar as principais oportunidades e desafios que norteiam a relação I4.0 e sustentabilidade; investigar os impactos da pandemia da covid-19 na I4.0 e na sustentabilidade.

O capítulo 1 apresenta o referencial teórico e a motivação que norteia o tema desta pesquisa. Logo, o capítulo 2 traz a metodologia utilizada para realizar a revisão da literatura sobre a relação entre a I4.0 e o *triple bottom line* (TBL). Por tratar-se de um tema novo, a pesquisa bibliográfica foi realizada sem restrição temporal utilizando as bases de dados eletrônicas da Scopus e da Web of Science (Wos). A seguir, o capítulo 3 concentra os resultados. Em seguida, o capítulo 4 compõe a análise e a discussão dos resultados. Por fim, o capítulo 5 conclui a pesquisa.

1. Indústria 4.0, Sustentabilidade e Covid-19

Este presente capítulo discorre sobre alguns conceitos e aplicações que envolvem os temas: I4.0 e suas principais tecnologias e sustentabilidade na ótica do TBL. Além disso, este capítulo também trata sobre a temática sustentabilidade e I4.0 em meio à covid-19. Este trabalho reflete esta temática devido à emergência da atual pandemia global da covid-19 e ao seu potencial efeito sobre a sociedade mundial e o desenvolvimento sustentável do planeta, assim como, a aplicação das tecnologias da I4.0 como fator relevante na resposta à pandemia.

1.1 Indústria 4.0

O termo I4.0 surgiu em 2011 durante a Feira de Hannover na Alemanha (GARCIA-MUIÑA et al., 2018; JAZDI, 2014), onde propôs-se desenvolver uma estratégia nova voltada à política econômica alemã (CHAUHAN, SINGH, 2019; MOSCONI, 2015). No ano de 2012, um grupo de trabalho presidido por Siegfried Dais da empresa Robert Bosch GmbH e por Henning Kagermann da Academia Alemã de Ciências e Engenharia levou ao Governo alemão uma série de recomendações voltadas à implementação da I4.0. Este grupo de trabalho apresentou o relatório final desta recomendação durante a Feira anual de Hannover realizado em 2013 (GARCIA-MUIÑA et al., 2018; SANDERS et al., 2016). Logo, a implementação da I4.0 despertou o interesse de empresas, sindicatos, pesquisadores, enfim, de diferentes atores do setor industrial (HAHN, 2020).

A I4.0, conhecida como quarta revolução industrial, encontra-se em curso sendo resultado das três primeiras revoluções. A primeira revolução industrial, ocorreu no final do século XVIII, marcou-se pela mecanização da produção e pela invenção da máquina a vapor. A segunda revolução industrial começou no final do século XIX e trouxe a introdução da produção em massa impulsionada pela eletricidade (GARAY-RONDERO et al., 2020; GARBELLANO, DA VEIGA, 2019; EUROPEAN COMMISSION, 2017; WITKOWSKI, 2017). A terceira revolução industrial iniciou na década de 60 e destacou a tecnologia da informação, a informatização de processos, a ascensão da eletrônica, dos semicondutores, além da evolução da computação pessoal e da *internet* (GARAY-

RONDERO et al., 2020; GARBELLANO, DA VEIGA, 2019; EUROPEAN COMMISSION, 2017; DUJIN et al., 2014). Atualmente, a I4.0 permite grandes progressos e oportunidades oriundos da *internet* móvel integrada às tecnologias (GARBELLANO, DA VEIGA, 2019; EUROPEAN COMMISSION, 2017).

A I4.0 engloba um processo de digitalização que transforma, renova e inova a cadeia de valor, a forma de trabalhar e a natureza das organizações. Entre outros conceitos, a I4.0, também pode ser conhecida como fábrica inteligente e indústria inteligente, em que o sufixo inteligente compreende uma gestão associada ao uso da tecnologia digital e integrada à informação (GARCIA-MUIÑA et al., 2018; LIAO et al., 2018; OESTERREICH, FRANK, 2016). Na I4.0, as tecnologias inteligentes, como, sistemas ciberfísicos, *internet of things* (IoT), computação em nuvem (CN), análise de *big data* (BD), inteligência artificial (IA), blockchain, robótica avançada e sistemas autônomos, realidade aumentada (RA) e manufatura aditiva (TOZANLI et al., 2020; BEN-DAYA et al., 2019; LIAO et al., 2017; WEF, 2017) transformaram as formas de negócios (GHODE et al., 2020; RAJPUT, SINGH, 2019b). Além disso, a adoção de ferramentas, técnicas e tecnologias inovadoras permite que as empresas melhorem os desempenhos dos modelos empresariais e aumentem os seus benefícios financeiros (GHODE et al., 2020; HAOYAN et al., 2017). Neste contexto, esta pesquisa baseou-se em nove dimensões da I4.0, são elas: BD, cibersegurança, CN, IoT, manufatura aditiva ou impressão 3D, RA, robótica, simulação e sistemas de integração vertical e horizontal (ACIOLI et al., 2021; CUNHA et al., 2020; RUßMANN et al., 2015).

1.1.1 *Big Data*

O conceito de BD fundamenta-se na teoria dos 3V: volume, variedade e velocidade (MAJEED et al., 2019; LANEY, 2001). A tecnologia BD tem o potencial de armazenar, gerir e analisar um grande volume e variedade de dados (ALACER, MACHADO, 2019; FRANK et al., 2019; RAJPUT, SINGH, 2019a; LUTHRA et al., 2018; MANGLA et al., 2018; GUPTA et al., 2018; WITKOWSKI, 2017; LAMBA, SINGH, 2018, 2017). Esta tecnologia permite extrair conhecimento destes dados e contribuir com o aumento da vantagem competitiva das organizações (CÔRTE-REAL et al., 2020; RAMADAN et al., 2020), visto que, a capacidade de conhecer e analisar grande

quantidade e variedade de dados favorece as tomadas de decisões das organizações (RAMADAN et al., 2020; HU et al., 2018). Os dados podem gerar informações úteis no que concerne a tomada de decisão, ao planejamento e à implementação de ações, além disso, podem promover mudanças positivas e contribuir com o crescimento do trabalho e do capital (GUPTA et al., 2019; GUPTA, GEORGE, 2016). Por outro lado, uma vez que a maior parte das empresas recolhem dados de diversas fontes, dados estes, estruturados, não estruturados ou semi-estruturados, os BD, por si só podem não ser uma fonte de vantagem competitiva (GUPTA et al., 2019; LAMBA, SINGH, 2018). Neste sentido, entre diversas possibilidades de integração com outras tecnologias, os BD e o blockchain, por exemplo, juntos podem trazer benefícios.

A adoção dos BD nas atividades sociais e nas organizações pode fazer com que os bens e os serviços fornecidos atendam a múltiplas necessidades de maneira mais responsável (POTOCAN et al., 2020; NAKANISHI, 2019; LEE et al., 2015; FORAY, GRUBLER, 1996). Os BD estão entre as tecnologias que permitem gerar dados de forma precisa e em tempo real e permitem analisar dados fisiológicos pessoais, informações sobre tratamento de saúde e informações ambientais (POTOCAN et al., 2020; SHIROISHI et al., 2018). Entre os resultados obtidos em diversas funções empresariais, os BD também geram impactos no tema emergente da sustentabilidade (FIORINI et al., 2019; EL-KASSAR, SINGH, 2018; JABBOUR et al., 2017).

A tecnologia baseada em BD pode auxiliar todos os elos de uma cadeia de suprimentos (RAUT et al., 2019; NGUYEN et al., 2018) e a sua aplicação nas organizações tem o potencial de transformar as operações e contribuir com a eficiência das práticas sustentáveis. Como, por exemplo, por meio da aplicação da tecnologia BD em um layout sustentável voltado à I4.0, ou em uma manufatura sustentável voltada ao ciclo de vida de um produto (RAUT et al., 2019). Ainda, no contexto do meio ambiente, os BD, ajudam as operações industriais alcançarem uma reciclagem inovadora, dado que, esta categoria de tecnologia permite otimizar os processos de reutilização e promover opções de redução (BAG et al., 2020a; TSENG et al., 2018).

1.1.2 Cibersegurança

O crescente progresso da IA, leva a transformações no mundo dos negócios e promove melhorias nos processos das empresas. Além disso, a IA pode contribuir com: a aprendizagem, os *insights* empresariais, o desenvolvimento de produtos e a comunicação com os clientes. Por outro lado, este progresso também pode desencadear o aumento do risco de cibersegurança (LAUTERBACH, 2019). A cibersegurança permite à proteção contra danos, roubos em *hardware*, *softwa*re e dados armazenados nos sistemas (PANDEY et al., 2020; HUXTABLE, SCHAEFER, 2016).

A IA traz alguns desafios no contexto de cibersegurança, como, por exemplo, a integração entre máquinas pode escalar a exposição de peças com códigos comprometidos, os algoritimos de IA podem conter *bugs* e *malwares* de difíceis detecções (LAUTERBACH, 2019; SPERLING, 2018). Este desafio destaca o relevante papel dos profissionais que trabalham na linha de frente em determinado sistema de cibersegurança. Ainda neste sentido, as exigências complexas e urgentes e as tecnologias da segurança levam a demanda de contratação de recursos humanos e qualificados (GHADGE et al., 2019; KHURSHEED et al., 2016; VENTER, 2014; XUE et al., 2013).

No contexto dos BD, a cibersegurança é uma tecnologia valiosa para a proteção de dados (CUI et al., 2020). Um sistema que ofereça pouca capacidade de cibersegurança pode estar vulnerável a ataques não autorizados da *internet* (CUI et al., 2020). Cada vez mais há um aumento da segurança nas plataformas de armazenamento de dados, porém devido às causas e as consequências de violação de dados, as medidas de cibersegurança precisam ser melhoradas a fim de fornecer a proteção necessária aos sistemas ciberfísicos (GHADGE et al., 2019). O blockchain, por exemplo, é um tipo de tecnologia inovadora que pode trazer soluções para os riscos de cibersegurança. O blockchain é uma tecnologia amplamente utilizada em criptomoedas, como, a moeda bitcoin (MARTINEZ et al., 2019; MIAU, YANG, 2018; HOLOTIUK et al., 2017; YERMACK, 2017; GLASER, BEZZENBERGER, 2015).

O blockchain é uma base de dados com registros de informações distribuídos em blocos encadeados. Da seguinte forma, numa cadeia irreversível, cada bloco se liga ao próximo e o bloqueio das transações ocorrem em conjunto (GHODE et al., 2020; WANG et al., 2019a). O blockchain permite que os esforços de duplicação sejam eliminados

numa rede autopoliciada e assegurada, uma vez que se protege de manipulação, fraude e cibercriminalidade (GHODE et al., 2020; WANG et al., 2019b). A cibersegurança é um assunto de interesse ao nível global e o bom resultado da cibersegurança depende da interação de forma holística entre as pessoas, os processos e os aspectos físicos e tecnológicos (PANDEY et al., 2020; BOYES, 2015).

1.1.3 Computação em Nuvem

A CN é uma inovação que ajuda nas tomadas de decisões, visto que, estas passam a ser orientadas por meio da análise de dados oriundos de alguns pontos focais. Tais como: acessibilidade, sensibilidade e modelos de cobrança inteligentes de pagamentos por utilização. Além disso, tais soluções trazem versatilidade no que tange às relações empresariais e às pessoas. Neste sentido, a CN motiva as pessoas a armazenarem suas informações e a executarem aplicações em servidores de terceiros (SUNDARAKANI et al., 2019; BAYRAMUSTA, NASIR, 2016). Para o departamento de comércio dos EUA, National Institute of Standards and Technology, a CN trata-se de uma tecnologia que permite o acesso de forma onipresente, conveniente e sob demanda a rede por meio de sistemas de tecnologia de informação configuráveis. Sistemas estes que trazem a capacidade de serem provisionados e lançados com agilidade e eficácia, favorecendo a gestão e a interação com fornecedores de serviços (NOVAIS et al., 2019; MELL, GRANCE, 2011). Dessa forma, a CN é considerada um paradigma da tecnologia da informação que passou a ser adotado por diversas empresas nos últimos anos.

A CN pode ser utilizada em diferentes áreas, como, por exemplo, nas cadeias de suprimentos e na logística (NOVAIS et al., 2020; SUBRAMANIAN et al., 2015). Nas redes das cadeias de suprimentos, por exemplo, a tecnologia CN surgiu como um paradigma moderno destinado à construção de indústrias inteligentes (SUNDARAKANI et al., 2019). Além de fornecer serviços de computação, esta tecnologia permite armazenar dados de alto desempenho e com baixo custo e é uma capacitante na I4.0. Por meio de plataformas ou dispositivos, a CN conecta pessoas e permite utilizar recursos de tecnologia da informação (SHOU et al., 2019; XU et al., 2018; MELL, GRANCE, 2011). Em relação à vários modelos tradicionais de tecnologia da informação, a CN traz a premissa de oferecer velocidade de transação de dados, flexibilidade, redução de custo,

eficácia e melhoria no desempenho organizacional (NOVAIS et al., 2020; MAQUEIRA et al., 2019; JEDE, TEUTEBERG, 2016; LIU et al., 2016; SUBRAMANIAN et al., 2015; SANCHEZ et al., 2012; MARSTON et al., 2011).

1.1.4 *Internet of Things*

A tecnologia IoT surgiu na década de 90 (BUNTAK et al., 2019), porém como conceito, seu termo foi criado em 1999 por Kevin Ashton (ALMEIDA et al., 2020), pesquisador do Massachusetts Institute of Technology (GARCIA-MUIÑA et al., 2018), e introduzido oficialmente em 2008 (BUNTAK et al., 2019). A I4.0 contribui com o rápido desenvolvimento das tecnologias de informação e comunicação, tais como, IoT, CN e sistemas ciberfísicos. Entre diversas oportunidades, estas tecnologias trazem a premissa de favorecer a implementação de uma produção sustentável (ZHANG et al., 2020a; MORELLA et al., 2020) e de melhorar de forma significativa a gestão das operações (TOMBIDO et al., 2018). A IoT pode contribuir com o desempenho das tecnologias de produção, uma vez que permite que as avaliações de impactos reais baseadas em dados sejam desenvolvidas e melhoradas de forma contínua (INGRAO et al., 2021).

No contexto da dimensão ambiental, a IoT está entre as principais tecnologias digitais desenvolvidas na I4.0, tecnologias estas que podem ajudar, por exemplo, na transição sistêmica de uma economia linear para um modelo circular de economia. Isto porque o desenvolvimento de uma economia circular (CE) utiliza modelos de negócios e tecnologias da I4.0. Como, por exemplo: modelos de negócios que adotem técnicas de concepção ecológica de um produto e redesenho de cadeias de suprimentos integrando uma logística reversa. Esta, no que lhe concerne, tem o potencial de recuperar o valor de um produto no final de sua vida. A CE pode valorizar o que está no desperdício de produção. Isso porque ela visa desde o processo da economia linear, no que tange a utilização de matérias-primas e geração de resíduos, que muitas das vezes não são aproveitados, até modelos de negócios onde o desperdício pode ser regenerado e transformado em recursos (BRASSANELI et al., 2018; GARCIA-MUIÑA et al., 2018).

Na dimensão econômica, por exemplo, por meio da conexão entre dispositivos equipados por chip, sensor ou qualquer dispositivo que tenha a funcionalidade de

trabalhar em rede, de se comunicar e de partilhar dados (NAGY et al., 2018; HERMANN et al., 2016), a IoT permite trocar informações entre elementos e rede, levando ao aumento da complexidade dos negócios (ALMEIDA et al., 2020; JU et al., 2016). Em outras palavras, a IoT permite a ligação de elementos físicos com uma estrutura formada por representações virtuais (GARCIA-MUIÑA et al., 2018; MADAKAM et al. 2015).

Com a capacidade de ligação em rede de dispositivos automatizados e robotizados, a *internet* revolucionou a organização dos processos tecnológicos e possibilitou a criação de uma rede contínua formada por pessoas, máquinas e empresas (NAGY et al., 2018). Nas décadas anteriores já havia automação, computadores e robôs, porém o surgimento da *internet* ofereceu oportunidades e alavancou suas utilizações (NAGY et al., 2018; GEISSBAUER et al., 2016; DELOITTE, 2015; MONOSTORI, 2014). A aplicação das práticas da IoT trouxe diversas complexidades e possibilidades de desenvolvimento de modelos de negócios. Por outro lado, a adoção da IoT também fez com que muitos modelos de negócios tradicionais parecessem ineficientes, devido ao fato de suas perspectivas estarem voltadas apenas ao nível da organização (ALMEIDA et al., 2020; IKÄVALKO et al., 2018).

1.1.5 Manufatura Aditiva ou Impressão 3D

A manufatura aditiva ou impressão tridimensional 3D trata-se de uma tecnologia de fabricação aditiva que constrói objetos criados por camada sobre camada de materiais (como, cerâmica, metais e polímeros) (HOLZMANN et al., 2019; STEENHUIS, PRETORIUS, 2017; WOHLERS ASSOCIATES, 2017). Para fazer mapas topográficos, as primeiras versões de impressão 3D surgiram no final do século XIX. Nesta época, estas versões traziam patentes que descreviam métodos de fotoescultura (MARQUARDT, ZHENG, 2016).

A impressão 3D é uma tecnologia da I4.0 explorada por muitas organizações em setores diversificados. As empresas podem explorar esta tecnologia em múltiplas aplicações, como, por exemplo, na prototipagem e na produção de componentes e ferramentas (CHAUDHURI et al., 2019; ANUSCI, 2015). A aplicação desta tecnologia também permite imprimir peças sobressalentes para caminhões, aviões e navios em movimento, evitando ou reduzindo atraso nas operações. Entre outros benefícios, a

impressão 3D tem o potencial de promover a melhoria contínua no quesito flexibilidade, velocidade e custo de logística (AKBARI, HA, 2020). A impressão 3D associada a outras tecnologias da I4.0 ajudam as empresas a satisfazerem não somente as necessidades, mas também os requisitos dos clientes. Além disso, impressão 3D permite personalizar produtos e pode levar uma produção convencional realizada em larga escala para uma produção personalizada (SUN et al., 2020).

Atualmente, os avanços tecnológicos com os acessos às diversas instruções e desenhos de fonte aberta e a redução dos preços das impressoras 3D possibilitam a impressão dos objetos em casa pelos próprios consumidores (HALASSI et al., 2019; KIETZMANN et al., 2015). No contexto da dimensão ambiental, considera-se a tecnologia impressão 3D como amiga do meio ambiente, pois os resíduos e os produtos gerados com a utilização desta tecnologia podem ser reciclados em outras operações 3D (SUN et al., 2020).

1.1.6 Realidade Aumentada

Os sistemas baseados na RA suportam uma variedade de serviços, tais como a seleção de peças num armazém e o envio de instruções de reparação através de dispositivos móveis. Além disso, estes sistemas permitem fornecer aos trabalhadores informação em tempo real e proporcionar melhoria nas etapas de tomadas de decisões e de planejamento de procedimentos de trabalho (RÜßMANN et al., 2015). Em meio as diversas funcionalidade, a RA pode contribuir com a prevenção de riscos de acidente e com a promoção da segurança. Por exemplo, pode ser aplicada na mitigação de riscos mecânicos das estruturas de prateleiras e de riscos de sobreaquecimento de equipamentos elétricos, além disso, pode contribuir com a gestão de emergência (DAMIANI et al., 2020).

Entre os equipamentos baseados na tecnologia de RA, os óculos inteligentes otimizam a forma de sobrepor objetos de RA próximo ao mundo real. Os óculos inteligentes também permitem obter informações por meio de símbolos impressos nos próprios objetos (DAMIANI et al., 2020). Outro exemplo de aplicação de RA é por meio do treinamento virtual. Onde, por *software* se cria um ambiente virtual 3D realista e com óculos de RA os trabalhadores podem aprender e interagir com as máquinas ao clicar

numa ciber-representação (RÜßMANN et al., 2015). Em um ambiente de ensino, por exemplo, uma plataforma de RA permite expandir o acesso de cursos com aplicações gráficas e virtuais (NEFFATI et al., 2021). Solmaz et al. (2021), destacam que a combinação entre as tecnologias RA, realidade virtual e simulação pode ser aplicada na digitalização de diversas áreas, como, por exemplo, em um ambiente de estudo de engenharia utilizando um processo de síntese de sabão líquido para ensinar conceitos de engenharia química. Ainda neste contexto, Solmaz et al. (2021) notam que o alojamento de conteúdos técnicos produzidos por meio destas tecnologias requer habilidade multidisciplinar em todo o processo de desenvolvimento técnico, o que torna esta prática um desafio.

1.1.7 Robótica

As tecnologias como robótica, blockchain, BD e CN contribuem com mudanças em vários setores (KAUR, 2019). O fenômeno da I4.0 fez com que as fábricas inteligentes passassem a utilizar a robótica para melhorar os seus desempenhos (BEDNAR, WELCH, 2020). A relação robótica, IoT e IA tem o potencial de promover melhoramento contínuo nas produções. Estas tecnologias integradas permitem que as linhas de produção controladas digitalmente gerem resultados mais precisos e confiáveis (BEDNAR, WELCH, 2020). Diferente do passado, no qual era necessário programar os robôs por meio de unidade autônoma para que eles pudessem realizar suas tarefas, os avanços dos sensores permitem que os robôs entendam e respondam ao seu ambiente. De tal forma que os levam a realizar uma variedade de tarefas. Atualmente, os robôs podem até se conectarem a uma rede de outros robôs de forma remota (SCHWAB, 2016). A robótica está entre as tecnologias que levam às empresas a reduzirem os seus custos de produção (BETTIOL et al., 2020) e permite que as empresas melhorem o gerenciamento de suas operações e aumentem a produtividade (BETTIOL et al., 2020; MITTAL et al., 2018).

Com o desenvolvimento tecnológico, os robôs tendem a ter a sua estrutura e funcionalidade inspiradas por estruturas biológicas complexas, imitando os padrões e as estratégias da natureza (SCHWAB, 2016). Os robôs são utilizados em diversas áreas, como, por exemplo: na alimentação, na produção, na saúde e nos serviços. Os fatores voltados a qualidade de vida e a segurança das pessoas são considerados as premissas na

utilização dos robôs. Além de ser aplicada em tarefas perigosas e ajudarem os trabalhadores, a robótica também está presente no lazer e nas tarefas domésticas (NUNES, BARBOSA, 2020).

Entre as diversas aplicações, a robótica pode, por exemplo, ser usada para rastrear alimentos ao logo de uma cadeia de suprimentos (KAUR, 2019). A utilização de robôs integrados à tecnologia IoT em indústrias pode oferecer benefícios, como: assistência em momentos de pânico, controlar o acesso de pessoas em locais restritos e prever situações de riscos (TERRY et al., 2020; GRIECO et al., 2014). Por outro lado, a sociedade em geral preocupa-se com a possibilidade de substituição de trabalhadores pelo robô (BEDNAR, WELCH, 2020). Neste contexto, no que tange à aplicação da robótica no trabalho, tais pensamentos trazem três percepções: otimismo por se proteger das tensões físicas e mentais oriundas do trabalho, pessimismo pelo receio de substituição da mão de obra humana pela máquina e ceticismo por pensar que nada mudará (NAM, 2019).

1.1.8 Simulação

A simulação é definida como um método que permite a modelação realista de sistemas e processos. A utilização da tecnologia de simulação apoia as outras tecnologias da I4.0 (TAMÁS et al., 2020, 2012), e a necessidade de sua utilização torna-se cada vez mais relevante (GHADGE et al., 2020; GORECKI et al., 2020). A utilização de modelação de simulação permite que os processos sejam analisados e avaliados de forma mais eficiente evitando as falhas durante as fases de planejamentos (TAMÁS et al., 2020). A adoção das técnicas de simulação no gerenciamento das operações contribuiem com a previsão de redução de custos de peças e outros produtos específicos (LIEDER et al., 2017; TAKAKUWA, 1997). Durante o período inicial de adoção, as técnicas de simulação tanto apoiam a integração dos conceitos de adoção quanto implicam na redução do custo operacional (LIEDER et al., 2017).

