

A evolução da remanufatura na Economia Circular: um panorama acadêmico-tecnológico

The evolution of remanufacturing in the Circular Economy: an academic-technological panorama

La evolución de la remanufactura en la Economía Circular: un panorama académico-tecnológico

Recebido: 30/05/2022 | Revisado: 11/06/2022 | Aceito: 12/06/2022 | Publicado: 24/06/2022

Jéssica Moreira Barbosa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5242-1371>

Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil

E-mail: moreira.jmb@gmail.com

Mariana Balieiro Aguiar da Fonseca

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2088-2704>

Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil

E-mail: marianabalieiro123@hotmail.com

Francisco Santos Sabbadini

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5303-9409>

Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Brasil

E-mail: franciscosabbadini@gmail.com

Resumo

O modelo econômico linear difundido a partir da evolução industrial tem gerado um alerta em relação à grande utilização dos recursos naturais, pois estão se tornando cada vez mais escassos. Surge então a necessidade da criação de um novo modelo, a Economia Circular, baseada em princípios sustentáveis e que tem a remanufatura como uma ferramenta importante para a extensão de ciclos de utilização dos produtos. O conceito trazido dentro da remanufatura visa amenizar os impactos da super produção e do alto consumo através da desmontagem, limpeza e reparo de peças danificadas, tornando produtos que estavam em processo de descarte em produtos prontos para novo uso, com qualidade e funcionalidade garantidas. Este estudo teve como objetivo realizar uma pesquisa bibliométrica, dentro das bases científicas *Scopus* e *Web Of Science*, e identificar a evolução das publicações sobre a remanufatura dentro do contexto da Economia Circular. Através dessa pesquisa, foi possível demonstrar a evolução do tema nos últimos cinco anos, principalmente em países da Europa e a China. O número de publicações praticamente duplicou e é possível observar uma tendência em relacionar os temas a áreas de tecnologia, como Indústria 4.0, *Blockchain*, *Machine Learning*, entre outros, que vai além da remodelagem somente do design do produto.

Palavras-chave: Remanufatura; Economia circular; Sustentabilidade; Estudo bibliométrico.

Abstract

The linear economic model disseminated from the industrial evolution has generated an alert regarding the great use of natural resources, as they are becoming increasingly scarce. Then comes the need to create a new model, the Circular Economy, based on sustainable principles and which has remanufacturing as an important tool for the extension of product use cycles. The concept brought within the remanufacturing aims to mitigate the impacts of overproduction and high consumption through the disassembly, cleaning and repair of damaged parts, turning products that were in the process of disposal into products ready for new use, with guaranteed quality and functionality. This study aimed to carry out a bibliometric research, within the scientific bases *Scopus* and *Web Of Science*, and to identify the evolution of publications on remanufacturing within the context of the Circular Economy. Through this research, it was possible to demonstrate the evolution of the theme in the last five years, mainly in European countries and China. The number of publications practically doubled and it is possible to observe a tendency to relate the themes to areas of technology, such as Industry 4.0, *Blockchain*, *Machine Learning*, among others, which goes beyond the remodeling of the product design alone.

Keywords: Remanufacturing; Circular economy; Sustainability; Bibliometric study.

Resumen

El modelo económico lineal difundido a partir de la evolución industrial ha generado una alerta sobre el gran uso de los recursos naturales, ya que cada vez son más escasos. Luego surge la necesidad de crear un nuevo modelo, la Economía Circular, basado en principios sustentables y que tiene a la remanufactura como una herramienta importante para la extensión de los ciclos de uso de los productos. El concepto incorporado a la remanufactura tiene como objetivo mitigar los impactos de la sobreproducción y el alto consumo a través del desmontaje, limpieza y reparación de piezas dañadas, convirtiendo productos que estaban en proceso de desecho en productos listos para un

nuevo uso, con calidad y funcionalidad garantizadas. Este estudio tuvo como objetivo realizar una investigación bibliométrica, dentro de las bases científicas *Scopus* y *Web Of Science*, e identificar la evolución de las publicaciones sobre remanufactura en el contexto de la Economía Circular. A través de esta investigación, fue posible evidenciar la evolución del tema en los últimos cinco años, principalmente en los países europeos y China. El número de publicaciones prácticamente se duplicó y es posible observar una tendencia a relacionar las temáticas con áreas de tecnología, como Industria 4.0, *Blockchain*, *Machine Learning*, entre otras, que va más allá de la remodelación del diseño del producto solamente.

Palabras clave: Remanufactura; Economía circular; Sostenibilidad; Estudio bibliométrico.

1. Introdução

Os últimos 150 anos de evolução industrial foram dominados por um modelo linear de consumo, no qual tudo o que é fabricado a partir de matérias primas é vendido, usado e em seguida descartado como lixo. Diante do grande crescimento da população, a volatilidade da economia e os sinais claros de esgotamento dos recursos naturais, a necessidade do desenvolvimento de um novo modelo econômico está cada vez maior. Atualmente, muitos estudos estão voltados para a melhoria de desempenho de recursos, explorando maneiras de reutilizar produtos ou componentes através do design (Ellen Macarthur Foundation, 2013).

A Economia Circular se baseia em três princípios básicos. O primeiro princípio visa preservar e aprimorar o capital natural através do controle dos estoques finitos e equilibrar os fluxos de recursos renováveis. Isso é possível principalmente através da utilização de tecnologias e processos que utilizam recursos renováveis ou com melhores desempenhos.

O segundo princípio visa otimizar o rendimento de recursos fazendo com que componentes, produtos e materiais em uso circulem no mais alto nível de utilidade durante seu ciclo, tanto técnico, que abrange a gestão de estoque dos materiais finitos, quanto no biológico, que abrange os fluxos de materiais renováveis. Os sistemas circulares projetam seus produtos para passarem pelo processo de remanufatura, renovação e reciclagem para que seus componentes sempre continuem circulando e contribuindo para a economia.

E por último, o terceiro princípio visa estimular a efetividade do sistema revelando e excluindo as externalidades negativas desde o princípio, que pode ser feito através da redução de danos a outros sistemas como mobilidade, educação, habitação e saúde e também da gestão de externalidades, como a utilização do solo, água e ar, bem como a liberação de substâncias tóxicas ao ambiente (Ellen Macarthur Foundation, 2013).

