

CONTRIBUIÇÃO DAS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 PARA A MANUFATURA SUSTENTÁVEL EM INDÚSTRIAS QUÍMICAS

CONTRIBUTION OF INDUSTRY 4.0 TECHNOLOGIES TO SUSTAINABLE MANUFACTURE IN CHEMICAL INDUSTRIES

GUSTAVO DE OLIVEIRA HANAUER
UNIVERSIDADE FEEVALE

DUSAN SCHREIBER
UNIVERSIDADE FEEVALE

LUCIANE PEREIRA VIANA
UNIVERSIDADE FEEVALE

Comunicação:

O XII SINGEP foi realizado em conjunto com a 12th Conferência Internacional do CIK (CYRUS Institute of Knowledge) e com o Casablanca Climate Leadership Forum (CCLF 2024), em formato híbrido, com sede presencial na ESCA Ecole de Management, no Marrocos.

CONTRIBUIÇÃO DAS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 PARA A MANUFATURA SUSTENTÁVEL EM INDÚSTRIAS QUÍMICAS

Objetivo do estudo

O objetivo foi evidenciar a produção científica acerca da contribuição das tecnologias da indústria 4.0 para a Manufatura Sustentável em processo fabril de produtos químicos, por meio da revisão sistemática da literatura sobre Manufatura Verde, Sustentabilidade, Indústria 4.0 e Indústria Química.

Relevância/originalidade

Pelo relevante impacto da indústria química sobre o meio ambiente, a adoção das tecnologias da indústria 4.0 para estimular a competitividade setorial e a escassez de trabalhos científicos sobre o tema, facultam a percepção que a pesquisa é relevante e original.

Metodologia/abordagem

Abordagem qualitativa, objetivo exploratório e descritivo, estruturado a partir de uma síntese de publicações sobre temas manufatura verde, sustentabilidade, tecnologias da indústria 4.0 e indústrias químicas. Técnica de pesquisa de revisão sistemática de literatura, sendo a coleta de dados por pesquisa bibliográfica.

Principais resultados

Os estudos sobre o tema aumentaram em 2023, com destaque para Universidades da Malásia, Inglaterra e China. Temas como sustentabilidade, indústria 4.0 e economia circular destacaram-se. Os periódicos com mais publicações são de Qualis A1 e fator de impacto acima de 11.

Contribuições teóricas/metodológicas

Os resultados do estudo propiciam aprofundamento e avanço do conhecimento científico sobre o tema.

Contribuições sociais/para a gestão

O estudo contribui para a gestão por evidenciar o panorama atual sobre a adoção das tecnologias da indústria 4.0 para promover práticas sustentáveis em processos de fabricação de produtos químicos.

Palavras-chave: Indústria Química, Manufatura Verde, Meio Ambiente, Sustentabilidade, Tecnologias da Indústria 4.0

CONTRIBUTION OF INDUSTRY 4.0 TECHNOLOGIES TO SUSTAINABLE MANUFACTURE IN CHEMICAL INDUSTRIES

Study purpose

The objective was to highlight scientific production about the contribution of industry 4.0 technologies to Sustainable Manufacturing in chemical manufacturing processes, through a systematic review of the literature on Green Manufacturing, Sustainability, Industry 4.0 and Chemical Industry.

Relevance / originality

Given the relevant impact of the chemical industry on the environment, the adoption of industry 4.0 technologies to stimulate sectoral competitiveness, and the scarcity of scientific work on the topic, provide the perception that the research is relevant and original.

Methodology / approach

Qualitative approach, exploratory and descriptive objective, structured from a synthesis of publications on the topics of green manufacturing, sustainability, industry 4.0 technologies and chemical industries. Systematic literature review research technique, with data collection through bibliographic research.

Main results

Studies on the topic increased in 2023, with emphasis on Universities in Malaysia, England and China. Topics such as sustainability, industry 4.0 and circular economy stood out. The journals with the most publications are Qualis A1 and have impact factor above 11.

Theoretical / methodological contributions

The results of the study provide deepening and advancement of scientific knowledge on the topic.

Social / management contributions

The study contributes to management by highlighting the current panorama on the adoption of industry 4.0 technologies to promote sustainable practices in chemical product manufacturing processes.

Keywords: Chemical Industry, Green manufacturing, Environment, Sustainability, Industry 4.0 Technologies

CONTRIBUIÇÃO DAS TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 PARA A MANUFATURA SUSTENTÁVEL EM INDÚSTRIAS QUÍMICAS

1 Introdução

O avanço científico e tecnológico tem modificado o cenário competitivo em diversos setores econômicos, sendo que as práticas sustentáveis acabam assumindo protagonismo, demandando uma abordagem mais proativa na preservação de recursos e desenvolvimento de operações empresariais menos agressivas ao meio ambiente. Diante disso, pela crescente concorrência externa e por tratar-se de um setor importante para a economia brasileira, pesquisa do Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (Sebrae) aponta que a indústria química, no Brasil, precisa realizar investimentos em inovação, nos mais variados segmentos, visando atender demandas do mercado e gerar soluções mais adequadas aos clientes (Sebrae, 2023).

Além disso, por tratar-se de um dos mais diversificados setores da área industrial, deve-se reconhecer que a indústria química apresenta riscos ao meio ambiente, seja pelo manuseio de substâncias perigosas, liberações de poluentes e disposições inadequadas de resíduos, além do consumo excessivo de recursos naturais, resultando em danos ambientais significativos, principalmente em casos de acidentes envolvendo armazenamento, transporte e manipulação de matérias-primas (Freitas et al., 2015; Moraes, Theis & Schreiber, 2016).

Destaca-se, neste contexto, as tecnologias da indústria 4.0, baseadas em práticas de automação industrial e soluções inovadoras que transformam o ambiente organizacional e simplificam a integração operacional, além de tornarem as manufaturas mais sustentáveis e menos agressivas ao meio ambiente (Schreiber, 2022). A partir de processos produtivos menos prejudiciais ao meio ambiente, que podem ser adotados com base nas tecnologias da indústria 4.0, a empresa poderá progressivamente converter sua manufatura em uma produção sustentável, incorporando assim dois conceitos fundamentais: produção e sustentabilidade (Silva et al., 2016).

O termo manufatura sustentável está mais relacionado a questões ambientais e, em certos casos, é empregado o termo “produção verde” para abordar o assunto (Silva et al., 2016), o qual está em constante evolução à medida que surgem novas práticas de gestão ambiental. A produção verde pode ser alcançada por meio de métodos de fabricação mais limpos, enfocando o processo de produção e a utilização mais eficiente dos recursos naturais, além da redução da geração de resíduos (Schreiber, Sander & Martins, 2023).

Com base na maneira em que estes assuntos estão interligados dentro das operações empresariais das indústrias químicas, bem como a importância que se dá para as práticas sustentáveis, torna-se relevante ampliar conhecimento acerca da utilização de tecnologias digitais e de conectividade da indústria 4.0 em indústrias químicas. Sendo assim, o objetivo desta pesquisa foi evidenciar a produção científica acerca da contribuição das tecnologias da indústria 4.0 para a Manufatura Sustentável em processo fabril de produtos químicos. Optou-se pela revisão sistemática da literatura de artigos científicos sobre Manufatura Verde, Sustentabilidade, Tecnologias da Indústria 4.0 e Indústria Química, publicados em língua inglesa, entre 2019 e 2023, retirados da base de dados do portal Scopus.