Entre diversas áreas de aplicação da simulação, em uma cadeia de suprimentos, por exemplo, os resultados oriundos da simulação podem mostrar visuais 2D e 3D e ajudar na compreensão e na análise do movimento de um inventário. Além disso, também podem avaliar os atrasos de armazenamentos em curtos espaços de tempo (ABIDEEN, MOHAMAD, 2021). Entre outros exemplos, as fábricas inteligentes permitem a

integração entre seus sistemas de produção com *software* de desenho e favorecem as tecnologias voltadas às simulações de operações (FATORACHIAN, KAZEMI, 2020; RASHID, TJAHJONO 2016). A simulação possibilita manipular os protótipos virtuais, além de replicarem e reproduzirem experiências e desenvolverem modelos virtuais acessíveis (GORECKI et al., 2020; TAYLOR, 2019). A simulação pode apoiar a linha de produção numa fábrica digital, instrumento gráfico aplicado no planejamento de produção por *software* específico, e contribuir com a análise do resultado da operação. Assim como, esta tecnologia também pode ajudar na análise de fatores voltados à realização de trabalho, tais como: carga de trabalho e condições ergonômicas. Em operações que utilizam robôs, estas análises podem favorecer ao planejamento de ações voltadas a evitar movimentos desnecessários e perdas de tempo (NUNES, BARBOSA, 2020; VIDAL et al., 2009). No contexto do meio ambiente, a simulação pode ajudar no cálculo dos índices de ecoeficiência, por exemplo, e com isso promover a melhoria da eficiência no que tange à exploração de recursos naturais (ROSA et al., 2020; RÖNNLUND et al. 2016).

1.1.9 Sistemas de Integração Vertical e Horizontal

A I4.0 permite uma integração vertical e horizontal bem sucedida (SONY, NAIK, 2020). Na integração vertical, vários subsistemas hierárquicos na organização se integram para construir um sistema de produção eficaz (SONY, NAIK, 2020; STOCK, SELIGER, 2016) e alavancar projetos da I4.0. Tais como, a integração entre os sistemas departamentais e os sistemas de produções inteligentes com outros sistemas que envolvem a organização. No contexto de buscar a sustentabilidade na gestão da cadeia de suprimentos, por exemplo, a integração vertical envolve a colaboração de fornecedores e clientes (BAG et al., 2018; SUNG, 2018; QIN et al., 2016; STOCK, SELIGER, 2016; ZHOU et al., 2015; HARRIGAN, 1984).

A integração horizontal se dá por meio da integração de redes de valor que favorecem a colaboração entre as organizações (SONY, NAIK, 2020; FOIDL, FELDERER, 2015). A criação da integração horizontal das organizações que compõem a cadeia de valor origina-se da digitalização. Esta por sua vez, traz a premissa de um novo ecossistema eficiente, autoregulador, auto-otimizador e autoevolutivo (SONY, NAIK,

2020; SONY, 2018). Dessa forma, as empresas tendem a realizar a integração sobre o valor do negócio envolvendo expansão, fusões e aquisições. Além disso, a integração horizontal estimula a sustentabilidade em projetos que envolvem a I4.0 (BAG et al., 2018; QIN et al., 2016).

A integração vertical e horizontal das tecnologias de informação e comunicação, além da engenharia ponta a ponta ao longo do ciclo de vida do produto, estão entre as tecnologias da I4.0 que permitem trocar dados em tempo real: na cadeia de suprimentos, entre clientes, produtos e instalações de produção (BIRKEL, MÜLLER, 2021). Juntamente com o desenvolvimento do capital humano e com a gestão de mudanças, a integração vertical e horizontal favorece o alcance dos objetivos digitais de uma empresa para além da automatização de processos, dos sistemas de qualidade e da busca da satisfação dos clientes (BAG et al., 2018). Além de compromisso de gestão, enfoque no capital humano e gestão da mudança, a integração vertical e a integração horizontal estão entre os facilitadores que relaciona a I4.0 à sustentabilidade da cadeia de suprimentos. Estes facilitadores podem, por exemplo, impulsionar a sustentabilidade subjacente numa rede da cadeia de suprimentos (BAG et al., 2018).

1.2 Sustentabilidade

O conceito de sustentabilidade originou-se da biologia e da economia. Na biologia, por meio da ecologia, a sustentabilidade reflete à resiliência quanto à capacidade de recuperação e reprodução dos ecossistemas relacionados às intervenções humanas ou naturais. Na economia, a sustentabilidade expressa um adjetivo voltado ao desenvolvimento ocorrido ao longo do século XX, onde se percebe que a crescente expansão do padrão de produção e consumo não tem a capacidade de durar por muito tempo. Mediante os resultados das reuniões de Estocolmo (1972) e do Rio (1992), observa-se que além da dimensão ambiental, o desenvolvimento também reflete a dimensão social. Dessa forma, a sustentabilidade também passou a contemplar a qualidade de vida e a equidade social das presentes e das futuras gerações (DO NASCIMENTO, 2012).

Em 1972, a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, realizada em Estocolmo, Suécia, marcou o reconhecimento do conceito desenvolvimento

sustentável. A formalização do termo desenvolvimento sustentável aconteceu em 1987, por meio do relatório "Nosso Futuro Comum", conhecido como Relatório Brundtland (FIORINI et al., 2019). Segundo o relatório Brundtland (1987), desenvolvimento sustentável é "o desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazerem as suas próprias necessidades" (BELAUD et al., 2019; WCED, 1987). O desenvolvimento sustentável requer que a sociedade atenda às suas necessidades por meio de um processo de transformação e harmonia em relação à exploração dos recursos naturais, orientação do desenvolvimento tecnológico, direcionamento dos investimentos e mudanças institucionais. Para atender as necessidades do presente e não comprometer as necessidades das gerações futuras (UN, 2020a).

Em 2015, as Nações Unidas apresentaram 17 objetivos de desenvolvimento sustentável que fazem parte dos compromissos de diversos países, compromissos que trazem a premissa de buscar um futuro sustentável e melhor para todos. Os 17 objetivos são: sem pobreza; fome zero; boa saúde e bem-estar; educação de qualidade; igualdade de gênero; água limpa e saneamento; energia limpa e acessível; trabalho digno e crescimento econômico; indústria, inovação e infraestruturas; desigualdades reduzidas; cidades e comunidades sustentáveis; consumo e produção responsável; ação climática; vida abaixo da água; vida na terra; paz, justiça e instituições fortes; e parceria para os objetivos (DAÚ et al., 2019; UN, 2016). O estabelecimento dos 17 objetivos de desenvolvimento sustentável se deu com 169 metas. A base desses objetivos foram as métricas e os indicadores voltados aos impactos positivos nas dimensões sociais, econômicas e ambientais do desenvolvimento sustentável (MODGIL et al., 2020; GALLI et al. 2018; NERINI et al. 2018; SPANGENBERG, 2017; ALLEN et al.; 2016; UN 2015).

O meio ambiente, a sociedade e a economia formam o *triple bottom line* (TBL) e são os pilares que sustentam o desenvolvimento sustentável (DE ANDRADE, 2018; LUTHRA, MANGLA, 2018; JABBOUR et al., 2018). O conceito TBL, também conhecido 3BL, surgiu em 1994 por John Elkington (ELKINGTON, 2018). Considera-se o TBL como um conceito por meio do qual examina-se os impactos sociais, econômicos e ambientais. Em que, as ações voltadas a sustentabilidade devem ser trabalhadas de forma integrada, não substituído uma dimensão do TBL pela outra (KIEL et al., 2017; SRIDHAR, JONES, 2013; GIBSON, 2006). Neste contexto, Elkington, 2018, discorre

que o TBL não foi planejado para ser somente uma ferramenta de contabilidade, e sim para estimular um pensamento que também abrangesse as questões voltadas à saúde de bilhões de pessoas e do planeta.

A dimensão social do TBL prevê os fatores que promovam o bem-estar, como: a saúde e a segurança, a responsabilidade social, o tratamento equitativo, as oportunidades e a diversidade (YU et al., 2020; WU et al., 2015; NIKOLAOU et al., 2013; BERG et al., 1996). A I4.0 possui um influente papel no contexto das mudanças sociais, nas inovações tecnológicas e nas organizações (ROBLEK et al., 2020). Estas, por sua vez, trazem um potencial de contribuir com a dimensão social do TBL, por meio de ações específicas voltadas a preservação e ao desenvolvimento do capital humano e social (DYLLICK, HOCKERTS, 2002; HUBBARD, 2009; KIEL et al., 2017). Neste contexto, Raut et al. (2019) contribuem com algumas questões que podem favorecer a dimensão social, entre elas: o envolvimento e a integração dos trabalhadores, a valorização do trabalho, a formação e o equilíbrio entre a vida pessoal e a vida profissional. Como por exemplo, na ótica da saúde e segurança do trabalho, a indústria 4.0 pode contribuir com melhores condições de trabalho e ajudar a reduzir acidentes (SILTORI et al. 2021).

A dimensão econômica visa a sustentabilidade no que tange ao desempenho financeiro das organizações, como, por exemplo, a rentabilidade, o retorno de investimentos, o retorno de ativos e o retorno de vendas (YU et al., 2020; MARTINEZ-JURADO, MOYANO-FUENTES, 2014; FLYNN et al., 2010; COCHRAN, WOOD, 1984). Nesse contexto, a I4.0 permite que as organizações alcancem valores econômicos, como competitividade, produtividade e consequentemente o crescimento das receitas (BONILLA et al., 2018). Braccini e Margherita (2019) realizaram um estudo de caso em uma empresa de manufatura, no qual os autores investigaram qual o nível de adoção da I4.0, bem como analisaram o processo pelo qual a empresa adotou a I4.0. O resultado da pesquisa mostrou que a I4.0 apoia as dimensões do TBL, contribuindo com melhorias na produtividade e no desempenho econômico. Entre outros objetivos, a dimensão ambiental visa a preservação dos recursos naturais, a utilização da energia de forma eficiente e a busca da redução da externalidade negativa, como, por exemplo, no que tange a poluição resultante da utilização de recursos de forma ineficiente (ZHU, SARKIS, 2004; HALL et al., 2010; CHAVEZ et al., 2020; YU et al., 2020). O consumo de recursos naturais renováveis, a reciclagem e a regeneração de recursos, o resenho dos processos

operacionais com ênfase na minimização de recursos e a CE são fatores que podem favorecer a dimensão ambiental do TBL (BRACCINI, MARGHERITA, 2019). Neste contexto, Braccini e Margherita (2019) ressaltam que a monitorização contínua do consumo de energia e a diminuição da utilização de recursos estão entre os fatores que contribuem com o TBL, e a aplicação das tecnologias da I4.0 podem favorecer esta dimensão. No que tange a relação entre os temas I4.0 e sustentabilidade, Gajdzik et al. (2020) destacam que o conceito sustentabilidade na I4.0 é novo na literatura e combina com os objetivos do desenvolvimento sustentável considerando a adoção e as soluções da I4.0 no TBL.

1.3 Sustentabilidade e Indústria 4.0 em meio à Covid-19

Vários países estão atualmente lidando com a emergente pandemia da covid-19, que teve um impacto imediato na sociedade, na economia e no meio ambiente. Neste cenário pandêmico, entre diversos aplicativos e recursos, as tecnologias da indústria 4.0 estão ajudando a sociedade a tomar medidas para combater e mitigar a disseminação da covid-19, contribuindo por exemplo com a área da saúde e com a continuidade dos negócios. As Nações Unidas alertaram que as consequências da pandemia poderão causar um retrocesso nos cumprimentos dos objetivos de desenvolvimento sustentável. Este atraso poderá ocorrer por anos ou décadas devido a desafios de crescimento e desafios fiscais que os países poderão encontrar (UN, 2020e). A realidade do futuro do trabalho e da sociedade tende a seguir as transformações tecnológicas, à demografia e à globalização. Neste contexto, a pandemia da covid-19, acelera as tendências já em curso e causa um efeito modificador (MCGOWAN, 2020; SCHULTE et al., 2020) nas dimensões sociais, econômicas e ambientais do desenvolvimento sustentável. As tecnológicas da I4.0, como: IA, aprendizagem de máquinas e IoT estão sendo aplicadas para auxiliar no tratamento, na prevenção e no controle da covid-19. Na área da saúde, essas tecnologias ajudam na interpretação de imagens, de textos, de dados médicos e no entendimento das linguagens humanas (MURDOCH, DETSKY, 2013; MISAWA et al., 2018). A IA integra e ajuda as tecnologias de varredura, por exemplo: ressonância magnética, tomografia computadorizada e raios-x (MADURAI ELAVARASAN, PUGAZHENDHI, 2020).

No contexto da pandemia da covid-19, a IA pode contribuir com: o rápido diagnóstico dos pacientes positivos, a epidemiologia, o tratamento da doença e os fatores socioeconômicos (HUANG et al., 2021). As impressoras 3D possibilitam a produção de respiradores em grande escala (MADURAI ELAVARASAN, PUGAZHENDHI, 2020; ROBINSON, 2020). Devido ao fechamento de universidades devido ao distanciamento social, algumas atividades de pesquisas sociais e comportamentais, por exemplo, passaram a ser realizadas por meio de plataformas de videoconferência (MARHEFKA et al., 2020). Quando possível, atendimentos médicos ambulatoriais passaram a acontecer de forma virtual, pois a prestação dos cuidados com a saúde aglomera várias pessoas ao mesmo tempo, em salas de espera podendo disseminar a covid-19 (SIMPSON, ROBINSON, 2020).

Conforme a UNEP, cerca de 60% das doenças infecciosas humanas e 75% das doenças emergentes são transmitidas por meio dos animais. O Coronavírus por exemplo está ligado à atividade humana. Ainda que a disseminação da covid-19 não esteja clara, os especialistas da UNEP reúnem recentes dados científicos e relatam sobre alguns pontos relacionados à covid-19. Entre os dados tem-se que: as transformações do meio ambiente estão entre os determinantes do surgimento de zoonoses. As transformações ambientais realizadas pelo homem resultam em ambientes que favorecem determinados patógenos. Logo, um ecossistema preservado contribui no controle das doenças e dificulta a disseminação dos patógenos (UN, 2020f).

A pandemia da covid-19 é uma crise global de saúde e econômica para um elevado número de pessoas (UN, 2020b) e além dos impactos causados nos eixos da sociedade e da economia, a covid-19 também causou impactos no meio ambiente. Os efeitos da necessidade de bloqueio das atividades humanas devido a pandemia global da covid-19 trazem impactos negativos em relação a sociedade e a economia. Por conseguinte, apresentam alguns efeitos positivos para o meio ambiente natural (MUHAMMAD et al., 2020). As subseções do presente capítulo discorrerão sobre alguns impactos sociais, econômicos e ambientais observados em tempos de covid-19. Impactos estes cujos efeitos podem ser permanentes, de curto ou de longo prazos.

1.3.1 Impactos Sociais em tempos de Covid-19

Em dezembro de 2019 foi relatado o primeiro caso de uma pneumonia desconhecida, em Wuhan, na China. O surto se espalhou por diversas regiões. Em 30 de janeiro de 2020 a World Health Organization (WHO) declarou uma emergência de saúde pública internacional devido ao surto da doença. Em 11 de fevereiro a nova doença de Coronavírus recebeu o nome pela WHO de covid-19 (WHO, 2020). Em 11 de março de 2020 a WHO caracterizou a covid-19 como uma pandemia. Até a data de 28 de outubro de 2021 foram notificados 244.897.472 casos de covid-19 no mundo incluindo 4.970.435 casos de óbitos no mundo. De acordo com a WHO, até a data de 25 de outubro de 2021, administrou-se, à nível global, um total de 6.697.607.393 doses de vacina (WHO, 2021).

Entre diversos impactos, segundo a WHO, grande parte da sociedade foi afetada com pressão psicológica e estresse devido aos riscos de contaminação, a necessidade de distanciamento social e as incertezas relacionadas à pandemia de covid-19. Tais fatores podem gerar ou agravar problemas mentais (UN, 2020d). Entre as formas de responder a pandemia, as organizações procuraram melhorar os processos de trabalho e dar continuidade nos negócios, o que levou ao impulsionamento das tecnologias da I4.0. Devido a este impulsionamento, estima-se que haverá uma demanda por mão-de-obra qualificada em vários seguimentos (ŠTEFKO et al., 2021). Por um lado, este cenário poderá gerar empregos, por outro lado, o trabalhador precisará estar qualificado para preencher esta demanda. Para Zhang et al. (2020b), as organizações podem assegurar a continuidade dos negócios por meio do aproveitamento de tecnologias e dos recursos sociais e naturais.

A preservação ambiental está entre os desafios do século XXI, porém durante os últimos meses, as ações de intervenção e prevenção adotadas pela sociedade para prevenir a disseminação da covid-19 também causou efeitos positivos para o meio ambiente (CHAKRABORTY, MAITY, 2020). Melhoria da qualidade do ar, redução de ruído ambiental e praias limpas foram os impactos positivos relacionados as medidas de intervenção devido a pandemia da covid-19 (ZAMBRANO-MONSERRATE et al., 2020).

1.3.2 Impactos Econômicos em tempos de Covid-19

Segundo a Organização Internacional do Trabalho, os países que possuem maiores economias informais são os mais prejudicados com as consequências econômicas das medidas de intervenção devido a pandemia. A América Latina e os Estados Árabes possuem 89% do percentual de trabalhadores da economia informal, seguidos pelos países: África (83%), Ásia e Pacífico (73%) cada e Europa e Ásia Central (64%) cada (UN, 2020b). Corroborando com a pesquisa, um estudo realizado por Štefko et al. (2021) sobre a gestão econômica das empresas industriais eslovacas de média intensidade energética mostrou que diversas empresas obtiveram queda em suas vendas em relação ao período anterior à pandemia, visto que muitas empresas não estavam preparadas para passar por situações emergentes. Diferente da maioria das empresas do segmento de engenharia mecânica que tinham em seus planejamentos estratégicos, soluções de sistema a longo prazo para crises. Diante disso, mediante este cenário pandêmico, as empresas precisaram ser resilientes respondendo à crise e procurando melhorar os seus processos, utilizando a automatização e a tecnologia da informação.

Na ótica das cadeias de suprimentos, por exemplo, Zhang et al. (2020b) destacam que a resiliência das cadeias de suprimentos pode favorecer a restauração de suas operações dentro de um período razoável. No contexto ambiental, as ações de intervenção na sociedade para impedir a disseminação da covid-19, como, por exemplo: distanciamento social, fechamento de algumas atividades econômicas e fechamento de sistemas de transporte colaboraram com melhorias no meio ambiente, como: diminuição da poluição da água e do ar em certas partes do mundo (SAADAT et al., 2020).

1.3.3 Impactos Ambientais em tempos de Covid-19

A medida de intervenção que não permitiu a presença de turistas nas praias, resultou em praias limpas e com águas cristalinas. Entre elas: as praias de: Acapulco no México, Salinas no Equador e Barcelona na Espanha (ZAMBRANO-MONSERRATE et al., 2020). A redução da quantidade de barcos a motor no Canal de Veneza devido às medidas de intervenção para mitigar a covid-19, proporcionou águas cristalinas sendo possível ver os peixes no canal (SAADAT et al., 2020). Devido às restrições de viagens

e paralisação temporária das fábricas pelo distanciamento social, houve a diminuição da poluição do ar e das emissões de carbono (STEFFEN et al., 2020). Evidências divulgadas pela Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço e pela Agência Espacial Europeia sugeriram uma melhora na qualidade ambiental e na redução de dióxido de nitrogênio em até 30% em alguns locais afetados pela covid-19, como: Wuhan, Itália, Espanha e EUA (MUHAMMAD et al., 2020). Em um estudo realizado em 22 cidades da Índia sobre a qualidade do ar durante o período de restrição das atividades humanas, observou-se uma redução de material particulado e um aumento de ozônio na maioria das regiões estudadas. Os pesquisadores entenderam que o aumento do ozônio possa ter ocorrido devido à diminuição dos materiais particulados (SHARMA et al., 2020b). Na Malásia também houve redução das emissões de poluentes atmosféricos devido à ordem de controle de movimento, a suspensão das operações industriais e a menos veículos nas estradas (ABDULLAH et al., 2020). Na Espanha, após duas semanas de bloqueio das atividades humanas, percebeu-se a diminuição da poluição do ar urbano e um destaque quanto à redução dos poluentes dióxido de nitrogênio e *black* carbono, emitidos principalmente por meio de tráfego de veículos (TOBÍAS et al., 2020). A redução dos sistemas de transporte resultou na diminuição do consumo de energia e da demanda de petróleo favorecendo a qualidade ambiental (MUHAMMAD et al., 2020). Um estudo realizado na China mostrou que em relação ao meio ambiente, a curto prazo, houve melhora na qualidade do ar, redução da emissão de carbono, redução na concentração de dióxido de nitrogênio na atmosfera, além de diminuição no consumo de energia (WANG, SU, 2020).

No contexto dos impactos negativos relacionados ao meio ambiente, têm-se: o aumento de resíduos e a diminuição da reciclagem (ZAMBRANO-MONSERRATE et al., 2020); geração de lixos infectados por meio de pacientes acometidos pela covid-19 que realizam o tratamento em casa; lixos infectados em condições de manuseios e transportes, e tratamentos finais realizados de formas inadequadas representando riscos às pessoas e ao meio ambiente (MOL, CALDAS, 2020). Conforme a UNEP, a humanidade precisa agir no presente para alcançar um futuro resiliente e sustentável. A natureza está ameaçada por impactos ambientais, como: aquecimento global, poluição, perda de *habitat* e biodiversidade. Para enfrentar a pandemia do covid-19 e se preparar para o futuro é necessário gerenciar os resíduos perigosos e biológicos e colaborar com o

desenvolvimento sustentável (UN, 2020f). A redução do ruído sísmico, por exemplo, é um dos efeitos modificadores ambientais observados mediante as ações da sociedade para mitigar a disseminação da covid-19. O sismólogo Thomas Lecocq registrou o fenômeno no Observatório Real da Bélgica. Segundo Lecocq, a implantação das medidas de intervenção fez com que o ruído sísmico gerado pela sociedade fosse reduzido em cerca de um terço. Esse fenômeno também foi observado por outros sismólogos em outras localidades, como: Zurique, Londres, Paris, Los Angeles, Japão, Itália, Costa Rica e Chile (BBC, 2020).

2. Metodologia

A metodologia utilizada para o desenvolvimento desta pesquisa se baseou em uma busca bibliográfica apoiada pelo método PRISMA - principais itens para relatar revisões sistemáticas e meta-análises (MOHER et al., 2009). Segundo Durach et al. (2017), a revisão sistemática da literatura segue os seguintes parâmetros: o primeiro é identificar o campo da pesquisa, em seguida combinar as palavras-chave para a pesquisa nas bases de dados eletrônicas, definir os critérios de inclusão e exclusão dos artigos e analisar a literatura. Em uma revisão sistemática, a meta-análise permite, por meio de técnicas estatísticas, integrar os resultados dos estudos selecionados para a pesquisa (MOHER et al., 2009).

O delineamento da pesquisa envolveu as seguintes etapas: formulação da pergunta norteadora, levantamento bibliográfico, seleção dos artigos relevantes ao tema, construção do banco de dados, análise e discussão dos resultados. A pesquisa visou responder a seguinte pergunta: "Qual a relação e (ou) a aplicação da I4.0 nas dimensões sociais, econômicas e ambientais da sustentabilidade?".

