

CONVERGÊNCIA DA ECONOMIA CIRCULAR COM INDÚSTRIA 5.0: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

GUSTAVO DE OLIVEIRA HANAUER

DUSAN SCHREIBER
UNIVERSIDADE FEEVALE (FEEVALE)

LUCIANE PEREIRA VIANA
UNIVERSIDADE FEEVALE (FEEVALE)

CONVERGÊNCIA DA ECONOMIA CIRCULAR COM INDÚSTRIA 5.0: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

CONVERGENCE OF THE CIRCULAR ECONOMY WITH INDUSTRY 5.0: A SYSTEMATIC REVIEW

INTRODUÇÃO

A Economia Circular (EC) emerge como um modelo alternativo ao sistema linear tradicional, buscando otimizar o uso de recursos, estender o ciclo de vida dos produtos e minimizar os impactos ambientais por meio da regeneração e reutilização de materiais (Ahmad et al., 2023; Reike et al., 2023). Ao propor uma mudança estrutural no modo de produção e consumo, a EC oferece caminhos promissores para a sustentabilidade de longo prazo e tem ganhado protagonismo em agendas acadêmicas e corporativas (Castro-Lopez et al., 2024).

Paralelamente, a Indústria 5.0 surge como uma evolução da Indústria 4.0, reposicionando o papel do ser humano no centro dos processos industriais e propondo uma integração harmoniosa entre tecnologias (inteligência artificial, robótica colaborativa, *big data* e internet das coisas) e os valores humanos como personalização, bem-estar e responsabilidade ambiental (Mukherjee et al., 2023; Santhi & Muthuswamy, 2023). Ao enfatizar a colaboração entre humanos e máquinas, a Indústria 5.0 amplia o escopo tecnológico com preocupações sociais e ecológicas, promovendo um novo olhar sobre a inovação orientada à sustentabilidade (Leon et al., 2023;).

A convergência da Economia Circular com a Indústria 5.0 representa uma fronteira emergente da pesquisa científica e da prática industrial. Tal interseção aponta para a criação de ecossistemas produtivos mais resilientes, inteligentes e sustentáveis, capazes de alinhar eficiência tecnológica com responsabilidade socioambiental (Ahmad et al., 2023; Leon et al., 2023; Mukherjee et al., 2023). Além disso, a integração entre os princípios circulares e os habilitadores digitais-humanos da Indústria 5.0 pode contribuir para a geração de modelos de negócios inovadores e regenerativos (Jabbour et al., 2019; Pfeffer et al., 2025).

Contudo, embora ambas as abordagens tenham sido exploradas em diferentes áreas do conhecimento, ainda são escassos os estudos que sistematizam o que já foi produzido sobre essa integração de forma crítica e estruturada. Diante disso, este artigo tem como objetivo revisar sistematicamente a literatura existente que trata da convergência da Economia Circular com a Indústria 5.0, mapeando os principais itens analisados, lacunas e perspectivas futuras do campo. Ao adotar o método de revisão sistemática de literatura, busca-se oferecer uma visão fundamentada sobre o estado da arte, contribuindo com pesquisadores, formuladores de políticas públicas e profissionais interessados em estratégias industriais sustentáveis e tecnológicas.

Este trabalho divide-se em quatro seções, sendo elas (i) introdução; (ii) metodologia; (iii) resultados e discussões; (iv) conclusões e, por fim, as referências.

METODOLOGIA

Neste estudo utiliza-se uma abordagem qualitativa, com objetivo exploratório e descritivo (Demo, 2022), sendo estruturado a partir de uma síntese de publicações acadêmicas sobre temas como economia circular e indústria 5.0. Como procedimentos técnicos de pesquisa, utilizou-se a revisão sistemática de literatura, seguindo as diretrizes PRISMA (Page et al., 2021) que garantem transparência e rigor na seleção e síntese da literatura. Sendo assim, o processo de revisão incluiu as seguintes etapas: (i) identificação; (ii) triagem; (iii) elegibilidade e (iv) inclusão. A técnica de coleta de dados utilizada foi a pesquisa bibliográfica.

A revisão sistemática constitui uma abordagem metodológica essencial para aprofundar a compreensão sobre um tema específico, ao reunir evidências consolidadas e revelar pontos ainda pouco explorados pela literatura (Catto et al., 2023). Essa estratégia permite examinar criticamente a produção acadêmica existente, promovendo uma análise estruturada dos estudos disponíveis e a síntese dos principais resultados (Dresch et al., 2015; Seuring & Gold, 2012).

Identificação

Para a realização da busca bibliográfica, optou-se por utilizar duas bases, sendo (i) 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) e; (ii) Web of Science, uma das bases de dados acadêmicas mais tradicionais e amplamente reconhecidas no cenário internacional, sendo referência para pesquisadores de diferentes áreas, com uma estrutura que oferece suporte tanto a pesquisas cotidianas quanto à realização de análises bibliométricas mais aprofundadas (Birkle et al., 2019).

Foram definidos os critérios de pesquisa, optando apenas por artigos publicados em inglês, entre 2015 e 2025. Na sequência, foram estabelecidas as palavras-chave de busca, as quais foram utilizadas de maneira combinada, sendo conectadas pelos operadores “AND” e “OR”. Os termos utilizados foram: “*Industry 5*” OR “*5.0 Industry*” AND “*Circular Economy*”. A busca nas bases de dados ocorreu no dia 26 de maio de 2025. Para os termos buscados foram encontrados 2835 artigos, estando separados em 1475 artigos na base Scopus e 1360 a base Web of Science.

Triagem e Elegibilidade

Todos os artigos encontrados foram exportados em arquivo excel gerado pelas próprias plataformas, sendo, assim, posteriormente classificados manualmente e considerando informações a serem coletadas, como (a) autor e ano; (b) título do artigo; (c) palavras-chave e; (d) periódico publicado.

Para que a seleção dos artigos fosse considerada relevante, estabeleceu-se condições de inclusões e exclusões com base nos seguintes critérios: (i) o artigo aborda literatura que se relaciona com a indústria 5.0 e a economia circular; (ii) ser artigo científico; (iii) ser de língua inglesa e; (iv) ter sido publicado entre 2015 e 2025. Foram excluídos artigos que abordavam outros temas não relacionados com a indústria 5.0 e a economia circular, bem como artigos que não se enquadravam nos critérios.

A partir disso, a triagem e elegibilidade ocorreu por meio do filtro de palavras-chave. Na mesma planilha em que os artigos foram classificados, foram criadas três colunas de classificação, sendo: (i) as palavras-chave possuem o termo “indústria 5.0” ou afins, como “I5.0”, “quinta revolução industrial” e outros; (ii) as palavras-chave possuem o termo “economia circular” ou afins, como “circularidade”, “remanufatura” e outros e; (iii) as palavras-chave possuem os dois termos (indústria 5.0 e economia circular).