O estudo justifica-se para a obtenção de um panorama atualizado sobre os assuntos, bem como pela necessidade de uma investigação para contribuir com o avanço da sustentabilidade e práticas empresariais mais conscientes e sustentáveis. Além disso, justifica-se para o meio acadêmico e científico, pois sobre o tema se constatou a escassez da literatura científica, corroborando com a necessidade de identificar oportunidades para a pesquisa nestas áreas e oportunizar novos estudos sobre o tema. Por fim, faz-se importante para empresas,

gestores e empreendedores que buscam a implementação de melhorias na operação empresarial através da inovação sustentável, transformação digital e tecnologias inovadoras.

Este trabalho divide-se em cinco seções, sendo elas (i) introdução; (ii) metodologia; (iii) análise dos resultados e discussão; (iv) considerações finais e, por fim, as referências.

2 Metodologia

Neste estudo utiliza-se uma abordagem qualitativa, com objetivo exploratório e descritivo, sendo estruturado a partir de uma síntese de publicações sobre temas manufatura verde, sustentabilidade, tecnologias da indústria 4.0 e indústrias químicas. Como procedimentos técnicos de pesquisa, utilizou-se a revisão sistemática de literatura, sendo a técnica de coleta de dados utilizada a pesquisa bibliográfica.

Uma revisão sistemática desempenha um papel crucial na exploração aprofundada de um assunto específico, oferecendo uma base de evidências robusta e confiável, ao mesmo tempo em que destaca lacunas de conhecimento a serem abordadas (Gayer, Hupffer & Schreiber apud Catto, Sindelar & Spinelli, 2023, p. 171-186). Essa metodologia é empregada para analisar de maneira abrangente estudos relacionados a um tópico específico, permitindo uma avaliação crítica da literatura e a consolidação dos resultados relevantes (Dresch, Larcerda & Antunes, 2015; Gayer, Hupffer & Schreiber apud Catto, Sindelar & Spinelli, 2023, p. 171-186; Seuring & Gold, 2012).

Diante deste contexto, este estudo foi elaborado observando a sistemática de Sampaio e Mancini (2007) que compreende: (i) a definição do objetivo da pesquisa; (ii) a escolha das palavras-chave e da base de dados; (iii) a seleção dos estudos; (iv) a tabulação das informações dos artigos selecionados e apresentação dos resultados. Em relação ao objetivo deste estudo, buscou-se explorar e sintetizar o estado atual do conhecimento nas áreas de sustentabilidade, tecnologias da indústria 4.0, manufatura verde e indústrias químicas, identificando as lacunas de pesquisa, tendências áreas de convergência entre os temas e relatos/diagnósticos de estudos já realizados.

Foram definidos os critérios de pesquisa, optando por artigos publicados em inglês. Para a análise, foram considerados artigos entre 2019 e 2023, visando incorporar apenas os estudos mais recentes sobre o tema. A base de dados selecionada foi a Scopus, a qual é detentora de uma vasta e renomada base de dados de artigos científicos revisados por pares, além de ser considerada “a maior base de dados multidisciplinar de resumos, citações e textos completos da literatura científica mundial” (Grácio & Oliveira, 2012, p. 6). Na sequência, foram estabelecidas as palavras-chave de busca, as quais foram utilizadas de maneira combinada, sendo elas: *Technologies AND industry 4.0 AND sustainability*, *Industry 4.0 chemical AND Industry AND sustainability* e *Industry 4.0 chemical AND Industry AND green manufacturing*, aplicando sobre essas palavras os filtros *business* e *environmental science*.

Para esses termos de busca foram encontrados inicialmente 274 artigos, os quais foram selecionados a partir da leitura do título e do resumo, usando como critério de inclusão a conformidade com o tema pesquisado, sendo reduzida a quantidade de artigos para 66. Após, foi realizada a leitura dos resumos novamente e foram selecionados somente os artigos que abordavam as tecnologias da indústria 4.0 no setor químico ou em empresas químicas, o que resultou em 15 artigos. Os 15 artigos selecionados foram planilhados considerando informações a serem coletados, como (a) autor e ano; (b) título do artigo; (c) palavras-chave e; (d) periódico publicado. Dessa forma, a síntese facilitou o tratamento dos dados com a finalidade de estabelecer relações e construir as evidências.

Para que a seleção dos artigos selecionados fosse considerada relevante, estabeleceu-se condições de inclusões e exclusões com base nos seguintes critérios: (i) o artigo aborda os temas relacionados com a indústria química; (ii) o artigo discute a viabilidade de implementação de

tecnologias da indústria 4.0 em empresas do setor químico; (iii) o artigo aborda questões de sustentabilidade, inovação sustentável e redução de impactos ambientais no setor químico; (iv) ser artigo científico; (v) ser de língua inglesa e; (vi) ter sido publicado entre 2019 e 2023. Foram excluídos artigos que abordavam outros setores não relacionados com o setor químico e artigos que não ilustravam discussão sobre sustentabilidade e redução de impactos ambientais, bem como artigos que não se enquadravam nos critérios. Os artigos foram lidos individualmente.

Os dados qualitativos coletados foram analisados por meio da técnica interpretativa, cujo objetivo é sintetizar informações textuais e auxiliar na compreensão profunda dos resultados (Severino, 2007). O quadro 1 sintetiza os resultados das seleções dos artigos.

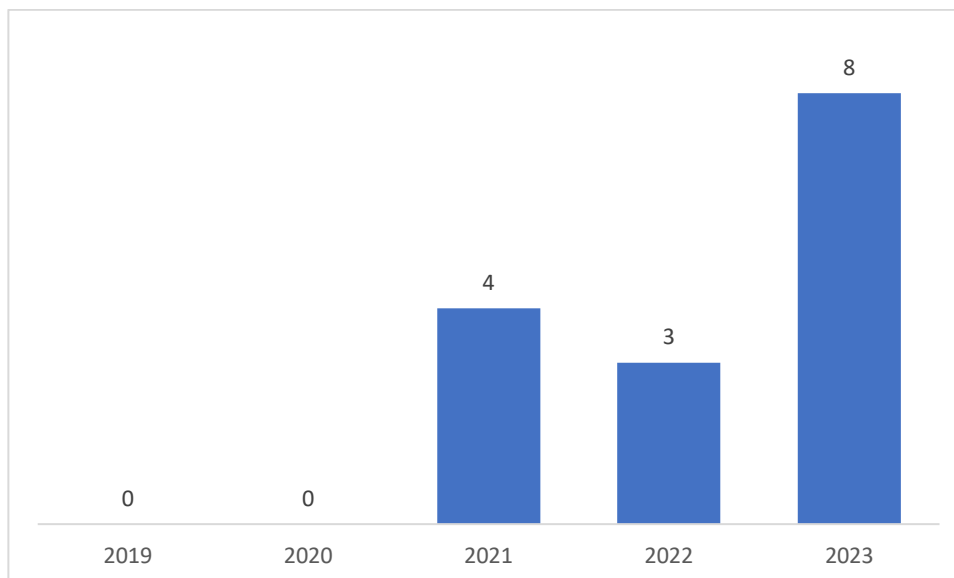
Termo buscado	Nº artigos	Primeira seleção	Seleção final
<i>Technologies AND industry 4.0 AND sustainability</i>	262	Nesta etapa, após leitura dos títulos e resumos, utilizando como critério a conformidade com o tema estudado, reduziu-se para 66 artigos.	Após nova leitura dos resumos, selecionou-se apenas artigos que abordavam tecnologias da indústria 4.0 no setor químico, finalizado em 15 artigos.
<i>Industry 4.0 chemical AND industry AND sustainability</i>	9		
<i>Industry 4.0 chemical AND industry AND green manufacturing</i>	3		
TOTAIS:	274	66	15