Dentro deste pensamento voltado à sustentabilidade destaca-se a estratégia “4R” - redução, reutilização, remanufatura e reciclagem. Nela o fabricante é levado a refletir sobre o processo como um todo, desde o design até a disposição final do produto, estimando assim todos os gastos e matérias-primas a serem empregados, bem como o resultado e seus derivados. Levando em consideração a remanufatura – quando o produto passa pelo processo industrial de desmontagem, limpeza e reparo de peças danificadas – é possível notar a redução de energia e de consumo de recursos naturais, diminuição da quantidade de resíduo disposto e redução de custos dos produtos.

Mesmo se tratando de um conceito já antigo, a remanufatura de produtos também se alinha aos princípios mais recentes da Economia Circular, justamente por transformar produtos que estão em fim de vida em produtos renovados, com garantia de desempenho similar a um novo (Y A Fatimah et. al, 2017), transformando, assim, um processo linear em cíclico.

Com o aumento da preocupação global em relação a degradação dos sistemas naturais, agregado ao suporte do avanço tecnológico na área e as tendências regulatórias cada vez mais rígidas para redução de externalidades negativas (Ellen Macarthur Foundation, 2013), o avanço das pesquisas e publicações em grandes bases científicas em torno do tema da Economia Circular tem se tornado notório nos últimos anos. O presente artigo tem como objetivo realizar um estudo bibliométrico para identificar a evolução da remanufatura no contexto da Economia Circular.

De forma a relacionar os principais dados das publicações científicas em duas bases de pesquisa, este estudo visa

mapear a quantidade, os países, as áreas de pesquisa, as afiliações e os financiadores em que o tema da remanufatura é mais predominante, assim como, trazer uma relação das principais áreas de tecnologia associadas a essas publicações, com o intuito de demonstrar as tendências globais de pesquisa e financiamentos.

1.1 Economia Circular

Ao contrário da economia linear, que extrai, transforma e descarta os recursos utilizados, a Economia Circular propõe repensar o consumo desenfreado de forma a reduzir os impactos no meio ambiente. Faz-se necessário um pensamento sistêmico, com a consciência de que os recursos são finitos. Considerada restaurativa e regenerativa, “seu objetivo é manter produtos, componentes e materiais em seu mais alto nível de utilidade e valor o tempo todo, distinguindo entre ciclos técnicos e biológicos.” (Ellen Macarthur Foundation, 2013). Os ciclos técnicos dizem respeito aos materiais finitos, que nesse modelo podem ser recuperados para reintegrarem os ciclos. Já os ciclos biológicos tratam de materiais renováveis, e que podem ser regenerados. No primeiro caso não há consumo, apenas uso, ao contrário do segundo.

A Economia Circular tem a ambição de transformar este sistema para que tanto os nutrientes biológicos, como os nutrientes técnicos que compõem a riqueza sejam permanentemente não apenas reciclados, mas revalorizados ao longo dos processos produtivos. (...) preconizam uma economia não apenas menos danos, mas regenerativa tanto dos ecossistemas como dos tecidos sociais que têm sido sistematicamente destruídos pelas formas atuais como se obtém riqueza (Abramovay, 2015).

O modelo econômico tem como princípios básicos: eliminar resíduos e poluição desde o princípio, manter produtos e materiais em uso e regenerar sistemas naturais. Demanda que as empresas projetem seu modelo de negócios (ou seja, a rede de valor, os relacionamentos com os parceiros da cadeia de suprimentos e as propostas de valor para os clientes) em torno de um novo conceito de desenvolvimento sustentável que reduz o consumo de recursos naturais e preserva o meio ambiente. (Centobelli et. al, 2020).

Além do pensamento sistêmico, foca-se também em excluir perdas, aproveitar as fontes de energia renováveis, utilizar a diversidade e esclarecer ao máximo os custos reais de sua aplicação.

1.2 Remanufatura

A Economia Circular tem em sua base a estratégia ‘4R’ (redução, reutilização, remanufatura e reciclagem). Quando analisada a fundo, é possível estabelecer uma ordem de importância para sua aplicação. Em primeiro lugar, o ideal é praticar a redução dos resíduos durante o processo, de forma a aumentar sua eficiência. Em seguida, aplicar a reutilização dos resíduos em outros processos ou mesmo partes de um produto. Quando isso não for praticável, utilizar a remanufatura. Em último caso, deve-se empregar a reciclagem das partes dos produtos e resíduos que não podem ser reutilizadas da forma original. Essa abordagem hierárquica acontece devido ao grau de eficiência em cada processo e considera a menor perda de valor da matéria prima.

Um dos focos da pesquisa desse artigo é voltado para a remanufatura. A definição de remanufatura se dá como “processo industrial aplicado a produtos usados que sofrem desmontagem, limpeza e reparação ou substituição de componentes, para posteriormente serem novamente montados e testados” (Priberam, 2021). É um conceito já antigo, porém nos últimos anos vem sendo bastante relacionado a Economia Circular, pois além do benefício econômico, os produtos remanufaturados proporcionam a otimização da utilização de recursos, evitando o desperdício de matéria-prima e ainda impedem o descarte inapropriado de produtos. Além disso, traz à tona um processo cíclico, em contraposição à economia linear.

2. Metodologia

A presente pesquisa pode ser classificada como sendo de caráter exploratório, pois tem como objetivo desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias (GIL, 2008). Para o desenvolvimento desse estudo, foi realizada uma pesquisa bibliométrica em duas bases de publicações, *Scopus* e *Web Of Science*. Na primeira etapa da pesquisa foi possível efetuar nas bases a filtragem de palavras relacionadas ao tema central do estudo, gerando diversos levantamentos sobre a literatura acadêmica disponível, como a quantidade de publicações contendo palavras-chaves pré-definidas em determinado período de tempo, número de publicações por autores, os países que mais publicam pesquisas relacionadas ao tema, por área de estudo, entre outras filtragens. Para estruturação do presente artigo foram utilizadas palavras e termos combinados para resultado das principais publicações a partir do ano de 2017 até o ano de 2021.