Mediante aos filtros aplicados, foi estabelecido que seriam contabilizados apenas os artigos que continham os dois termos em conjunto (indústria 5.0 e economia circular), portanto, os resultados foram reduzidos para 53 artigos, distribuídos em Scopus (26 artigos) e Web Of Science (27 artigos).

Foi realizada uma nova triagem dos artigos e identificou-se que 22 estudos estavam duplicados, estando nas duas bases de dados. Os artigos duplicados foram desconsiderados de uma das bases, totalizando, portanto, 31 artigos no total para a análise. Deste resultado, 4 artigos

não estavam disponíveis para *download*, não sendo possível efetuar a leitura na íntegra, portanto, também foram desconsiderados. Sendo assim, a seleção final foi de 27 artigos.

Inclusão

Foram incluídos 27 artigos nesta revisão, que abordam sobre economia circular e indústria 5.0 em diferentes contextos, apresentando as tecnologias da I5.0 como facilitadoras da circularidade, a integração entre humanos e o digital, os diferentes setores de aplicação das tecnologias, as propostas de estratégias de tomada de decisão, o desenvolvimento de ciclos produtivos fechados e análises de *frameworks* relacionados à circularidade e digitalização de processos.

As informações de natureza qualitativa foram examinadas com base em uma abordagem interpretativa, voltada à organização e à compreensão aprofundada do conteúdo textual, permitindo uma análise mais significativa dos achados (Severino, 2007). A figura 1 sintetiza os resultados das seleções dos artigos.



Figura 1. Síntese de seleção de artigos.

Fonte: Dados da Pesquisa (2025)

DISCUSSÃO

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

A figura 2 apresenta a evolução temporal das publicações, por meio de um gráfico de linha com marcadores, mostrando ano a ano, o número de artigos publicados:

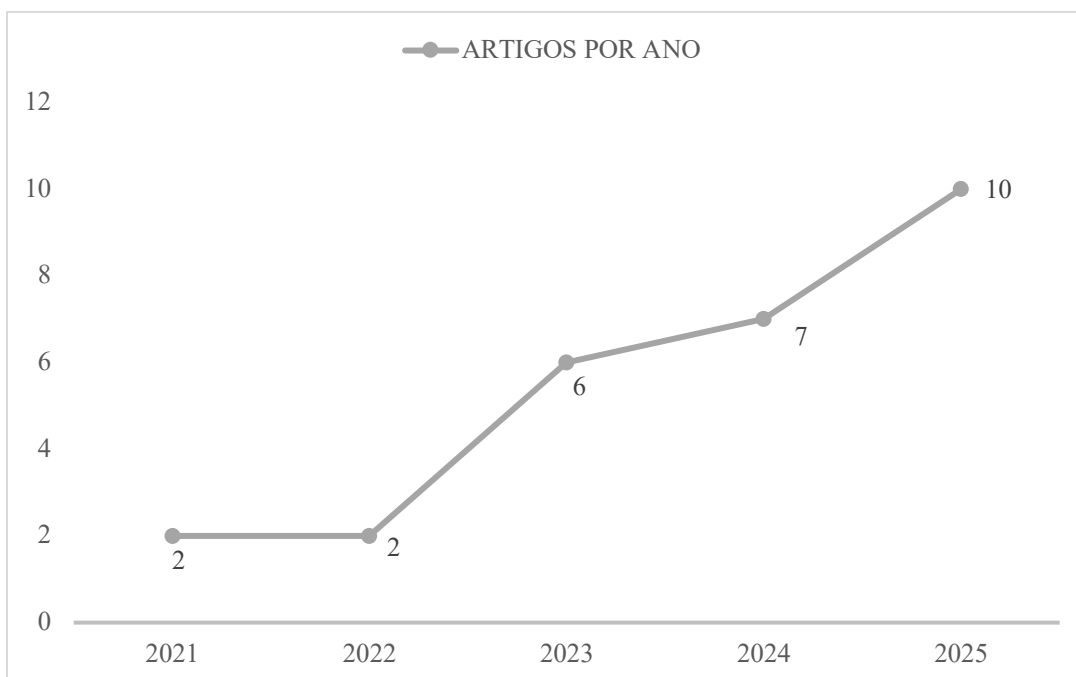


Figura 2. Evolução temporal das publicações
 Fonte: Dados da Pesquisa (2025)

A revisão sistemática da literatura conseguiu evidenciar que as pesquisas sobre a convergência da economia circular com a indústria 5.0 são escassas e recentes, conforme consta na Figura 2, que destaca duas publicações nos anos de 2021 (Fraga-Lamas; Lopes; Caramês, 2021; Miranda et al., 2021) e de 2022 (Khan & Abonyi, 2022; Turner et al., 2022), seis no ano 2023 (Dabo & Far, 2023; Dwivedi et al., 2023; Ghobakhloo et al., 2023; Mejia-Moncayo et al., 2023; Panza et al., 2023; Turne & Oyekan, 2023), sete no ano 2024 (Garrido et al., 2024; Hsu et al., 2024; Kannan et al., 2024; Mesjasz-Lech et al., 2024; Payer et al., 2024; Priyadarshini et al., 2024; Shafique et al., 2024) e dez publicações em 2025 (Agrawal et al., 2025; Alamahdi, 2025; Berniak-Wozny et al., 2025; Jakobs et al., 2025; Nayeri et al., 2025; Papamichel et al., 2025; Rumann et al., 2025; Trevisan et al., 2025; Zhang & Liu, 2025), até o momento deste estudo. O crescimento identificado no aumento de publicações pode expressar um avanço do interesse em realizar estudos sobre o tema.

Como complemento à análise, a Tabela 1 exhibe os periódicos responsáveis pela publicação dos artigos revisados, organizados da revista com maior frequência de publicações para a de menor ocorrência. Também são indicados o Fator de Impacto (JIF) atribuído pelo *Journal Citation Reports* (JCR) referente ao ano de 2023.