Quadro 1. Síntese de seleção de artigos

3 Análise dos resultados e Discussão

Neste capítulo são apresentados os resultados e análises referente às buscas realizadas nesta revisão sistemática de literatura.

O quadro 2 apresenta a evolução temporal das publicações, por meio de um gráfico de colunas, mostrando ano a ano, o número de artigos publicados:



Quadro 2. Evolução temporal

Percebe-se que a quantidade de artigos aumenta com o passar dos anos, recuando em 2022 e retomando com intensidade em 2023, dobrando o número de artigos quando comparado à 2022, confirmando o crescente interesse e evolução de estudos sobre o tema.

Complementando a análise, o quadro 3 apresenta as revistas onde foram publicados esses artigos, iniciando com a revista com maior número de artigos publicados até revista com menor número de artigos publicados, além do estrato de Qualis e do Fator de Impacto da revista, conforme a Plataforma Sucupira e o *Journal Citation Reports (JCR)* de 2022, respectivamente.

Nome do Periódico	Nº de artigos	Qualis	Fator de impacto (2022)
<i>Journal of Cleaner Production</i>	4	A1	11.1
<i>Technological Forecasting and Social Change</i>	2	A1	12
<i>Benchmarking</i>	1	A1	5.6
<i>Environmental Impact Assessment Review</i>	1	A1	7.9
<i>Green Chemistry</i>	1	A1	9.8
<i>International Journal of Emerging Markets</i>	1	B1	2.7
<i>Issues in Information Systems</i>	1	B1	2.8
<i>Journal of Chemical Technology and Biotechnology</i>	1	A1	3.4
<i>Journal of Innovation and Entrepreneurship</i>	1	A2	3.1
<i>Journal of Manufacturing Technology Management</i>	1	A1	7.6
<i>Operations Management Research</i>	1	B1	9.0
Total de periódicos	15	-	-

Quadro 3. Artigos por revista

É possível identificar a partir do quadro 3 que a revista *Journal of Cleaner Production* possui o maior número de artigos, com quatro no total, classificação Qualis A1 e também alto fator de impacto, de pontuação 11.1, seguido da revista *Technological Forecasting and Social Change*, com dois artigos selecionados, também de Qualis A1 e com o maior fator de impacto dentre os selecionados, com pontuação de 12. As demais revistas, todas com apenas uma publicação, com Qualis variados e diferentes fatores de impacto.

Na sequência, o quadro 4 sintetiza os autores dos artigos, em ordem alfabética, bem como o título dos artigos e o nome das revistas. Percebe-se que todos os autores aparecem apenas uma vez e participaram apenas de uma publicação, entre os quinze artigos selecionados:

Autores	Título do artigo	Nome da revista
Abedsoltan, Hossein	<i>COVID-19 and the chemical industry: impacts, challenges, and opportunities</i>	<i>Journal of Chemical Technology and Biotechnology</i>
Ali, Kashif; Johl, Satirenjit Kaur	<i>Driving forces for industry 4.0 readiness, sustainable manufacturing practices and circular economy capabilities: does firm size matter?</i>	<i>Journal of Manufacturing Technology Management</i>
An, Wan-Kai; Zheng, Shi-Jia; Zhang, Hui-Xing; Shang, Tian-Tian; Wang, He-Rui; Xu, Xiao-Jing; Jin, Qiu; Qin, Yuchen; Ren, Yunlai; Jiang, Song; Xu, Cui-Lian; Hou, Mao-Song	<i>s-Tetrazine-functionalized hyper-crosslinked polymers for efficient photocatalytic synthesis of benzimidazoles</i>	<i>Green Chemistry</i>
Bag, Surajit	<i>From resources to sustainability: a practice-based view of net zero economy implementation in small and medium business-to-business firms</i>	<i>Benchmarking</i>
Ching, Ng Tan; Ghobakhloo, Morteza; Iranmanesh, Mohammad; Maroufkhani, Parisa; Asadi, Shahla.	<i>Industry 4.0 applications for sustainable manufacturing: A systematic literature review and a roadmap to sustainable development</i>	<i>Journal of Cleaner Production</i>
Ferreira, João J.; Lopes, João M.; Gomes, Sofia; Rammal, Hussain G.	<i>Industry 4.0 implementation: Environmental and social sustainability in manufacturing multinational enterprises</i>	<i>Journal of Cleaner Production</i>

Hemmati, Mina; Newaz, Md Shah; Rahman, Muhammad Khalilur; Appolloni, Andrea; Zailani, Suhaiza	<i>Sustainability performance of digitalized manufacturing industry in COVID era: a comparative study between developed and developing economies</i>	<i>International Journal of Emerging Markets</i>
Ingrao, Carlo; Evola, Rosalia Stella; Cantore, Paolo; De Bernardi, Paola; Del Borghi, Adriana; Vesce, Enrica; Beltramo, Riccardo	<i>The contribution of sensor-based equipment to life cycle assessment through improvement of data collection in the industry</i>	<i>Environmental Impact Assessment Review</i>
Jamwal, Anbesh; Agrawal, Rajeev; Sharma, Monica	<i>Challenges and opportunities for manufacturing SMEs in adopting industry 4.0 technologies for achieving sustainability: Empirical evidence from an emerging economy</i>	<i>Operations Management Research</i>
Kaniappan Chinnathai, Malarvizhi; Alkan, Bugra	<i>A digital life-cycle management framework for sustainable smart manufacturing in energy intensive industries</i>	<i>Journal of Cleaner Production</i>
Lee, Hyejin; Zhang, Yilei; Zhang, Huihua; Liu, Xuanchen.	<i>Challenges and opportunities of utilizing design thinking in the industry 4.0 era: based on the case study of industry wastewater treatment system development project process</i>	<i>Journal of Innovation and Entrepreneurship</i>
Lopes de Sousa Jabbour, Ana Beatriz; Latan, Hengky; Chiappetta Jabbour, Charbel Jose; Seles, Bruno Michel Roman Pais;	<i>Does applying a circular business model lead to organizational resilience? Mediating effects of industry 4.0 and customers integration</i>	<i>Technological Forecasting and Social Change</i>
Mendez-Alva, Francisco; Cervo, Hélène; Krese, Gorazd; Van Eetvelde, Greet	<i>Industrial symbiosis profiles in energy-intensive industries: Sectoral insights from open databases</i>	<i>Journal of Cleaner Production</i>
Panduru, Dan Andrei; Scarlat, Cezar; Gherman, Mihai Liviu.	<i>The ICT Influence on Strategic Thinking. Particularities in the Oil and Gas Industry</i>	<i>Issues in Information Systems</i>
Yilmaz, Aysegul; Dora, Manoj; Hezarkhani, Behzad; Kumar, Maneesh	<i>Lean and industry 4.0: Mapping determinants and barriers from a social, environmental, and operational perspective</i>	<i>Technological Forecasting and Social Change</i>
Total de autores: 61	Publicação por autor: 1	Revistas: 15

Quadro 4. Autores e publicações

No quadro 5, sintetiza-se as universidades com os quais os autores dos artigos publicados estão vinculados, priorizando-se as universidades do primeiro autor, evidenciando-se as universidades com maior número de artigos publicados. Percebe-se que nenhuma universidade se repete, mesmo tendo uma repetição de países.