As buscas nas bases *Scopus* e *Web Of Science* ocorreram entre os meses de novembro de 2021 e março de 2022, conforme o seguinte processo:

- Foi pesquisada a palavra-chave “*remanufacturing*” e a partir dos resultados foram compilados os dados relativos à evolução do tema em números ao longo do tempo, bem como os países que publicaram e as áreas de estudos abordadas;
- Foi realizada uma nova pesquisa, dessa vez com a combinação entre as palavras-chave “*remanufacturing*” e “*circular economy*”, de modo a contextualizar a remanufatura dentro da Economia Circular, dando destaque aos números de publicações, países, áreas de estudos abordadas, instituições afiliadas e financiadores de pesquisa;
- Dentro dessa pesquisa, na área de análise de resultados, foram identificados os três financiadores com maior número de publicações, e dentre eles destacados os cinco artigos mais recentes publicados até 2021 (atentar para não destacar o mesmo artigo duas vezes, no caso de mais de um financiador por artigo);
- A partir dos artigos destacados, foram avaliadas as palavras-chaves de forma a agrupá-los por áreas relacionada a tecnologias.

Os resultados das buscas realizadas proporcionaram a avaliação dos seguintes aspectos:

- A evolução quantitativa de publicações entre 2017 e 2021 sobre remanufatura como um tema isolado e também quando associado à Economia Circular;
- A comparação entre quantidade de publicações, países desenvolvedores de pesquisa e áreas de estudos dentro das duas primeiras filtragens nas bases;
- A identificação das principais áreas de tecnologias relacionadas às publicações.

Na seção a seguir serão abordadas e desenvolvidas as avaliações constatadas acima.

3. Resultados e Discussão

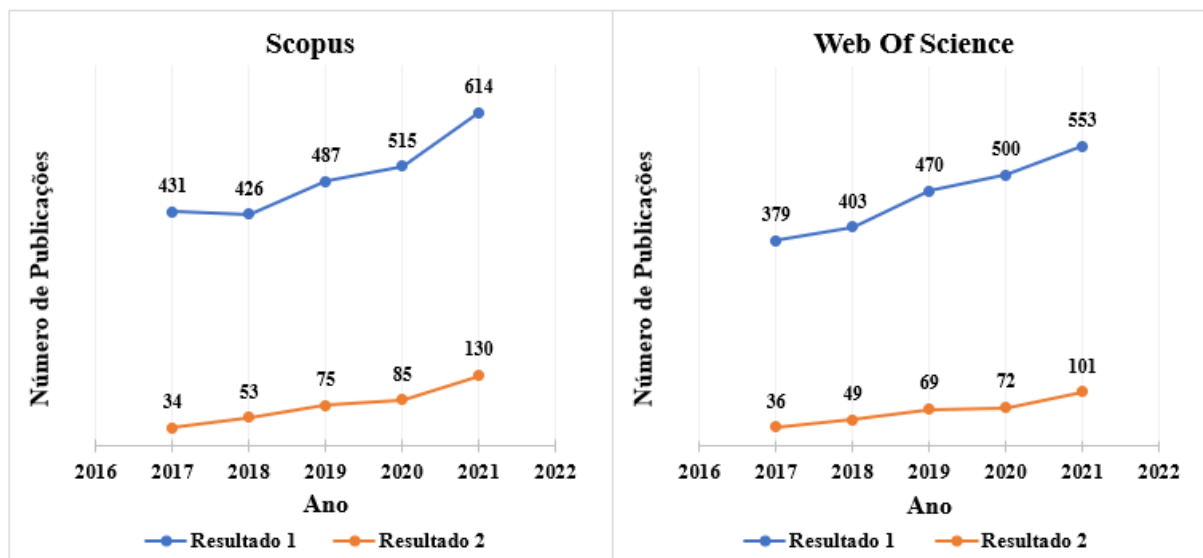
Como o objetivo principal foi o de contextualizar a remanufatura dentro da área de Economia Circular, se realizou um comparativo entre os resultados da pesquisa por “*remanufacturing*” e da pesquisa por “*remanufacturing*” e “*circular economy*”.

A busca apenas pela palavra “*remanufacturing*” resultou em 5.627 publicações pela base *Scopus* e 4.983 pela base *Web Of Science*. Quando o período foi limitado entre 2017 e 2021, esse número reduziu para 2.473 na *Scopus* e 2.305 na *Web Of Science*. Essa busca será tratada nesse estudo como “Resultado 1”.

No mesmo sentido, a busca por “*remanufacturing*” quando associada a “*circular economy*” resultou em 445 publicações pela *Scopus*, sendo 377 quando limitada entre os anos 2017 e 2021 e 380 publicações pela *Web Of Science*, sendo 327 publicações quando limitada ao mesmo período da anterior. Essa busca será tratada como “Resultado 2”.

A Figura 1 a seguir mostra a evolução do número de publicações dentro das duas bases no período citado, sendo a primeira busca representada pela linha azul (Resultado 1) e a segunda busca representada pela linha laranja (Resultado 2).

Figura 1: Evolução do número de publicações entre 2017 e 2021.

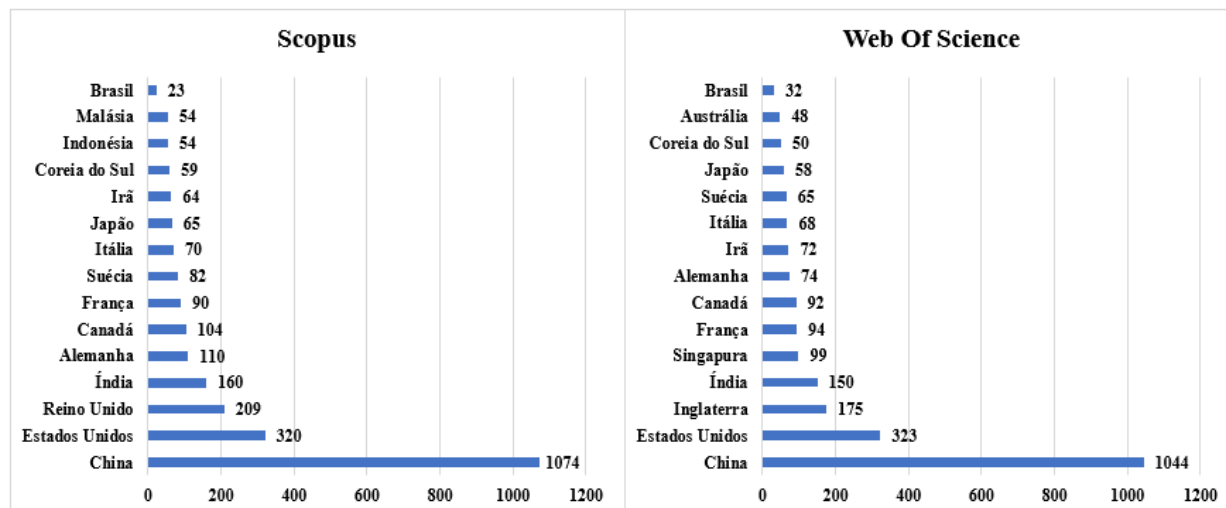


Fonte: *Scopus* e *Web Of Science*.

