



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

AS IMPLICAÇÕES DA ECONOMIA CIRCULAR NO DESIGN E NA FABRICAÇÃO DE EQUIPAMENTOS ELETRÔNICOS: UMA REVISÃO INTEGRATIVA DA LITERATURA

RAPHAEL SALVIANO DE SOUZA
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA (UNB)

PATRICIA GUARNIERI
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA (UNB)

AS IMPLICAÇÕES DA ECONOMIA CIRCULAR NO *DESIGN* E NA FABRICAÇÃO DE EQUIPAMENTOS ELETRÔNICOS: UMA REVISÃO INTEGRATIVA DA LITERATURA

1. INTRODUÇÃO

Os resíduos de equipamentos eletroeletrônicos (REEE) representam um dos fluxos de resíduos em mais rápido crescimento no mundo, devido à rápida obsolescência dos produtos (Anandh et al., 2021; Forti et al., 2020; Shittu et al., 2021). O tratamento adequado dos REEE tem o potencial de diminuir o uso de matérias primas virgens na produção de novos equipamentos e, consequentemente, reduzir o impacto negativo provocado pelo aumento do consumo e acúmulo de resíduos (Cucchiella et al., 2015). Neste cenário, a economia circular vem recebendo especial atenção entre acadêmicos e profissionais por promover o fechamento do ciclo de vida dos produtos e a criação de novos modelos de negócio que contribuem com o crescimento econômico e o desenvolvimento sustentável (Gharibi & Abdollahzadeh, 2021; Kirchherr et al., 2017).

Como reflexo, vários estudos foram conduzidos acerca das definições e implicações conceituais da economia circular relacionadas à indústria de eletroeletrônicos e seus resíduos nos últimos anos (Anandh et al., 2021; Bressanelli et al., 2020, 2021; Shittu et al., 2021; Singh et al., 2021). Contudo, Bressanelli et al. (2020) identificaram a existência de uma lacuna relacionada às fases de *design* e fabricação dos equipamentos, observando, inclusive, que os hábitos e comportamentos dos seus usuários/consumidores são raramente considerados.

O presente artigo propõe-se a contribuir com o preenchimento desta lacuna por meio da **análise do papel e das implicações da economia circular para o *design* e a fabricação de equipamentos eletroeletrônicos**, a partir da realização de uma revisão integrativa da literatura (RIL) apoiada no protocolo *Methodi Ordinatio* (Pagani, Kovaleski e Resende, 2015). Com isso, espera-se responder às seguintes questões:

- Q1 – Quais são as características das publicações relacionadas ao papel e às implicações da economia circular para o *design* e a fabricação de equipamentos eletroeletrônicos?
- Q2 – Quais são os principais critérios de decisão relacionados ao *design* e à fabricação de equipamentos eletroeletrônicos sob a ótica da economia circular?
- Q3 – Como os hábitos e comportamentos dos usuários/consumidores são considerados no processo de *design* e fabricação de equipamentos eletroeletrônicos sob a ótica da economia circular?

A realização da revisão com base no referido protocolo possibilitou a identificação de 205 artigos inicialmente. Aqueles duplicados e fora do escopo da revisão foram filtrados, resultando na manutenção de 142 artigos, que foram submetidos à análise bibliométrica e ao ranqueamento com base no Índice *Ordinatio* (Pagani, Kovaleski e Resende, 2015). Os 36 artigos mais relevantes com base na data de publicação, impacto do periódico e número de citações foram, então, priorizados e submetidos à análise de conteúdo. As evidências indicam que as intervenções comportamentais sem o conhecimento dos aspectos tecno-econômicos da economia circular pode produzir resultados insuficientes. As principais contribuições do estudo estão relacionadas à análise da inclusão da ótica do consumidor no processo de manufatura de EEE no contexto da economia circular e à identificação das estratégias relatadas na literatura para o aumento da eficiência de recursos e da extensão da vida útil dos produtos.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Economia circular