Tabela 1
 Artigos por revista

Periódico	Nº vezes	Fator de impacto
<i>Sustainability</i>	6	3.3
<i>Business Strategy and the Environment</i>	2	12.5
<i>Cleaner Logistics and Supply Chain</i>	2	6.9
<i>Computers and Industrial Engineering</i>	2	6.7
<i>Journal of Cleaner Production</i>	2	9.8
<i>Applied Sciences (Switzerland)</i>	1	2.5
<i>Chemical Engineering Journal</i>	1	13.3

<i>Engineering Management in Production and Services</i>	1	1.89
<i>Future Foods</i>	1	7.2
<i>Humanities and Social Sciences Letters</i>	1	0.8
<i>Information Systems Frontiers</i>	1	6.9
<i>International Journal of Interactive Design and Manufacturing - Ijidem</i>	1	2.1
<i>Journal of Engineering Sciences-Ukraine</i>	1	-
<i>Journal of Environmental Management</i>	1	8
<i>Logistics-Basel</i>	1	3.6
<i>Sensors</i>	1	3.4
<i>Systems</i>	1	2.3
<i>Waste Management</i>	1	7.1

Fonte: Dados da Pesquisa (2025)

É possível identificar a partir da tabela 1 que a revisão contemplou 18 periódicos, com destaque para o periódico *Sustainability*, com o maior número de artigos analisados, com seis no total. No entanto, esse periódico possui fator de impacto 3.3, um número menos expressivo em relação aos periódicos com duas publicações. Identificou-se também outros quatro periódicos com dois artigos publicados, como *Business Strategy and the Environment*, (JIF 12.5), *Cleaner Logistics and Supply Chain* (JIF 6.9), *Computers and Industrial Engineering* (JIF 6.7) e, por fim, *Journal of Cleaner Production* (JIF 9.8). As demais revistas, todas com apenas uma publicação, sendo cinco revistas com fator de impacto maior do que cinco (*Chemical Engineering Journal*, *Future Foods*, *Information Systems Frontiers*, *Journal of Environmental Management* e *Waste Management*) e oito artigos com fator de impacto abaixo de cinco (*Applied Sciences*, *Engineering Management in Production and Services*, *Humanities and Social Sciences Letters*, *International Journal of Interactive Design and Manufacturing*, *Journal of Engineering Sciences*, *Logistics-Basel*, *Sensors* e *Systems*).

O número maior de publicações do mesmo periódico em relação aos demais justifica-se pela aderência do tema com o escopo editorial da revista, a qual trata da sustentabilidade em suas dimensões técnica, ambiental, cultural, econômica e social, servindo como um fórum qualificado para estudos sobre sustentabilidade e desenvolvimento sustentável.

Em relação aos periódicos com duas publicações: (i) *Business Strategy and the Environment*, tem como foco a publicação de pesquisas sobre sistemas e padrões, desempenho ambiental, transparência,ecoinovação, ferramentas de gestão ambiental corporativa, governança, cadeias de suprimentos, economia circular e demais desafios ambientais atuais; (ii) *Cleaner Logistics and Supply Chain*, foca na disseminação de pesquisas relacionadas à sustentabilidade e à eficiência ambiental nas cadeias de suprimentos e operações logísticas, promovendo abordagens que reduzam impactos ambientais e otimizem recursos ao longo do ciclo de vida dos produtos; (iii) *Computers and Industrial Engineering*, publica contribuições originais sobre o desenvolvimento de novas metodologias computadorizadas para a solução de problemas de engenharia industrial, bem como as aplicações dessas metodologias a problemas de interesse da engenharia industrial em geral e comunidades associadas e; (iv) *Journal of Cleaner Production*, atua como uma plataforma para explorar e debater a produção mais limpa, tanto em aspectos teóricos quanto práticos, envolvendo questões ambientais e de sustentabilidade em empresas, governos, instituições de ensino, regiões e sociedades. Estes periódicos contribuem para o avanço do conhecimento científico em sustentabilidade aplicada à indústria. As demais revistas do ranking publicaram apenas um artigo cada uma.

Na sequência, a tabela 2 sintetiza os autores dos artigos, em ordem alfabética, bem como o título dos artigos e o nome das revistas. Percebe-se que os autores Chris Turner, John Oyekan

e Erfan Babaee Tirkolaee publicaram dois artigos cada, já os demais autores aparecem apenas uma vez e participaram apenas de uma publicação, entre os vinte e sete artigos selecionados:

Tabela 2
Autores e publicações

Autor	Título	Periódico publicado
Agrawal et al. (2025)	<i>Business Strategies for Sustainable Development: Leveraging Industry 5.0 and Circular Pharmaceutical Supply Chains to Overcome Medicine Waste</i>	<i>Business Strategy and the Environment</i>
Alamahdi (2025)	<i>A Deep Learning-Based Ensemble Framework to Predict IPOs Performance for Sustainable Economic Development</i>	<i>Sustainability</i>
Berniak-Wozny e al. (2025)	<i>Empowering Smart Cities Through Start-Ups: A Sustainability Framework for Incubator-City Collaboration</i>	<i>Systems</i>
Dabo & Far (2023)	<i>An Integrated Methodology for Enhancing Reverse Logistics Flows and Networks in Industry 5.0</i>	<i>Logistics-basel</i>
Dwivedi et al. (2023)	<i>Studying the interactions among Industry 5.0 and circular supply chain: Towards attaining sustainable development</i>	<i>Computers & industrial engineering</i>
Fraga-Lamas et al. (2021)	<i>Green IoT and Edge AI as Key Technological Enablers for a Sustainable Digital Transition towards a Smart Circular Economy: An Industry 5.0 Use Case</i>	<i>Sensors</i>
Garrido et al. (2024)	<i>Operations Management, Sustainability & Industry 5.0: A critical analysis and future agenda</i>	<i>Cleaner logistics and supply chain</i>
Ghobakhloo et al. (2023)	<i>Industry 5.0 implications for inclusive sustainable manufacturing: An evidence-knowledge-based strategic roadmap</i>	<i>Journal of cleaner production</i>
Hsu et al. (2024)	<i>Enabling Industry 5.0-Driven Circular Economy Transformation: A Strategic Roadmap</i>	<i>Sustainability</i>
Jakobs et al. (2025)	<i>A Framework and Taxonomy for Categorizing Industrial Symbiosis in Manufacturing</i>	<i>Journal of engineering sciences-ukraine</i>
Kannan et al. (2024)	<i>Unveiling barriers to the integration of blockchain-based circular economy and Industry 5.0 in manufacturing industries: A strategic prioritization approach</i>	<i>Business strategy and the environment</i>
Khan & Abonyi (2022)	<i>Information sharing in supply chains-Interoperability in an era of circular economy</i>	<i>Cleaner logistics and supply chain</i>
Mejia-Moncayo et al. (2023)	<i>On the development of a smart architecture for a sustainable manufacturing-remanufacturing system: A literature review approach</i>	<i>Computers and Industrial Engineering</i>
Mesjasz-Lech et al. (2024)	<i>Circular manufacturing and Industry 5.0. assessing material flows in the manufacturing process in relation to e-waste streams</i>	<i>Engineering Management in Production and Services</i>
Miranda et al. (2021)	<i>Neuro-Competence Approach for Sustainable Engineering</i>	<i>Sustainability</i>
Nayeri et al. (2025)	<i>Towards waste management 5.0: A nexus between circular economy and industry 5.0 dimensions</i>	<i>Waste management</i>
Neri et al. (2025)	<i>Fostering lithium-ion battery remanufacturing through Industry 5.0</i>	<i>International journal of interactive design and manufacturing - ijjidem</i>
Panza et al. (2023)	<i>Integrating Absolute Sustainability and Social Sustainability in the Digital Product Passport to Promote Industry 5.0</i>	<i>Sustainability</i>
Papamichel et al. (2025)	<i>A metaverse framework for sustainable waste management considering circular economy</i>	<i>Chemical engineering journal</i>