No que diz respeito ao Resultado 1, a taxa de crescimento entre 2017 e 2021 foi de 42,5% na base *Scopus*, sendo 19,2% entre os anos de 2020 e 2021. Dentro da *Web Of Science*, o crescimento foi de 45,9%, com uma diferença de 10,6% nos últimos dois anos. Já no Resultado 2, o crescimento foi de 282,35% entre 2017 e 2021 pela *Scopus*, sendo de 52,9% entre os últimos dois anos e na *Web Of Science* foi possível notar um crescimento de 180,6% no período pesquisado, sendo 40,3% entre os anos de 2020 e 2021. Pode-se constatar pelos gráficos que existe uma evolução do tema dentro das bases científicas utilizadas para a pesquisa.

Do ponto de vista das publicações por países, mostrado na Figura 2, nota-se em ambas as bases um destaque significativo da China no Resultado 1.

Figura 2: Número de publicações por países (Resultado 1).

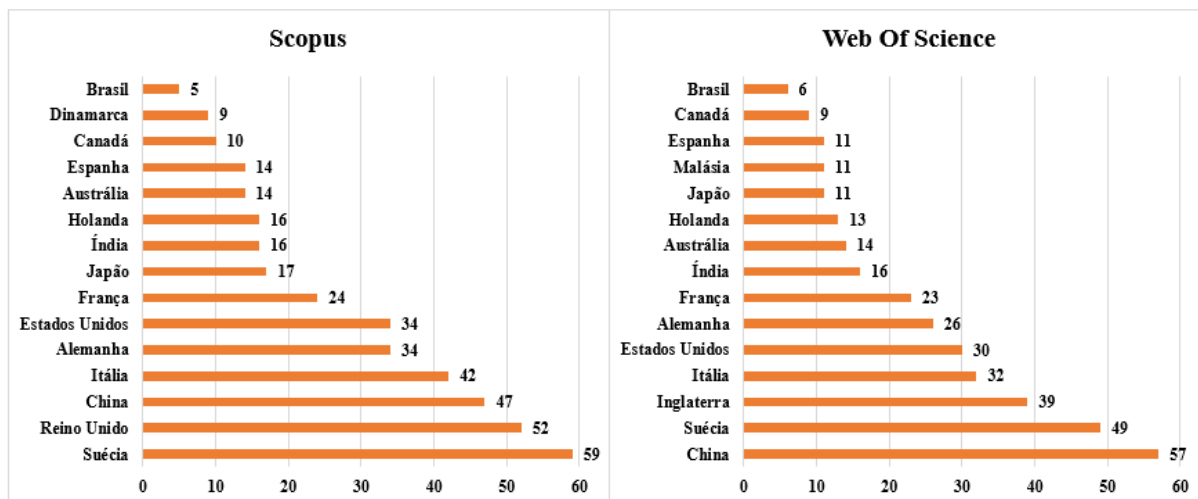


Fonte: *Scopus* e *Web Of Science*.

A maior quantidade de publicações é proveniente do continente asiático, com 1530 publicações pela *Scopus* e 1473 pela *Web Of Science*, seguido do europeu com 561 publicações pela *Scopus* e 476 pela *Web Of Science* e do americano com 424 publicações pela *Scopus* e 415 pela *Web Of Science*. Foram destacados os 14 principais países e o Brasil, que ocupa a 24ª posição na listagem da *Scopus* e a 22ª posição na *Web Of Science*.

Já no Resultado 2, mostrado na Figura 3 a seguir, observa-se uma diferença entre os resultados das bases. Na *Scopus*, a Suécia ocupa a primeira posição da lista de países que mais publicaram sobre o assunto.

Figura 3: Número de publicações por países (Resultado 2).

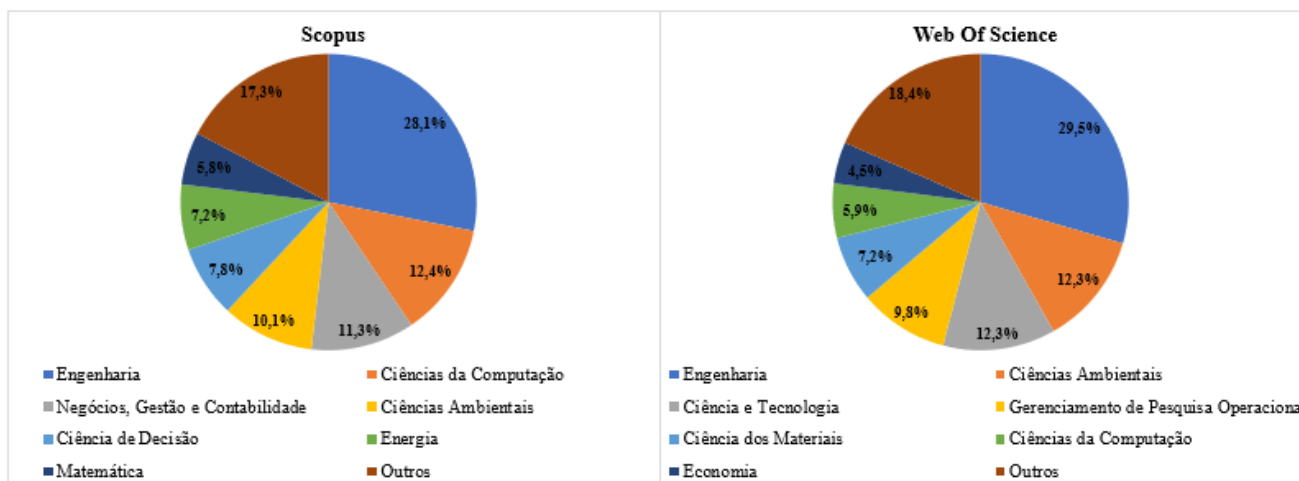


Fonte: *Scopus* e *Web Of Science*.