Embora tenha se tornado pauta relevante das discussões políticas, empresariais e acadêmicas nos países industrializados, não há um consenso claro quanto ao conceito de economia circular, visto que vários atores sociais o influenciam e o compreendem sob diferentes abordagens conflitantes (Friant et al., 2021; Kirchherr et al., 2017; Reike et al., 2018; Schroeder et al., 2019). Nos últimos dez anos, várias revisões dedicaram-se ao estudo do conceito de economia circular (Blomsma & Brennan, 2017; Ghisellini et al., 2016; Kirchherr et al., 2017; Reike et al., 2018), inclusive relacionando-o a contextos alheios, como indústria produtiva (Lieder & Rashid, 2016), desenvolvimento sustentável (Geissdoerfer et al., 2017; Sauvé et al., 2016) e modelos de negócios (Lewandowski, 2016; Murray et al., 2017).

Ao analisar a evolução do entendimento sobre economia circular na literatura acadêmica, Reike et al. (2018) destacaram que a abordagem da circularidade era aplicada em várias partes do mundo a muito tempo antes da noção sobre o conceito de economia circular, e identificaram a existência de duas escolas de pensamento sobre a economia circular. Os pesquisadores da chamada escola transformacional reivindicam o conceito como sendo uma quebra de paradigma na maneira como as coisas são feitas ou um novo caminho à industrialização. Por outro lado, os pesquisadores da escola reformista advogam em favor de uma nova perspectiva na abordagem dos recursos e da circularidade, sem necessariamente a absoluta redução dos recursos utilizados nos processos produtivos ou da modificação da ordem econômica vigente.

Bressanelli et al. (2018) sugerem que a definição mais proeminente, proposta pela Fundação Ellen MacArthur, caracteriza a economia circular como um sistema restaurativo e regenerativo por concepção, que objetiva manter a mais alta utilidade e valor de produtos, componentes e materiais.

Em suma, a economia circular propõe que o lixo produzido não seja apenas reduzido, como também reinserido na cadeia produtiva por meio de processos empresariais sustentáveis. Assim, políticas voltadas ao tema focam primordialmente no tratamento de resíduos e na eliminação de rejeitos, por meio de abordagens que coordenem os interesses dos *stakeholders* envolvidos por uma entidade central, visando mantê-los engajados nas suas responsabilidades. (Hartley et al., 2020; Modgil et al., 2021; Rebehy et al., 2019). Uma gestão efetiva, portanto, requer a identificação desses *stakeholders*, seus papéis, os processos nos quais interagem com a cadeia e as transações realizadas, a fim de que se possa assegurar um equilíbrio entre seus interesses e obter apoio a determinados objetivos comuns (Freeman, 1984).

2.2. Equipamentos eletroeletrônicos

Os equipamentos eletroeletrônicos (EEE) compreendem os dispositivos que necessitam de energia para funcionar e cuja produção e uso exigem o consumo de uma quantidade significativa de recursos diversos, como cobre, ouro e prata, além de materiais críticos como tungstênio, nióbio e cobalto. Esses equipamentos incluem uma vasta gama de produtos, de pequeno e grande portes, como computadores, monitores, *smartphones*, impressoras, geladeiras, máquinas de lavar, micro-ondas, televisores etc. (Bressanelli et al., 2021; Brito et al., 2022; Ottoni et al., 2020).

A diretiva de resíduos de equipamentos elétricos e eletrônicos da União Europeia (2002/96/CE) classifica 54 categorias de EEE em seis grupos distintos com base nas características da gestão dos seus respectivos resíduos, a saber: i) equipamentos de troca de temperatura (como refrigeradores, *freezers*, ar-condicionados e aquecedores); ii) telas e monitores (como televisores, *notebooks* e *tablets*); iii) lâmpadas; iv) equipamentos grandes (como máquinas de lavar, impressoras e copiadoras de grande porte, e painéis fotovoltaicos); v) equipamentos pequenos (como ventiladores, torradeiras, equipamentos de som, calculadoras e brinquedos elétricos); e, vi) pequenos equipamentos de tecnologia da informação e comunicação (como *smartphones*, computadores, impressoras e GPS) (Forti et al., 2020).