País	Nº de Univers	Universidade	1º Autor
África do Sul	1	<i>University of Johannesburg</i>	Bag, Surajit
Bélgica	1	<i>Ghent University</i>	Mendez-Alva, Francisco
China	2	<i>Henan Agricultural University</i>	An, Wan-Kai
		<i>Tongji University/College of Design and Innovation</i>	Lee, Hyejin
Estados Unidos	1	<i>The University of Toledo</i>	Abedsoltan, Hossein
França	1	<i>EM Normandie Business School</i>	Lopes de Sousa Jabbour, Ana Beatriz
Índia	1	<i>Malaviya National Institute of Technology Jaipur</i>	Jamwal, Anbesh
Inglaterra	2	<i>Brunel University London</i>	Yilmaz, Aysegul
		<i>University of Westminster</i>	Kaniappan Chinnathai, Malarvizhi
Itália	1	<i>University of Turin</i>	Ingrao, Carlo

Malásia	3	<i>Universiti Teknologi PETRONAS</i>	Ali, Kashif
		<i>Universiti Tunku Abdul Rahman</i>	Ching, Ng Tan
		<i>University of Malaya</i>	Hemmati, Mina
Paquistão	1	<i>University of Central Punjab Business School,</i>	Ali, Kashif
Portugal	1	<i>University of Beira Interior</i>	Ferreira, João J.
Romênia	1	<i>FAIMA Doctoral School</i>	Panduru, Dan Andrei

Quadro 5. Universidades vinculadas

Na sequência, o quadro 6 complementa a informação do quadro 5, apresentando os países de origem dos autores dos artigos (das universidades que tem vínculo com os autores – priorizando primeiros autores), evidenciando que existem países com maior número de universidades, mas não necessariamente com maior número de autores que pesquisam o tema, conforme evidenciou-se pelo quadro 4, anteriormente.

País	Nº de Univers.
Malásia	3
China	2
Inglaterra	2
África do Sul	1
Bélgica	1
Estados Unidos	1
França	1
Índia	1
Itália	1
Paquistão	1
Portugal	1
Romênia	1
Total:	16

Quadro 6. Universidades por países

Pode-se perceber que a Malásia possui três universidades, seguida pela China e Inglaterra, ambas com duas. As demais, todas com apenas uma universidade.

Já no quadro 7, é possível analisar as informações referente as abordagens metodológicas (qualitativos, quantitativos e quali-quant) dos artigos pesquisados.

Título do artigo	Abordagem
<i>A digital life-cycle management framework for sustainable smart manufacturing in energy intensive industries</i>	Qualitativa
<i>Challenges and opportunities for manufacturing SMEs in adopting industry 4.0 technologies for achieving sustainability: Empirical evidence from an emerging economy</i>	Quali-Quant
<i>Challenges and opportunities of utilizing design thinking in the industry 4.0 era: based on the case study of industry wastewater treatment system development project process</i>	Qualitativa
<i>COVID-19 and the chemical industry: impacts, challenges, and opportunities</i>	Qualitativa
<i>Does applying a circular business model lead to organizational resilience? Mediating effects of industry 4.0 and customers integration</i>	Quantitativa
<i>Driving forces for industry 4.0 readiness, sustainable manufacturing practices and circular economy capabilities: does firm size matter?</i>	Quantitativa
<i>From resources to sustainability: a practice-based view of net zero economy implementation in small and medium business-to-business firms</i>	Qualitativa
<i>Industrial symbiosis profiles in energy-intensive industries: Sectoral insights from open databases</i>	Quali-Quant
<i>Industry 4.0 applications for sustainable manufacturing: A systematic literature review and a roadmap to sustainable development</i>	Qualitativa
<i>Industry 4.0 implementation: Environmental and social sustainability in manufacturing multinational enterprises</i>	Quantitativa

<i>Lean and industry 4.0: Mapping determinants and barriers from a social, environmental, and operational perspective</i>	Qualitativa
<i>s-Tetrazine-functionalized hyper-crosslinked polymers for efficient photocatalytic synthesis of benzimidazoles</i>	Quantitativa
<i>Sustainability performance of digitalized manufacturing industry in COVID era: a comparative study between developed and developing economies</i>	Quantitativa
<i>The contribution of sensor-based equipment to life cycle assessment through improvement of data collection in the industry</i>	Qualitativa
<i>The ICT Influence on Strategic Thinking. Particularities in the Oil and Gas Industry</i>	Quali-Quanti
Abordagem qualitativa:	7
Abordagem quantitativa:	5
Abordagem quali-quanti:	3
Total de artigos:	15

Quadro 7. Abordagem

Destaca-se que do total de artigos selecionados, sete possuem abordagem qualitativa, cinco possuem abordagem quantitativa e três possuem abordagem quali-quanti, evidenciando a similaridade e equilíbrio nas abordagens.

Além disso, analisando as palavras-chaves dos artigos selecionados, foi possível perceber que a palavra mais citada foi “*sustainability*”, com nove citações, seguido de “*indústria 4.0*” com sete, “*circular economy*” com três citações e “*chemical industry*” e “*COVID-19*” com duas citações cada. Na figura 1 tem-se uma nuvem de palavras, onde as palavras mais mencionadas destacam-se das demais, auxiliando na visualização:


Figura 1. Nuvem de palavras-chave

A palavra “*sustainability*” destaca-se ao centro, pois é a palavra que mais aparece, recebendo assim, maior visibilidade na nuvem de palavras. A palavra-chave “*industry 4.0*” completa o centro, sendo a segunda mais mencionada.