Payer et al. (2024)	<i>Framework to supporting monitoring the circular economy in the context of industry 5.0: A proposal considering circularity indicators, digital transformation, and sustainability</i>	<i>Journal of cleaner production</i>
Priyadarshini et al. (2024)	<i>Implementation of Additive Manufacturing in the Healthcare Supply Chain for Circular Economy Goals: Paradoxical Tensions and Solutions from an Industry 5.0 Perspective</i>	<i>Information systems frontiers</i>
Rumann et al. (2025)	<i>Industry 5.0 circular economy practices: Innovation management and its impact on sustainable development</i>	<i>Humanities and Social Sciences Letters</i>
Shafique et al. (2024)	<i>The Synergy Between Industry 5.0 and Circular Economy for Sustainable Performance in the Chinese Manufacturing Industry</i>	<i>Sustainability</i>
Trevisan et al. (2025)	<i>Enhancing Circular Economy education and training for the manufacturing sector: A holistic skills framework</i>	<i>Journal of environmental management</i>
Turner & Oyekan (2023)	<i>Personalised Production in the Age of Circular Additive Manufacturing</i>	<i>Applied sciences (switzerland)</i>
Turner et al. (2022)	<i>Industry 5.0 and the Circular Economy: Utilizing LCA with Intelligent Products</i>	<i>Sustainability</i>
Zhang & Liu (2025).	<i>Insights into potential value and sustainable utilisation of pumpkin peel: A review</i>	<i>Future foods</i>

Fonte: Dados da Pesquisa (2025)

Na tabela 3, 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 a “*University of Surrey*”, do autor Chris Turner, foi a única com mais de um artigo nesta revisão. Todas as demais universidades contemplaram apenas um artigo, mesmo que o país de origem tenha um número maior de universidades envolvidas, como foi o caso da Itália, que apresentou quatro universidades, mas sem repetições. Brasil apresentou apenas uma universidade, a Universidade Federal Fluminense, no Rio de Janeiro.

Tabela 3

Universidades vinculadas

País	Universidades	1º autor
Inglaterra	<i>University of Northampton</i> <i>University of Surrey</i> <i>University of Surrey</i> <i>Coventry University</i>	Dabo, Al-Amin Abba; Turner, Chris; Turner, Chris; Zhang, Guoqiang;
Itália	<i>Free University of Bolzano</i> <i>University of Bologna</i> <i>Politecnico di Torino</i> <i>Politecnico di Milano</i>	Jakobs, L.; Neri, Alessandro; Panza, Luigi; Trevisan, Adriana Hofmann;
Índia	<i>Symbiosis Institute of Operations Management</i> <i>Jindal Global Business School</i> <i>Management Development Institute</i>	Agrawal, Anguja; Dwivedi, Ashish; Priyadarshini, Jaya;
Espanha	<i>Universidade da Coruña</i> <i>University of Seville</i>	Lamas, Paula; Miranda, Susana Suarez-Fernandez;
Polónia	<i>SWPS University</i> <i>Czestochowa University of Technology</i>	Berniak-Wozny, Justyna; Mesjasz-Lech, Agata;
Portugal	<i>University of Coimbra</i> <i>University of Aveiro</i>	Garrido, Susana; Shafique, Muhammad Noman;

Arábia Saudita	<i>King Abdulaziz University</i>	Alahmadi, Mazin
Austrália	<i>University of Adelaide</i>	Kannan, Devika;
Brasil	<i>Fluminense Federal University</i>	Payer, Renan Carrico;
Canadá	<i>École de technologie supérieure</i>	Mejía-Moncayo, Camilo;
China	<i>Fujian University of Technology</i>	Hsu, Chih-Hung;
Chipre	<i>Open University of Cyprus</i>	Papamichael, Iliana;
Hungria	<i>University of Pannonia</i>	Khan, Athar Ajaz;
Irã	<i>University of Tehran</i>	Nayeri, Sina;
Jordânia	<i>Al-Ahliyya Amman University</i>	Rumman, Amani Abu;
Lituânia	<i>Kaunas University of Technology</i>	Ghobakhloo, Morteza;

Fonte: Dados da Pesquisa (2025)

Em relação aos países com maior produção científica, destaca-se primeiramente o número de dezesseis países envolvidos, sendo oito na Europa (Chipre, Espanha, Hungria, Inglaterra, Itália, Lituânia, Polônia e Portugal), cinco na Ásia (Arábia Saudita, China, Índia, Irã e Jordânia), um na América do Norte (Canadá), um na América do Sul (Brasil) e um na Oceania (Austrália). Dentre estes países, a Inglaterra e a Itália destacam-se com quatro publicações cada, a Índia com três publicações e Espanha, Polônia e Portugal com duas publicações cada. Os demais países publicaram apenas uma revista cada.

Já na tabela 4, é possível analisar as informações referente as abordagens metodológicas (qualitativos, quantitativos e quali-quant) dos artigos pesquisados.