Dentre os 14 países identificados com mais publicações, verifica-se que os situados na Europa apresentam o maior número (250), seguida pelos da Ásia (80), da América (44) e da Oceania (14). O Brasil ocupa a 25ª posição na lista, com apenas 5 publicações. Já pela *Web Of Science*, é a China que ocupa a primeira posição, mas a maior concentração de publicações segue sendo no continente Europeu (193), seguido pela Ásia (95), a América (39) e a Oceania (14). Nessa base, o Brasil ocupa a 22ª posição, com 6 publicações.

A Figura 4 a seguir apresenta as áreas de estudo dentro das publicações do Resultado 1.

Figura 4: Publicações por áreas de estudo (Resultado 1).

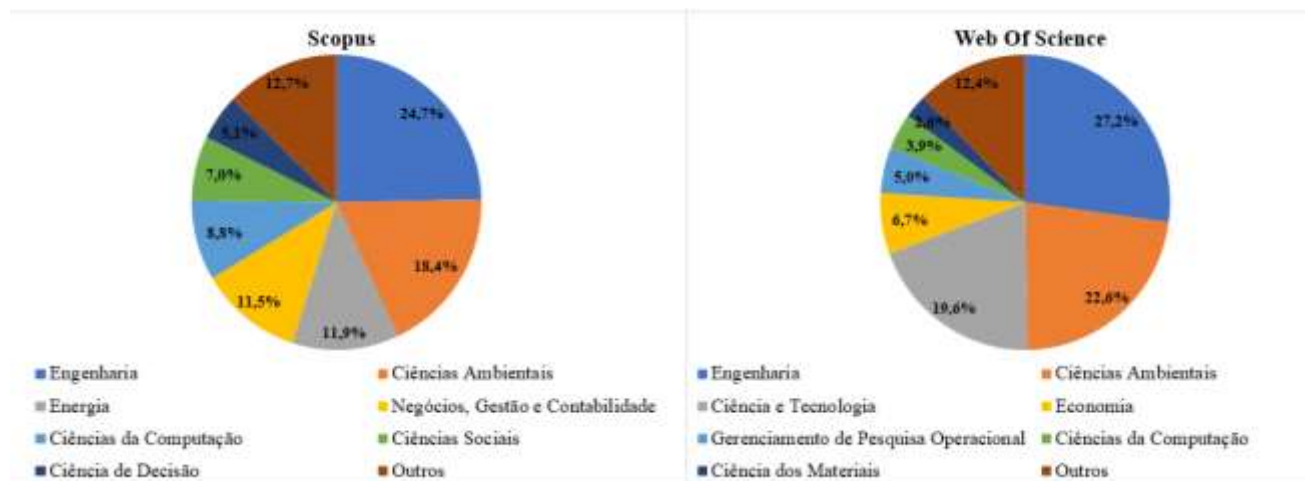


Fonte: *Scopus* e *Web Of Science*.

É possível destacar as 7 áreas principais: engenharia, ciências da computação, negócios, gestão e contabilidade, ciências ambientais, ciências de decisão, energia e matemática na base *Scopus*. E as 7 áreas principais na base *Web Of Science*: engenharia, ciências ambientais, ciência e tecnologia, gerenciamento de pesquisa operacional, ciências dos materiais, ciências da computação e economia.

Ao realizar a segunda pesquisa, nota-se que há pouca alteração nas áreas, apenas na base *Scopus*, onde houve a inclusão da área de ciências sociais e a saída de matemática, conforme Figura 5.

Figura 5: Publicações por áreas de estudo (Resultado 2).

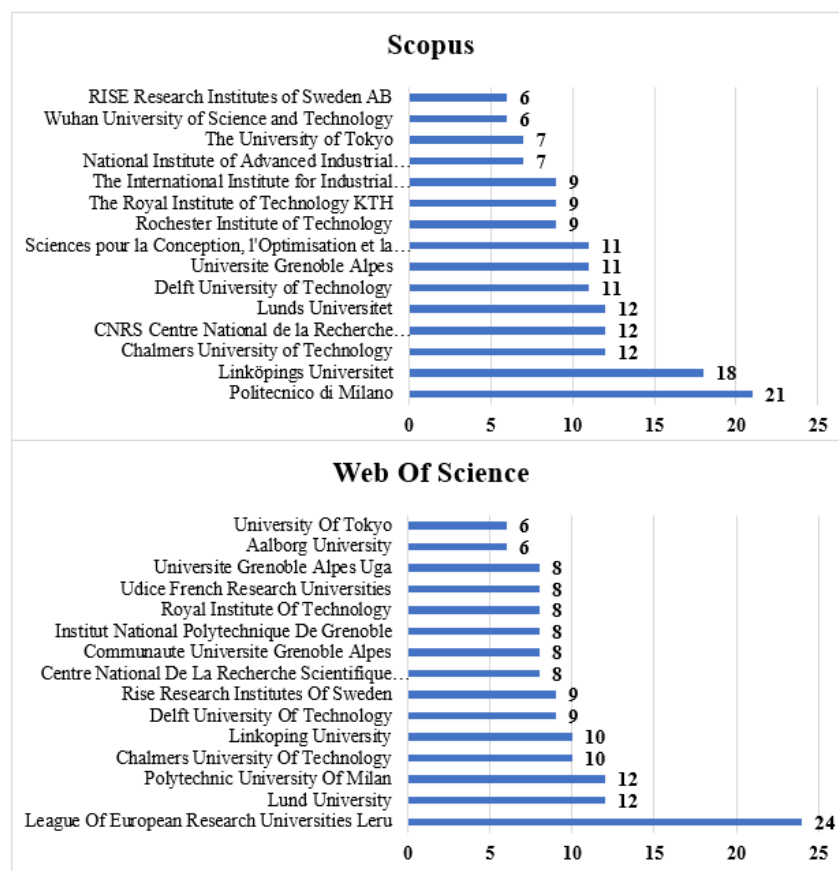


Fonte: *Scopus* e *Web Of Science*.

A principal alteração é na proporção de publicações de algumas áreas, como ciências ambientais e energia, que somadas a engenharia, representam mais da metade das publicações dentro da base *Scopus*. Ao somar as publicações de engenharia, ciências ambientais e ciência e tecnologia chega-se a quase 70% das publicações na *Web Of Science*, um aumento de aproximadamente 15% em relação à pesquisa anterior.