As bases de dados eletrônicas utilizadas para o levantamento bibliográfico foram a Scopus e a Web of Science (Wos). A busca bibliográfica ocorreu durante os meses de janeiro e abril do ano de 2021. Além disso, por tratar-se de um tema novo e em constante crescimento, a busca dos artigos ocorreu sem restrição temporal. Como parâmetro de busca, a pesquisa desenvolveu-se por meio das palavras-chave: *industry 4.0* e *sustainability*. Ainda, com o propósito de selecionar os artigos mais relevantes ao tema, esta fase de busca aplicou os seguintes recortes: filtros de artigos e revisões, exclusão de artigos duplicados, leitura de títulos e resumos, e inclusão de artigos que continham as palavras-chave: *industry 4.0* ou *fourth industrial revolution* e *sustainability* ou *sustainable* ou *triple bottom line* em seus títulos. Ressalta-se que, com o propósito de delimitar o tema e abranger as dimensões da I4.0 de forma geral e não específica, durante a fase de inclusão dos artigos, a pesquisa limitou-se apenas as palavras-chaves descritas acima. Dessa forma, os artigos que continham palavras que relacionavam à I4.0, como por exemplo, BD, *digitalization, autonomous vehicles*, entre outros, foram eliminados. A leitura dos títulos e resumos antecedeu a última fase de recorte de artigos, para maximizar a busca de artigos relevantes que relacionavam o tema I4.0 e sustentabilidade.

A pesquisa bibliográfica teve como objetivo buscar artigos voltados à relação entre I4.0 e sustentabilidade, bem como, selecionar os artigos a tratar sobre oportunidades e desafios presentes nessa relação. A pesquisa bibliográfica e o tratamento dos artigos desenvolveram-se da seguinte forma: pesquisou-se os artigos indexados nas bases de dados eletrônicas da Scopus e Wos utilizando as palavras-chave e os critérios de filtros, exclusões e inclusões dos artigos. Para a organização e o gerenciamento dos artigos este trabalho utilizou o gerenciador de referências bibliográficas Mendeley. Com o propósito de otimizar a análise da extração de dados dos artigos incluídos, construiu-se um banco de dados por meio de planilha eletrônica e gráficos no Microsoft Excel. O banco de dados relacionou títulos, autores, anos, instituições, países e periódicos. Além disso, este estudo também utilizou o *software* bibliométrico VOSviewer para mapear e analisar a rede de coautoria entre autores, rede de coautoria entre países e rede de ocorrência de palavras-chave dos artigos incluídos na pesquisa. Como o conjunto de artigos selecionados para a pesquisa estavam organizados em pastas no gerenciador de referências bibliográficas Mendeley, sua integração para o *software* bibliométrico VOSviewer ocorreu exportando os artigos em formato *research information systems* (RIS). O que possibilitou o mapeamento da rede de coautoria entre autores e da rede de ocorrência de palavras-chave. Para mapear a rede de coautoria entre países, realizou-se a busca dos artigos selecionados para a revisão da literatura na base de dados eletrônicas da Scopus. Após selecionar os artigos, exportou-se os mesmos em formato *comma-separated values* (CSV). A fase de levantamento bibliográfico iniciou com 1.325 artigos e resultou em 94 artigos após a aplicação das fases de recortes. A Figura 1 descreve os parâmetros e os resultados obtidos durante o levantamento bibliográfico.

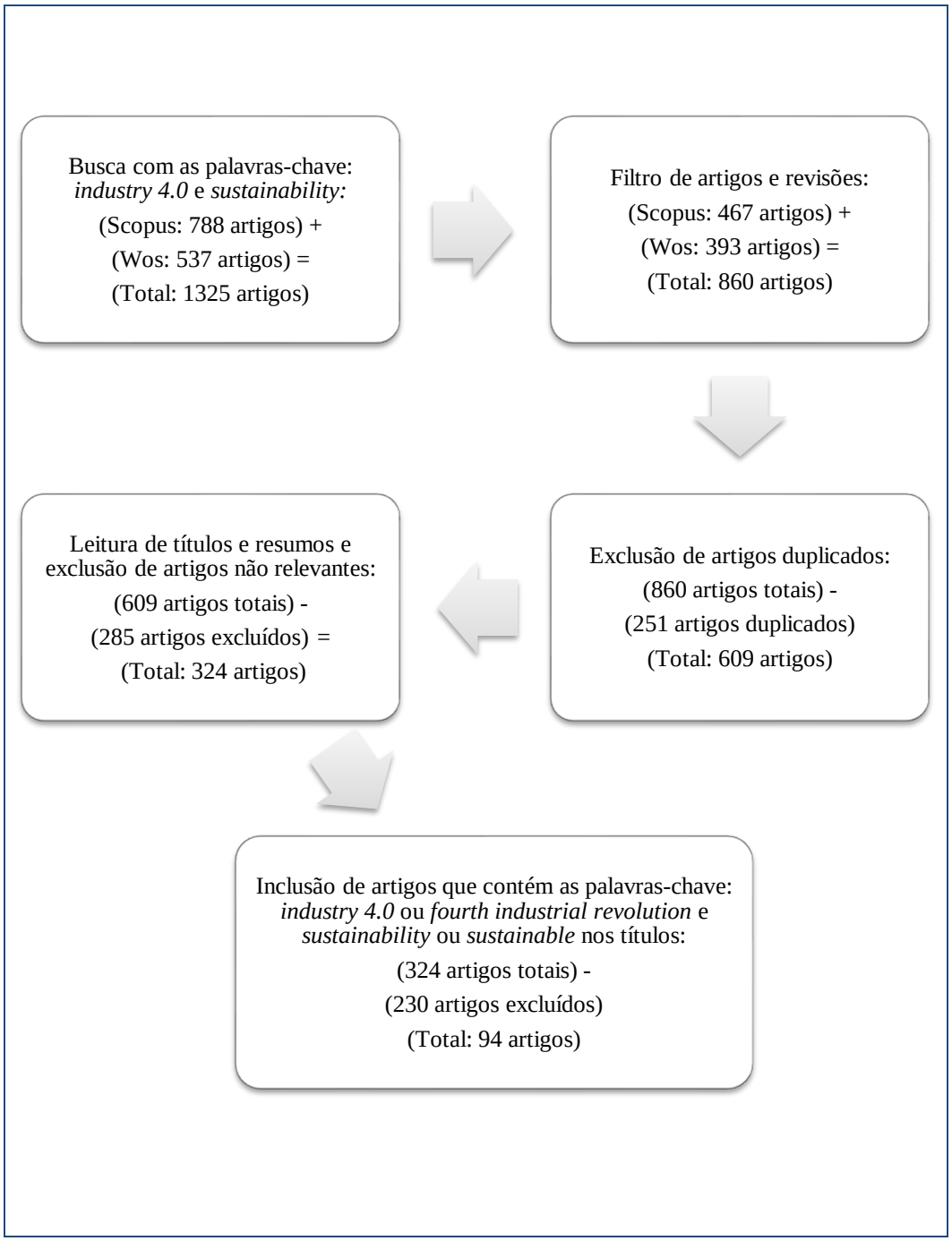


Figura 1 – Síntese do levantamento bibliográfico

Fonte – Elaboração própria (2021)

Com o propósito de delimitar ainda mais o tema da pesquisa, realizou-se a leitura na íntegra dos 94 artigos selecionados e exclui-se 18 artigos, por não atenderem o objetivo da pesquisa. Dessa forma, o resultado desta pesquisa compreendeu 76 artigos, 284 autores, 260 palavras-chave, 33 periódicos e 42 países. A busca bibliográfica retornou

artigos do ano de 2015 até 2021. Percebe-se que mesmo deixando o recorte temporal aberto, seguindo os critérios de busca realizados nesta pesquisa, o primeiro trabalho surgiu em 2015. Isso se dá devido à inovação do tema I4.0, em que o termo surgiu em 2011 e teve o seu conceito fundamentado em 2013. Em contrapartida, apesar de o conceito TBL ter surgido em 1994, a exploração entre os dois conceitos é nova. A Figura 2 relaciona a quantidade de artigos por ano. O Anexo I apresenta os 76 artigos selecionados na busca bibliográfica e traz os seus objetivos.

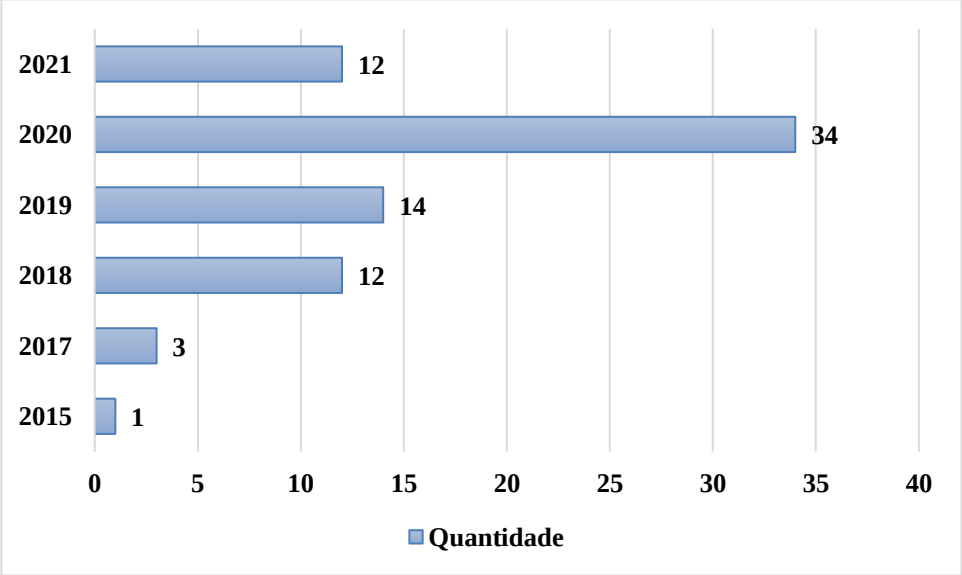


Figura 2 – Quantidade de artigos por ano

Fonte – Elaboração própria (2021)

3. Resultados

No universo dos 284 autores participantes desta pesquisa, Müller, J.M. se destacou com 5 publicações, seguido por Luthra, S. e Voigt, K.I. com 4 publicações cada, e por: Mangla, S.K. e Ghobakhloo, M. com 3 publicações cada. As 265 publicações restantes aparecem da seguinte forma: 22 autores com 2 publicações cada e 221 autores com 1 publicação cada. Por meio do *software* bibliométrico VOSviewer e considerando os 284 autores, esta pesquisa trouxe um mapa com a rede de coautoria. A pesquisa gerou uma rede de coautoria com 58 *clusters* de coautores, 743 *links* e 765 *total link strength*. O termo *total link strength*, significa a força total de ligações de coautorias entre os pesquisadores, ou seja, quanto maior o valor atribuído ao *total link strength*, mais forte é a força de ligação entre eles. No universo desses 58 *clusters* de coautores, o segundo maior valor *total link strength* é de 19, representado por um *cluster* formado por 20 coautores e 190 links entre eles. Em seguida, os maiores valores *total link strength* são representados por (14, 11 e 10) e *links* (9, 6 e 6) estão relacionados aos pesquisadores: Luthra, S., Müller, J.M. e Voigt, K.I. respectivamente. Os próximos atributos *total link strength* vão de 9 a 0, valores compreendidos entre os demais pesquisadores. A Figura 3 apresenta um mapa que ilustra os 58 *clusters* de coautores relacionadas aos 284 autores participantes da pesquisa. A Figura 4 mostra o *cluster* composto pelos 20 coautores. A Figura 5 traz o *cluster* onde o pesquisador Luthra, S. participa. Já a Figura 6 mostra o *cluster* qual os pesquisadores Müller, J.M., Voigt, K.I pertencem.

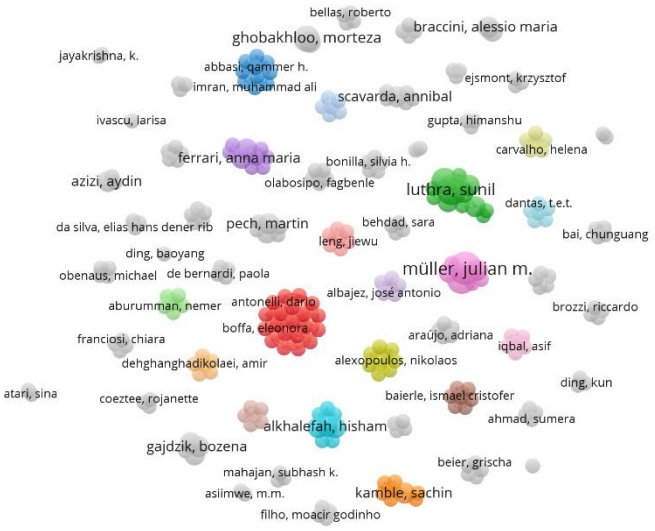


Figura 3 – Mapa de coautorias (maior valor *total link strength* de 765)

Fonte – Dados da pesquisa utilizando a ferramenta VOSviewer (2021)

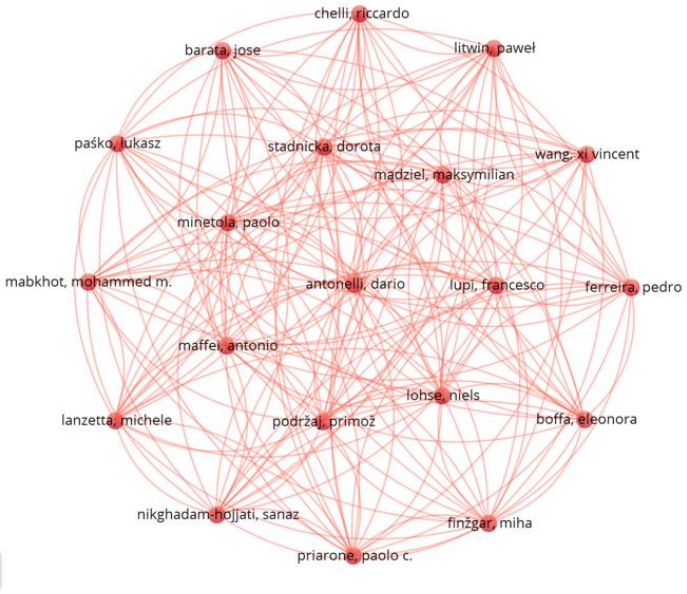


Figura 4 – Mapa de coautorias (maior valor *total link strength* de 19)

Fonte – Dados da pesquisa utilizando a ferramenta VOSviewer (2021)

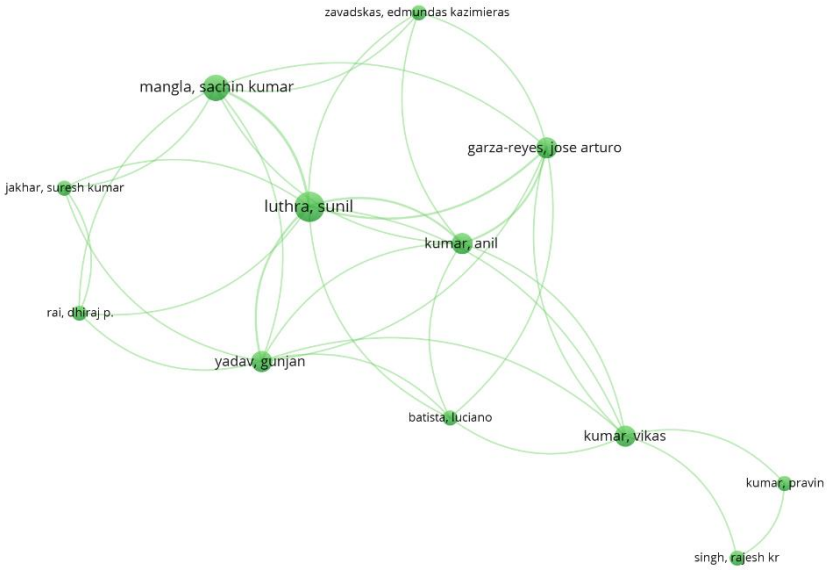


Figura 5 – Mapa de coautorias (maior valor *total link strength* de 14)
Fonte – Dados da pesquisa utilizando a ferramenta VOSviewer (2021)

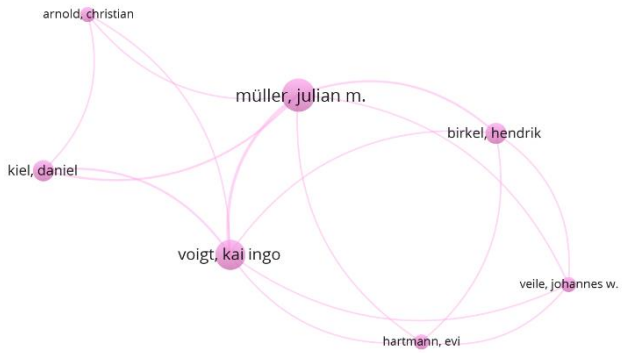


Figura 6 – Mapa de coautorias (maiores valores *total link strength* de 11 e 10)
Fonte – Dados da pesquisa utilizando a ferramenta VOSviewer (2021)

Esta pesquisa também trouxe mapa ilustrando as principais palavras entre as 260 palavras-chave que compõem a pesquisa. A construção do mapa de palavras-chave se deu por meio do *software* bibliométrico VOSviewer, reuniu as 260 palavras-chave presentes nos 76 artigos selecionados na busca bibliográfica e considerou no mínimo cada 2 ocorrências das palavras-chave presentes no universo destes 76 artigos. Dessa forma, o

mapa de palavras-chave utilizadas nesta pesquisa gerou 8 *clusters* com 34 itens, 115 *links* e 256 *total link strength*. As palavras que mais se destacaram foram *industry 4.0* com 65 ocorrências e 132 *total link strength* e a palavra *sustainability* com 48 ocorrências e 104 *total link strength*. Em seguida aparecem em destaque as palavras *triple bottom line* com 7 ocorrências e 24 *total link strength*, *circular economy* com 6 ocorrências e 20 *total link strength* e *industrial internet of things* com 5 ocorrências e 20 *total link strength*. As Figuras 7 a 11 apresentam os *clusters* formados por ambas as palavras.

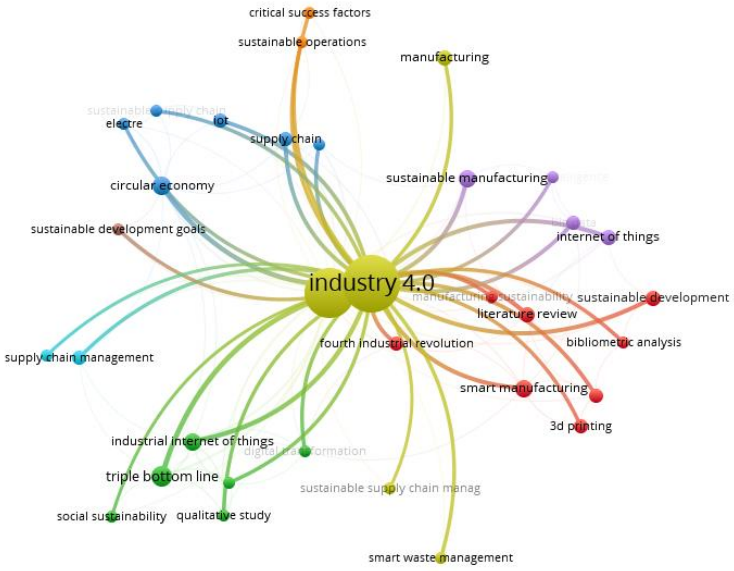


Figura 7 – Mapa das palavras-chaves (Item: *industry 4.0*)

Fonte – Dados da pesquisa utilizando a ferramenta VOSviewer (2021)

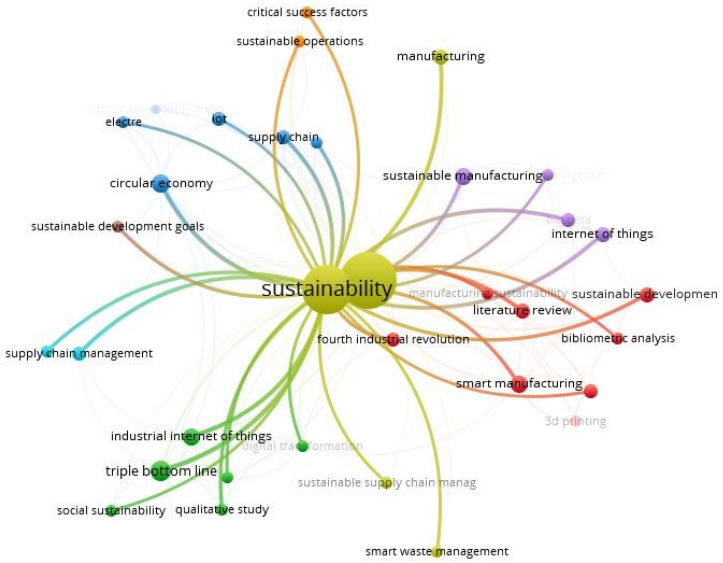


Figura 8 – Mapa das palavras-chaves (Item: *sustainability*)

Fonte – Dados da pesquisa utilizando a ferramenta VOSviewer (2021)

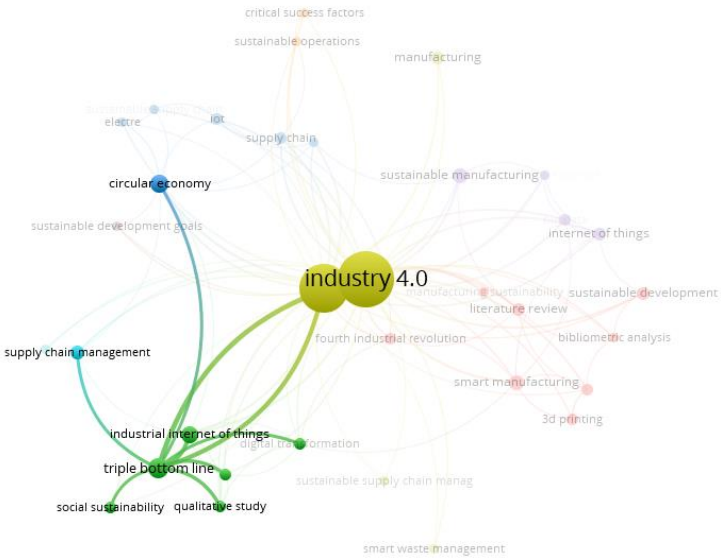


Figura 9 – Mapa das palavras-chaves (Item: *triple bottom line*)

Fonte – Dados da pesquisa utilizando a ferramenta VOSviewer (2021)

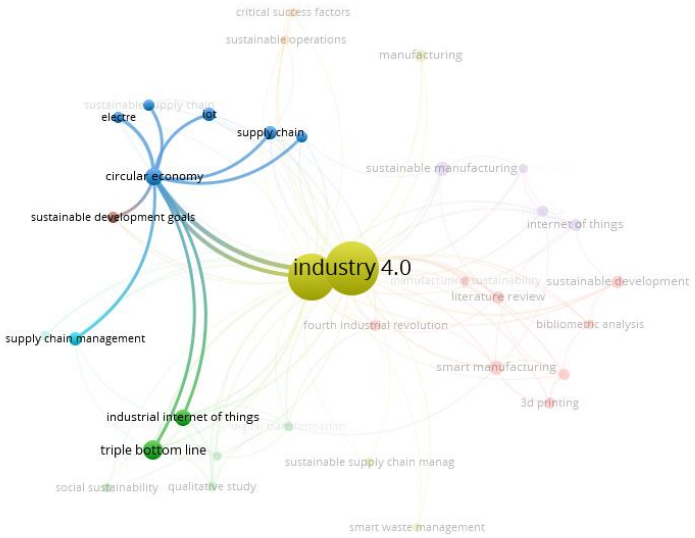


Figura 10 – Mapa das palavras-chaves (Item: *circular economy*)

Fonte – Dados da pesquisa utilizando a ferramenta VOSviewer (2021)

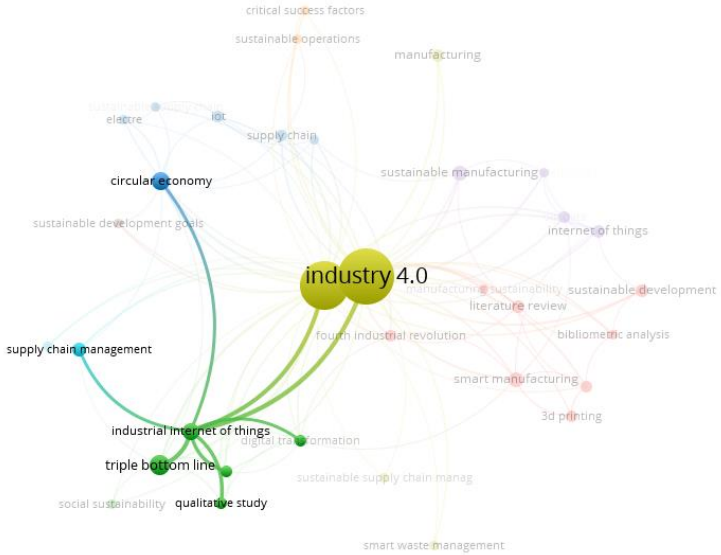


Figura 11 – Mapa das palavras-chaves (Item: *industrial internet of things*)

Fonte – Dados da pesquisa utilizando a ferramenta VOSviewer (2021)

Os periódicos que mais se destacaram em quantidade de publicação foram: Sustainability com 23 publicações (30%), (1 publicação em 2017, 3 publicações em 2018, saltando para 7 em 2019 e 9 em 2020, já o ano de 2021 traz 3 publicações). O segundo periódico que mais se destacou foi o Journal of Cleaner Production com 11 publicações (14%), (1 em 2018, 6 em 2020 e 4 em 2021). Ressalta-se que as publicações do ano de

2021 abrangem apenas os quatro primeiros meses do ano. O periódico Process Safety and Environmental Protection aparece com 4 publicações (5%), ambas em 2018. Logo, com 2 publicações cada (3%), aparecem os seguintes periódicos: Energies (ambas em 2020), IEEE Access (1 em 2018 e 1 em 2020), IFAC-PapersOnLine (1 em 2018 e 1 em 2019), International Journal of Production Research (ambas em 2020), International Journal of Productivity and Performance Management (1 em 2020 e 1 em 2021) e Resources, Conservation & Recycling (1 em 2020 e 1 em 2021). A Figura 12 relaciona a quantidade de publicações por periódicos durante o período de 2015 a abril de 2021.