Na sequência, o quadro 9 apresenta a síntese do resumo de cada um dos artigos:

Título do artigo	Síntese do resumo
<i>A digital life-cycle management framework for sustainable smart manufacturing in energy intensive industries</i>	O estudo busca rever o estado atual da digitalização nas indústrias com utilização intensiva de energia e propor um quadro para apoiar a realização de um fabrico inteligente e sustentável nas Indústrias com Intensividade Energética (EII). O estudo investiga a mineração de processos e modelagem para a sustentabilidade, incorpora inteligência

	<p>em EIIs para melhorar a eficiência energética e propõe uma estrutura para permitir a transformação digital de EIIs. As conclusões da investigação indicam que o quadro de ciclo de vida digital proposto ajuda as EII a concretizar uma produção inteligente e sustentável através de uma melhor compreensão dos processos com utilização intensiva de energia.</p>
<p><i>Challenges and opportunities for manufacturing SMEs in adopting industry 4.0 technologies for achieving sustainability: Empirical evidence from an emerging economy</i></p>	<p>O estudo conduz uma investigação numa economia emergente. Uma revisão abrangente da literatura identifica os principais desafios da Indústria 4.0, que são validados através de uma análise fatorial exploratória utilizando respostas de 233 PME da indústria transformadora. As conclusões destacam a falta de equipes dedicadas de investigação e desenvolvimento (I&D) e as questões de segurança e privacidade de dados como desafios significativos enfrentados pelas PME nas economias emergentes. Este estudo representa uma tentativa de analisar o impacto dos desafios da Indústria 4.0 no alcance da sustentabilidade da produção nas PME através de um inquérito em grande escala nas economias emergentes, empregando uma abordagem de método misto. Os resultados oferecem suporte empírico para abordar questões de sustentabilidade na Indústria 4.0 para PMEs industriais.</p>
<p><i>Challenges and opportunities of utilizing design thinking in the industry 4.0 era: based on the case study of industry wastewater treatment system development project process</i></p>	<p>O artigo analisa o processo de pesquisa realizado no desenvolvimento de um novo sistema para aplicação de tratamento de águas residuais industriais para aumentar a eficiência e a sustentabilidade através da adoção da tecnologia da indústria 4.0. O desafio deste projeto foi utilizar a metodologia de <i>design thinking</i> (design centrado no ser humano) em todo o processo, bem como centrar-se na indústria pesada e não no utilizador-alvo, além de adaptar tecnologia de ponta. O artigo tenta abordar se é possível criar uma metodologia que aborde oportunidades de negócios inovadoras em indústrias complicadas e de alta tecnologia em adaptação.</p>
<p><i>COVID-19 and the chemical industry: impacts, challenges, and opportunities</i></p>	<p>O estudo visa explorar o impacto da COVID-19 na indústria química. Fornece uma compreensão dos desafios enfrentados pela indústria química durante a pandemia, analisando as perturbações nas cadeias de abastecimento, as mudanças nos padrões de procura, as implicações da força de trabalho e a resposta do setor à crise. Além disso, examina potenciais mudanças e oportunidades a longo prazo que surgiram, como a implementação das tecnologias da indústria 4.0, a transformação digital, materiais avançados e iniciativas de economia circular, fornecendo informações sobre como a indústria química pode construir resiliência, abraçar a sustentabilidade, melhorar as capacidades digitais, promover uma cultura de inovação e preparar-se para desafios futuros num mundo pós-pandemia.</p>
<p><i>Does applying a circular business model lead to organizational resilience? Mediating effects of industry 4.0 and customers integration</i></p>	<p>O artigo apresenta uma pesquisa que analisa a relação direta entre a adoção de modelos de negócios de economia circular e a resiliência organizacional. Os dados foram coletados de 132 empresas manufatureiras que atuam em diferentes setores industriais, como alimentos e bebidas, produtos químicos, produtos de plástico e borracha. Como resultados, conclui-se que a adoção de um modelo de economia circular aumenta a resiliência organizacional. As tecnologias da Indústria 4.0 e as iniciativas de integração de clientes demonstram ser fontes de capacidades dinâmicas que permitem às empresas reconhecer e adaptar-se às oportunidades e ameaças do mercado, e preparar recursos em conformidade para alcançar resiliência através da circularidade empresarial.</p>
<p><i>Driving forces for industry 4.0 readiness, sustainable manufacturing practices and circular economy capabilities: does firm size matter?</i></p>	<p>O estudo desenvolve e testa um modelo baseado na teoria institucional e na teoria da visão baseada em recursos (RBV), ao mesmo tempo que considera o tamanho da empresa como um construto moderador. Os dados foram obtidos através de uma pesquisa com 228 PMEs fabricantes selecionadas aleatoriamente na China. Como resultados, percebeu-se que a pressão institucional tem um efeito positivo sobre os recursos organizacionais, que são capazes de orquestrar eficazmente a</p>

	<p>prontidão para a I4.0. Além disso, a prontidão para I4.0 tem um efeito positivo nas práticas de fabricação sustentáveis e nas capacidades de CE. Por fim, o tamanho da empresa revelou-se um moderador significativo na promoção da integração global.</p>
<p><i>From resources to sustainability: a practice-based view of net zero economy implementation in small and medium business-to-business firms</i></p>	<p>O estudo examina o efeito dos recursos que são utilizados como um conjunto de práticas padrão na implementação de uma economia sustentável líquida zero e o seu impacto adicional no desempenho financeiro, ambiental e social entre as pequenas e médias empresas, retirando-se amostras nas indústrias de fabricação de papel e produtos químicos da África do Sul. O efeito moderador da inteligência analítica de big data também é examinado. Os resultados mostram que os recursos tangíveis, as competências humanas e os recursos intangíveis influenciam positivamente a adoção sustentável da economia líquida zero. No entanto, os recursos intangíveis têm uma influência mais substancial na implementação sustentável de uma economia líquida zero.</p>
<p><i>Industrial symbiosis profiles in energy-intensive industries: Sectoral insights from open databases</i></p>	<p>O artigo apresenta uma análise sobre estudos de caso de SI (simbiose industrial). Utilizou-se a classificação normalizada europeia para atividades econômicas (NACE) para traçar perfis do setor industrial para as indústrias com utilização intensiva de energia mais relevantes, como produtos químicos, aço e cimento, juntamente com sinergias urbanas. A maioria das sinergias inclui o setor químico, sendo os fluxos mais comumente compartilhados a energia, a água e o dióxido de carbono. Como resultado, tem-se uma metodologia para enquadrar e avaliar coleções de casos de SI úteis para futuras explorações e aproveitamento de projetos de circularidade em organizações públicas e privadas.</p>
<p><i>Industry 4.0 applications for sustainable manufacturing: A systematic literature review and a roadmap to sustainable development</i></p>	<p>O estudo aborda a lacuna entre as expectativas da indústria 4.0 e a falta de compreensão do processo e do conhecimento, através do desenvolvimento de um roteiro que explica como a Indústria 4.0 e as tecnologias digitais podem ser aproveitadas para apoiar e facilitar o resultado da produção sustentável. Realizou-se uma revisão sistemática da literatura e identificou-se 15 funções de sustentabilidade por meio das quais a Indústria 4.0 contribui para a fabricação sustentável. Como resultados, o roteiro de produção sustentável explica como e em que ordem as diversas funções de sustentabilidade da Indústria 4.0 contribuem para o desenvolvimento das dimensões econômica, ambiental e social da sustentabilidade.</p>
<p><i>Industry 4.0 implementation: Environmental and social sustainability in manufacturing multinational enterprises</i></p>	<p>O estudo objetiva analisar a contribuição da implementação de tecnologias digitais na promoção da sustentabilidade ambiental e social, em uma amostra de 764 multinacionais industriais europeias, utilizando a Visão Baseada em Recursos (RBV). Foi formulado um modelo de pesquisa composto por cinco tecnologias digitais da indústria 4.0 e práticas ambientais e sociais sustentáveis. Os resultados mostram que as multinacionais europeias ainda apresentam uma baixa implementação de tecnologias digitais nos seus modelos de negócio. Também sugere práticas que gestores podem implementar para acelerar a digitalização e alcançar os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas.</p>
<p><i>Lean and industry 4.0: Mapping determinants and barriers from a social, environmental, and operational perspective</i></p>	<p>Esta revisão sistemática da literatura identifica estudos de caso que integram a implementação dos princípios <i>Lean</i> com a tecnologia da Indústria 4.0. Os benefícios, barreiras e fatores de sucesso da integração foram investigados, com foco nas perspectivas ambientais, sociais e operacionais. Foram identificados quarenta e dois estudos de caso que incluíam princípios <i>Lean</i> e tecnologia da Indústria 4.0 no contexto de manufatura. Concluiu-se que o <i>Lean</i> e a Indústria 4.0 apresentam um potencial considerável.</p>
<p><i>s-Tetrazine-functionalized hyper-crosslinked polymers for efficient</i></p>	<p>Neste estudo, construiu-se com sucesso dois fotocatalisadores porosos de HCP (TZ-HCPs) com unidades de s-tetrazina e áreas de superfície</p>