O resíduo desses equipamentos, chamados de REEE ou de lixo eletrônico, são um tipo de resíduo sólido urbano produzido ao final da vida útil desses produtos, após a sua fabricação, venda e consumo. A criticidade dos REEE está associada a variedade de tipos de produtos e de recursos aplicados em seu processo de manufatura, que tornam a separação e a extração de valor complexa, uma vez que diferentes métodos e processos de tratamento precisam ser empregados. Soma-se a isso a dificuldade em obter licenciamento ambiental para lidar com esse tipo de resíduos, visto que alguns equipamentos ainda podem conter elementos perigosos, como metais pesados e Poluentes Orgânicos Persistentes (POPs), que oferecem riscos à saúde humana e ao meio ambiente (Cucchiella et al., 2015; Ottoni et al., 2020).

De acordo com o Monitor Global de Lixo Eletrônico 2020, embora o consumo de EEE, e consequentemente, o montante de lixo gerado por pessoa tenha aumentado em todo o mundo (0,9 kg mais em 2019, em comparação com 2014), a taxa de reciclagem não acompanha na mesma proporção. Estima-se que somente 17,4% do lixo eletrônico global seja documentado, coletado e tratado, enquanto o destino de 82,6% do fluxo global desses resíduos não é documentado e sua destinação e impacto são desconhecidos (Forti et al., 2020).

A aplicação da economia circular no contexto dos equipamentos eletroeletrônicos tem grande potencial, na medida em que representa uma oportunidade econômica relevante para a recuperação de recursos materiais caros e escassos, além de contribuir para a redução da emissão de gases do efeito estufa (especialmente relacionados à cadeia de suprimentos) e do impacto ambiental da produção e do consumo desse tipo de equipamento (Bressanelli et al., 2021; Cucchiella et al., 2015).

3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A presente pesquisa classifica-se como exploratória e descritiva, quanto ao objetivo, visto que busca obter um maior grau de familiaridade com o problema e descrever os resultados de uma revisão integrativa, tornando-o mais explícito, aprimorando ideias e possibilitando a elaboração de hipóteses; e como aplicada, quanto à finalidade, visto que decorre do desejo de conhecer para a proposição de soluções práticas (Gil, 2002). Como procedimento técnico, realizou-se uma revisão integrativa da literatura, cuja finalidade é identificar, avaliar e interpretar as pesquisas relevantes disponíveis relacionadas a uma questão de pesquisa, área ou fenômeno de interesse (Mhatre et al., 2021).

Para a realização desta revisão optou-se pela adoção do Protocolo *Methodi Ordinatio* (Pagani, Kovaleski e Resende, 2015), que consiste em uma ferramenta de apoio a decisão multicritério para o ranqueamento da relevância de um portfólio de artigos científicos em função de três critérios: o ano de publicação, o fator de impacto do respectivo periódico e o número de citações (Pagani et al., 2015, 2017). A opção por esse protocolo justificou-se por sua abordagem realista normativa, na qual o pesquisador toma decisões de forma racional e objetiva para compor, filtrar e ordenar a relevância dos trabalhos que serão analisados.

O protocolo é composto por nove fases. **Nas fases 1 e 2**, estabeleceu-se a intenção da pesquisa (analisar o papel e as implicações da economia circular no *design* e na fabricação de equipamentos eletrônicos) e realizou-se uma busca exploratória nas bases de dados com vistas à avaliação da aderência de palavras-chave e suas combinações e à identificação de outros termos associados ao objetivo da pesquisa (Pagani et al., 2015). A partir dessas verificações, na **fase 3** definiu-se a combinação de palavras-chave e as bases de dados a serem consultadas para a composição do portfólio de artigos científicos da pesquisa. Visando ampliar o escopo da consulta, optou-se por buscar as palavras-chave em inglês nas bases de dados *Scopus* e *Web of Science*. A escolha dessas bases justificou-se por indexarem uma vasta quantidade de periódicos cientificamente relevantes, de áreas do conhecimento diversas (aspecto fundamental, considerando o caráter multidisciplinar do objeto dessa RIL), e que permitem recuperar a

quantidade de citações. Os termos de busca empregados foram “*circular economy*”, “*electronic*” (e suas variações “*e-waste*”, “*waste electrical and electronic equipment*” e “*weee*”), e “*design*” ou “*manufacturing*”, combinados com operadores booleanos tal como descrito no Quadro 1. As buscas desses termos observaram ocorrências no título, resumo e palavras-chave dos autores dos artigos.