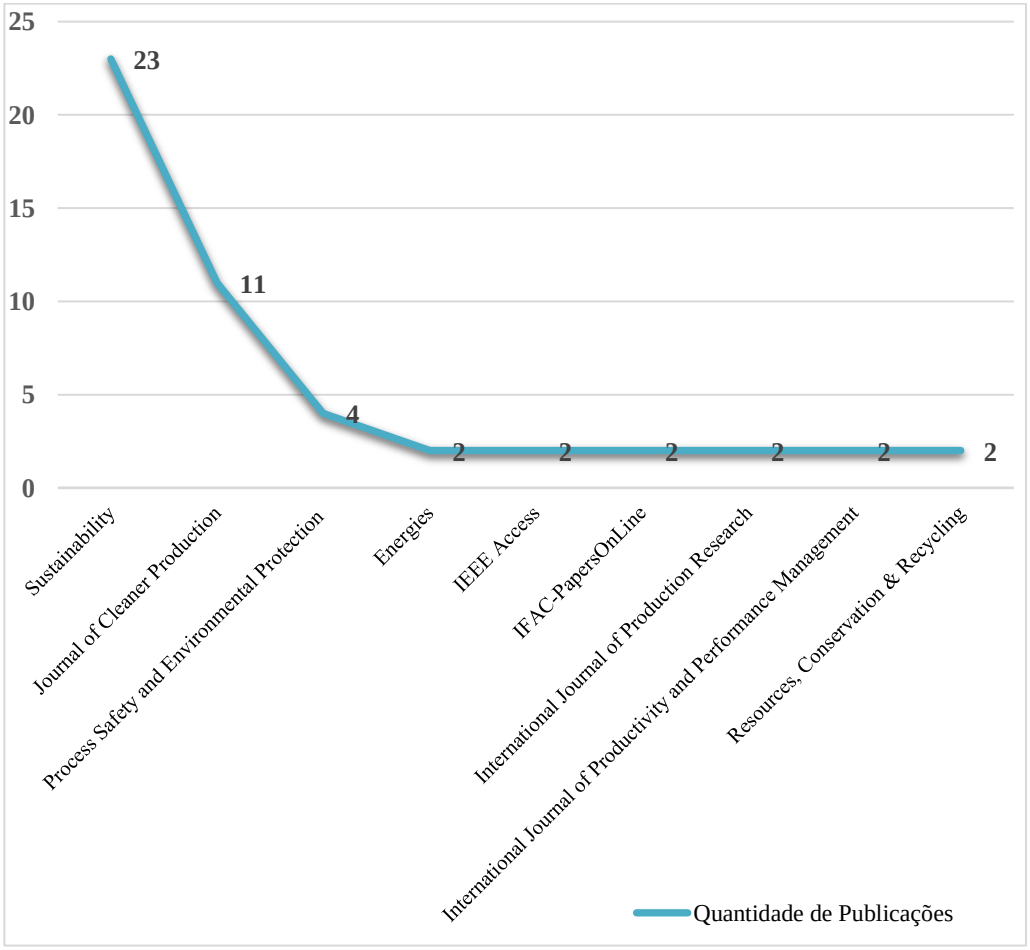


Figura 12 – Quantidade de publicação por periódico

Fonte – Elaboração própria (2021)

Os países que mais se destacaram em quantidade de publicações foram: Índia, Itália, Alemanha, Brasil, Reino Unido, Espanha, China e Suécia. O resultado da pesquisa mostra que, a Índia se destaca em primeiro lugar com 15 publicações, em segundo lugar

aparece a Itália com 10 publicações. A Alemanha, o Brasil e o Reino Unido estão em terceiro lugar com 9 publicações cada, em quarto lugar o resultado da pesquisa mostra a Espanha com 7 publicações. Em seguida, em quinto lugar, a China e a Suécia trazem 5 publicações cada.

Para a etapa de geração do mapa de rede de coautorias entre países por meio do *software* bibliométrico VOSviewer. A pesquisa considerou os países que apresentaram o número mínimo de 5 publicações no universo dos 76 artigos selecionados na busca bibliográfica. Dessa forma, o mapa de coautorias entre países apresentou o seguinte resultado: 8 países, 3 *clusters*, 11 *links* e 16 *total link strength*. Onde, os países que se destacaram em quantidade de citações foram: Índia (1.092 citações), Alemanha (1.025 citações), Brasil (637 citações), Reino Unido (559 citações), Itália (394 citações), China (244 citações), Suécia (186 citações) e Espanha (171 citações). A Figura 13 apresenta o mapa de coautorias entre países e o Anexo II relaciona as instituições que representam estes países.

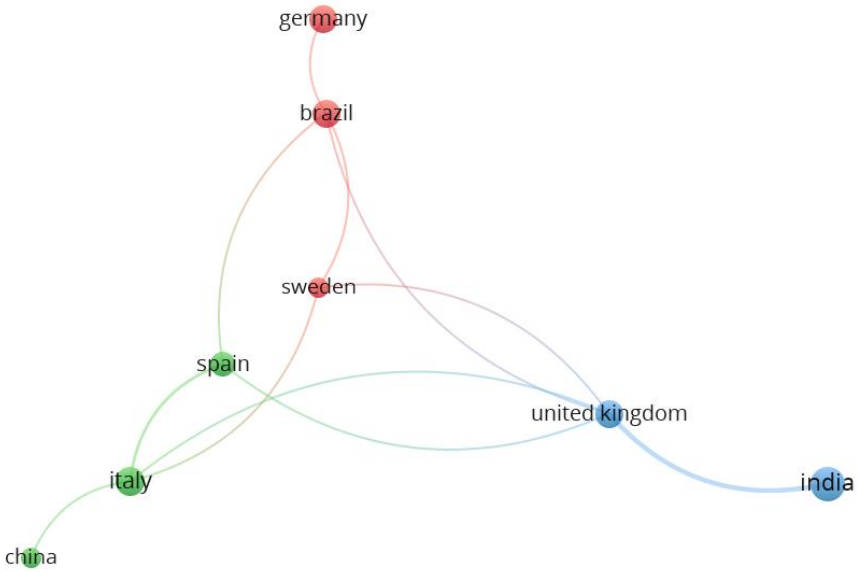


Figura 13 – Mapa de coautorias entre países

Fonte – Elaboração própria (2021)

4. Discussão

A I4.0 tende a apresentar uma correlação com o TBL (VARELA, 2019). Os estudos voltados à temática I4.0 e TBL podem favorecer a responsabilidade social empresarial (SCAVARDA et al., 2019) e contribuir com o desenvolvimento social. A sinergia entre a I4.0 e a sustentabilidade pode justificar uma abordagem integrada chamada por indústria sustentável 4.0 (HARIKANNAN et al., 2020). Baseado na revisão da literatura, o resultado deste estudo apresenta algumas oportunidades e desafios que norteiam a relação I4.0 e sustentabilidade. As Tabelas 1 e 2 sintetizam estas oportunidades e desafios.

Tabela 1 – Efeitos positivos entre a I4.0 e a sustentabilidade

Oportunidades	
Dimensão Social	***Autores***
Redução de acidentes de trabalho	Siltori et al. (2021)
Resiliência	Acioli et al. (2021); Ivanov, Dolgui (2020)
Dimensão Econômica	***Autores***
Colaboração e transparência entre os elos das cadeias de suprimentos	Luthra et al. (2020)
Eficiência nas operações de produção	Azizi, (2020); Bai et al. (2020); Bányai et al. (2019); Ghobakhloo (2020); Narwane et al. (2020); Mehrpouya et al. (2019); Kamble et al. (2018); Lin et al. (2017)
Melhoria na qualidade dos produtos	Margherita, Braccini (2020); Kamble et al. (2018)
Redução de custos	Fathi, Ghobakhloo (2020)
Vantagem competitiva	Ahmad et al. (2020); Ding (2018)
Dimensão Ambiental	***Autores***
Eficiência energética	Gajdzik et al. (2020)
Redução de resíduos	Mehrpouya et al. (2019)

Fonte – Elaboração própria (2021)

Tabela 2 – Efeitos negativos entre a I4.0 e a sustentabilidade

Desafios	
Dimensão Social	***Autores***
Desigualdades sociais	Acioli et al. (2021)
Necessidade de formação, capacitação e requalificação	Kumar et al. (2021); Pasi et al. (2020); Birkel et al. (2019); Jabbour et al. (2018)
Perdas e redução de postos de trabalhos ocupados pelo homem	Acioli et al. (2021); Nara et al. (2021); Margherita, Braccini (2020); Aggarwal, Goldar (2019); Birkel et al. (2019)
Dimensão Econômica	***Autores***
As organizações precisam buscar a vantagem competitiva	Birkel et al. (2019); Müller et al. (2018)
Necessidade de melhorar a capacidade organizacional	Müller et al. (2018)
Necessidade do compromisso da gestão	Jabbour et al. (2018)
Modelos de negócios ameaçados	Birkel et al. (2019)
Dimensão Ambiental	***Autores***
Dificuldade no gerenciamento de impactos	Micieta et al. (2019)

Fonte – Elaboração própria (2021)

A implementação da I4.0 tem o potencial de contribuir com o gerenciamento dos impactos percebidos entre os serviços intensivos de informação e a relação entre a cadeia de suprimentos e o desempenho da dimensão social (DJUNAEDI, 2019) do TBL. Para Birkel e Müller (2021), a interação das dimensões sociais e ambientais com os benefícios econômicos poderiam ser mais explorada na literatura. Para Ejsmont et al. (2020), a literatura apresenta uma ampla contribuição no que se refere aos conceitos I4.0 e sustentabilidade, porém, raros são os estudos que exploram o desenvolvimento de iniciativas voltadas à indústria sustentável 4.0. Em outras palavras, geralmente ambos os conceitos são tratados separadamente. Neste contexto, Gajdzik et al. (2020) realizaram uma análise bibliográfica que confirmou a tese de que a indústria sustentável 4.0 pode ajudar a integrar o conceito da I4.0 com os objetivos do desenvolvimento sustentável. O resultado da pesquisa mostrou que a cibersegurança, a cidade inteligente sustentável, a eficiência energética, a energia inteligente, a fábrica inteligente sustentável, os materiais

verdes e inteligentes, e o planejamento urbano inteligente sustentável são alguns temas que poderão encorajar outros pesquisadores a desenvolver pesquisas voltadas as oportunidades sociais, econômicas e ambientas.

A busca pelo desenvolvimento sustentável leva a construção de um novo paradigma voltado ao valor sustentável, o que faz com que a criação do valor industrial passe por mudanças durante os últimos anos (STOCK et al., 2018). Neste cenário de mudanças, a implementação da I4.0 permite alcançar efeitos de longo prazo no contexto da criação do valor industrial (MÜLLER et al., 2018), além de trazer novas oportunidades e desafios voltados ao TBL (ACIOLI et al., 2021; GARCIA-MUIÑA et al., 2020; IVASCU, 2020; YADAV et al., 2020b). A I4.0 pode contribuir com a sustentabilidade (BRACCINI, MARGHERITA, 2019). Contudo, enquanto as oportunidades estratégicas, operacionais, ambientais e sociais contribuem com a implementação da I4.0, a competitividade, a viabilidade futura, a capacidade organizacional e de produção são fatores que podem dificultar o seu desenvolvimento. Visto que, o bom êxito na implementação da I4.0 está diretamente relacionado com mudanças nas estruturas organizacionais, de forma empreendedora, valorizando, capacitando e qualificando os recursos humanos às competências da I4.0. Tais competências podem ser desenvolvidas conforme as especificidades da I4.0 e estar relacionadas à criação do valor industrial, como, por exemplo: análise de dados, TI e *know-how* de interação homem-máquina (MÜLLER et al., 2018).

De acordo com Brozzi et al. (2020), os efeitos positivos da I4.0 na dimensão ambiental ainda são poucos, por outro lado, as dimensões sociais e econômicas do TBL apresentam uma considerável associação de oportunidades relacionadas à I4.0. Para Bai et al. (2020), no contexto da dimensão econômica, as tecnologias da I4.0 podem contribuir com a eficiência nas operações de produção e tem o potencial de influenciar o desenvolvimento sustentável social e ambiental. No que tange as operações de produção, a I4.0 pode ser uma facilitadora em prol de uma produção sustentável. Neste contexto, Saniuk et al. (2020) ressaltam sobre a relevância de se desenvolver o conceito da I4.0 apoiando a orientação de um consumo sustentável pela sociedade. Para Sartal et al. (2020), uma produção sustentável deve buscar ao mesmo tempo, ser socialmente responsável, minimizar os impactos ambientais negativos e ser economicamente viável. Ainda neste contexto, Machado et al. (2020), notam que a ligação entre à temática I4.0 e

produção sustentável é validada, porém, ainda evolui para ser consolidada. A abordagem da I4.0 no setor de manutenção voltada a uma produção sustentável, por exemplo, ainda se encontra na infância, porém apresenta um potencial de crescimento que pode ser mais explorado (FRANCIOSI et al., 2018). Uma produção sustentável engloba produtos e serviços que requerem o gerenciamento de impactos. Por exemplo, em processos de produção personalizados, os impactos podem gerar desafios voltados ao cumprimento da produtividade laboral e dos prazos de entrega dos produtos. Já, no que tange aos processos de produção de produtos semelhantes com tempos de funcionamento diferentes, os desafios podem estar relacionados com o aumento do número de trabalhos em curso e como o aumento de desperdício de produtividade (MICIETA et al., 2019).

A adoção da sustentabilidade é um dos fatores relevantes para a sustentação das indústrias no mercado ao nível global (BEIER et al., 2020; YADAV et al., 2020b). A I4.0 reflete uma visão de melhorias nos processos e operações industriais, como: a engenharia, a gestão da cadeia de suprimento sustentável e a cadeia de valor horizontal (LIN et al., 2017). Além disso, as variadas tecnologias da I4.0 podem contribuir com o desempenho sustentável de um ambiente de produção digital e automatizada e permitir o desenvolvimento de uma cadeia de valor. Tais oportunidades podem levar a resultados como: redução dos prazos de produção e melhoria da qualidade dos produtos, outrossim, podem promover efeitos positivos no desempenho organizacional (KAMBLE et al., 2018).

Com a I4.0 e a digitalização das cadeias de suprimentos, as empresas passaram a adotar tecnologias que oferecem oportunidades e contribuem com o alcance de uma gestão mais sustentável (MASTOS et al, 2020). No mesmo sentido, a colaboração e a transparência entre os elos das cadeias de suprimentos contribuem com o impulsionamento da I4.0 (LUTHRA et al., 2020). Além de permitir o desenvolvimento de iniciativas sustentáveis que impulsionam o pilar econômico do TBL nas cadeias de suprimentos, as tecnologias da I4.0 também podem minimizar os impactos ambientais e ajudar no desenvolvimento social (SHARMA et al., 2021). Por meio da transformação tecnológica, as empresas tendem tornar-se completamente digitais e integrar-se a parceiros da cadeia de suprimentos em ecossistemas também digitais (MANAVALAN, JAYAKRISHNA, 2019). Acioli et al. (2021) sugerem que a adoção das tecnologias da I4.0 podem favorecer o desempenho sustentável das cadeias de suprimentos. No contexto

da relevância de um ecossistema digital, a pandemia da covid-19, situação emergente que causa efeitos imprevisíveis na vida das pessoas e no planeta, é um exemplo qual a I4.0 pode contribuir em diversos fatores, como na continuidade de negócios e de cadeias de suprimentos. Acioli et al. (2021) e Ivanov e Dolgui (2020) discorrem que a pandemia motivou questões que ressignificaram a sobrevivência das cadeias de suprimentos, questões estas que transcenderam o estado da arte e precisaram de resiliência e planejamento a longo prazo para elas poderem sobreviver. Acioli et al. (2021) notam que por tratar-se de um assunto novo, existem poucas pesquisas que exploram os impactos entre a relação I4.0, sustentabilidade, cadeias de suprimentos e covid-19.

No contexto do TBL, Furstenau et al. (2020) destacam que a literatura concentra a maior parte das pesquisas voltadas a melhorar os aspectos econômicos e ambientais, e percebem as lacunas relacionadas a dimensão social. Corroborando com este estudo, Asiimwe e de Kock (2019) discorrem sobre a existência da lacuna e da oportunidade de pesquisas voltadas à temática: sustentabilidade ou transições sociotécnicas e I4.0. De Bernardi et al. (2019a); Tirabeni et al. (2019) e Reischauer (2018) ressaltam que quando se trata do tema I4.0, a literatura concentra a maior parte dos estudos no eixo tecnológico. Esta questão faz com que a complexidade do tema seja pouco explorada, como, por exemplo, no que diz respeito ao impacto social e ambiental.

A I4.0 permite que as organizações sejam mais produtivas e flexíveis, além disso, contribui com a melhoria da qualidade dos produtos e pode levar as organizações a um melhor desempenho econômico (MARGHERITA, BRACCINI, 2020). Além de melhorar a produtividade (NARWANE et al., 2020), a I4.0 também pode favorecer a melhoria do controle, da racionalização dos processos, da volatilidade (MIAN et al., 2020), levando à eficiência de custos de produção e ao alcance de uma produção sustentável (FATHI, GHOBAKHLOO, 2020). Para Jabbour et al. (2018), as tecnologias da I4.0 trazem o potencial de desbloquear a produção ambientalmente sustentável. Porém, para que a sinergia produtiva entre a I4.0 e a produção ambientalmente sustentável aconteça, as organizações precisam considerar fatores como: liderança e compromisso de gestão, formação e capacitação, e presteza na mudança organizacional.

A integração entre as tecnologias da I4.0, tais como: BD, sistemas ciberfísicos, *industrial internet of things* (IIoT) e sistemas inteligentes com a logística verde, a produção verde e a concepção de produtos verdes, ajudam a impulsionar a

sustentabilidade (VRCHOTA et al., 2020) e contribuir com a criação do valor industrial. A IIoT representa a aplicação da IoT em tecnologias da I4.0 e favorece a criação de valor industrial (MÜLLER, VOIGT, 2018). A adoção da IIoT com o objetivo de qualificar a criação de valor industrial sustentável, reflete uma extensão do TBL e requer outras dimensões, como, integração técnica, dados e informação, além do contexto público (KIEL et al., 2017).

Os efeitos positivos da I4.0 decorrem da forma com que os sistemas ciberfísicos são conjugados, em outras palavras, se faz necessária a coerência entre os mundos cibernéticos e físicos (IQBAL et al., 2020). O fabrico de aditivo, tecnologia de impressão 3D, por exemplo, tem o potencial de impactar de forma positiva as operações de produção, por outro lado, a inserção desta tecnologia em um ambiente industrial requer maturidade (GODINA et al., 2020). Além de favorecer o desenvolvimento de componentes complexos, de produtos personalizáveis, a impressão 3D traz uma gama de benefícios, como: minimização eficiente de resíduos, economia de tempo e de material, prototipagem rápida, alta eficiência, e métodos de produção descentralizada (MEHRPOUYA et al., 2019). Segundo Korner et al. (2020), o desenvolvimento da tecnologia fabrico de aditivos tem evoluído nos últimos 30 anos, portando está evolução se depara com alguns desafios voltados aos aspectos relacionados as dimensões sociais e econômicas. Entre outras aplicabilidades da I4.0, a simulação com outras tecnologias digitais pode favorecer a tomada de decisões e contribuir com oportunidades de melhorias no gerenciamento das operações sustentáveis (NADERI et al., 2019). Visto que, a adoção e a integração das tecnologias da I4.0 podem ajudar as empresas a alcançarem a vantagem competitiva, além disso, podem contribuir com a sustentabilidade (AHMAD et al., 2020). O resultado da sustentabilidade com a adoção da tecnologia blockchain, por exemplo, reflete na visão e nas estratégias utilizadas pelas empresas para o gerenciamento de suas operações (ESMAEILIAN et al., 2020). O blockchain é considerado um desenvolvimento de tecnologia inteligente da próxima geração de tecnologias de informação. O blockchain tem o potencial de assegurar que as empresas e as indústrias possam ser mais sustentáveis (LENG et al., 2020).

O resultado do estudo desenvolvido por Ghobakhloo (2020) revelou que no contexto das funções da dimensão econômica, a I4.0 tende a oferecer resultados imediatos, como, por exemplo, a inovação de negócios e a eficiência na produção. Por

sua vez, estes resultados podem contribuir para com o desempenho sustentável socioambiental consideradas mais distantes da I4.0, tais como, a melhoria do bem-estar social, a redução de emissões nocivas e a sustentabilidade energética. No contexto da sustentabilidade energética, Vrchota et al. (2021) sugerem que as novas fontes e energia estão entre as oportunidades da relação I4.0 e sustentabilidade. Na ótica da relação I4.0 e dimensão social, a aplicação de robôs industriais, por exemplo, pode ser utilizada para aumentar a produtividade e reduzir o tempo de produção (AZIZI, 2020). Por outro lado, este cenário pode levar a perdas de postos de trabalhos ocupados pelo homem (MARGHERITA, BRACCINI, 2020). Por conseguinte, no contexto da saúde do trabalhador, a utilização de robôs em atividades perigosas pode contribuir para com a redução de acidentes de trabalho (SILTORI et al., 2021).