<i>photocatalytic synthesis of benzimidazoles</i>	maiores que 700 m ² g ⁻¹ através de reações de alquilação de Friedel-Crafts. Como resultados, pelo menos 21 execuções catalíticas iterativas mediadas por TZ-HCP1D foram realizadas de forma eficiente, com rendimento de 96–99%.
<i>Sustainability performance of digitalized manufacturing industry in COVID era: a comparative study between developed and developing economies</i>	O estudo visa identificar até que ponto a adoção da indústria 4.0 (I4.0) impacta o desempenho da manufatura sustentável (SM) da indústria manufatureira, com foco na análise comparativa entre economias desenvolvidas e em desenvolvimento em meio à doença da COVID-19. Foram recolhidos dados de 154 empresas transformadoras malaias (em desenvolvimento) e australianas (desenvolvidas). Os resultados apontam que a adoção de tecnologias I4.0 não influencia diretamente o desempenho de sustentabilidade da indústria, mas sim as trajetórias de SM mediam totalmente a relação entre I4.0 e desempenho de fabricação sustentável.
<i>The contribution of sensor-based equipment to life cycle assessment through improvement of data collection in the industry</i>	Este artigo explora o benefício da utilização de um sensor para avaliação do impacto ambiental numa empresa italiana produtora de formulações químicas, com o objetivo de fornecer à empresa apoiadora a base para o desenvolvimento de um sistema integrado de gestão de energia. Como resultados, a empresa envolvida no projeto continuou o seu caminho para se tornar parte da Indústria 4.0, com a adoção dos sensores de Internet das Coisas (IoT).
<i>The ICT Influence on Strategic Thinking. Particularities in the Oil and Gas Industry</i>	O foco deste artigo está nas particularidades do pensamento estratégico na indústria contemporânea de petróleo e gás, apresentando quatro características definidoras da Indústria 4.0, aplicadas especificamente a esse tipo de indústria. As descobertas têm implicações gerenciais, com o desafio de adaptar a estratégia da organização e resolver o problema de melhorar a eficiência operacional, reduzindo simultaneamente a pegada de carbono ambiental, ao mesmo tempo em que se gerencia os altos investimentos na digitalização das operações.

Quadro 9. Síntese dos resumos

A revisão sistemática da literatura conseguiu evidenciar que as pesquisas sobre adoção de tecnologias da indústria 4.0 em processos de fabricação de produtos químicos são escassas e recentes, conforme consta no Quadro 2, que destaca 4 publicações no ano 2021, 3 no ano 2022 e 8 no ano 2023. Isso pode ser explicado pela complexidade da adoção das referidas tecnologias da indústria 4.0 em fábricas de produtos químicos, como ressaltaram os autores An et al. (2021), Ingrao et al. (2021), Mendez-Alva et al. (2021) e Panduru, Scarlat & Gherman, (2021); Ching et al. (2022), Hematti et al. (2022) e Yilmaz et al. (2022) e; Abedsoltan (2023), Ali & Johl (2023), Bag (2023), Ferreira et al. (2023), Jamwal, Agrawal & Sharma (2023), Kaniappan Chinnathai & Alkan (2023), Lee et al. (2023) e Jabbour et al. (2023).

O periódico que lidera o *ranking* de publicações é o *Journal of Cleaner Production*, com 4 artigos, o que se justifica pela aderência do tema com o escopo editorial da revista, o qual possui foco em pesquisas e práticas de produção mais limpa, ambiental e sustentabilidade, pretendendo ajudar as sociedades a tornarem-se mais sustentáveis. A revista aborda e discute sobre a produção mais limpa teórica e prática, abrangendo questões ambientais e de sustentabilidade em corporações, governos, instituições educacionais, regiões e sociedades.

O periódico que ocupa segundo lugar no *ranking* é o *Technological Forecasting and Social Change*, com 2 artigos publicados. O escopo editorial do periódico ressalta seu compromisso com a metodologia e a prática da previsão tecnológica e dos estudos futuros como ferramentas de planejamento, pois inter-relacionam fatores sociais, ambientais e tecnológicos. As demais revistas do *ranking* publicaram 1 artigo cada uma.

Vale ressaltar que 7 periódicos encontram-se classificados no estrato A1 do Qualis da CAPES, 1 periódico está classificado como A2 e 3 como B1. Já a caracterização dos periódicos, segundo o fator de impacto, evidencia que 7 periódicos possuem fator de impacto superior a 5, que segundo autor Teixeira da Silva (2020) representa o ponto de corte para identificar as

revistas de alto padrão de qualidade (superior a 5). De acordo com as classificações está evidenciada a qualidade da produção científica sobre o tema.

Considerando os títulos dos artigos publicados, percebe-se que as revistas classificadas no estrato A1 e A2 do Qualis abordaram temas como os desafios e oportunidades da indústria química em uma era pós-pandêmica, práticas de produção sustentáveis, economia circular e tecnologias da indústria 4.0 como meios de promover a sustentabilidade em pequenas e médias empresas do setor químico, sustentabilidade ambiental e social em indústrias de transformação, a contribuição da indústria 4.0 para melhorar o ciclo de vida nas empresas, produção inteligente, *lean* e *design thinking*, consumo de energia e gestão de recursos.

Já as revistas com fator de impacto superior a 5 abordaram assuntos como a indústria 4.0 e as práticas para uma produção mais sustentável, economia circular e sustentabilidade, síntese fotocatalítica de benzimidazóis, implementação de economia líquida zero em pequenas e médias empresas, sustentabilidade ambiental e social, equipamentos baseados em sensores e avaliação do ciclo de vida, gestão do ciclo de vida para a produção inteligente e sustentável em indústrias com utilização intensiva de energia, resiliência organizacional e modelo de negócio circular, simbiose industrial em indústrias de uso intensivo de energia e *lean* e indústria 4.0.