Quadro 1 – Chaves de busca às bases de dados

Base de dados	Chave de busca
Scopus	TITLE-ABS-KEY(("circular economy") AND ("e-waste" OR "weee" OR "electronic" OR "waste electrical and electronic equipment") AND ("design" OR "manufacturing"))
Web of Science	((TI=((“circular economy”) AND (“e-waste” OR “weee” OR “waste electrical and electronic equipment” OR “electronic”) AND (“design” OR “manufacturing”))) OR AB=((“circular economy”) AND (“e-waste” OR “weee” OR “waste electrical and electronic equipment” OR “electronic”) AND (“design” OR “manufacturing”))) OR AK=((“circular economy”) AND (“e-waste” OR “weee” OR “waste electrical and electronic equipment” OR “electronic”) AND (“design” OR “manufacturing”)))

Fonte: Os autores (2022).

Não foram estabelecidas restrições temporais para as buscas, com vistas a possibilitar uma análise longitudinal das publicações incluídas no portfólio. Como critério de exclusão, restringiu-se a busca por artigos (teórico-empíricos ou de revisão) publicados somente em periódicos (*journals*), desconsiderando-se aqueles publicados em anais de eventos científicos (*conference proceedings*, *erratas*, *capítulos e livros*, *literatura cinza*, *leis*, *regulamentos*, *relatórios*, *entre outros*) e também aqueles publicados em outras línguas que não a inglesa. A justificativa dessa restrição reside nas características do protocolo adotado, que considera o fator de impacto para composição do portfólio de artigos científicos.

Nas fases 4 e 5, foram realizadas a busca definitiva nas bases de dados e os procedimentos de filtragem, respectivamente. Ao total, foram identificados 205 artigos científicos dentro dos parâmetros definidos na fase anterior, sendo que destes 149 foram localizados na busca à base *Scopus* e 56 na busca à base *Web of Science*. O conjunto de dados referentes aos artigos localizados em cada uma das bases de dados foram extraídos e tratados no Mendeley (*software* de gerenciamento de referências).

O tratamento dos dados refere-se aos procedimentos de filtragem aos quais os artigos foram submetidos por meio da análise do título, das palavras-chave e do resumo, com vistas à eliminação de publicações duplicadas ou artigos que não pertençam a área de interesse da pesquisa (Pagani et al., 2017). Dessa análise procedeu-se com a eliminação de 44 artigos duplicados, isto é, identificados em ambas as bases. Ademais, outros 19 artigos foram eliminados por fugirem do escopo da RIL. Para a análise, definiu-se como critérios de inclusão artigos que abordassem etapas/procedimentos do processo de *design* e/ou fabricação (i) de equipamentos eletroeletrônicos (ii) sob a ótica da economia circular (iii). Dessa forma, os artigos que não atenderam aos critérios definidos foram considerados fora do escopo e excluídos do rol analisado.

Ao final da etapa de filtragem, restaram 142 artigos científicos exclusivos e alinhados à intenção desta pesquisa, conforme ilustrado na Figura 1. Esse conjunto de artigos foi submetido à análise bibliométrica, de natureza quantitativa, cujos resultados são apresentados na Seção 4. A bibliometria refere-se à análise de aspectos quantitativos de um conjunto de publicações científicas, relacionados à produção, à disseminação e ao uso das informações, e cujo emprego na RIL ajuda a integrar e ampliar a compreensão sobre os achados de estudos anteriores (Anandh et al., 2021; Pagani et al., 2017).