Entre as diversas aplicações, a abordagem da I4.0 permite que as empresas manufatureiras ganhem experiências no que tange a produção em redes e a logística inteligente, além disso, alavancam o desenvolvimento de novos modelos empresariais. Tais modelos se beneficiam das novas tecnologias e favorecem à integração dos ambientes em rápida mutação (PRAUSE, ATARI, 2017). A produção inteligente e flexível são paradigmas de manufatura da I4.0 que podem contribuir com o aumento da produtividade das organizações (YAZDI et al., 2018). A demanda de produtos variáveis, a adição e a eliminação de produtos, levam a indústria buscar um *layout* robusto e sustentável, para tanto, a I4.0 pode contribuir com o desenho deste *layout* (KUMAR et al., 2018). Além disso, as tecnologias da I4.0 podem oferecer soluções de coleta de resíduos, contribuir com a otimização dos processos e colaborar com a sensibilização ambiental e a sustentabilidade (BÁNYAI et al., 2019). Neste contexto, a poluição atmosférica, o descarte de resíduos de forma inadequada, a utilização intensiva de matérias-primas e de energia são fatores que causam impacto negativo na dimensão ambiental (OLÁH et al., 2020). Em adição a isso, pesquisa de Fatimah et al. (2020) propõe uma nova concepção de gestão de resíduos inteligentes e sustentável que poderá contribuir com o TBL.

As iniciativas da I4.0 permitem a transformação dos processos de produção, entrega e descarte dos produtos, e dessa forma, podem causar efeitos em todo o sistema empresarial. Tais iniciativas podem trazer oportunidades voltadas a sustentabilidade na cadeia de suprimentos, no entanto a adoção dessas iniciativas também traz desafios

(LUTHRA, MANGLA, 2018) e oportunidades para diversos setores e campo de aplicação. A adoção das tecnologias da I4.0 no setor farmacêutico, por exemplo, permite a construção de um valor sustentável, ágil, inteligente e personalizado, e levam as empresas farmacêuticas a obterem vantagens competitivas (DING, 2018). No campo da educação, a realidade virtual contribui com a sustentabilidade na formação dos estudantes (SALAH et al., 2019). A IoT e a I4.0 contribuem com a construção de casas inteligentes e que tais construções podem servir para o incentivo de cidades inteligentes (BRANGER, PANG, 2015). Portanto, no campo da construção a inovação disruptiva ainda é pouco explorada (LEKAN et al., 2020). Ainda neste contexto, a construção de uma casa inteligente precisa ultrapassar a barreira da cibersegurança, visto que a cibersegurança está entre os fatores que levam a um ambiente residencial seguro (BRANGER, PANG, 2015). A IoT integrada ao *ecodesign* pode favorecer à eficácia do desenvolvimento de produtos e contribuir com os princípios da CE (GARCIA-MUIÑA et al., 2019). A integração entre a I4.0 e os objetivos do desenvolvimento sustentável pode impulsionar oportunidades, porém esta integração depende de uma plataforma de ecoinovação, o que poderá assegurar o desempenho ambiental (BONILLA et al., 2018). A CE e a I4.0 estão entre os temas emergentes que têm o potencial de contribuir com os cumprimentos dos objetivos do desenvolvimento sustentável (DANTAS et al., 2021; GUPTA et al., 2021). Neste sentido, os resultados da pesquisa de Mabkhot et al. (2021) mostram que a maioria das tecnologias da I4.0 tem o potencial de ajudar no cumprimento dos objetivos do desenvolvimento sustentável. Corroborando com esta pesquisa, o estudo desenvolvido por Garrido-Hidalgo et al. (2018) encoraja a aplicação de diferentes tecnologias da IoT em ambientes de trabalho industriais. Visto que, a aplicação destas tecnologias permite tratar as perturbações sociais oriundas dos novos paradigmas da I4.0 e contribuir com o TBL. Nara et al. (2021) sugerem que a IoT, os sistemas ciberfísicos, os sensores, e os BD são facilitadores para o desenvolvimento sustentável, já quanto a adoção de robôs, os autores destacam que esta tecnologia pode gerar impactos negativos no que se refere à criação de postos de trabalho e na baixa influência da CN.

Além de oportunidades, a I4.0 também pode trazer desafios, como, por exemplo, desigualdades sociais causadas pela substituição da mão-de-obra humana pelas máquinas (ACIOLI et al., 2021), redução das ofertas de empregos com atividades manuais ou repetitivas (SILTORI et al., 2021), receio por parte dos trabalhadores de perderem seus

empregos e falta de qualificação para adotar e sustentar as novas tecnologias (KUMAR et al., 2021; PASI et al., 2020). Diante disso, Acioli et al. (2021) sugerem a exploração de pesquisas voltadas ao conceito sociedade 5.0. Segundo Fukuda (2020), a sociedade 5.0 visa o desenvolvimento tecnológico, considerando a construção de uma sociedade em que o conhecimento e os valores refletem o bem-estar social e o desenvolvimento econômico. Para que uma organização possa alcançar a sustentabilidade, alguns fatores que levam a relutância da adoção das tecnologias inovadoras da I4.0 podem ser amadurecidos, como, por exemplo, no que está relacionado a melhoria contínua de programas de formação técnica (TIWARI, KHAN, 2020). Maisiri et al. (2021) sugerem que a construção cultural, as desigualdades estruturais e o desemprego estão entre os fatores que podem inibir à adoção sustentável da I4.0 em indústrias transformadoras. O resultado da pesquisa realizada por Birkel et al. (2019) sobre os riscos que podem envolver a relação entre a I4.0 e o TBL mostra que a dimensão social pode apresentar perdas de emprego, e desafios relacionados à transformação organizacional e à requalificação dos empregados. A dimensão econômica pode trazer desafios relacionados a investimentos elevados ou falsos, a modelos de negócio ameaçados e ao aumento da competitividade. Já a dimensão ambiental pode estar ligada ao aumento de consumo e de desperdício de energia.

5. Conclusão

Este estudo teve como objetivo investigar a relação e (ou) a aplicação da I4.0 no contexto do TBL. Considerando a pandemia da covid-19, situação emergente vivida por diversos países, este estudo também procurou abranger os potenciais efeitos da covid-19 na sociedade, na economia e no meio ambiente, bem como a aplicação das tecnologias da I4.0 neste tempo pandêmico. O resultado da análise da revisão da literatura mostrou que a I4.0 tem o potencial de contribuir com o desenvolvimento sustentável do planeta. As tecnologias da I4.0 podem favorecer o desempenho sustentável das organizações, das cadeias de suprimentos e de diversos setores. Estas tecnologias podem inclusive auxiliar a sociedade em lidar com situações emergentes, como é o caso pandemia da covid-19.

Considerando as inovações e o desenvolvimento da I4.0, bem como as oportunidades e os desafios que surgem da relação I4.0 no ambiente da sustentabilidade, a pesquisa mostrou que apesar do crescente número de publicações que relacionam o tema, ainda há muito a ser explorado no que tange a relação entre os temas. Neste contexto, este trabalho apresenta as seguintes sugestões para o desenvolvimento de pesquisas futuras.

- Aprofundar a investigação sobre os impactos da pandemia da covid-19 na I4.0 e na sustentabilidade;
- Explorar os conceitos, indústria sustentável 4.0 e sociedade 5.0;
- Realizar uma pesquisa empírica e confirmar as oportunidades e os desafios que norteiam a relação I4.0 e TBL apresentadas nesta pesquisa; e
- Apresentar propostas para fomentar a I4.0 e a sustentabilidade no cenário brasileiro e internacional.

Referências

ABDULLAH, S., MANSOR, A.A., NAPI, N.N.L.M., MANSOR, W.N.W., AHMED, A.N., ISMAIL, M., RAMLY, Z.T.A. "Air quality status during 2020 Malaysia Movement Control Order (MCO) due to 2019 novel coronavirus (2019-nCoV) pandemic", **Science of the Total Environment**, v. 729, 2020.

ABIDEEN, A., MOHAMAD, F.B. "Improving the performance of a Malaysian pharmaceutical warehouse supply chain by integrating value stream mapping and discrete event simulation", **Journal of Modelling in Management**, v. 16, n.1, p. 70-102, 2021.

ACIOLI, C., SCAVARDA, A., REIS, A. "Applying Industry 4.0 technologies in the COVID–19 sustainable chains", **International Journal of Productivity and Performance Management**, v. 70, n. 5, p. 988-1016. 2021.

AGGARWAL, S.C., GOLDAR, B. "Structure and growth of employment: evidence from India KLEMS data", **Indian Growth and Development Review**, v. 12, n. 2, p. 202-228, 2019.

AHMAD, S., MISKON, S., ALABDAN, R., TLILI, I. "Towards sustainable textile and apparel industry: Exploring the role of business intelligence systems in the era of industry 4.0", **Sustainability**, v. 12, n. 7, 2020.

AKBARI, M., HA, N. "Impact of additive manufacturing on the Vietnamese transportation industry: An exploratory study", **Asian Journal of Shipping and Logistics**, v. 36, n. 2, p. 78-88, 2020.

ALACER, V., MACHADO, V.C. "Scanning the Industry 4.0: A Literature Review on Technologies for Manufacturing Systems", **Engineering Science and Technology an International Journal**, v. 22, n. 3, p. 899-919, 2019.

ALLEN, C., METTERNICHT, G., WIEDMANN, T. "National Pathways to the Sustainable Development Goals (SDGs): A Comparative Review of Scenario Modelling Tools", **Environmental Science and Policy**, v. 66, p. 199-207, 2016.

ALMEIDA, T.D., AVALONE, M.C., FETTERMANN, D.C. "Building blocks for the development of an IoT business model", **Journal of Strategy and Management**, v. 13, n. 1, p. 15-32, 2020.

ANUSCI, V. Gartner's 3D-printing hype curve: the best is yet to come, 2015. Disponível em: https://all3dp.com/gartners-3d-printing-hype-curve-best-yet-come/ Acesso em 05 de

maio de 2021.

ASIIMWE, M.M., DE KOCK, I.H. “An analysis of the extent to which industry 4.0 has been considered in sustainability or socio-technical transitions”, **South African Journal of Industrial Engineering**, v. 30, n. 3, p. 41-51, 2019.

AZIZI, A. “Applications of Artificial Intelligence Techniques to Enhance Sustainability of Industry 4.0: Design of an Artificial Neural Network Model as Dynamic Behavior Optimizer of Robotic Arms”, **Complexity**, 2020.

BACQ, S.C., KRLEV, G., HEHENBERGER, L.K., PACHE, A., ROULET, T.J., VENTRESCA, M., MITZINNECK, B.C., RADOYNOVSKA, N., REA, C.M. “Theoretical Approaches for Studying Social Innovation”, **Academy of Management**, v. 1, 2019.

BAG, S., TELUKDARIE, A., PRETORIUS, J.H.C., GUPTA, S. “Industry 4.0 and supply chain sustainability: framework and future research directions”, **Benchmarking**, v. ahead-of-print, n. ahead-of-print, 2018.

BAG, S., WOOD, L. C., MANGLA, S. K., LUTHRA, S. “Procurement 4.0 and its implications on business process performance in a circular economy”, **Resources, Conservation and Recycling**, v. 152, 2020a.

BAG, S., YADAV, G., WOOD, L.C., DHAMIJA, P., JOSHI, S. “Industry 4.0 and the circular economy: Resource melioration in logistics”, **Resources Policy**, v. 68, 2020b.

BAI, C., DALLASEGA, P., ORZES, G., SARKIS, J. “Industry 4.0 technologies assessment: A sustainability perspective”, **International Journal of Production Economics**, v. 229, 2020.

BÁNYAI, T., TAMÁS, P., ILLÉS, B., STANKEVIČIŪTĖ, Z., BÁNYAI, A. “Optimization of municipal waste collection routing: Impact of industry 4.0 technologies on environmental awareness and sustainability”, **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 16, n. 4, 2019.

BAYRAMUSTA, M., NASIR, V.A. “A fad or future of IT?: a comprehensive literature review on the cloud computing research”, **International Journal of Information Management**, v. 36, n. 4, p. 635-644, 2016.

BBC. Como as medidas contra o coronavírus estão fazendo a Terra vibrar menos, 2020. Disponível em: https://www.bbc.com/portuguese/geral-52185577. Acesso em: 05 de maio de 2021.

BEDNAR, P.M., WELCH, C. “Socio-Technical Perspectives on Smart Working: Creating Meaningful and Sustainable Systems”, **Information Systems Frontiers**, v. 22, p. 281-298, 2020.

BEIER, G., ULLRICH, A., NIEHOFF, S., REIßIG, M., HABICH, M. “Industry 4.0: How it is defined from a sociotechnical perspective and how much sustainability it includes – A literature review”, **Journal of Cleaner Production**, v. 259, 2020.

BELAUD, J.P., PRIOUX, N., VIALLE, C., SABLAYROLLES, C. “Big data for agri-food 4.0: Application to sustainability management for by-products supply chain”, **Computers in Industry**, v. 111, p. 41-50, 2019.

BEN-DAYA, M., HASSINI, E., BAHROUN, Z. “Internet of Things and Supply Chain Management: A Literature Review”, **International Journal of Production Research**, v. 57, n. 15-16, p. 4719-4742, 2019.

BENDUL, J.C., BLUNCK, H. “The design space of production planning and control for industry 4.0”, **Computers in Industry**, v. 105, p. 260-272, 2019

BERG, P., APPELBAUM, E., BAILEY, T., KALLEBERG, A.L. “The performance effects of modular production in the apparel industry”, **Industrial Relations**, v. 35, n. 3, p. 356-373, 1996.

BERTELLO, A., DANNY, A., TIRABENI, L. “The impact of digitization on motivations and institutional logics of PhD students’ startup initiatives: An exploratory study”. In Proceedings of the GIKA-Global Innovation and Knowledge (INEKA/GEKA 2019), Verona, Italy, 11–13 July 2019; Observatory of Knowledge Research: Valencia, Spain, 2019.

BETTIOL, M., CAPESTRO, M., DE MARCHI, V., DI MARIA, E., SEDITA, S.R. “Industrial districts and the fourth industrial revolution”, **Competitiveness Review**, v. 16, 2020.

BIRKEL, H., MÜLLER, J.M. “Potentials of industry 4.0 for supply chain management within the triple bottom line of sustainability e A systematic literature review”, **Journal of Cleaner Production**, v. 289, 2021.

BIRKEL, H., VEILE, J. W., MÜLLER, J. M., HARTMANN, E., VOIGT, K.I. “Development of a risk framework for Industry 4.0 in the context of sustainability for established manufacturers”, **Sustainability**, v. 11, n. 2, 2019.

BONILLA, S.H., SILVA, H.R.O., DA SILVA, M.T., GONÇALVES, R.F.,

SACOMANO, J.B. “Industry 4.0 and sustainability implications: A scenario-based analysis of the impacts and challenges”, **Sustainability**, v. 10, n. 10, 2018.

BOYES, H., “Cybersecurity and cyber-resilient supply chains”, **Technology Innovation Management Review**, v. 5, n. 4, p. 28, 2015.

BRACCINI, A., MARGHERITA, E. “Exploring organizational sustainability of industry 4.0 under the triple bottom line: The case of a manufacturing company”, **Sustainability**, v. 11, n. 36, 2019.

BRANGER, J., PANG, Z. “From automated home to sustainable, healthy and manufacturing home: a new story enabled by the Internet-of-Things and Industry 4.0”, **Journal of Management Analytics**, v. 2, n. 4, p. 314-332, 2015.

BRESSANELLI, G., ADRODEGARI, F., PERONA, M., SACCANI, N. “The Role of Digital Technologies to Overcome Circular Economy Challenges in PSS Business Models: An Exploratory Case Study”, **Procedia CIRP**, v. 73, p. 216–21, 2018.

BROZZI, R., FORTI, D., RAUCH, E., MATT, D.T. “The-advantages-of-industry-40-applications-for-sustainability-Results-from-a-sample-of-manufacturing-companies”, **Sustainability**, v. 12, n. 9, 2020. .

BUNTAK, K., KOVAČIĆ, M., MUTAVDŽIJA, M. “Internet of things and smart warehouses as the future of logistics”, **Tehnički glasnik**, v. 13, n. 3, p. 248-253, 2019.

CAGLIANO, R., CANTERINO, F., LONGONI, A., BARTEZZAGHI, E. “The interplay between smart manufacturing technologies and work organization: The role of technological complexity”, **International Journal of Operations and Production Management**, v. 39, n.6, p. 913–934, 2019.

CANTELE, S., ZARDINI, A. “What drives small and medium enterprises towards sustainability? Role of interactions between pressures, barriers, and benefits”, **Corporate Social Responsibility and Environmental Management**, v. 27, n. 1, p. 136-136, 2019.

CHAKRABORTY, I., MAITY, P. “COVID-19 outbreak: Migration, effects on society, global environment and prevention”, **Science of the Total Environment**, v. 728, 2020.

CHAUDHURI, A., ROGERS, H., SOBERG, P., PAWAR, K.S. “The role of service providers in 3D printing adoption”, **Industrial Management and Data Systems**, v. 119, n. 6, p. 1189-1205, 2019.

CHAUHAN, C., SINGH, A. “A review of Industry 4.0 in supply chain management studies”, **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. ahead-of-p, n. ahead-

of-print, 2019.

CHAVEZ, R., YU, W., JAJJA, M.S.S., LECUNA, A., FYNES, B. “Can entrepreneurial orientation improve sustainable development through leveraging internal lean practices?”, **Business Strategy**, v. 29, n. 6, p. 2211-2225, 2020.

COCHRAN, P.L., WOOD, R.A. “Corporate social responsibility and financial performance”, **Academy of Management Journal**, v. 27, n. 1, p. 42-56, 1984.

CÔRTE-REAL, N.; RUIVO, P., OLIVEIRA, T. “Leveraging internet of things and big data analytics initiatives in European and American firms: Is data quality a way to extract business value?” **Information & Management**, v. 57, n. 1, 2020.

CUI, Y., KARA, S., CHAN, K.C. “Manufacturing big data ecosystem: A systematic literature review”, **Robotics and Computer-Integrated Manufacturing**, v. 62, 2020.

CUNHA, T.P., MÉXAS, M.P., SILVA, A.C. DA, QUELHAS, O.L.G. “Proposal guidelines to implement the concepts of industry 4.0 into information technology companies”, **The TQM Journal**, v. 32, n. 4, p. 741–759, 2020.

DAMIANI, L., REVETRIA, R., MORRA, E. “Safety in industry 4.0: The multi-purpose applications of augmented reality in digital factories”, **Advances in Science, Technology and Engineering Systems**, v. 5, n. 2, p. 248-253, 2020.

DANTAS, T.E.T., DE-SOUZA, E.D., DESTRO, I.R., HAMMES, G., RODRIGUEZ, C.M.T., SOARES, S.R. “How the combination of Circular Economy and Industry 4.0 can contribute towards achieving the Sustainable Development Goals”, **Sustainable Production and Consumption**, v. 26, p. 213-227, 2021.

DAÚ, G., SCAVARDA, A., SCAVARDA, L.F., PORTUGAL, V.JT. “The healthcare sustainable supply chain 4.0: The circular economy transition conceptual framework with the corporate social responsibility mirror”, **Sustainability**, v. 11, n. 12, 2019.

DE ANDRADE, M.S, NISHIMARU, G.Y., DO NASCIMENTO, D.N, FRÓES, N.J.M. “Uma revisão sistemática sobre a interação entre indústria 4.0 e sustentabilidade”, Conference: XXV Simpósio de Engenharia de Produção At: Bauru, São Paulo, 2018.

DE BERNARDI, P., BERTELLO, A., VENUTI, F. “Community-Oriented motivations and knowledge sharing as drivers of success within food assemblies”, In Exploring Digital Ecosystem; Lazazzara, A., Ricciardi, F., Za, S., Eds.; Springer: Cham, Switzerland, 2020.

DE BERNARDI, P., BERTELLO, A., FORLIANO, C. “Unpacking Higher Educational Institutions (HEIs) performances through the institutional logics lens”, In Proceedings of

the International Forum on Knowledge Asset Dynamics—Knowledge Ecosystems and Growth (IFKAD 2019), Matera, Italy, 2019a.

DE BERNARDI, P., BERTELLO, A., VENUTI, F. “Online and On-Site Interactions within Alternative Food Networks: Sustainability Impact of Knowledge-Sharing Practices”, **Sustainability**, v. 11, 2019b.

DE BERNARDI, P., BERTELLO, A., VENUTI, F., ZARDINI, A. “Knowledge transfer driving community-based business models towards sustainable food-related behaviours: A commons perspective”, **Knowledge Management Research & Practice**, 2019c.

DE BERNARDI, P., TIRABENI, L. “Alternative food networks: Sustainable business models for anti-consumption food cultures”, **British Food Journal**, v. 120, p. 1776-1791, 2018.

DELOITTE, “Industry 4.0, Challenges and Solutions for the Digital Transformation and Use of Exponential Technologies”; Deloitte: Swiss, Zurich, 2015.

DING, B. “Pharma Industry 4.0: Literature review and research opportunities in sustainable pharmaceutical supply chains”, **Process Safety and Environmental Protection**, v. 119, p. 115-130, 2018.

DJUNAEDI. “Building social sustainability of pharmaceutical industry through industry 4.0 implementation”, **Polish Journal of Management Studies**, v. 20, n. 1, p. 149–158, 2019.

DO NASCIMENTO, E.P. “Trajetória da sustentabilidade: do ambiental ao social, do social ao econômico”, **Estudos Avançados**, v. 26, n. 74, p. 51-64, 2012. .

DUBEY, R., GUNASEKARAN, A., CHILDE, S.J., PAPADOPOULOS, T., LUO, Z., WAMBA, S.F., ROUBAUD, D. “Can big data and predictive analytics improve social and environmental sustainability?” **Technological Forecasting and Social Change**, v. 144, p. 534-545, 2017.

DUJIN, A., GEISSLER, C., HORSTKÖTTER, D. “Think Act. Industry 4.0 – The New Industrial Revolution: How Europe Will Succeed”, Roland Berger Strategy Consultants GMBH and Apress, Berkeley, CA, 2014.

DURACH, C. F., KEMBRO, J., WIELAND, A. "A New Paradigm for Systematic Literature Reviews in Supply Chain Management", **Journal of Supply Chain Management**, v. 53, n. 4, p. 67–85, 2017.

DYLLICK, T., HOCKERTS, K. “Beyond the business case for corporate sustainability”,

Business Strategy and the Environment, v. 11, n. 2, p. 130-141, 2002.

EL-KASSAR, A.N., SINGH, S.K., "Green innovation and organizational performance: the influence of big data and the moderating role of management commitment and HR practices", **Technological Forecasting and Social Change**, v. 144, p. 483-498, 2018.

ELKINGTON, J. "25 years ago I coined the phrase "triple bottom line." Here's why it's time to rethink it", **Harvard Business Review**, 2018.

EJSMONT, K., GLADYSZ, B., KLUCZEK, A. "Impact of Industry 4.0 on Sustainability — Bibliometric Literature Review", **Sustainability**, v. 12, n. 14, 2020.

EUROPEAN COMMISSION, "Germany: Industrie 4.0", European Commission Report, Bruxelles, 2017.

ESMAEILIAN, B., SARKIS, J., LEWIS, K., BEHDAD, S. "Blockchain for the future of sustainable supply chain management in Industry 4.0", **Resources, Conservation & Recycling**, v. 163, 2020.

FATHI, M., GHOBAKHLOO, M. "Enabling mass customization and manufacturing sustainability in Industry 4.0 Context: A novel heuristic algorithm for in-plant material supply optimization", **Sustainability**, v. 12, n. 16, 2020.

FATIMAH, Y. A., GOVINDAN, K., MURNININGSIH, R., SETIAWAN, A. "Industry 4.0 based sustainable circular economy approach for smart waste management system to achieve sustainable development goals: A case study of Indonesia", **Journal of Cleaner Production**, v. 269, 2020.

FATORACHIAN, H., KAZEMI, H. "Impact of Industry 4.0 on supply chain performance", **Production Planning and Control**, v. 32, n. 1, 2020.