Ao analisar as instituições de ensino e pesquisa com maior produção científica sobre o tema, constata-se que todas elas publicaram apenas um artigo cada. Além disso, o autor Kashif Ali está vinculado à duas instituições de ensino, sendo elas a *Universiti Teknologi PETRONAS*, da Malásia, e a *University of Central Punjab Business School*, do Paquistão, totalizando assim 16 instituições vinculadas.

Analisando os países com maior produção científica, destaca-se primeiramente o número de 12 países envolvidos, sendo 6 na Europa (Bélgica, França, Inglaterra, Itália, Portugal e Romênia), 4 na Ásia (China, Índia, Malásia e Paquistão), 1 na América do Norte (Estados Unidos) e 1 na África (África do Sul). Dentre estes países, a Malásia destaca-se com 3 publicações (autores Kashif Ali, Ng Tan Ching e Mina Hemmati), seguido da China (autores Wan-Kai Na e Hyejin Lee) e Inglaterra (autores Aysegul Yilmaz e Malarvizhi Kaniappan Chinnathai) com 2 publicações cada. Os demais países publicaram apenas 1 revista cada um.

Em relação às abordagens metodológicas utilizadas nos artigos publicados foi possível evidenciar que do total de 15 artigos selecionados, 7 artigos apresentaram uma abordagem qualitativa (Abedsoltan, 2023; Bag, 2023; Ching et al., 2022; Ingrao et al., 2021; Kaniappan Chinnathai & Alkan, 2023; Lee et al., 2023; Yilmaz et al., 2022), 5 artigos apresentaram uma abordagem quantitativa (Ali & Johl, 2023; An et al., 2021; Ferreira et al., 2023; Hematti et al., 2022; Jabbour et al., 2023) e 3 artigos utilizaram abordagem mista (quali-quantitativa) (Jamwal, Agrawal & Sharma, 2023; Mendez-Alva et al., 2021; Panduru, Scarlat & Gherman, 2021).

Ao construir a nuvem de palavras a partir de palavras-chave dos artigos percebeu-se destaque para as palavras “*sustainability*”, a qual foi citada nove vezes, seguido da palavra “*indústria 4.0*” com sete citações, a palavra “*circular economy*” com três citações e “*chemical industry*” e “*COVID-19*” com duas citações cada, confirmando o foco com temas relacionados à sustentabilidade, tecnologias da indústria 4.0, economia circular e indústrias químicas. A demais palavras foram citadas apenas uma vez cada.

Procedendo ao escrutínio dos resumos dos artigos publicados, constata-se que maioria dos artigos aborda temas centrais e que se relacionam, como por exemplo, a sustentabilidade e redução de impactos ambientais nas indústrias (Ali & Johl, 2023; Bag, 2023; Ching et al., 2022; Ferreira et al., 2023; Hematti et al., 2022; Ingrao et al. 2021; Jamwal, Agrawal & Sharma, 2023; Kaniappan Chinnathai & Alkan, 2023; Lee et al., 2023; Mendez-Alva et al., 2021; Panduru; Scarlat & Gherman, 2021; Yilmaz et al., 2022), as tecnologias da indústria 4.0 para promover a sustentabilidade nas indústrias químicas (Abedsoltan, 2023; Ali & Johl, 2023; Bag, 2023; Ching et al., 2022; Ferreira et al., 2023; Hematti et al., 2022; Ingrao et al. 2021; Jabbour et al., 2023; Jamwal, Agrawal & Sharma, 2023; Kaniappan Chinnathai & Alkan, 2023; Lee et al.,

2023; Panduru, Scarlat & Gherman, 2021; Yilmaz et al., 2022) e economia circular e gestão de recursos para a sustentabilidade (Abedsoltan, 2023; Ali & Johl, 2023; An et al., 2021; Bag, 2023; Ferreira et al., 2023; Ingraio et al. 2021; Jabbour et al., 2023; Mendez-Alva et al., 2021; Panduru, Scarlat & Gherman, 2021).

4 Considerações Finais

Estudos sobre a sustentabilidade por meio das tecnologias da indústria 4.0 em indústrias químicas ainda são escassos, o que sugere a necessidade de realização de mais pesquisas. Com o intuito de suprir a referida possível lacuna teórica, foi conduzido o estudo em formato de revisão sistemática da literatura, para evidenciar o estado-da-arte sobre o tema em questão. O objetivo desta pesquisa foi evidenciar a produção científica acerca da contribuição das tecnologias da indústria 4.0 para a Manufatura Sustentável em processo fabril de produtos químicos. Optou-se pela revisão sistemática da literatura de artigos científicos sobre Manufatura Verde, Sustentabilidade, Tecnologias da Indústria 4.0 e Indústria Química, publicados em língua inglesa, entre 2019 e 2023, retirados da base de dados do portal Scopus.

Foi possível evidenciar que os avanços tecnológicos e a crescente busca pela inovação sustentável no setor químico abre espaço para a implementação de ações que possam propiciar condições favoráveis à adoção do modelo de manufatura sustentável e mitigar os impactos ambientais do segmento, o qual oferece potencial risco ao meio ambiente em virtude do alto grau de complexidade das suas operações. Assuntos como a economia circular, o incentivo a relacionamentos externos e práticas mais sustentáveis, a gestão de recursos e as tecnologias da indústria 4.0, destacaram-se nesta revisão de literatura.

Apesar do avanço conceitual no decorrer dos anos em relação ao tema, dentre as universidades e empresas do mundo todo, a revisão de literatura aponta que ainda há muito a se pesquisar, destacando que a produção científica sobre o tema, de adoção das tecnologias da indústria 4.0 para tornar as operações industriais no setor químico, sustentáveis, é liderada por universidades europeias e asiáticas. Esta constatação pode indicar a necessidade de incentivos à pesquisa em outros continentes e no Brasil. Demonstrou-se que a adoção do modelo de manufatura verde, por meio das tecnologias da indústria 4.0 em indústrias químicas, que tanto o meio acadêmico (universidades) quanto o meio profissional (indústrias) carecem de estudos e necessitam incentivos e fomentos à pesquisa, para estimular ações que possam minimizar os danos causados pelo setor químico.

Como limitação da pesquisa destaca-se o formato escolhido, de revisão sistemática da literatura, a qual, apesar de oferecer relevantes contribuições para o conhecimento acerca do estado-da-arte da literatura científica sobre o tema focal, apresenta evidentes restrições de escopo, por não lidar diretamente com os dados primários, reduzindo seu nível de ineditismo.

Sugere-se, para novos estudos, realizar pesquisas teórico-empíricas, tanto no setor analisado, indústria química, como na cadeia de seus fornecedores, facultando uma visão sistêmica sobre a adoção das tecnologias da indústria 4.0 para promover as práticas sustentáveis.