Tabela 4
Abordagem

Abordagem	Nº de artigos	Autores
Qualitativa	13	Garrido et al. (2024); Jakobs et al. (2025); Khan & Abonyi (2022); Mejia-Moncayo et al. (2023); Miranda et al. (2021); Panza et al. (2023); Papamichel et al. (2025); Payer et al. (2024); Priyadarshini et al. (2024); Shafique et al. (2024); Turner et al. (2022); Turner & Oyekan (2023); Zhang & Liu (2025).
Quantitativa	6	Alamahdi (2025); Hsu et al. (2024); Kannan et al. (2024); Mesjasz-Lech et al. (2024); Nayeri et al. (2025); Neri et al. (2025);
Quali-Quant	8	Agrawal et al. (2025); Berniak-Wozny et al. (2025); Dabo & Far (2023); Dwivedi et al. (2023); Fraga-Lamas et al. (2021); Ghobakhloo et al. (2023); Rumann et al. (2025); Trevisan et al. (2025);

Fonte: Dados da Pesquisa (2025)

Em relação às abordagens metodológicas utilizadas nos artigos publicados, foi possível evidenciar que do total de vinte e sete artigos selecionados, treze artigos apresentaram abordagem qualitativa (Garrido et al., 2024; Jakobs et al., 2025; Khan & Abonyi, 2022; Mejia-Moncayo et al., 2023; Miranda et al., 2021; Panza et al., 2023; Papamichel et al., 2025; Payer et al., 2024; Priyadarshini et al., 2024; Shafique et al., 2024; Turner et al., 2022; Turner & Oyekan, 2023; Zhang & Liu, 2025), o que se justifica pelo fato de que a maior parte das publicações são a baseadas em revisões de literatura. Além disso, oito artigos apresentaram abordagem mista (quali-quant) (Agrawal et al., 2025; Berniak-Wozny et al., 2025; Dabo & Far, 2023; Dwivedi et al., 2023; Fraga-Lamas et al., 2021; Ghobakhloo et al., 2023; Rumann et al., 2025; Trevisan et al., 2025) e seis artigos apresentaram abordagem quantitativa (Alamahdi, 2025; Hsu et al., 2024; Kannan et al., 2024; Mesjasz-Lech et al., 2024; Nayeri et al., 2025; Neri et al., 2025).

Partindo para a análise da síntese dos resumos, pode-se verificar que a maioria dos artigos aponta que as tecnologias como Inteligência Artificial (IA), Internet das Coisas (IoT), *Digital Twin*, *Blockchain* e *Edge AI*, são catalisadoras da circularidade (Fraga-Lamas et al.,

2021; Kannan et al., 2024; Khan & Abonyi, 2022; Nayeri et al., 2025; Shafique et al., 2024; Turner & Oyekan, 2023), promovendo monitoramento em tempo real de recursos, resíduos e ciclos produtivos (Jakobs et al., 2025; Papamichel et al., 2025; Zhang & Liu, 2025), bem como rastreabilidade e transparência via *Digital Product Passport* (Neri et al., 2025; Panza et al., 2023), otimização de processos logísticos e produtivos, com destaque para logística reversa, remanufatura e personalização sustentável (Dabo & Far, 2023; Mejia-Moncayo et al., 2023), além de manufatura aditiva (3D/4D) e co-criação (Turner et al., 2022; Turner & Oyekan, 2023).

Além disso, é possível perceber o destaque para como a Indústria 5.0 se diferencia da I4.0 ao recolocar o ser humano no centro dos processos produtivos, respeitando sua singularidade (Garrido et al., 2024; Miranda et al., 2021; Priyadarshini et al., 2024; Trevisan et al., 2025; Turner et al., 2022). Isso aparece de forma marcante em processos de decisão assistida pelo humano, modelos de engenharia de competências (neurocompetências), demandas por *soft skills* e habilidades digitais na formação para a circularidade (Dabo & Far, 2023; Jakobs et al., 2025; Mejia-Moncayo et al., 2023; Zhang & Liu, 2025).

Os estudos abordam também *frameworks* estratégicos, modelos de governança e *roadmaps*, o que evidencia a importância de uma estruturação sistêmica e orientada por dados para a integração eficaz entre a economia circular (EC) e a Indústria 5.0 (I5.0) (Agrawal et al., 2025; Alamahdi, 2025; Berniak-Wozny et al., 2025; Dwivedi et al., 2023; Hsu et al., 2024; Payer et al., 2024; Rumann et al., 2025).

Percebe-se também que a convergência da EC com a I5.0 é aplicada em múltiplos setores, como a indústria farmacêutica e química (Agrawal et al., 2025), setor automotivo e de baterias (Kannan et al., 2024; Neri et al., 2025), agroindústria e alimentos (Zhang & Liu, 2025); têxtil e saúde (Priyadarshini et al., 2024; Turner & Oyekan, 2023) e gestão de resíduos e cidades inteligentes, incluindo metaverso como ferramenta de simulação e monitoramento (Alamahdi, 2025; Berniak-Wozny et al., 2025; Mesjasz-Lech et al., 2024; Nayeri et al., 2025; Papamichel et al., 2025).

Diante disso, a partir da síntese dos resumos, foram elaboradas cinco categorias temáticas centrais que relacionam os vinte e sete artigos encontrados e estruturam os debates sobre a convergência da economia circular com a Indústria 5.0.

A construção das categorias temáticas foi realizada a partir de uma análise dos resumos dos artigos incluídos na revisão. Após a leitura das sínteses, os estudos foram agrupados conforme a ênfase de suas abordagens, identificando os temas de sentido comum entre os objetivos, metodologias e resultados dos artigos. A categorização foi realizada de uma maneira em que os resumos estivessem classificados por similaridade de foco, resultando em cinco grandes grupos temáticos: (i) transição I4.0-I5.0, competências humanas, capacidades e educação para a sustentabilidade; (ii) *frameworks*, modelos estratégicos e governança; (iii) modelos de produção, logística reversa, remanufatura e *design* circular; (iv) sustentabilidade setorial, resiliência e inovação social; e (v) tecnologias habilitadoras para economia circular. Cada categoria foi descrita com base em suas características predominantes, e os artigos foram distribuídos conforme a síntese interpretativa em relação a cada contribuição temática principal, possibilitando uma visualização mais clara das abordagens de cada artigo. As categorias podem ser visualizadas na tabela 5:

Tabela 5
Categorias temáticas

Categoria	Abordagem	Autores
Transição I4.0-I5.0, competências humanas, capacidades e educação para a sustentabilidade	Destacam a necessidade de capacitação profissional e desenvolvimento de competências voltadas à integração entre a circularidade e os princípios humanísticos da Indústria 5.0.	Garrido et al. (2024); Miranda et al. (2021); Priyadarshini et al. (2024); Trevisan et al. (2025); Turner et al. (2022);