FIORINI, P.D.C., JABBOUR, C.J.C., JABBOUR, A.B.L.S, STEFANELLI, N.O., FERNANDO, Y. "Interplay between information systems and environmental management in ISO 14001-certified companies Implications for future research on big data", **Management Decision**, v. 57, n. 8, p. 1883-1901, 2019.

FLYNN, B.B., HUO, B., ZHAO, X. "The impact of supply chain integration on performance: a contingency and configuration approach", **Journal of Operations Management**, v. 28, n. 1, p. 58-71, 2010.

FOIDL, H., FELDERER, M. "Research challenges of industry 4.0 for quality management", in: International Conference on Enterprise Resource Planning Systems, Springer, pp. 121-137, 2015.

FORAY, D., GRUBLER, A. “Technology and the environment: an overview”, **Technological Forecasting and Social Change**, v. 53, n. 1, p. 3-13, 1996.

FRANK, A.G., DALENOGARE, L.S., AYALA, N.F. “Industry 4.0 technologies: Implementation patterns in manufacturing companies”, **International Journal of Production Economics**, v. 210, p. 15-26, 2019.

FRANCIOSI, C., IUNG, B., MIRANDA, S., RIEMMA, S. “Maintenance for Sustainability in the Industry 4.0 context: a Scoping Literature Review”, **IFAC-PapersOnLine**, v. 51, n. 11, p. 903-908, 2018.

FUKUDA, K. “Science, technology and innovation ecosystem transformation toward society 5.0”, **International Journal of Production Economics**, v. 220, 2020.

FURSTENAU, L. B., SOTT, M. K., KIPPER, L. M., MACHADO, E.L., LOPEZ-ROBLES, J., DOHAN, M., MARTIN, M., ZAHID, A., ABBASI, Q., IMRAN, M. “Link between sustainability and industry 4.0: trends, challenges and new perspectives”, **IEEE Access**, v. 8, p. 140079-140096, 2020.

GAJDZIK, B., GRABOWSKA, S., SANIUK, S., WIECZOREK, T. “Sustainable Development and Industry 4.0: A Bibliometric Analysis Identifying Key Scientific Problems of the Sustainable Industry 4.0”, **Energies**, v. 13, n. 16, 2020.

GALANAKIS, C.M., RIZOU, M., ALDAWOUD, T.M.S., UCAK, I., ROWAN, N.J. “Innovations and technology disruptions in the food sector within the COVID-19 pandemic and post-lockdown era”, **Trends in Food Science & Technology**, v. 110, p. 193-200, 2021.

GALLI, A., DUROVIC, G., HANSCOM, L., KNEZEVIC, J. “Think Globally, Act Locally: Implementing the Sustainable Development Goals in Montenegro”, **Environmental Science and Policy**, v. 84, p. 159-169, 2018.

GARAY-RONDERO, C.L., MARTINEZ-FLORES, J.L., SMITH, N.R., MORALES, S.O.C., ALDRETTE-MALACARA, A. “Digital supply chain model in Industry 4.0”, **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 31, n. 5, p. 887–933, 2020.

GARBELLANO, S., DA VEIGA, M.R. “Dynamic capabilities in Italian leading SMEs adopting industry 4.0”, **Measuring Business Excellence**, v. 23, n. 4, p. 472–483, 2019.

GARCIA-MUIÑA, F.E., GONZÁLEZ-SÁNCHEZ, R., FERRARI, A.M., SETTEMBRE-BLUNDO, D. “The Paradigms of Industry 4.0 and Circular Economy as Enabling Drivers for the Competitiveness of Businesses and Territories: The Case of an Italian Ceramic

Tiles Manufacturing Company", **Social Sciences**, v. 7, n. 12, 2018.

GARCIA-MUIÑA, F.E., MEDINA-SALGADO, M.S., FERRARI, A.M., CUCCHI, M. "Sustainability transition in industry 4.0 and smart manufacturing with the triple-layered business model canvas", **Sustainability**, v. 12, n. 6, 2020.

GARCIA-MUIÑA, F.E., GONZÁLEZ-SÁNCHEZ, R., FERRARI, A.M., VOLPI, L., PINI, M., SILIGARDI, C., SETTEMBRE-BLUNDO, D. "Identifying the equilibrium point between sustainability goals and circular economy practices in an Industry 4.0 manufacturing context using eco-design", **Social Sciences**, v. 8, n. 8, 2019.

GARRIDO-HIDALGO, C., HORTELANO, D., RODA-SANCHEZ, L., OLIVARES, T., RUIZ, M.C., LOPEZ, V. "IoT Heterogeneous Mesh Network Deployment for Human-in-the-Loop Challenges Towards a Social and Sustainable Industry 4.0", **IEEE Access**, v. 6, n. 8, p. 28417-28437, 2018.

GBEDEDO, M.A., LIYANAGE, K., GARZA-REYES, J.A. "Towards a life cycle sustainability analysis: a systematic review of approaches to sustainable manufacturing", **Journal of Cleaner Productio**n, v. 184, p. 1002-1015, 2018.

GEISSBAUER, R.; VEDSO, J.; SCHRAUF, S. Industry 4.0: Building the Digital Enterprise. 2016 Global Industry 4.0 Survey. What We Mean by Industry 4.0/Survey Key Findings/Blueprint for Digital Success. Retrieved from PwC. 2016. Disponível em: https://www.pwc.com/gx/en/industries/industries-4.0/landing-page/industry-4.0-building-your-digital-enterprise-april-2016.pdf. Acesso em 05 de maio de 2021.

GHADGE, A.; ER KARA, M.; MORADLOU, H.; GOSWAMI, M. "The impact of Industry 4.0 implementation on supply chains", **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 31, p. 669-686, 2020.

GHADGE, A., WEISS, M., CALDWELL, N.D., Wilding, R. "Managing cyber risk in supply chains: a review and research agenda", **Supply Chain Management**, v. 25, n. 2, p. 223–240, 2019.

GHOBAKHLOO, M., FATHI, M. "Industry 4.0 and opportunities for energy sustainability", **Journal of Cleaner Production**, v. 295, 2021.

GHOBAKHLOO, M. "Industry 4.0, digitization, and opportunities for sustainability", **Journal of Cleaner Production**, v. 252, 2020.

GHODE, D., YADAV, V., JAIN, R., SONI, G. "Adoption of blockchain in supply chain: an analysis of influencing factors", **Journal of Enterprise Information Management**, v.

33, n. 3, p. 437-456, 2020.

GIBSON, R. “Beyond the Pillars: Sustainability assessment as a framework for effective integration of social, economic and ecological considerations in significant decision-making”, **Journal of Environmental Assessment Policy and Management**, v. 8, n. 3, p. 259-280, 2006.

GLASER, F., BEZZENBERGER, L. “Beyond cryptocurrencies – a taxonomy of decentralized consensus systems”, 23rd European Conference on Information Systems (ECIS), Spring, Munster, p. 75-82, 2015.

GODINA, R., RIBEIRO, I., MATOS, F., FERREIRA, B., CARVALHO, H., PEÇAS, P. “Impact assessment of additive manufacturing on sustainable business models in industry 4.0 context”, **Sustainability**, v. 12, n. 17, 2020.

GORECKI, S., POSSIK, J., ZACHAREWICZ, G., DUCQ, Y., PERRY, N. “A multicomponent distributed framework for smart production system modeling and simulation”, Sustainability, v. 12, n. 17, 2020.

GRIECO, L.A., RIZZO, A., COLUCCI, S., SICARI, S., PIRO, G., DI PAOLA, D., BOGGIA, G. “IoT-aided robotics applications: Technological implications, target domains and open issues”, **Computer Communications**, v. 54, n. 1, 32-47, 2014.

GUPTA, M., GEORGE, J.F. “Toward the development of a big data analytics capability”, **Information & Management**, v. 53, n. 8, p. 1049-1064, 2016.

GUPTA, S., QIAN, X., BHUSHAN, B., LUO, Z. “Role of cloud ERP and big data on firm performance: a dynamic capability view theory perspective”, **Management Decision**, v. 57, n. 8, p. 1857-1882, 2019.

GUPTA, S., KAR, A.K., BAABDULLAH, A., AL-KHOWAITER, W.A. “Big data with cognitive computing: A review for the future**”, International Journal of Information Management**, v. 43, p. 112-129, 2018.

GUPTA, H., KUMAR, A., WASAN, P. “Industry 4.0, Cleaner Production and Circular Economy: an integrative framework for evaluating ethical and sustainable business performance of manufacturing organizations”, **Journal of Cleaner Production**, v. 295, 2021.

HAHN, K. “Opportunities for Socially Responsible Industry 4.s”, **IEEE Engineering Management Review**, v. 48, n. 1, p. 63-70, 2020.

HALASSI, S., SEMEIJN, J., KIRATLI, N. “From consumer to prosumer: a supply chain revolution in 3D printing”, **International Journal of Physical Distribution and Logistics Management**, v. 49, n. 2, p. 200-216, 2019.

HALL, J.K., DANEKE, G.A., LENOX, M.J. “Sustainable development and entrepreneurship: past contribution and future directions”, **Journal of Business Venturing**, v. 25, n. 5, p. 439-448, 2010.

HAOYAN, W., ZHIJIE, L., BRIAN, K., ZINA BEN, M., WASSICK, J., TAZELAAR, J. “A distributed ledger for supply chain physical distribution visibility”, **Information**, v. 8, n. 4, p. 2078-2489, 2017.

HARIKANNAN, N., VINODH, S., GURUMURTHY, A. “Sustainable industry 4.0 – an exploratory study for uncovering the drivers for integration”, **Journal of Modelling in Management**, v. 16, n. 1, p. 357-376, 2020.

HARRIGAN, K.R. “Formulating vertical integration strategies”, **Academy of Management Review**, v. 9, n. 4, p. 638-652, 1984.

HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. “Design principles for industrie 4.0 scenarios”, In Proceedings of the 49th Hawaii International Conference on IEEE System Sciences (HICSS), Koloa, HI, USA, 2016.

HOLOTIUK, F., PISANI, F., MOORMANN, J. “The impact of Blockchain technology on business models in the payments industry”, Proceedings of 13th International Conference on Wirtschaftsinformatik, St Gallen, 2017.

HOLZMANN, P., BREITENECKER, R.J., SCHWARZ, E.J. “Business model patterns for 3D printer manufacturers”, **Journal of Manufacturing Technology Management**, 2019.

HU, F., LIU, W., TSAI, S.B., GAO, J., BIN, N., CHEN, Q. “An Empirical Study on Visualizing the Intellectual Structure and Hotspots of Big Data Research from a Sustainable Perspective”, **Sustainability**, v.10, n. 667, 2018.

HUANG, S., YANG, J., FONG, S., ZHAO, Q. “Artificial intelligence in the diagnosis of covid-19: Challenges and perspectives”, **International Journal of Biological Sciences**, v. 17, n. 6, p. 1581–1587, 2021.

HUBBARD, G. “Measuring organizational performance. Beyond the triple bottom line”, **Business Strategy and the Environment**, v. 18, n. 3, p. 177-191, 2009.

HUXTABLE, J., SCHAEFER, D. “On servitization of the manufacturing industry in the UK”, **Procedia CIRP**, v. 52, p. 46-51, 2016.

IKÄVALKO, H., TURKAMA, P., SMEDLUND, A. “Value creation in the Internet of Things: mapping business models and ecosystem roles”, **Technology Innovation Management Review**, v. 8, n. 3, p. 5-15, 2018.

INGRAO, C., EVOLA, R.S., CANTORE, P., DE BERNARDI, P., BORGHI, A.D., VESCE, E., BELTRAMO, R. “The contribution of sensor-based equipment to life cycle assessment through improvement of data collection in the industry”, **Environmental Impact Assessment Review**, v. 88, 2021.

IQBAL, A., ZHAO, G., SUHAIMI, H., HE, N., HUSSAIN, G., ZHAO, W. “Readiness of subtractive and additive manufacturing and their sustainable amalgamation from the perspective of Industry 4.0: a comprehensive review”, **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 111, n. 9-10, p. 2475-2498, 2020.

IVANOV, D., DOLGUI, A. “Viability of intertwined supply networks: extending the supply chain resilience angles towards survivability. A position paper motivated by COVID-19 outbreak”, **International Journal of Production Research**, Vol. 7543, pp. 1-12, 2020.

IVASCU, L. “Measuring the Implications of Sustainable Manufacturing in the Context of Industry 4.0”, **Processes**, v. 8, n. 5, 2020.

JABBOUR, A.B.L.S., JABBOUR, C.J.C., FOROPON, C., FILHO, M. G. “When titans meet - Can industry 4.0 revolutionise the environmentally-sustainable manufacturing wave? The role of critical success factors". **Technological Forecasting and Social Change**, v. 132, p. 18-25, 2018.

JABBOUR, C.J.C., JABBOUR, A.B.L.S., SARKIS, J., GODINHO, M. F. “Unlocking the circular economy through new business models based on large-scale data: an integrative framework and research agenda”, **Technological Forecasting and Social Change**, v. 144, p. 546-552, 2017.

JAGTAP, S., DUONG, L. “Improving the new product development using big data: A case study of a food company”, **British Food Journal**, v. 121, p. 2835-2848, 2019.

JAZDI, N. “Cyber Physical Systems in the Context of Industry 4.0”, **Piscataway: IEEE**, 2014.

JEDE, A., TEUTEBERG, F. “Towards cloud-based supply chain processes: designing a reference model and elements of a research agenda”, **International Journal of Logistics Management**, v. 27, n. 2, p. 438-462, 2016.

JU, J., KIM, M.S., AHN, J.H. “Prototyping business models for IoT service”, **Procedia Computer Science**, Vol. 91, p. 882-890, 2016.

KAGERMANN, H., WAHLSTER, W., HELBIG, J. “Recommendations for Implementing the Strategic Initiative Industrie 4.0 — Final Report of the Industrie 4.0 Working Group”, Frankfurt am Main: Forschungsunion, 2013.

KAMBLE, S., GUNASEKARAN, A., GAWANKAR, S.A. “Sustainable Industry 4.0 framework: A systematic literature review identifying the current trends and future perspectives”, **Process Safety and Environmental Protection**, v. 117, p. 408-425, 2018.

KAUR, H. “Modelling internet of things driven sustainable food security system”, **Benchmarking**, v. ahead-of-print, n. ahead-of-print, 2019.

KHAN, Z., VORLEY, T. “Big data text analytics: An enabler of knowledge management”, **Journal of Knowledge Management**, v. 21, p. 18-34, 2017.

KHURSHEED, A., KUMAR, M, SHARMA, M. “Security against cyber-attacks in food industry”, **International Journal of Control Theory and Applications**, v.9, n.17, p. 8623-8628, 2016.

KIEL, D., MÜLLER, J.M., ARNOLD, C., VOIGT, K.I. “Sustainable industrial value creation: Benefits and challenges of industry 4.0”, **International Journal of Innovation Management**, v. 21, n. 8, 2017.

KIETZMANN, J., PITT, L., BERTHON, P. “Disruptions, decisions, and destinations: enter the age of 3-D printing and additive manufacturing”, **Business Horizons**, v. 58, n. 2, p. 209-215, 2015.

KORNER, M.E.H., LAMBÁN, M.P., ALBAJEZ, J.A., SANTOLARIA, J., CORRALES, L.D.C., ROYO, J. “Systematic literature review: Integration of additive manufacturing and industry 4.0”, **Metals**, v. 10, n. 8, 2020.

KUMAR, P., SINGH, R. K., KUMAR, V. “Managing supply chains for sustainable operations in the era of industry 4.0 and circular economy: Analysis of barriers”, **Resources, Conservation and Recycling**, v. 164, 2021.

KUMAR, R., SINGH, S. P., LAMBA, K. “Sustainable robust layout using Big Data approach: A key towards industry 4.0”, **Journal of Cleaner Production**, v. 204, p. 643-

659, 2018.

LAMBA, K., SINGH, S.P. “Dynamic supplier selection and lot-sizing problem considering carbon emissions in a big data environment”, **Technological Forecasting and Social Change**, v. 144, p. 573-584, 2018

LAMBA, K., SINGH, S.P. “Big data in operations and supply chain management: Current trends and future perspectives”, **Production Planning and Control**, v. 28, n.11-12, p. 877-890, 2017.

LANEY, D. “3D data management: Controlling data volume, velocity and variety”, **META group research note**, v. 6, n. 70, 2001.

LAUTERBACH, A. “Artificial intelligence and policy: quo vadis?”, **Digital Policy, Regulation and Governance**, v. 21, n. 3, p. 238-263, 2019.

LEE, J., BAGHERI, B., KAO, H.A. “A cyber-physical systems architecture for industry 4.0-based manufacturing systems”, **Manufacturing Letters**, Vol. 3, p. 18-23, 2015.

LEKAN, A., AIGBAVBOA, C., BABATUNDE, O., OLABOSIPO, F., CHRISTIANA, A. “Disruptive technological innovations in construction field and fourth industrial revolution intervention in the achievement of the sustainable development goal 9”, **International Journal of Construction Management**, 2020.

LENG, J., RUAN, G., JIANG, P., XU, K., LIU, Q., ZHOU, X., LIU, C. “Blockchain-empowered sustainable manufacturing and product lifecycle management in industry 4.0: A survey”, **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 132, 2020.

LIAO, Y., LOURES, E.R., DESCHAMPS, F., BREZINSKI, G.,VENÂNCIO, A. “The impact of the fourth industrial revolution: a cross-country/region comparison”, **Production**, v. 28, 2018.

LIAO, Y., DESCHAMPS, F., LOURES, E.F.R., RAMOS, L.F.P. “Past, Present and Future of Industry 4.0 - A Systematic Literature Review and Research Agenda Proposal”, **International Journal of Production Research**, v. 55, n. 12, p. 3609-3629, 2017.

LIEDER, M., ASIF, F.M.A., RASHID, A., MIHELIČ, A., KOTNIK, S. “Towards circular economy implementation in manufacturing systems using a multi-method simulation approach to link design and business strategy”, **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 93, p. 1953-1970, 2017.

LIN, K., SHYU, J., DING, K. “A cross-strait comparison of innovation policy under industry 4.0 and sustainability development transition”, **Sustainability**, v. 9, n. 786, 2017.

LIU, S., YANG, Y., QU, W.G., LIU, Y. “The business value of cloud computing: the partnering agility perspective”, **Industrial Management and Data Systems**, v. 116, n. 6, p. 1160-1177, 2016.

LU, Y., MORRIS, K.C., FRECHETTE, S. “Current standards landscape for smart manufacturing systems”, **National Institute of Standards and Technology**, **NISTIR 8107**, 2016.

LUTHRA, S., KUMAR, A., ZAVADSKAS, E.K., MANGLA, S.K., GARZA-REYES, J.A. “Industry 4.0 as an enabler of sustainability diffusion in supply chain: an analysis of influential strength of drivers in an emerging economy”, **International Journal of Production Research**, v. 58, n. 5, p. 1505-1521, 2020.

LUTHRA, S., MANGLA, S. K., SHANKAR, R., GARG, C. P., JAKHAR, S. “Modelling critical success factors for sustainability initiatives in supply chains in Indian context using Grey-DEMATEL”, **Production Planning and Control**, v.29, n. 9, p. 705-728, 2018.

LUTHRA, S., MANGLA, S.K. “Evaluating challenges to Industry 4.0 initiatives for supply chain sustainability in emerging economies”, **Process Safety and Environmental Protection**, v. 117, p. 168-179, 2018.

MABKHOT, M.M., FERREIRA, P., MAFFEI, A., PODRŽAJ, P., MĄDZIEL, M., ANTONELLI, D., LANZETTA, M., BARATA, J., BOFFA, E., FINŽGAR, M., PAŚKO, Ł., MINETOLA, P., CHELLI, R., NIKGHADAM-HOJJATI, S., WANG, X.V., PRIARONE, P.C., LUPI, F., LITWIN, P., STADNICKA, D., LOHSE, N. “Mapping industry 4.0 enabling technologies into united nations sustainability development goals”, **Sustainability**, v. 13, n. 5, 2021.

MACHADO, C.G., WINROTH, M.P., DA SILVA, E.H.D.R. “Sustainable manufacturing in Industry 4.0: an emerging research agenda”, **International Journal of Production Research**, v. 58, n. 5, p. 1462–1484, 2020.

MADAKAM, S., RAMASWAMY, R., TRIPATHI, S. “Internet of Things (IoT): A Literature Review”, **Journal of Computer and Communications**, v. 3, n. 5, 2015.

MADAN SHANKAR, K., KANNAN, D., UDHAYA KUMAR, P. “Analyzing sustainable manufacturing practices – a case study in Indian context”, **Journal of Cleaner Production**, 164, p. 1332-1343, 2017.

MADURAI ELAVARASAN, R., PUGAZHENDHI, R. “Restructured society and environment: A review on potential technological strategies to control theCOVID-19

pandemic", **Science of The Total Environmental**, 725, 2020.

MAISIRI, W., VAN DYK, L., COEZTEE, R. "Factors that inhibit sustainable adoption of industry 4.0 in the South African manufacturing industry", **Sustainability**, v. 13, n. 3, p. 1-21, 2021.

MAJEED, A., LV, J., PENG, T. "A framework for big data driven process analysis and optimization for additive manufacturing", **Rapid Prototyping Journal**, v. 25, n. 2, p. 308-321, 2019.

MANAVALAN, E., JAYAKRISHNA, K. "A review of Internet of Things (IoT) embedded sustainable supply chain for industry 4.0 requirements", **Computers & Industrial Engineering**, v. 127, p. 925-953, 2019.

MANGLA, S.K., LUTHRA, S., MISHRA, N., SINGH, A., RANA, N.P., DORA, M., DWIVEDI, Y. "Barriers to effective circular supply chain management in a developing country context", **Production Planning and Control**, v. 29, n. 6, p. 551-569, 2018.

MAQUEIRA, J.M., MOYANO, J., BRUQUE, S., "Drivers and consequences of an innovative technology assimilation in the supply chain: cloud computing and supply chain integration", **International Journal of Production Research**, v. 57, n. 7, p. 2083-2103, 2019.

MARGHERITA, E. G., BRACCINI, A. M. "Industry 4.0 Technologies in Flexible Manufacturing for Sustainable Organizational Value: Reflections from a Multiple Case Study of Italian Manufacturers", **Information Systems Frontiers**, 2020.

MARHEFKA, S., LOCKHART, E., TURNER, D.A. "Achieve Research Continuity During Social Distancing by Rapidly Implementing Individual and Group Videoconferencing with Participants: Key Considerations, Best Practices, and Protocols", **AIDS and Behavior**, v. 24, n. 7, p. 1983-1989, 2020.

MARQUARDT, T., ZHENG, E., History of 3D printing, 2016. Disponível em: https://blogs.lawrence.edu/makerspace/history/ Acesso em 05 de maio de 2021.

MARSTON, S., LI, Z., BANDYOPADHYAY, S., ZHANG, J., GHALSASI, A. "Cloud computing – the business perspective", **Decision Support Systems**, v. 51, n. 1, p. 176-189, 2011.

MARTINEZ, V., ZHAO, M., BLUJDEA, C., HAN, X., NEELY, A., ALBORES, P., "Blockchain-driven customer order management", **International Journal of Operations and Production Management**, v. 39, n. 6, p. 993-1022, 2019.

MARTINEZ-JURADO, P.J., MOYANO-FUENTES, J. “Lean management, supply chain management and sustainability: a literature review”, **Journal of Cleaner Production**, v. 85, n. 1, p. 134-150, 2014.

MARTÍNEZ-OLVERA, C., MORA-VARGAS, J.A. “Comprehensive Framework for the Analysis of Industry 4.0 Value Domains”, **Sustainability**, v. 11, 2019.