Os gráficos da Figura 6 mostram as instituições que mais publicaram artigos quando a pesquisa é limitada às palavras-chave “*remanufacturing*” e “*circular economy*” em ambas as bases.

Figura 6: Número de publicações por instituições de ensino.

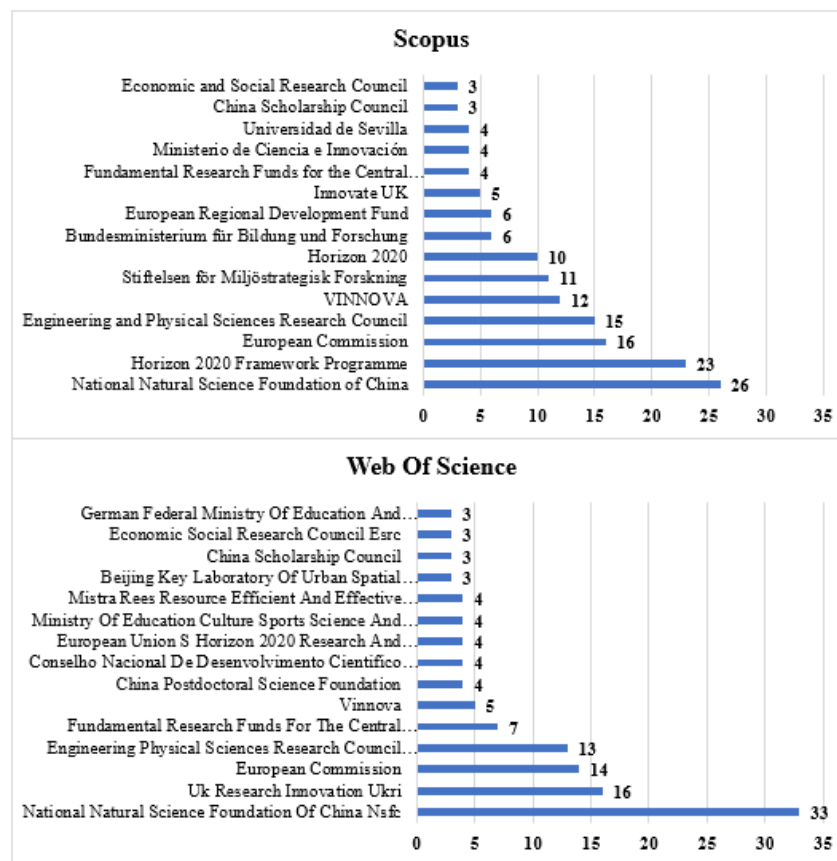


Fonte: *Scopus* e *Web Of Science*.

Assim como foi mostrado no gráfico da Figura 3, a Suécia é o país que se destaca no número de publicações, e nesse caso, possui três instituições entre as cinco principais tanto na base *Scopus*, quanto na *Web Of Science*.

Em contrapartida, o gráfico da Figura 7 mostra as principais instituições financiadoras de pesquisa nas áreas citadas.

Figura 7: Número de publicações por instituições financiadoras.



Fonte: *Scopus* e *Web Of Science*.

Mesmo a Europa tendo maior representatividade em publicações, o maior financiador provém de fora do continente europeu. Dentro das duas bases, o financiador que mais aparece como financiador em pesquisa é de origem asiática, localizado na China.

Aprofundando a análise dentro das principais instituições financiadoras de pesquisas no escopo da remanufatura na Economia Circular, nas Tabelas 1 e 2 a seguir, é possível observar no que se concentram esses financiamentos e quais são as principais áreas de tecnologia relacionadas a essas pesquisas dentro de cada base científica.

Tabela 1: Áreas de tecnologia por instituição financiadora (*Scopus*).

Instituição Financiadora	Título de Artigo	País	Blockchain Indústria 4.0 IoT Supplychain Modelagem e Simulação Big Data e Análise de Dados Segurança de Informação Composição de material Design de Produto Estratégias de Extensão de Ciclo Machine Learning Sustentabilidade
National Natural Science Foundation of China	<i>Industry 4.0 and circular economy practices: A new era business strategies for environmental sustainability</i>	China, Paquistão, Reino Unido	X X X
	<i>Digital technology and circular economy practices: An strategy to improve organizational performance</i>	China, Paquistão, Malásia	X X
	<i>Human-robot collaborative disassembly line balancing considering the safe strategy in remanufacturing</i>	China	X X
	<i>Evolving remanufacturing strategies in China: an evolutionary game theory perspective</i>	China, Estados Unidos	X
	<i>Remanufacturing policies options for a closed-loop supply chain network</i>	China, África do Sul	X
Horizon 2020 Framework Programme	<i>A systematic review on life extension strategies in industry: The case of remanufacturing and refurbishment</i>	Portugal	X
	<i>The adoption of circular economy practices in supply chains – An assessment of European Multi-National Enterprises</i>	Reino Unido	X
	<i>A methodological approach to design products for multiple lifecycles in the context of circular manufacturing systems</i>	Suécia, Eslovênia	X X
	<i>Modelling of different circular end-of-use scenarios for smartphones</i>	Áustria	X X X
	<i>RECLAIM: Toward a New Era of Refurbishment and Remanufacturing of Industrial Equipment</i>	Alemanha, Grécia, Reino Unido	X X X
European Commission	<i>Circular economy strategies for equipment lifetime extension: A systematic review</i>	Suíça, Itália, Portugal	X
	<i>A Systematic Review on Life Extension Strategies in Industry: The case of Remanufacturing and Refurbishing</i>	Portugal	X
	<i>Comparison of RGB-D and IMU-based gesture recognition for human-robot interaction in remanufacturing</i>	Espanha	X X
	<i>Remanufacturing of end-of-life glass-fiber reinforced composites via UV-assisted 3D printing</i>	Itália	X X X
	<i>A choice behavior experiment with circular business models using machine learning and simulation modeling</i>	Suécia	X X X

Fonte: Autores.

Tabela 2: Áreas de tecnologia por instituição financiadora (*Web Of Science*).