Referências

- Abedsoltan, H. (2023). COVID-19 and the chemical industry: impacts, challenges, and opportunities. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 98(12), 2789-2797. DOI: 10.1002/jctb.7531.
- Ali, K., & Johl, S. K. (2023). Driving forces for industry 4.0 readiness, sustainable manufacturing practices and circular economy capabilities: does firm size

- matter?. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 34(5), 838-871. DOI: 10.1108/JMTM-07-2022-0254.
- An, W. K., Zheng, S. J., Zhang, H. X., Shang, T. T., Wang, H. R., Xu, X. J., ... & Pan, Z. (2021). s-Tetrazine-functionalized hyper-crosslinked polymers for efficient photocatalytic synthesis of benzimidazoles. *Green Chemistry*, 23(3), 1292-1299. DOI: 10.1039/d0gc03719b.
- Bag, S. (2023). From resources to sustainability: a practice-based view of net zero economy implementation in small and medium business-to-business firms. *Benchmarking: An International Journal*. DOI: 10.1108/BIJ-01-2023-0056.
- Ching, N. T., Ghobakhloo, M., Iranmanesh, M., Maroufkhani, P., & Asadi, S. (2022). Industry 4.0 applications for sustainable manufacturing: A systematic literature review and a roadmap to sustainable development. *Journal of Cleaner Production*, 334, 130133. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130133>.
- Chinnathai, M. K., & Alkan, B. (2023). A digital life-cycle management framework for sustainable smart manufacturing in energy intensive industries. *Journal of Cleaner Production*, 419, 138259. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138259>.
- Crowther, M., Lim, W., & Crowther, M. A. (2010). Systematic review and meta-analysis methodology. *Blood, The Journal of the American Society of Hematology*, 116(17), 3140-3146. DOI: 10.1182/blood-2010-05-280883.
- Dresch, A., Lacerda, D. P., & Junior, J. A. V. A. (2020). *Design science research: método de pesquisa para avanço da ciência e tecnologia*. Bookman Editora.
- Ferreira, J. J., Lopes, J. M., Gomes, S., & Rammal, H. G. (2023). Industry 4.0 implementation: Environmental and social sustainability in manufacturing multinational enterprises. *Journal of Cleaner Production*, 404, 136841. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136841>.
- Gayer, S. M., Hupffer, H. M., & Schreiber. (2023). *A revisão sistemática da literatura sobre a obsolescência programada de produtos eletroeletrônicos*. In book: *Tecnologias Sustentáveis* (p. 171-186). Editora Univates. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/371939463_A_REVISAO_SISTEMATICA_DA_LITERATURA SOBRE OBSOLESCENCIA PROGRAMADA DE PRODUTOS ELETROELETRONICOS. Acesso em: 21 mai. 2024.
- Grácio, M. C. C., & de Oliveira, E. F. T. (2012). A inserção e o impacto internacional da pesquisa brasileira em “estudos métricos”: uma análise na base Scopus. *Tendências da pesquisa brasileira em ciência da informação*, 5(1). Disponível em: <https://ancib.org/revistas/index.php/tpbci/article/view/269>.
- Hemmati, M., Newaz, M. S., Rahman, M. K., Appolloni, A., & Zailani, S. (2022). Sustainability performance of digitalized manufacturing industry in COVID era: a comparative study between developed and developing economies. *International Journal of Emerging Markets*. DOI: 10.1108/IJOEM-04-2022-0647.

- Ingrao, C., Evola, R. S., Cantore, P., De Bernardi, P., Del Borghi, A., Vesce, E., & Beltramo, R. (2021). The contribution of sensor-based equipment to life cycle assessment through improvement of data collection in the industry. *Environmental Impact Assessment Review*, 88, 106569. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eiar.2021.106569>.
- Jabbour, A. B. L., Latan, H., Jabbour, C. J. C., & Seles, B. M. R. P. (2023). Does applying a circular business model lead to organizational resilience? Mediating effects of industry 4.0 and customers integration. *Technological Forecasting and Social Change*, 194, 122672. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2023.122672>.
- Jamwal, A., Agrawal, R., & Sharma, M. (2023). Challenges and opportunities for manufacturing SMEs in adopting industry 4.0 technologies for achieving sustainability: Empirical evidence from an emerging economy. *Operations Management Research*, 1-26. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12063-023-00428-2>.
- Lee, H., Zhang, Y., Zhang, H., & Liu, X. (2023). Challenges and opportunities of utilizing design thinking in the industry 4.0 era: based on the case study of industry wastewater treatment system development project process. *Journal of Innovation and Entrepreneurship*, 12(1), 56. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13731-023-00315-x>.
- Mendez-Alva, F., Cervo, H., Krese, G., & Van Eetvelde, G. (2021). Industrial symbiosis profiles in energy-intensive industries: Sectoral insights from open databases. *Journal of Cleaner Production*, 314, 128031. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128031>.
- Moraes, M. A.; Theis, V., & Schreiber, D. (2016). *Análise Reflexiva do Modelo de Gestão Ambiental Praticado por Indústrias do Setor Químico*. In: Simpósio Internacional de Gestão de Projetos, Inovação e Sustentabilidade (SINGEP), V, 2016, São Paulo. Anais [...]. Disponível em: <https://www.singep.org.br/5singep/resultado/67.pdf>. Acesso em: 18 mai. 2024.
- Panduru, D. A., Scarlat, C., & Gherman, M. L. (2021). The ICT Influence on Strategic Thinking. Particularities in the Oil and Gas Industry. *Issues in Information Systems*, 22(1). DOI: https://doi.org/10.48009/1_iis_2021_269-281.
- Sampaio, R. F., & Mancini, M. C. (2007). Estudos de revisão sistemática: um guia para síntese criteriosa da evidência científica. *Brazilian Journal of Physical Therapy*, 11, 83-89. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-35552007000100013>.
- Schreiber, D. (2021). Análise reflexiva acerca das alternativas de redução de custos ambientais por meio da adoção das tecnologias da indústria 4.0 mediadas pelas ferramentas Design Thinking e Cooper' s Stage Gate. In *Anais do Congresso Brasileiro de Custos-ABC*. Disponível em: <https://anaiscbc.emnuvens.com.br/anais/article/view/4900>. Acesso em: 18 mai.2024.
- Schreiber, D; Becker, S. C.; & Martins, M. A. M. (2023). Compras verdes na cadeia de fabricação de calçados. *Pretexto*, 24 (1), 119-135. Disponível em: <http://revista.fumec.br/index.php/pretexto/article/view/9383>. Acesso em: 18 mai.2024.

Seuring, S., & Gold, S. (2012). Conducting content-analysis based literature reviews in supply chain management. *Supply chain management: An international journal*, 17(5), 544-555. DOI: <http://dx.doi.org/10.1108/13598541211258609>.

Severino, A. J. (2017). *Metodologia do trabalho científico*. Cortez editora.

Silva, D. A. L., Silva, E. J. D., & Ometto, A. R. (2015). Green manufacturing: uma análise da produção científica e de tendências para o futuro. *Production*, 26, 642-655. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0103-6513.032513>.

Teixeira da Silva, J. A. (2020). CiteScore: Advances, evolution, applications, and limitations. *Publishing Research Quarterly*, 36(3), 459-468. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12109-020-09736-y>.

Yilmaz, A., Dora, M., Hezarkhani, B., & Kumar, M. (2022). Lean and industry 4.0: Mapping determinants and barriers from a social, environmental, and operational perspective. *Technological Forecasting and Social Change*, 175, 121320. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2021.121320>.