MASTOS, T. D., NIZAMIS, A., VAFEIADIS, T., ALEXOPOULOS, N., NTINAS, C., GKORTZIS, D., PAPADOPOULOS, A., IOANNIDIS, D., TZOVARAS, D. “Industry 4.0 sustainable supply chains: An application of an IoT enabled scrap metal management solution”, **Journal of Cleaner Production**, v. 269, 2020.

MCGOWAN HE. How the coronavirus pandemic is accelerating the future of work. Forbes Magazine, 2020 Disponível em: https:// https://www.forbes.com/sites/heathermcgowan/2020/03/23/the-coronavirus-pandemic-accelerates-the-future-of-work-and-provides-opportunity/?sh=4bc2c9b2317f. Acesso em: 05 de maio de 2021.

MEHRPOUYA, M., DEHGHANGHADIKOLAEI, A., FOTOVVATI, B., VOSOOGHNIA, A., EMAMIAN, S.S., GISARIO, A. “The potential of additive manufacturing in the smart factory industrial 4.0: A review”, **Applied Sciences**, v. 9, n. 18, 2019.

MELL, P., GRANCE, T. “The NIST Definition of Cloud Computing – Recommendations of the National Institute of Standards and Technology”, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, MD, 2011.

MIAN, S. H., SALAH, B., AMEEN, W., MOIDUDDIN, K., ALKHALEFAH, H. “Adapting universities for sustainability education in industry 4.0: Channel of challenges and opportunities”, **Sustainability**, v. 12, n. 15, 2020.

MIAU, S., YANG, J.M., “Bibliometrics-based evaluation of the Blockchain research trend: 2008–March 2017”, **Technology Analysis & Strategic Management**, v. 30, n. 9, p. 1029-1045, 2018.

MICIETA, B., BINASOVA, V., LIESKOVSKY, R., KRAJCOVIC, M., DULINA, L. “Product segmentation and sustainability in customized assembly with respect to the basic elements of industry 4.0”, **Sustainability**, v. 11, n. 21, 2019.

MISAWA, M., KUDO, S., MORI, Y., CHO, T., KATAOKA, S., YAMAUCHI, A., OGAWA, Y., MAEDA, Y., TAKEDA, K., ICHIMASA, K., NAKAMURA, H., YAGAWA, Y., TOYOSHIMA, N., OGATA, N., KUDO, T., HISAYUKI, T., HAYASHI, T., WAKAMURA, K., BABA, T., ISHIDA, F., ITOH, H., ROTH, H., ODA, M., MORI, K. "Artificial Intelligence-Assisted Polyp Detection for Colonoscopy: Initial Experience", **Gastroenterology**, v.154, n. 8, 2018.

MITTAL, S., KHAN, M.A., ROMERO, D., WUEST, T. "A critical review of smart manufacturing and industry 4.0 maturity models: implications for small and medium-sized enterprises (SMEs)", **Journal of Manufacturing Systems**, v. 49, p. 194-214, 2018.

MODGIL, S., GUPTA, S., BHUSHAN, B. "Building a living economy through modern information decision support systems and UN sustainable development goals", **Production Planning and Control**, v. 31, n. 11-12, p. 967-987, 2020.

MOHER, D., LIBERATI, A., TETZLAFF, J., ALTMAN, D.G., The PRISMA Group, "Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses: The PRISMA Statement", **Journal of Clinical Epidemiology**, v. 62, p. 1006–1012, 2009.

MOL, M.P.G., CALDAS, S. "Can the human coronavirus epidemic also spread through solid waste?", **Waste Management & Research**, v.38, n. 5, p. 485-486, 2020.

MONOSTORI, L. "Cyber-physical production systems: Roots, expectations and R&D challenges", **Procedia CIRP**, v. 17, p. 9-13, 2014.

MORELLA, P., LAMBÁN, M.P., ROYO, J., SÁNCHEZ, J.C., CORRALES, L.D.C.N. "Development of a new green indicator and its implementation in a cyber–physical system for a green supply chain", **Sustainability**, v. 12, n. 20, 2020.

MOSCONI, F. "The New European Industrial Policy: Global Competitiveness and the Manufacturing Renaissance", Routledge, London, 2015.

MUHAMMAD, S., LONG, X., SALMAN, M. "COVID-19 pandemic and environmental pollution: A blessing in disguise?", **Science of the Total Environment**, v. 728, n. 1-5, 2020.

MÜLLER, J.M., KIEL, D., VOIGT, K.I. "What drives the implementation of Industry 4.0? The role of opportunities and challenges in the context of sustainability", **Sustainability**, v. 10, n. 247, 2018.

MÜLLER, J.M., VOIGT, K.I. "Sustainable Industrial Value Creation in SMEs: A Comparison between Industry 4.0 and Made in China 2025", **International Journal of**

Precision Engineering and Manufacturing - Green Technology, v. 5, n. 5, p. 659-670, 2018.

MURDOCH, T.B., DETSKY, A.S. "The Inevitable Application of Big Data to Health Care", **JAMA**, v. 309, n. 13, 2013.

MURRAY, N., BUCKLEY, J., SEERY, N., ROWAN, N.J. "Blending immersive and educational technologies to inform sustainability and diversification of workforce training through machine interface learning using sterilization technologies as model- quo vadis?", Conference: 10th Kilmer Conference, 2019.

NADERI, M., ARES, E., PELÁEZ, G., PRIETO, D., ARAÚJO, M. "Sustainable operations management for industry 4.0 and its social return", **IFAC-PapersOnLine**, v. 52, n. 13, p. 457-462, 2019.

NAGY, J., OLÁH, J., ERDEI, E., MATÉ, D., POPP, J. "The role and impact of industry 4.0 and the internet of things on the business strategy of the value chain-the case of hungary", **Sustainability**, v. 10, n. 10, 2018.

NAKANISHI, H., Modern Society Has Reached Its Limits, "Society 5.0" Will Liberate us, World Economic Forum, Davos, 2019.

NAM, T. "Technology usage, expected job sustainability, and perceived job insecurity", **Technological Forecasting & Social Change**, v. 138, p. 155-165, 2019.

NARA, E. O. B., DA COSTA, M. B., BAIERLE, I. C., SCHAEFER, J.L., BENITEZ, G.B., DOS SANTOS, L.M.A.G., BENITEZ, L.B. "Expected impact of industry 4.0 technologies on sustainable development: A study in the context of Brazil's plastic industry", **Sustainable Production and Consumption**, v. 25, p. 102-122, 2021.

NARWANE, V. S., RAUT, R. D., YADAV, V. S., SINGH, A.R. "Barriers in sustainable industry 4.0: a case study of the footwear industry", **International Journal of Sustainable Engineering**, 2020.

NEFFATI, O.S., SETIAWAN, R., JAYANTHI, P., VANITHAMANI, S., SHARMA, D.K., REGIN, R., MANI, D., SENGAN, S. "An educational tool for enhanced mobile e -Learning for technical higher education using mobile devices for augmented reality", **Microprocessors and Microsystems**, v. 83, 2021.

NERINI, F.F., TOMEI, J., TO, L.S., BISAGA, I., PARIKH, P., BLACK, M., MILLIGAN, B. "Mapping Synergies and Trade-Offs between Energy and the Sustainable Development Goals", **Nature Energy**, v. 3, n. 1, p. 10-15, 2018.

NGUYEN, T., LI, Z.H.O.U., SPIEGLER, V., IEROMONACHOU, P., LIN, Y. “Big data analytics in supply chain management: a state-of-the-art literature review”, **Computers & Operations Research**, v. 98, p. 254-264, 2018.

NIKOLAOU, I.E., EVANGELINOS, K.I., ALLAN, S. “A reverse logistics social responsibility evaluation framework based on the triple bottom line approach”, **Journal of Cleaner Production**, v. 56, n. 1, p. 173-184, 2013.

NOVAIS, L., MAQUEIRA MARÍN, J. M., MOYANO-FUENTES, J. “Lean Production implementation, Cloud-Supported Logistics and Supply Chain Integration: interrelationships and effects on business performance”, **International Journal of Logistics Management**, v. 31, n. 3, p. 629–663, 2020.

NOVAIS, L., MAQUEIRA, J. M., ORTIZ-BAS, Á. “A systematic literature review of cloud computing use in supply chain integration”, **Computers and Industrial Engineering**, v. 129, p. 296–314, 2019.

NUNES, V.A., BARBOSA, G.F. “Simulation-based analysis of AGV workload used on aircraft manufacturing system: A theoretical approach”, **Acta Scientiarum - Technology**, v. 42, n. 1, p. 1-10, 2020.

OESTERREICH, T.D., FRANK T. “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**, v. 83, p. 121-39, 2016.

OLÁH, J., ABURUMMAN, N., POPP, J., KHAN, M.A., HADDAD, H., KITUKUTHA, N. “Impact of industry 4.0 on environmental sustainability”, **Sustainability**, v. 12, n. 11, 2020.

PANDEY, S., SINGH, R.K., GUNASEKARAN, A., KAUSHIK, A. “Cyber security risks in globalized supply chains: conceptual framework”, **Journal of Global Operations and Strategic Sourcing**, v. 13, n. 1, p. 103-128, 2020.

PASI, B.N., MAHAJAN, S.K., RANE, S.B. “The current sustainability scenario of Industry 4.0 enabling technologies in Indian manufacturing industries”, **International Journal of Productivity and Performance Management**, 2020.

PEREIRA, A.C., ROMERO, F. “A review of the meanings and the implications of the Industry 4.0 concept”, **Procedia Manufacturing**, v. 13, p. 1206-1214, 2017.

POTOCAN, V., MULEJ, M., NEDELKO, Z. “Society 5.0: balancing of Industry 4.0, economic advancement and social problems”, **Kybernetes**, v. 50, n. 3, p. 794-811, 2020.

PRAUSE, G., ATARI, S. “On Sustainable Production Networks For Industry 4.0*”, **Entrepreneurship and Sustainability Issues**, v. 4, n. 4, p. 421-431, 2017.

QIN, J., LIU, Y., GROSVENOR, R. “A categorical framework of manufacturing for Industry 4.0 and beyond”, **Procedia CIRP**, v. 52, p. 173-178, 2016.

RAJPUT, S., SINGH, S.P. “Connecting circular economy and industry 4.0”, **International Journal of Information Management**, v. 49, p. 98-113, 2019a.

RAJPUT, S., SINGH, S.P. “Identifying Industry 4.0 IoT enablers by integrated PCA-ISM-DEMATEL approach”, **Management Decision**, v. 57, n. 8, p. 1784-1817, 2019b

RAMADAN, M., SHUQQO, H., QTAISHAT, L., ASMAR, H., SALAH, B. “Sustainable Competitive Advantage Driven by Big Data Analytics and Innovation”, **Applied Sciences**, v. 10, n. 19, 2020.

RASHID, A., TJAHJONO, B. “Achieving manufacturing excellence through the integration of enterprise systems and simulation”, **Production Planning & Control**, v. 27, n. 10, p. 837-852, 2016.

RAUT, R.D., MANGLA, S.K., NARWANE, V.S., GARDAS, B.B, PRIYADARSHINEE, P., NARKHEDE, B.E. “Linking big data analytics and operational sustainability practices for sustainable business management”, **Journal of Cleaner Production**, v. 224, p. 10-24, 2019.

REISCHAUER, G. “Industry 4.0 as policy-driven discourse to institutionalize innovation systems in manufacturing”, **Technological Forecasting and Social Change**, v. 132, p. 26-33, 2018.

ROBINSON, D. The companies repurposing manufacturing to make key medical kit during Covid-19 pandemic, 2020. Disponível em: https://www.nsmedicaldevices.com/analysis/companies-ventilators-shortage coronavirus/ Acesso em 05 de maio de 2021.

ROBLEK, V., THORPE, O., BACH, M.P., JERMAN, A., MEŠKO, M. “The fourth industrial revolution and the sustainability practices: A comparative automated content analysis approach of theory and practice”, **Sustainability**, v. 12, n. 20, 2020.

RÖNNLUND, I., REUTER, M., HORN, S., AHO, J., AHO, M., PÄÄLLYSAHO, M., YLIMÄKI, L., PURSULA, T. “Eco- Efficiency Indicator Framework Implemented in the Metallurgical Industry: Part 1-A Comprehensive View and Benchmark”, **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 21, n. 10, p. 1473-1500, 2016.

ROSA, P., SASSANELLI, C., URBINATI, A., CHIARONI, D., TERZI, S. “Assessing relations between Circular Economy and Industry 4.0: a systematic literature review", **International Journal of Production Research**, v. 58, n. 6, p. 1662-1687, 2020.

RÜßMANN, M., LORENZ, M., GERBERT, P., WALDNER, M., JUSTUS, J., ENGEL, P., HARNISCH, M. “Industry 4.0 The Future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries”. Boston Consulting Group: Boston, MA, USA, p. 1–14, 2015.

SAADAT, S., RAWTANI, D., MUSTANSAR, C. “Environmental perspective of COVID-19”, **Science of the Total Environment**, 728, 2020.

SALAH, B., ABIDI, M. H., MIAN, S. H., KRID, M., ALKHALEFAH, H., ABDO, A. “Virtual reality-based engineering education to enhance manufacturing sustainability in industry 4.0”, **Sustainability**, v. 11, n. 5, 2019.

SANCHEZ, A.J., YUSTE, A.J., MUNOZ, J.E., GARCIA, S., PEREZ, R., MAQUEIRA, J.M., BRUQUE, S. “Real- time image texture analysis in quality management using grid computing: an application to the MDF manufacturing industry”, **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 58, n. 9-12, p. 1217-1225, 2012.

SANDERS, A., CHOLA E., JENS, W. “Industry 4.0 Implies Lean Manufacturing: Research Activities in Industry 4.0 Function as Enablers for Lean Manufacturing”, **Journal of Industrial Engineering and Management**, v. 9, n. 3, p. 811-833, 2016.

SANIUK, S., GRABOWSKA, S., GAJDZIK, B. “Personalization of products in the industry 4.0 concept and its impact on achieving a higher level of sustainable consumption”, **Energies**, v. 13, n. 22, 2020.

SARTAL, A., BELLAS, R., MEJÍAS, A. M., GARCÍA-COLLADO, A. “The sustainable manufacturing concept, evolution and opportunities within Industry 4.0: A literature review”, **Advances in Mechanical Engineering**, v. 12, n. 5, p. 1-17, 2020.

SCAVARDA, A., DAÚ, G., SCAVARDA, L.F., CAIADO, R.G.G. “An analysis of the corporate social responsibility and the Industry 4.0 with focus on the youth generation: A sustainable human resource management framework”, **Sustainability**, v. 11, n. 18, 2019.

SCHUH, G., POTENTE, T., WESCH-POTENTE, C., HAUPTVOGEL, A. “Sustainable increase of overhead productivity due to cyber-physical-systems”, In: Proceedings of the 11th Global Conference on Sustainable Manufacturing – Innovation Solutions, pp. 332–335, 2013.

SCHULTE, P. A., STREIT, J. M. K., SHERIFF, F., DELCLOS, G., FELKNOR, S.A., TAMERS, S.L., FENDINGER, S., GROSCH, J., SALA, R. “Potential Scenarios and Hazards in the Work of the Future: A Systematic Review of the Peer-Reviewed and Gray Literatures”, **Annals of work exposures and health**, v. 64, n. 8, p. 786–816, 2020.

SCHWAB, K. “The Fourth Industrial Revolution”, World Economic Forum, Geneva, Switzerland, 2016.

SCHWAB, L., GOLD, S., REINER, G. “Exploring financial sustainability of SMEs during periods of production growth: a simulation study”, **International Journal of Production Economics**, v. 212, p. 8-18, 2019.

SCUOTTO, V., SANTORO, G., BRESCIANI, S., DEL GIUDICE, M. “Shifting intra and inter organizational innovation processes toward digital business: An empirical analysis of SMEs”, **Creativity and Innovation Management**, v. 26, n. 3, p. 247–255, 2017.

SHARMA, M., KAMBLE, S., MANI, V., SEHRAWAT, R., BELHADI, A., SHARMA, V. “Industry 4.0 adoption for sustainability in multi-tier manufacturing supply chain in emerging economies”, **Journal of Cleaner Production**, v. 281, 2021.

SHARMA, R., JABBOUR, C.J.C., JABBOUR, A.B.L.S. "Sustainable manufacturing and industry 4.0: what we know and what we don’t", **Journal of Enterprise Information Management**, v. 34, n. 1, p. 230-266, 2020a.

SHARMA, S., ZHANG, M., ANSHIKA, GAO, J., ZHANG, H., KOTA, S.H. “Effect of restricted emissions during COVID-19 on air quality in India”, **Science of the Total Environment**, 728, 2020b.

SHIROISHI, Y., UCHIYAMA, K., SUZUKI, N. “Society 5.0: for human security and well-being”, **Computer**, v. 51, n. 7, p. 91-95, 2018.

SHOU, Y., ZHAO, X., CHEN, L. “Operations strategy of cloud-based firms: achieving firm growth in the Big Data era”, **International Journal of Operations and Production Management**, v. 40, n. 6, p. 873-896, 2019.

SILTORI, P. F. S., ANHOLON, R., RAMPASSO, I.S., QUELHAS, O.G., SANTA-EULALIA, L.A., FILHO, W.L. “Industry 4.0 and corporate sustainability: An exploratory

analysis of possible impacts in the Brazilian context", **Technological Forecasting & Social Change**, v. 167, 2021.

SIMPSON, R., ROBINSON, L. "Rehabilitation following critical illness in people with COVID-19 infection", **American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation**, v. 99, n. 6, p. 470-474, 2020.

SOLMAZ, S., ALFARO, J.L.D., SANTOS, P., PUYVELDE, P.V., GERVEN, T.V. "A practical development of engineering simulation-assisted educational AR environments", **Education for Chemical Engineers**, v. 35, p. 81–93, 2021.

SONY, M., NAIK, S. "Industry 4.0 integration with socio-technical systems theory: A systematic review and proposed theoretical model", **Technology in Society**, v. 61, 2020.

SONY, M. "Industry 4.0 and lean management: a proposed integration model and research propositions", **Production & Manufacturing Research**, v. 6, n. 1, p. 416-432, 2018.

SPANGENBERG, J.H. "Hot Air or Comprehensive Progress? A Critical Assessment of the SDGs", **Sustainable Development**, v. 25, n. 4, p. 311-321, 2017.

SPERLING, E. Security holes in machine learning and AI, 2018. Disponível em: https://semiengineering.com/security-holes-in-machine-learning-and-ai/ Acesso em: 05 de maio de 2021.

SRIDHAR, K., JONES, G. "The three fundamental criticisms of the Triple Bottom Line approach. An empirical study to link sustainability reports in companies based in the Asia-Pacific region and TBL shortcomings", **Asian Journal of Business Ethics**, v. 2, n. 1, p. 91-111, 2013.

STEENHUIS, H.J., PRETORIUS, L. "The additive manufacturing innovation: a range of implications", **Journal of Manufacturing Technology Management**, Vol. 28 No. 1, p. 122-143, 2017.

STEFFEN, B., EGLI, F., PAHLE, M., SCHMIDT, T.S. "Navigating the Clean Energy Transition in the COVID-19 Crisis", **Joule**, v. 4, n.6, p. 1137-1141, 2020.

ŠTEFKO, R., VAŠANICOVÁ, P., JENCOVÁ, S., PACHURA, A., "Management and Economic Sustainability of the Slovak Industrial Companies with Medium Energy Intensity", **Energies**, v. 14, n. 2, 2021.

STOCK, T., OBENAUS, M., KUNZ, S., KOHL, H. "Industry 4.0 as enabler for a sustainable development: A qualitative assessment of its ecological and social potential", **Process Safety and Environmental Protection**, v. 118, p. 254-267, 2018.

STOCK, T., SELIGER, G. “Opportunities of sustainable manufacturing in industry 4.0”, **Procedia CIRP**, v. 40, p. 536-541, 2016.

SUBRAMANIAN, N., ABDULRAHMAN, M.D., ZHOU, X., “Reprint of integration of logistics and cloud computing service providers: cost and green benefits in the Chinese context”, **Transportation Research**, v. 74, p. 81-93, 2015.

SUN, L., WANG, Y., HUA, G., CHENG, T.C.E., DONG, J. “Virgin or recycled? Optimal pricing of 3D printing platform and material suppliers in a closed-loop competitive circular supply chain”, **Resources, Conservation & Recycling**, v. 162, 2020.

SUNDARAKANI, B., KAMRAN, R., MAHESHWARI, P., JAIN, V. “Designing a hybrid cloud for a supply chain network of Industry 4.0: a theoretical framework”, **Benchmarking**, v. ahead-of-print, n. ahead-of-print, 2019.

SUNG, T.K. “Industry 4.0: a Korea perspective”, **Technological Forecasting and Social Change**, v. 132, p. 40-45, 2018.

TAKAKUWA S. “The use of simulation in activity-based costing for flexible manufacturing systems”, in Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference, p. 793-800.

TAMÁS, P., TOLLÁR, S., ILLÉS, B., BÁNYAI, T., TÓTH, A.B., SKAPINYECZ, R. “Decision support simulation method for process improvement of electronic product testing systems”, **Sustainability**, v. 12, n. 7, 2020.

TAMÁS, P., ILLÉS, B., TOLLÁR, S. “Simulation of a flexible manufacturing system”, **Advanced Logistic Systems**, v. 6, n. 1, p. 25-32, 2012.

TAYLOR, S.J.E. “Distributed simulation: State-of-the-art and potential for operational research”, **European Journal of Operational Research**, v. 273, n. 1, p. 1-19, v. 2019.

TERRY, S., LU, H., FIDAN, I., ZHANG, Y., TANTAWI, K., GUO, T., ASIABANPOUR, B. “The Influence of Smart Manufacturing towards Energy Conservation: A Review”, **Technologies**, v. 8, n. 31, 2020.

THOBEN, K.D., WIESNER, S., WUEST, T. “Industrie 4.0 and smart manufacturing-a review of research issues and application examples”, **International Journal of Automation Technology**, v. 11, p. 4-16, 2017.

TIMMERS, T., JANSSEN, L., STOHR, J., MURK J.L., BERREVOETS M.A.H. “Using eHealth to support COVID-19 education, self-assessment, and symptom monitoring in the Netherlands: Observational study”, **JMIR mHealth and uHealth**, v. 8, n. 6, 2020.

TIRABENI, L., DE BERNARDI, P., FORLIANO, C., FRANCO, M. “How can organisations and business models lead to a more sustainable society? A framework from a systematic review of the industry 4.0”, **Sustainability**, v. 11, n. 22, 2019.

TIWARI, K., KHAN, M.S. “Sustainability accounting and reporting in the industry 4.0”, **Journal of Cleaner Production**, v. 258, 2020.

TOBÍAS, A., CARNERERO, C., RECHE, C., MASSAGUÉ, J., VIA, M., MINGUILLÓN, M.C., ALASTUEY, A., QUEROL, X. “Changes in air quality during the lockdown in Barcelona (Spain) one month into the SARS-CoV-2 epidemic”, **Science of the Total Environment**, 726, 2020.

TOMBIDO, L.L., LOUW, L., VAN EEDEN, J. “A systematic review of 3pls’ entry into reverse logistics”, **South African Journal of Industrial Engineering**, v. 29, n. 3, p. 235-260, 2018.

TOZANLI, Ö., KONGAR, E., GUPTA, S.M. “Trade-in-to-upgrade as a marketing strategy in disassembly-to-order systems at the edge of blockchain technology”, **International Journal of Production Research**, v. 58, n. 23, p. 7183-7200, 2020.

TSENG, M.L., TAN, R.R., CHIU, A.S., CHIEN, C.F., KUO, T.C. “Circular economy meets industry 4.0: can big data drive industrial symbiosis?” **Resources Conservation & Recycling**, v. 131, p. 146–147, 2018.

UN. A ONU e o meio ambiente, 2020a. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/91223-onu-e-o-meio-ambiente. Acesso em: 05 de maio de 2021.