Instituição Financiadora	Título de Artigo	País	Blockchain Indústria 4.0 IoT Supplychain Modelagem e Simulação Big Data e Análise de Dados Segurança de Informação Composição de material Design de Produto Estratégias de Extensão de Ciclo Machine Learning Sustentabilidade
National Natural Science Foundation of China	<i>Human-robot collaborative disassembly line balancing considering the safe strategy in remanufacturing</i>	China	X X
	<i>A data-driven method of selective disassembly planning at end-of-life under uncertainty</i>	China	X X
	<i>A Review on the Lifecycle Strategies Enhancing Remanufacturing</i>	China, Inglaterra	X X
	<i>Industry 4.0 and circular economy practices: A new era business strategies for environmental sustainability</i>	China, Paquistão, Reino Unido	X X
	<i>Digital technology and circular economy practices: An strategy to improve organizational performance</i>	China, Paquistão, Malásia	X X
UK Research Innovation	<i>A Framework and Baseline for the Integration of a Sustainable Circular Economy in Offshore Wind</i>	Inglaterra	X X
	<i>A Review of Circular Economy Research for Electric Motors and the Role of Industry 4.0 Technologies</i>	Inglaterra, Escócia	X
	<i>A triple bottom line examination of product cannibalisation and remanufacturing: A review and research agenda</i>	Inglaterra, Estados Unidos	X
	<i>Highlighting the need to embed circular economy in low carbon infrastructure decommissioning: The case of offshore wind</i>	Inglaterra	X X
	<i>Smart remanufacturing: a review and research framework</i>	Inglaterra	X X
European Commission	<i>Designing a circular business strategy: 7 years of evolution at a large washing machine manufacturer</i>	Suécia, França, Eslovênia	X X X
	<i>A Systematic Review on Life Extension Strategies in Industry: The Case of Remanufacturing and Refurbishment</i>	Portugal	X
	<i>Comparison of RGB-D and IMU-based gesture recognition for human-robot interaction in remanufacturing</i>	Espanha	X X
	<i>Human-robot collaboration in industrial environments: A literature review on non-destructive disassembly</i>	Dinamarca	X X X
	<i>A methodological approach to design products for multiple lifecycles in the context of circular manufacturing systems</i>	Suécia, Eslovênia	X X

Fonte: Autores.

Essas tabelas foram construídas a partir da extração das palavras-chave dos 5 artigos com publicação mais recente de cada uma das 3 principais instituições financiadoras, considerando até o final de 2021, gerando então, uma amostragem de 15 artigos para análise em cada base. Como existem financiadores comuns as duas bases, também se nota a repetição de artigos nas mesmas. A partir dessas informações, é possível identificar as tendências de pesquisa nas diferentes localizações globais, principalmente concentradas entre o continente asiático e o europeu.

Nas publicações financiadas pelo *National Natural Science Foundation of China*, é notória a tendência de pesquisa para áreas de tecnologia e dados, com abordagens de assuntos como Indústria 4.0, *Supplychain*, *Blockchain*, *Big Data*, Análise de Dados, Modelagem e Simulação e nenhuma menção ao *design* ou estrutura dos produtos. Por outro lado, os financiamentos de origem europeia buscam uma abordagem da tecnologia associada ao *design* do produto, às estratégias de extensão de ciclos de vida, à composição dos materiais e sustentabilidade, mas não deixando de mencionar temas relacionados à Indústria 4.0.

4. Conclusão

Foi possível verificar a partir desse estudo que apesar da remanufatura já ser um tema conhecido no meio industrial e acadêmico, a busca por um modo de operação mais sustentável tem crescido nos últimos anos, na perspectiva da Economia Circular, o que se evidencia com um aumento de pesquisas e publicações científicas em bases de dados acadêmicos, como a *Scopus* e a *Web Of Science*.

No que se refere aos países que mais publicam essas pesquisas, a China aparece em destaque quando o assunto é remanufatura, já que é um país com notoriedade em processos industriais e com grande crescimento econômico. Porém quando se restringe a busca da remanufatura dentro da Economia Circular, o resultado fica equilibrado entre o país asiático e países europeus, como a Suécia, Reino Unido e Itália, como os números evidenciaram e num contexto em que a China não se destaca tanto quanto no primeiro caso. Já o Brasil e outros países da América do Sul, não revelaram produção acadêmica ou financiamento significativo no período, o que sugere um quadro ainda incipiente em relação aos países mais desenvolvidos.

A área de estudo com mais publicações relacionada a remanufatura é a engenharia, seguida de ramos da ciência e gestão. E quando associada à Economia Circular, é possível perceber um aumento considerável do número de publicações na área de Ciências Ambientais, já que está diretamente relacionada ao tema. Assuntos que também se destacam e que são comuns entre os artigos das principais instituições financiadoras são publicações relacionadas a Indústria 4.0, Estratégias de Extensão de Ciclo e Sustentabilidade.

No caso do Brasil, sugere-se o direcionamento e o incentivo a pesquisas voltadas à remanufatura e Economia Circular, de forma a promover maior conhecimento e desenvolvimento na área. Outras pesquisas futuras sugeridas em relação ao tema são: a remanufatura como modelo de negócio circular; a remanufatura e transformação digital no contexto da economia circular; e por fim, a participação de agentes privados e públicos no incentivo a estudos e pesquisas da remanufatura como componente da cadeia de suprimentos circular.

Referências

- "Remanufatura"(2021). In Dicionário Priberam da Língua Portuguesa. <https://dicionario.priberam.org/remanufatura>
- Abramovay, R. (2015). A economia circular chega ao Brasil. <http://ricardoabramovay.com/a-economia-circular-chega-ao-brasil>
- Asif, F. M. A., Roci, M., Lieder, M., Rashid, A., Mihelič, A. & Kotnik, S. (2021). A methodological approach to design products for multiple lifecycles in the context of circular manufacturing systems. *Journal of Cleaner Production*, 296, 126534. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126534>
- Bressanelli, G., Saccani, N., Perona, M., & Baccanelli, I. (2020). Towards Circular Economy in the Household Appliance Industry: An Overview of Cases. *Resources*, 9(11), 128. <https://doi.org/10.3390/resources9110128>
- Calzolari, T., Genovese, A. & Brint, K. (2021). The adoption of circular economy practices in supply chains – An assessment of European Multi-National Enterprises. *Journal of Cleaner Production*, 312, 127616. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127616>