Frameworks, modelos estratégicos e governança	Discutem <i>frameworks</i> estratégicos, modelos de governança, planejamento, <i>roadmaps</i> e decisões baseadas em dados para integração da EC e I5.0 em escala organizacional e urbana.	Agrawal et al. (2025); Alamahdi (2025); Berniak-Wozny et al. (2025); Dwivedi et al. (2023); Hsu et al. (2024); Payer et al. (2024); Rumann et al. (2025);
Modelos de produção, logística reversa, remanufatura e <i>design</i> circular	Propõem novos formatos produtivos por meio de práticas como manufatura aditiva, servitização e <i>design</i> personalizado, com base em circularidade, cocriação e tecnologias sustentáveis.	Dabo & Far (2023); Jakobs et al. (2025); Mejia-Moncayo et al. (2023); Zhang & Liu (2025);
Sustentabilidade setorial, resiliência e inovação social	Exploram a convergência da EC com a Indústria 5.0 a partir de perspectivas sociais, com ênfase na inovação social, inclusão produtiva e construção de cadeias de valor mais resilientes.	Ghobakhloo et al. (2023); Mesjasz-Lech et al. (2024); Panza et al. (2023); Papamichel et al. (2025);
Tecnologias habilitadoras para economia circular	Abordam o uso de tecnologias específicas (IoT, IA, <i>blockchain</i> , <i>3D printing</i> , etc.) para viabilizar a economia circular em processos industriais, cadeias de suprimento e gestão de resíduos.	Fraga-Lamas et al. (2021); Kannan et al. (2024); Khan & Abonyi (2022); Nayeri et al. (2025); Neri et al. (2025); Shafique et al. (2024); Turner & Oyekan (2023);

Fonte: Dados da Pesquisa (2025)

A análise das categorias (Tabela 5) revela diferentes enfoques que refletem as relações entre a Economia Circular e a Indústria 5.0. Um dos temas recorrentes nos artigos analisados é a ênfase nas competências humanas e no desenvolvimento de capacidades para a transição sustentável, envolvendo debates sobre formação técnico-profissional, lacunas de habilidades e o papel ativo do ser humano como agente integrador de processos tecnológicos e circulares. Outra temática refere-se à construção de *frameworks* conceituais, estratégias organizacionais e instrumentos de governança, evidenciando propostas estruturadas para orientar a tomada de decisão e o planejamento rumo à integração sistêmica entre os dois temas.

Observa-se também um conjunto de publicações voltadas à reconfiguração dos modelos produtivos, abordando práticas como logística reversa, *design* para circularidade, remanufatura avançada e reaproveitamento de resíduos industriais e alimentares, relacionados com os princípios da circularidade. Além disso, diversos estudos destacam a aplicação dessas abordagens em setores específicos, conectando as transformações tecnológicas à inovação social, à resiliência organizacional e à sustentabilidade setorial. Por fim, ganha destaque o papel das tecnologias digitais como viabilizadoras dessas transições, especialmente no que tange à rastreabilidade, automação inteligente e suporte à circularidade, por meio de soluções como Internet das Coisas, inteligência artificial, gêmeos digitais, *blockchain* e impressão 3D/4D.

A revisão evidencia lacunas importantes, como a escassez de validações empíricas em larga escala e *cases* reais, a ausência de *frameworks* integrados que combinem capacidade tecnológica, modelo de negócios e governança, além de barreiras estruturais e culturais, sobretudo em contextos industriais emergentes (Agrawal et al., 2025; Dabo & Far, 2023; Dwivedi et al., 2023; Garrido et al., 2024; Ghobakhloo et al., 2023; Hsu et al., 2024; Jakobs et al., 2025; Kannan et al., 2024; Khan & Abonyi, 2022; Miranda et al., 2021; Mejia-Moncayo et al., 2023; Mesjasz-Lech et al., 2024; Nayeri et al., 2025; Neri et al., 2025; Panza et al., 2023; Payer et al., 2024; Rumann et al., 2025; Shafique et al., 2024; Trevisan et al., 2025; Turner et al., 2022; Turner & Oyekan, 2023; Zhang & Liu, 2025). A falta de articulação equilibrada entre os pilares ambiental, social e econômico da sustentabilidade também é uma fragilidade observada em alguns estudos (Alamahdi, 2025; Fraga-Lamaset al., 2021; Neri et al., 2025; Papamichel et al., 2025; Priyadarshini et al., 2024).

CONCLUSÃO

A convergência da economia circular com a Indústria 5.0 tem ganhado destaque como caminho estratégico para a construção de sistemas produtivos mais sustentáveis, resilientes e humanos. A literatura revisada evidencia que a I5.0 representa uma ampliação da lógica da Indústria 4.0, ao integrar não apenas tecnologias digitais avançadas, mas também aspectos sociais, éticos e ambientais ao núcleo da inovação industrial. No entanto, o tema ainda é pouco explorado na literatura científica, indicando a necessidade de aprofundamento por meio de novos estudos.

Com o propósito de contribuir para esse campo emergente e reduzir essa lacuna teórica, este trabalho foi desenvolvido com base em uma revisão sistemática da literatura, visando mapear e apresentar o panorama atual das publicações sobre o tema. O objetivo desta pesquisa foi revisar sistematicamente a literatura de revisões existentes que tratam da convergência da Economia Circular com a Indústria 5.0. Para compreender o estado-da-arte sobre essa convergência, este estudo realizou uma revisão sistemática da literatura utilizando as bases *Scopus* e *Web of Science*. Aplicaram-se filtros como: apenas artigos, em inglês, publicados entre 2015 e 2025, que abordassem os termos “industry 5”, “circular economy” e “industry 5.0”. Após um processo de triagem e leitura dos resumos, foram selecionados vinte e sete artigos para análise. As informações foram sistematizadas por meio de tabelas comparativas, categorização temática e sínteses narrativas com base nos principais achados.

Foi possível evidenciar que a convergência entre Economia Circular e Indústria 5.0 ainda é um campo emergente, com produções concentradas em países europeus, revelando desigualdades regionais, com os países do norte global liderando a produção científica sobre o tema. Além disso, foi possível classificar os artigos, a partir da leitura da síntese dos resumos, em cinco categorias temáticas centrais, que facilitam o entendimento sobre o que é abordado: transição I4.0-I5.0, competências humanas, capacidades e educação para a sustentabilidade; *frameworks*, estratégia, governança e tomada de decisão; modelos de produção, remanufatura e *design* circular; sustentabilidade setorial, resiliência e inovação social e; tecnologias habilitadoras para economia circular.

Em síntese, os artigos revisados demonstram que a Indústria 5.0 oferece um potencial significativo para impulsionar a economia circular, ao combinar tecnologias digitais e centralidade humana. No entanto, sua consolidação exige investimentos em qualificação, políticas públicas integradas e articulação entre múltiplos atores sociais e industriais, para que essas transformações não apenas se tornem viáveis, mas também escaláveis e regenerativas.

Os estudos analisados também demonstram que, embora haja reconhecimento do potencial transformador das tecnologias emergentes aplicadas a modelos circulares e sustentáveis, ainda são escassas as investigações que traduzem essas propostas em aplicações concretas nos diferentes setores industriais. Tanto no meio acadêmico quanto no setor industrial, observa-se a carência de estudos aplicados, políticas de fomento e articulações institucionais que possam impulsionar a adoção da Indústria 5.0 como aliada estratégica da transição para economias mais circulares e resilientes. Constata-se, portanto, que ainda há escassez de pesquisas empíricas, *frameworks* aplicáveis e validação em contextos industriais reais. A literatura carece, especialmente, de abordagens integradas que combinem sustentabilidade, tecnologia e inclusão social em diferentes setores econômicos.