UN. Contágio ou fome, o dilema dos trabalhadores informais durante a pandemia de COVID-19, 2020b. Disponível https://nacoesunidas.org/contagio-ou-fome-o-dilema-dos-trabalhadores informais-durante-a-pandemia-de-covid-19/amp/ Acesso em: 05 de maio de 2021.

UN. COVID-19: Desenvolvimento Humano deve retroceder no mundo pela primeira vez desde 1990, 2020c. Disponível em: https://nacoesunidas.org/covid-19-desenvolvimento-humano-deve-retroceder-no-mundo-pela-primeira-vez-desde-1990/ Acesso em 12 de junho de 2021.

UN. Covid-19: OMS divulga guia com cuidados para saúde mental durante Pandemia, 2020d. Disponível em: https://news.un.org/pt/story/2020/03/1707792. Acesso em 05 de maio de 2021.

UN. Pandemia pode atrasar Objetivos de Desenvolvimento Sustentável em décadas, 2020e. Disponível em: https://news.un.org/pt/story/2020/07/1720061. Acesso em 05 de maio de 2021.

UN. PNUMA lista 6 fatos sobre coronavírus e meio ambiente, 2020f. Disponível em: https://brasil.un.org/pt.br/search?key=PNUMA+lista+6+fatos+sobre+coronav%C3%ADrus+e+meio+ambiente/Acesso em 05 de maio de 2021.

UN. Sustainable Development Goals, 2016. Disponível em: https://www.un.org/ sustainabledevelopment/sustainable-development-goals/ Acesso em 05 de maio de 2021.

UN. Transforming our world: the 2030 agenda for sustainable development, 2015. Disponível em: https://www.un.org/en/ga/president/69/pdf/letters/20150812-post2015dev.pdf. Acesso em 05 de maio de 2021.

WANG, Q., SU, M. "A preliminary assessment of the impact of COVID-19 on environment – A case study of China", **Science of The Total Environment**, 728, 2020.

WANG, Y., HAN, J.H., BEYNON-DAVIES, P. "Understanding blockchain technology for future supply chains: a systematic literature review and research agenda", **Supply Chain Management**, v. 24, n. 1, p. 62-84, 2019a.

WANG, Y., SINGGIH, M., WANG, J., RIT, M., "Making sense of blockchain technology: how will it transform supply chains?", **International Journal of Production Economics**, v. 211, p. 221- 236, 2019b.

WEF. Impact of the Fourth Industrial Revolution on Supply Chains, 2017. Disponível em: http://www3.weforum.org/docs/WEF_Impact_of_the_Fourth_Industrial_Revolution_on_Supply_Chains_.pdf. Acesso em 05 de maio de 2021.

WCED. Our common future. In: World Commission on Environment and Development. Oxford University Press, Oxford, 1987.

WITKOWSKI, K. "Internet of things, Big data, industry 4.0- innovative solutions in logistics and supply Chain management". Paper Presented in 7th International Conference on Engineering, Project, and Production Management, v. 182, p. 763–769, 2017.

WHO. COVID-19 Public Health Emergency of International Concern (PHEIC) Global research and innovation fórum, 2020. Disponível em: https://www.who.int/publications/m/item/covid-19-public-health-emergency-of-international-concern-(pheic)-global-research-and-innovation-forum. Acesso em 05 de maio de 2021.

WHO. WHO Coronavirus (COVID-19) Dashboard, 2021. Disponível em: https://covid19.who.int. Acesso em 28 de outubro de 2021.

WOHLERS ASSOCIATES, "Wohlers report 2017, 3D printing and additive manufacturing state of the industry", Annual worldwide progress report, Wohlers Associates, Fort Collins, CO, 2017.

WU, L., SUBRAMANIAN, N., ABDULRAHMAN, M.D., LIU, C., LAI, K.H., PAWAR, K.S. "The impact of integrated practices of lean, green, and social management systems on form sustainability performance–Evidence from Chinese fashion auto-parts suppliers", **Sustainability**, v. 7, n. 4, p. 3838-3858, 2015.

VARELA, L., ARAÚJO, A., ÁVILA, P., CASTRO, H., PUTNIK, G. "Evaluation of the relation between lean manufacturing, industry 4.0, and sustainability", **Sustainability**, v. 11, n. 5, 2019.

VENTER, H.S. "Security issues in the security cyber supply chain in South Africa", **Technovation**, v. 34, n. 7, p. 392-392, 2014.

VIDAL, O.C., KAMINSKI, P.C., NETTO, S.N. "Examples of application of digital factory concepts in the planning of installations for body frames in the Brazilian automotive industry", **Produto & Produção**, v. 10, n. 1, p. 75-84, 2009.

VRCHOTA, J., ŘEHOŘ, P., MAŘÍKOVÁ, M., PECH, M. "Critical success factors of the project management in relation to industry 4.0 for sustainability of projects", **Sustainability**, v. 13, n. 1, 2021.

VRCHOTA, J., PECH, M., ROLÍNEK, L., BEDNÁŘ, J. "Sustainability Outcomes of Green Processes in Relation to Industry 4.0 in Manufacturing: Systematic Review", **Sustainability**, v. 12, n. 15, 2020.

XU, L.D., XU, E.L., LI, L. "Industry 4.0: state of the art and future trends", **International Journal of Production Research**, v. 56, n. 8, p. 2941-2962, 2018.

XUE, L., ZHANG, C., LING, H., ZHAO, X. "Risk mitigation in supply chain digitization: system modularity and information technology governance", **Journal of Management Information Systems**, v. 30, n. 1, p. 325-325, 2013.

YADAV, G., KUMAR, A., LUTHRA, S., GARZA-REYES, J.A., KUMAR, V., BATISTA, L. "A framework to achieve sustainability in manufacturing organisations of developing economies using industry 4.0 technologies' enablers", **Computers in Industry**, v. 122, 2020a.

YADAV, G., LUTHRA, S., JAKHAR, S.K., MANGLA, S.K., RAI, D.P. “A framework to overcome sustainable supply chain challenges through solution measures of industry 4.0 and circular economy: An automotive case”, **Journal of Cleaner Production**, v. 254, 2020b.

YAZDI, P. G., AZIZI, A., HASHEMIPOUR, M. “An empirical investigation of the relationship between overall equipment efficiency (OEE) and manufacturing sustainability in industry 4.0 with time study approach”, **Sustainability**, v. 10, n. 9, 2018.

YERMACK, D., “Corporate governance and Blockchains”, **Review of Finance**, v. 21, n. 1, p. 7-31, 2017.

YU, W., CHAVEZ, R., JACOBS, M.A., WONG, C.Y. “Innovativeness and lean practices for triple bottom line: testing of fit-as-mediation versus fit-as-moderation models”, **International Journal of Operations & Production Management**, v. 40, n. 10, p. 1623-1647, 2020.

ZAMBRANO-MONSERRATE, M.A., ALEJANDRA, M., SANCHEZ-ALCALDE, L. “Indirect effects of COVID-19 on the environment”, **Science of the Total Environment**, 728, 2020.

ZHANG, G., CHEN, C.H., ZHENG, P., ZHONG, R.Y. “An integrated framework for active discovery and optimal allocation of smart manufacturing services”, **Journal of Cleaner Production**, v. 273, 2020a.

ZHANG, F., WU, X., TANG, C.S., FENG, T., DAI, Y. “Evolution of Operations Management Research: from Managing Flows to Building Capabilities”, **Production and Operations Management**, v 29, n. 10, 2020b.

ZHANG, Y.F., REN, S., LIU, Y., SI, S. “Big data based analysis architecture of complex product manufacturing and maintenance process for sustainable production”, **Journal of Cleaner Production,** v.142, p. 626-641, 2017.

ZHOU, K., LIU, T., ZHOU, L. “Industry 4.0: towards future industrial opportunities and challenges”, 12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, **IEEE, Zhangjiajie**, pp. 2147-2152, 2015.

ZHU, Q., SARKIS, J. “Relationships between operational practices and performance among early adopters of green supply chain management practices in Chinese manufacturing enterprises”, **Journal of Operations Management**, v. 22, n 3, p. 265-289, 2004.

ANEXO I – ARTIGOS SELECIONADOS NA BUSCA BIBLIOGRÁFICA

N	Autores	Objetivos
1	Acioli et al. (2021)	Analisar o impacto das tecnologias da indústria 4.0 como facilitadores do desempenho da cadeia de suprimentos em meio ao covid-19.
2	Ahmad et al. (2020)	Investigar os determinantes da adoção de *business intelligence* e analisar como eles podem ajudar a resolver questões de sustentabilidade em empresas têxteis e de vestuário com tecnologias indústria 4.0.
3	Asiimwe, de Kock (2019)	Apresentar uma análise bibliométrica considerando a relação entre os conceitos de sustentabilidade, desenvolvimento sustentável, e sistemas sócio-técnicos, bem como as suas transições com a indústria 4.0.
4	Azizi (2020)	Propor uma arquitetura de rede neural artificial para modelar o comportamento de um algoritmo genético para articulações cardans.
5	Bai et al. (2020)	Examinar as tecnologias da indústria 4.0 na perspectiva de aplicação e implicações para a sustentabilidade, apresentar um framework de medidas para a sustentabilidade, além de desenvolver um método de decisão híbrido.
6	Bányai et al. (2019)	Apresentar um processo de coleta de resíduos das zonas urbanas como um sistema ciberfísico.
7	Beier et al. (2020)	De uma perspectiva sociotécnica, fornecer uma definição do conceito indústria 4.0 baseada nas suas características-chave mais frequentemente citadas, e contribuir com a análise sobre até que ponto este conceito está incorporado com o conceito de sustentabilidade.
8	Birkel, Müller (2021)	Elaborar uma perspectiva holística sobre os potenciais da indústria 4.0 para a gestão da cadeia de suprimentos no que diz respeito ao TBL.
9	Birkel et al. (2019)	Propor um framework de riscos no contexto da indústria 4.0 que está relacionado com o TBL.
10	Bonilla et al. (2018)	Discutir os impactos da sustentabilidade da Indústria 4.0 por meio da implantação, operação e tecnologias, integração e conformidade com os objetivos de desenvolvimento sustentável.
11	Braccini, Margherita (2019)	Investigar o impacto da indústria 4.0 nas dimensões sociais, econômicas e ambientais.
12	Branger, Pang (2015)	Expandir o papel das futuras casas em relação à automatização, sustentabilidade, cuidados de saúde e manufatura.

N	Autores	Objetivos
13	Brozzi et al. (2020)	Investigar o ponto de vista das empresas transformadoras no que tange a implementação da indústria 4.0 e as vantagens que podem contribuir para a sustentabilidade.
14	Dantas et al. (2021)	Identificar como o nexo economia circular e indústria 4.0 e a combinação de práticas voltadas a economia circular e às tecnologias indústria 4.0 poderia contribuir para alcançar os objetivos do desenvolvimento sustentável.
15	Ding (2018)	Identificar as potenciais barreiras de sustentabilidade da cadeia de suprimentos farmacêuticos e investigar de que forma a indústria 4.0 pode ser aplicada nos paradigmas da cadeia de suprimentos farmacêuticos sustentável.
16	Djunaedi (2019)	Verificar os impactos que os serviços de informação intensiva e da cadeia de suprimentos têm no desempenho da dimensão social.
17	Ejsmont et al. (2020)	Avaliar o estado da arte das relações entre a sustentabilidade e a indústria 4.0.
18	Esmaeilian et al. (2020)	Contribuir com uma visão geral da tecnologia *blockchain* e da indústria 4.0 para a sustentabilidade das cadeias de suprimentos.
19	Fathi, Ghobakhloo (2020)	Tratar sobre a otimização do suprimento de materiais de linhas de montagem de modelos mistos.
20	Fatimah et al. (2020)	Por meio das tecnologias da indústria 4.0, desenvolver um sistema de gestão de resíduos sustentável e inteligente.
21	Franciosi et al. (2018)	Identificar futuras direções para pesquisas com enfoque no campo produção sustentável, investigando o papel da manutenção voltada a produção sustentável na ótica da quarta revolução industrial e das tecnologias de capacitação 4.0.
22	Furstenau et al. (2020)	Descrever a relação existente entre a indústria 4.0 e a sustentabilidade.
23	Gajdzik et al. (2020)	Identificar os principais problemas de pesquisa no contexto do desenvolvimento sustentável, na era da implementação da Indústria 4.0.
24	Garcia-Muiña et al. (2020)	Analisar a introdução da sustentabilidade na proposta de valor empresarial, por meio da evolução de um modelo empresarial tradicional para um modelo empresarial sustentável.

N	Autores	Objetivos
25	Garcia-Muiña et al. (2019)	Testar o *ecodesign* como uma ferramenta para definir o ponto de equilíbrio entre sustentabilidade e economia circular no ambiente da produção de telhas cerâmicas, além de apresentar a possibilidade de oportunidades de negócio por meio da transição de um modelo linear para circular.
26	Garrido-Hidalgo et al. (2018)	Encorajar a cooperação de diferentes tecnologias da *internet* das coisas em ambientes industriais para evitar perturbações sociais nos novos paradigmas da indústria 4.0
27	Ghobakhloo, Fathi (2021)	Ajudar a compreender como a indústria 4.0 pode contribuir para a sustentabilidade energética.
28	Ghobakhloo (2020)	Identificar as funções de sustentabilidade da indústria 4.0.
29	Godina et al. (2020)	Contribuir para o conhecimento sobre os impactos da tecnologia de fabrico de aditivos aplicadas em modelos de negócio sustentáveis.
30	Gupta et al. (2021)	Desenvolver um framework baseado em conceitos de economia circular, produção sustentável mais limpa e normas industriais 4.0 para avaliar o desempenho de sustentabilidade das empresas manufatureiras.
31	Harikannan et al. (2020)	Identificar e analisar sistematicamente os motores da integração entre a indústria 4.0 e a sustentabilidade.
32	Iqbal et al. (2020)	Estabelecer os estados de prontidão das tecnologias de manufatura: subtrativa e aditiva e a sua fusão sustentável da perspectiva da indústria 4.0.
33	Ivascu (2020)	Propor um framework hierárquico para a avaliação da sustentabilidade da indústria transformadora na Romênia.
34	Jabbour et al. (2018)	Investigar sobre a integração entre a indústria 4.0 e a produção ambientalmente sustentável.
35	Kamble et al. (2018)	Apresentar diferentes abordagens de pesquisas voltadas à indústria 4.0 e propor um framework sustentável da indústria 4.0 apoiado nas dimensões: tecnologias da indústria 4.0, integração de processos e resultados sustentáveis.
36	Kiel et al. (2017)	Apresentar um framework com os benefícios e desafios sociais, econômicos e ambientais relacionados com a *internet* industrial das coisas.
37	Korner et al. (2020)	Na perspectiva da indústria 4.0, realizar uma análise dos dados bibliométricos as barreiras que envolvem a inovação do modelo empresarial e a sustentabilidade na manufatura aditiva.

N	Autores	Objetivos
38	Kumar et al. (2021)	Analisar estas barreiras para melhorar a sustentabilidade de uma cadeia de abastecimento.
39	Kumar et al. (2018)	Contribuir com a concepção de *layout* sustentável da indústria 4.0 utilizando a abordagem de *big data.*
40	Lekan et al. (2020)	Relacionar a intervenção da inovação disruptiva no contexto da quarta revolução industrial e analisar como esta relação poderia ajudar a alcançar 9 objetivos do desenvolvimento sustentável.
41	Leng et al. (2020)	Analisar como o *blockchain* pode ultrapassar barreiras potenciais para alcançar a sustentabilidade na perspectiva do sistema de produção e da gestão do ciclo de vida do produto.
42	Lin et al. (2017)	Realizar uma comparação entre as políticas de inovação na indústria 4.0 e a transição para o desenvolvimento sustentável.
43	Luthra et al. (2020)	Examinar as dimensões da indústria 4.0 para difundir a sustentabilidade nas cadeias de suprimentos.
44	Luthra, Mangla (2018)	Reconhecer, analisar e abordar os principais conceitos da indústria 4.0 para a sustentabilidade da cadeia de suprimentos, na ótica das economias emergentes e da indústria transformadora indiana.
45	Mabkhot et al. (2021)	Investigar a influência das tecnologias indústria 4.0 sobre os objetivos da sustentabilidade.
46	Machado et al. (2020)	Identificar como a pesquisa sobre produção sustentável pode contribuir para com o desenvolvimento da agenda da indústria 4.0.
47	Maisiri et al. (2021)	Investigar sobre barreiras e motores para a adoção da indústria 4.0.
48	Manavalan, Jayakrishna (2019)	Explorar as potenciais oportunidades na cadeia de suprimentos sustentável integrada na *internet* das coisas para a transformação da Indústria 4.0.
49	Margherita, Braccini (2020)	Analisar a criação de valor das tecnologias indústria 4.0 em fabrico flexível na ótica da sustentabilidade.
50	Mastos et al. (2020)	Fornecer provas do impacto de uma solução *internet* das coisas na sustentabilidade da gestão da cadeia de suprimentos.
51	Mehrpouya et al. (2019)	Organizar um estudo abrangente sobre a tecnologia impressão 3D, além de apresentar as recentes realizações e aplicações industriais.

N	Autores	Objetivos
52	Mian et al. (2020)	Explorar e analisar os fatores que podem influenciar no desenvolvimento da indústria 4.0 nas universidades em prol de uma educação sustentável.
53	Micieta et al. (2019)	Apresentar uma abordagem e uma proposta inovadora da segmentação de produtos na fase de montagem de manufatura personalizada.
54	Müller et al. (2018)	Examinar a relevância das oportunidades e dos desafios relacionados com a implementação da indústria 4.0 no contexto da sustentabilidade, na perspectiva do papel das organizações, como fornecedores e usuários dos motores da indústria 4.0.
55	Müller, Voigt (2018)	Apresentar um contexto de pesquisa englobando o TBL e permitindo uma comparação entre os conceitos indústria 4.0 *e Made in China* 2025.
56	Naderi et al. (2019)	Desenvolver uma metodologia e procedimentos que ajudem a prever o desempenho de um sistema de produção sustentável.
57	Nara et al. (2021)	Propor um modelo orientado para a sustentabilidade para avaliar a influência das tecnologias da indústria 4.0 sobre a métrica sustentável.
58	Narwane et al. (2020)	Identificar e avaliar a inter-relação entre as barreiras encontradas na indústria 4.0 sustentável.
59	Oláh et al. (2020)	Discorrer sobre os efeitos da dimensão ambiental da sustentabilidade e os desafios que a indústria 4.0 enfrenta.
60	Pasi et al. (2020)	Desenvolver um roteiro para a implementação e sustentabilidade da indústria 4.0 por meio da compreensão dos conceitos, dos fatores, das tecnologias e do impacto das tecnologias como facilitadora no TBL.
61	Prause, Atari (2017)	Investigar a relação entre o trabalho em rede, o desenvolvimento organizacional, as condições estruturais de enquadramento e a sustentabilidade no contexto da Indústria 4.0.
62	Salah et al. (2019)	Apresentar uma técnica de utilização de método de visualização baseado na realidade virtual na manufatura.
63	Saniuk et al. (2020)	Analisar as preferências dos consumidores em termos de aquisição de produção personalizada oferecida por meio da implementação da indústria 4.0 e da garantia de consumo e produção sustentáveis.
64	Sartal et al. (2020)	Apresentar uma visão geral dos principais conceitos relacionados com a produção sustentável, e as métricas para avaliar a sustentabilidade das organizações.

N	Autores	Objetivos
65	Scavarda et al. (2019)	Apresentar um framework de gestão sustentável dos recursos humanos, no contexto da dimensão responsabilidade social empresarial e indústria 4.0 e com enfoque na geração jovem.
66	Sharma et al. (2021)	Avaliar os fatores e barreiras para a implementação da indústria 4.0 em cadeias de suprimentos de produção multiníveis.
67	Siltori et al. (2021)	Analisar os impactos da indústria 4.0 na dimensão empresarial considerando o contexto brasileiro.
68	Stock et al. (2018)	Avaliar o potencial de criação de valor industrial na indústria 4.0 e contribuir para com a criação de valor sustentável.
69	Tirabeni et al. (2019)	Investigar os fluxos de pesquisas mais recentes da indústria 4.0 adotando uma abordagem multi-perspectiva.
70	Tiwari, Khan (2020)	Aprofundar o campo de pesquisa voltado a implementação da indústria 4.0 para alcançar os objetivos da sustentabilidade.
71	Varela et al. (2019)	Propor um modelo de equação estrutural para medir quantitativamente os efeitos do *lean manufacturing* e da indústria 4.0 em sustentabilidade.
72	Vrchota et al. (2021)	Determinar os fatores críticos de sucesso na gestão de projetos, tal como vistos pelos gestores das empresas checas de manufatura.
73	Vrchota et al. (2020)	No contexto da indústria 4.0, rever como os processos verdes convencionais podem favorecer a sustentabilidade na produção.
74	Yadav et al. (2020a)	Apresentar um framework voltado a melhoria da adoção da sustentabilidade em organizações de manufatura de países em desenvolvimento que utilizam as tecnologias da Indústria 4.0.
75	Yadav et al. (2020b)	Por meio da relação indústria 4.0 e economia circular, desenvolver um framework voltado a superar desafios encontrados na gestão da cadeia de suprimentos.
76	Yazdi et al. (2018)	Conceber e estudar a implementação de um sistema sustentável e inteligente de manuseamento e distribuição de materiais.

Fonte – Elaboração própria (2021)

ANEXO II – INSTITUIÇÕES QUE REPRESENTAM OS 8 PAÍSES QUE MAIS PUBLICARAM SOBRE O TEMA

Índia
ch. ranbir singh state institute of engineering and technology
data science practice
delhi technological university
directorate of technical education
guru gobind singh indraprastha university
indian institute of management
indian institute of technology delhi
indian school of mines
integral university
indian institute of management kozhikode
management development institute
jaipuria institute of management
k.j. somaiya college of engineering
national institute of industrial engineering
national institute of technology
sardar patel college of engineering
veermata jijabai technological institute
vishwaniketan imeet
vit university
state institute of engineering and technology (formerly known as government engineering college)
Itália
fraunhofer italia research s.c.a.r.l.
free university of bozen-bolzano
gruppo ceramiche gresmalt
politecnico di torino
sapienza university of rome
the university of roma ter
università degli studi della tuscia
university of milano bicocca
university of modena and reggio emilia
university of palermo
university of pisa
university of salerno
university of turin
university of tuscia

Alemanha
fraunhofer institute for production systems and design technology ipk
friedrich-alexander university nuremberg
friedrich-alexander-university erlangen-nürnberg
hamburg university of applied sciences
institute for advanced sustainability studies
technische universität berlin
university of potsdam
wismar business school
Brasil
federal center for technological education celso suckow da fonseca
federal fluminense university
federal university of rio grande do sul
federal university of santa catarina
federal university of santa maria
federal university of sao carlos
federal university of the state of rio de janeiro
paulista university
pontifical catholic university of parana
pontifical catholic university of rio de janeiro
university of campinas
university of santa cruz do sul
university of são paulo
Reino Unido
aston university
loughborough university
london metropolitan university
oxford brookes university, united kingdom
plymouth university
the university of derby
university of plymouth
university of sussex
university of the west of england
university of Glasgow

Espanha
albacete research institute of informatics
university of vigo
rey-juan-carlos university
school of industrial engineering
technical and engineering services at the soltec company
universidad de zaragoza
university of cadiz
university of castilla-la mancha
university of jaen
China
chongqing jiaotong university
city university of hong kong
dalian university of technology
xi'an jiaotong university
guangdong university of technology
hubei university of automotive technology
nanjing university of aeronautics & astronautics
shanghai maritime university
university of electronic science and technology of china
Suécia
chalmers university of technology
corporate research center
kth royal institute of technology
linköping institute of technology
uppsala university
university of skövde

Fonte – Dados da pesquisa utilizando a ferramenta VOSviewer (2021)

Elaboração própria (2021)