- Cao, J., Chen, X., Wu, S. & Kumar, S. (2021). Evolving remanufacturing strategies in China: an evolutionary game theory perspective. *Environment, Development and Sustainability*, 23 (10), 14827-14853. <https://doi.org/10.1007/s10668-021-01274-7>
- Centobelli, P., Cerchione, R., Chiaroni, D., Del Vecchio, P. & Urbinati, A. (2020). Designing business models in circular economy: A systematic literature review and research agenda. *Business Strategy and the Environment*, 29, 1734– 1749. <https://doi.org/10.1002/bse.2466>
- Fatimah, A. & Aman, M. (2018). Remanufacturing sustainability indicators: An Indonesian small and medium enterprise case study. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 403, 012055. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/403/1/012055>
- Ferreira, C., & Gonçalves, G. (2021). A Systematic Review on Life Extension Strategies in Industry: The Case of Remanufacturing and Refurbishment. *Electronics*, 10(21), 2669. <https://doi.org/10.3390/electronics10212669>
- Ferreira, C., & Gonçalves, G. (2021). A Systematic Review on Life Extension Strategies in Industry: The Case of Remanufacturing and Refurbishment. *Electronics*, 10(21), 2669. <https://doi.org/10.3390/electronics10212669>
- Fofou, R. F., Jiang, Z., & Wang, Y. (2021). A Review on the Lifecycle Strategies Enhancing Remanufacturing. *Applied Sciences*, 11(13), 5937. <https://doi.org/10.3390/app11135937>
- Fontana, A., Barni, A., Leone, D., Spirito, M., Tringale, A., Ferraris, M., Reis, J., & Goncalves, G. (2021). Circular Economy Strategies for Equipment Lifetime Extension: A Systematic Review. *Sustainability*, 13 (3), 1117. <https://doi.org/10.3390/su13031117>
- Gao, Y., Lou, S., Zheng, H. & Tan, J. (2021). A data-driven method of selective disassembly planning at end-of-life under uncertainty. *Journal of Intelligent Manufacturing*. <https://doi.org/10.1007/s10845-021-01812-0>
- Hjorth, S. & Chrysostomou, D. (2022). Human–robot collaboration in industrial environments: A literature review on non-destructive disassembly. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 73, 102208. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2021.102208>
- Jensen, P. D., Purnell, P. & Velenturf, A. P.M. (2020). Highlighting the need to embed circular economy in low carbon infrastructure decommissioning: The case of offshore wind. *Sustainable Production and Consumption*, 24, 266-280. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2020.07.012>
- Kerin, M. and Pham, D.T. (2020). Smart remanufacturing: a review and research framework. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 31 (6), 1205-1235. <https://doi.org/10.1108/JMTM-06-2019-0205>
- Khan, S. A. R., Razzaq, A., Yu, Z., & Miller, S. (2021). Industry 4.0 and circular economy practices: A new era business strategies for environmental sustainability. *Business Strategy and the Environment*, 30 (8), 4001– 4014. <https://doi.org/10.1002/bse.2853>
- Khan, S. A. R., Zia-ul-haq, H. M., Umar, M., & Yu, Z. (2021). Digital technology and circular economy practices: An strategy to improve organizational performance. *Business Strategy & Development*, 4 (4), 482– 490. <https://doi.org/10.1002/bsd2.176>
- Lieder, M., Asif, F. M. A. & Rashid, A. (2020). A choice behavior experiment with circular business models using machine learning and simulation modeling. *Journal of Cleaner Production*, 258, 120894. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.120894>
- MacArthur, E. (2013). Towards the circular economy. *Journal of Industrial Ecology*, 2(1), 23-44.
- Mantelli, A., Levi, M., Turri, S. and Suriano, R. (2020). Remanufacturing of end-of-life glass-fiber reinforced composites via UV-assisted 3D printing. *Rapid Prototyping Journal*, 26 (6), 981-992. <https://doi.org/10.1108/RPJ-01-2019-0011>
- Okorie, O., Obi, M., Russell, J., Charnley, F. & Salonitis, K. (2021). A triple bottom line examination of product cannibalisation and remanufacturing: A review and research agenda. *Sustainable Production and Consumption*, 27, 958-974. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2021.02.013>
- Pamminger, R., Glaser, S. & Wimmer, W. (2021). Modelling of different circular end-of-use scenarios for smartphones. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, 26, 470–482. <https://doi.org/10.1007/s11367-021-01869-2>
- Roda-Sanchez, L., Garrido-Hidalgo, C., García, A. S., Olivares, T. & Fernández-Caballero, A. (2021). Comparison of RGB-D and IMU-based gesture recognition for human-robot interaction in remanufacturing. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. <https://doi.org/10.1007/s00170-021-08125-9>
- Tiwari, D., Miscandlon, J., Tiwari, A., & Jewell, G. W. (2021). A Review of Circular Economy Research for Electric Motors and the Role of Industry 4.0 Technologies. *Sustainability*, 13(17), 9668. <https://doi.org/10.3390/su13179668>
- van Loon, P., Van Wassenhove, L. N., & Mihelic, A. (2022). Designing a circular business strategy: 7 years of evolution at a large washing machine manufacturer. *Business Strategy and the Environment*, 31 (3), 1030– 1041. <https://doi.org/10.1002/bse.2933>
- Velenturf, A. P. M. (2021). A Framework and Baseline for the Integration of a Sustainable Circular Economy in Offshore Wind. *Energies*, 14(17), 5540. <https://doi.org/10.3390/en14175540>
- Xu, W., Cui, J., Liu, B, Liu, J., Yao, B. & Zhou, Z. (2021). Human-robot collaborative disassembly line balancing considering the safe strategy in remanufacturing. *Journal of Cleaner Production*, 324, 129158. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.129158>
- Zacharakis A, Vafeiadis T, Kolokas N, Vaxevas A, Xu Y, Peschl M, Ioannidis D and Tzovaras D (2021). RECLAIM: Toward a New Era of Refurbishment and Remanufacturing of Industrial Equipment. *Frontiers in Artificial Intelligence*, 3, 570562. <https://doi.org/10.3389/frai.2020.570562>
- Zhou, Y., Liu, X.-Q., & Wong, K.-H. (2021). Remanufacturing Policies Options for a Closed-Loop Supply Chain Network. *Sustainability*, 13(12), 6640. <https://doi.org/10.3390/su13126640>