Entre as limitações deste estudo, destaca-se a análise restrita a artigos em inglês, o que pode ter excluído outras contribuições relevantes publicadas em outros idiomas, regiões ou formatos. Além disso, por se tratar de uma revisão, as conclusões refletem o recorte e o avanço do tema até o momento.

Como sugestão de novos estudos, foi realizada a análise das lacunas de pesquisa identificadas nos artigos selecionados, o que permitiu a organização em três categorias temáticas principais de pesquisas futuras, sendo (i) validação e aplicabilidade prática,

evidenciando a necessidade recorrente de validação empírica das propostas conceituais, com destaque para estudos que sugerem a aplicação de *frameworks*, modelos e tecnologias em contextos reais, sinalizando uma demanda por maior articulação entre teoria e prática; (ii) aprimoramento conceitual ou de modelos estratégicos, reunindo artigos que propõem melhorias em modelos analíticos, *frameworks* de governança, integração com políticas públicas, *roadmaps* e estruturas de tomada de decisão, apontando para a evolução dos referenciais teóricos e metodológicos que fundamentam esse campo; (iii) expansão setorial/geográfica e dimensões sociais/humanas, refletindo a necessidade de expandir a abordagem para diferentes setores, contextos geográficos e dimensões sociais, incorporando aspectos como competências humanas, inclusão produtiva e pensamento sistêmico. Essas categorias revelam um campo de estudo ainda em consolidação, com oportunidades relevantes para aprofundamentos tanto teóricos quanto aplicados.

REFERÊNCIAS

- Agrawal, A., Sharma, A., & Sarkar, B. D. (2025). Business Strategies for Sustainable Development: Leveraging Industry 5.0 and Circular Pharmaceutical Supply Chains to Overcome Medicine Waste. *Business Strategy and the Environment*. <https://doi.org/10.1002/bse.4202>.
- Ahmad, F., Bask, A., Laari, S., & Robinson, C. V. (2023). Business management perspectives on the circular economy: Present state and future directions. *Technological Forecasting and Social Change*, 187, 122182. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2022.122182>.
- Alahmadi, M. (2025). A Deep Learning-Based Ensemble Framework to Predict IPOs Performance for Sustainable Economic Development. *Sustainability*, 17(3), 827. <https://doi.org/10.3390/su17030827>.
- Berniak-Woźny, J., Sliż, P., & Siciński, J. (2025). Empowering Smart Cities Through Start-Ups: A Sustainability Framework for Incubator-City Collaboration. *Systems*, 13(4), 219. <https://doi.org/10.3390/systems 13040219>.
- Birkle, C., Pendlebury, D. A., Schnell, J., & Adams, J. (2020). Web of Science as a data source for research on scientific and scholarly activity. *Quantitative science studies*, 1(1), 363-376. https://doi.org/10.1162/qss_a_00018.
- Castro-Lopez, A., Entrialgo, M., Liao, C. T., & Santos-Vijande, M. L. (2025). Towards circular economy through innovation: the role of entrepreneurial orientation and human resource management. *International Entrepreneurship and Management Journal*, 21(1), 36. <https://doi.org/10.1007/s11365-024-01032-x>.
- Catto, A. L.; Sindelar, F. C. W; Spinelli, R. (2023). *Tecnologias Sustentáveis*. Editora Univates, Lajeado, Rs. ISBN: 978-65-86648-93-5. <https://www.univates.br/Editora-Univates/Publicacao/395>.
- Dabo, A. A. A., & Hosseinian-Far, A. (2023). An integrated methodology for enhancing reverse logistics flows and networks in Industry 5.0. *Logistics*, 7(4), 97. <https://doi.org/10.3390/logistics7040097>.
- Demo, P. (2022). *Avaliação qualitativa*. Autores Associados.

- Dresch, A.; Lacerda, D. P.; Antunes, J. A. V., Jr. (2015). *Design Science Research: Método De Pesquisa Para Avanço Da Ciência E Tecnologia*. Porto Alegre: Bookman.
- Dwivedi, A., Agrawal, D., Jha, A., & Mathiyazhagan, K. (2023). Studying the interactions among Industry 5.0 and circular supply chain: Towards attaining sustainable development. *Computers & Industrial Engineering*, *176*, 108927. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2022.108927>.
- Fraga-Lamas, P., Lopes, S. I., & Fernández-Caramés, T. M. (2021). Green IoT and edge AI as key technological enablers for a sustainable digital transition towards a smart circular economy: An industry 5.0 use case. *Sensors*, *21*(17), 5745. <https://doi.org/10.3390/s21175745>.
- Garrido, S., Muniz Jr, J., & Ribeiro, V. B. (2024). Operations management, sustainability & industry 5.0: A critical analysis and future agenda. *Cleaner Logistics and Supply Chain*, *10*, 100141. <https://doi.org/10.1016/j.clscn.2024.100141>.
- Ghobakhloo, M., Iranmanesh, M., Foroughi, B., Tirkolae, E. B., Asadi, S., & Amran, A. (2023). Industry 5.0 implications for inclusive sustainable manufacturing: An evidence-knowledge-based strategic roadmap. *Journal of Cleaner Production*, *417*, 138023. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.138023>.
- Grácio, M. C. C.; Oliveira, E. F. T. D (2012). A Inserção E O Impacto Inter-Nacional Da Pesquisa Brasileira Em ‘Estudos Métricos: Uma Análise Na Base Scopus. *Tendências Da Pesquisa Brasileira Em Ciência Da Informação*, *V. 5*, *N. 1*, *P. 1-19*. <https://Ancib.Org/Revistas/Index.Php/Tpbci/Article/View/269>.
- Hsu, C. H., Li, Z. H., Zhuo, H. J., & Zhang, T. Y. (2024). Enabling Industry 5.0-Driven Circular Economy Transformation: A Strategic Roadmap. *Sustainability*, *16*(22), 9954. <https://doi.org/10.3390/su16229954>.
- Jabbour, A. B. L. S, Luiz, J. V. R., Luiz, O. R., Jabbour, C. J. C., Ndubisi, N. O., De Oliveira, J. H. C., & Junior, F. H. (2019). Circular economy business models and operations management. *Journal of cleaner production*, *235*, 1525-1539. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.06.349>.
- Jakobs, L., Hofer, A., & Rauch, E. (2025). A framework and taxonomy for categorizing industrial symbiosis in manufacturing. *Journal of Engineering Sciences (Ukraine)*, *Vol. 12*(1), pp. B1–B10. [https://doi.org/10.21272/jes.2025.12\(1\).b1](https://doi.org/10.21272/jes.2025.12(1).b1).
- Kannan, D., Amiri, A. S., Shaayesteh, M. T., Nasr, A. K., & Mina, H. (2024). Unveiling barriers to the integration of blockchain-based circular economy and Industry 5.0 in manufacturing industries: A strategic prioritization approach. *Business Strategy and the Environment*, *33*(8), 7855-7886. <https://doi.org/10.1002/bse.3886>.
- Khan, A. A., & Abonyi, J. (2022). Information sharing in supply chains–Interoperability in an era of circular economy. *Cleaner Logistics and Supply Chain*, *5*, 100074. <https://doi.org/10.1016/j.clscn.2022.100074>.

- Leon, R. D., Rodríguez-Rodríguez, R., & Alfaro-Saiz, J. J. (2024). Preparing for industry 5.0: A methodology for avoiding corporate amnesia. *Industrial Management & Data Systems*, 124(1), 120-139. <https://www.emerald.com/insight/content/doi/10.1108/imds-03-2023-0159/full/html>.
- Mejía-Moncayo, C., Kenné, J. P., & Hof, L. A. (2023). On the development of a smart architecture for a sustainable manufacturing-remanufacturing system: a literature review approach. *Computers & Industrial Engineering*, 180, 109282. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2023.109282>.
- Mesjasz-Lech, A., Kemendi, Á., & Michelberger, P. (2024). Circular manufacturing and Industry 5.0. assessing material flows in the manufacturing process in relation to e-waste streams. *Engineering Management in Production and Services*, 16(1). <https://doi.org/10.2478/emj-2024-0009>.
- Miranda, S. S. F., Aguayo-González, F., Ávila-Gutiérrez, M. J., & Córdoba-Roldán, A. (2021). Neuro-competence approach for sustainable engineering. *Sustainability*, 13(8), 1-26. <https://doi.org/10.3390/su13084389>.
- Mukherjee, A. A., Raj, A., & Aggarwal, S. (2023). Identification of barriers and their mitigation strategies for industry 5.0 implementation in emerging economies. *International Journal of Production Economics*, 257, 108770. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2023.108770>.
- Nayeri, S., Sazvar, Z., & Tirkolaei, E. B. (2025). Towards waste management 5.0: A nexus between circular economy and industry 5.0 dimensions. *Waste Management*, 203, 114830. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2025.114830>.
- Neri, A., Butturi, M. A., Tomasin da Silva, L., Lolli, F., Gamberini, R., & Sellitto, M. A. (2025). Fostering lithium-ion battery remanufacturing through Industry 5.0. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 1-18. <https://doi.org/10.1007/s12008-025-02229-2>.
- Page M. J., McKenzie J. E., Bossuyt P. M., Boutron I., Hoffmann T. C., Mulrow C. D., et al. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, n 71. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>.
- Panza, L., Bruno, G., & Lombardi, F. (2023). Integrating absolute sustainability and social sustainability in the digital product passport to promote industry 5.0. *Sustainability*, 15(16), 12552. <https://doi.org/10.3390/su151612552>.
- Papamichael, I., Economou, F., Voukkali, I., Loizia, P., Stylianou, M., Naddeo, V., & Zorpas, A. A. (2025). A metaverse framework for sustainable waste management considering circular economy. *Chemical Engineering Journal*, 512, 162283. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2025.162283>.
- Payer, R. C., Quelhas, O. L. G., & Bergiante, N. C. R. (2024). Framework to supporting monitoring the circular economy in the context of industry 5.0: a proposal considering

- circularity indicators, digital transformation, and sustainability. *Journal of Cleaner Production*, 466, 142850. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.142850>.
- Pfeffer, D., Reike, D., & Bening, C. R. (2025). Analyzing policy mixes for the circular economy transition: The case of recycled plastics in electronics. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 56, 100982. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2025.100982>.
- Priyadarshini, J., Singh, R. K., Mishra, R., He, Q., & Braganza, A. (2024). Implementation of additive manufacturing in the healthcare supply chain for circular economy goals: Paradoxical tensions and solutions from an Industry 5.0 perspective. *Information Systems Frontiers*, 1-23. <https://doi.org/10.1007/s10796-024-10482-1>.
- Reike, D., Hekkert, M. P., & Negro, S. O. (2023). Understanding circular economy transitions: The case of circular textiles. *Business Strategy and the Environment*, 32(3), 1032-1058. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/bse.3114>.
- Rumman, A. A., Al-Abbadi, L., Alshawabkeh, R., Alkhazali, Z., & Al-Aqrabawi, R. (2025). Industry 5.0 circular economy practices: Innovation management and its impact on sustainable development. *Humanities and Social Sciences Letters*, 13(2), 485-505. <https://doi.org/10.18488/73.v13i2.4176>.
- Raja Santhi, A., & Muthuswamy, P. (2023). Industry 5.0 or industry 4.0 S? Introduction to industry 4.0 and a peek into the prospective industry 5.0 technologies. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*, 17(2), 947-979. <https://doi.org/10.1007/s12008-023-01217-8>.
- 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. <http://dx.doi.org/10.1108/13598541211258609>.
- Severino, A. J. (2017). *Metodologia do trabalho científico*. Cortez editora.
- Shafique, M. N., Adeel, U., & Rashid, A. (2024). The Synergy Between Industry 5.0 and Circular Economy for Sustainable Performance in the Chinese Manufacturing Industry. *Sustainability*, 16(22), 9952. <https://doi.org/10.3390/su16229952>.
- Trevisan, A. H., Boscarato, A., Acerbi, F., Terzi, S., & Sassanelli, C. (2025). Enhancing Circular Economy education and training for the manufacturing sector: A holistic skills framework. *Journal of Environmental Management*, 380, 124982. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.124982>.
- Turner, C., & Oyekan, J. (2023). Personalised production in the age of circular additive manufacturing. *Applied Sciences*, 13(8), 4912. <https://doi.org/10.3390/app13084912>.
- Turner, C., Oyekan, J., Garn, W., Duggan, C., & Abdou, K. (2022). Industry 5.0 and the circular economy: Utilizing LCA with intelligent products. *Sustainability*, 14(22), 14847. <https://doi.org/10.3390/su142214847>.
- Zhang, G., & Liu, L. (2025). Insights into potential value and sustainable utilisation of pumpkin peel: A review. *Future Foods*, 100575. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2025.100575>.