Na fase 6, identificou-se o fator de impacto do periódico, o ano da publicação e o número de citações dos artigos resultantes da fase anterior (n = 142). A verificação destes critérios visa eliminar questionamentos sobre qual aspecto melhor determina a relevância de um artigo, na

medida em que avalia a relevância do periódico por meio do fator de impacto, o reconhecimento científico do trabalho por meio do número de citações, e a recenticidade do artigo por meio do ano de publicação (Pagani et al., 2015). O fator de impacto utilizado foi o *Scimago Journal Rank* (SJR) mensurado no ano de 2020. A opção por esta métrica em detrimento de outras, como o JCR ou o SNIP, ocorreu em virtude de sua ampla cobertura dentre os periódicos identificados nas buscas às bases de dados *Scopus* e *Web of Science*.

Os dados referentes ao fator de impacto, ao ano da publicação e ao número de citações dos artigos foram tabulados em uma planilha eletrônica a fim de possibilitar a realização da **fase 7**, que consistiu no ranqueamento dos artigos científicos a partir do cálculo da equação *InOrdinatio* a seguir.

$$InOrdinatio = \left(\frac{FI}{1000} \right) + \alpha * [10 - (Ano da pesquisa - Ano da publicação)] + (\sum Ci), \text{ onde:}$$

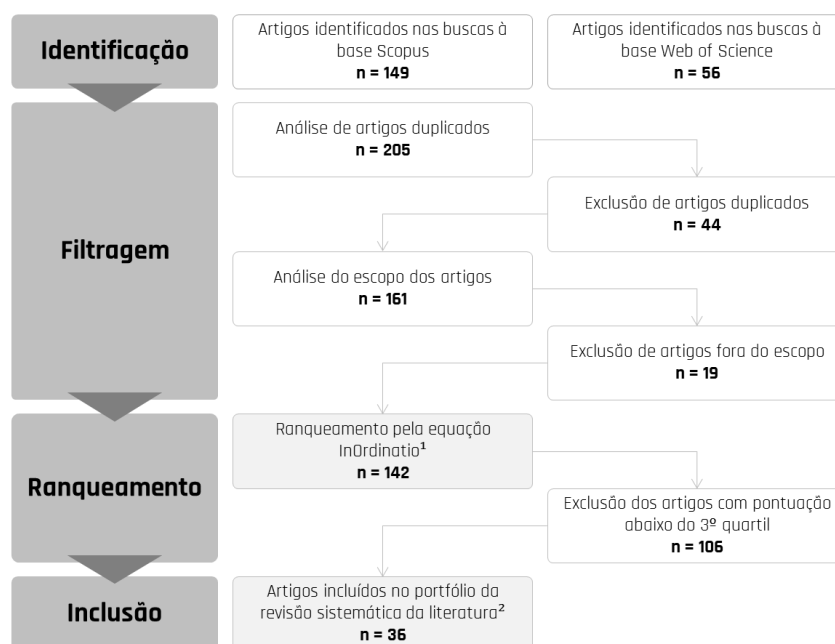
FI = Fator de impacto;

α = Coeficiente de ponderação atribuído pelo pesquisador em escala de 1 a 10, o qual quanto mais próximo de 10, maior é a importância atribuída ao critério “ano da publicação”; e,

Ci = Número de citações.

Para esta RIL, o valor atribuído ao coeficiente α foi igual a 10, uma vez que a análise exploratória realizada na fase 2 permitiu observar um aumento significativo das publicações nos últimos anos e, por isso, optou-se por conferir maior importância ao ano da publicação no cálculo da equação *InOrdinatio*.

Figura 1 – Fluxograma de etapas para a composição do portfólio de artigos científicos



¹ Artigos submetidos à análise bibliométrica (n = 142)

² Artigos submetidos à análise de conteúdo (n = 36)

Fonte: Os autores (2022).

A partir dos resultados obtidos, ranqueou-se os artigos científicos (n = 142) em ordem decrescente de acordo com o Índice *Ordinatio*. Pagani et al. (2015) pontuam que, uma vez que os artigos foram ordenados, cabe ao pesquisador definir quantos trabalhos comporão o portfólio final da RIL, de acordo com as suas prioridades. Para tanto, foram empregadas técnicas de estatística descritiva para analisar a distribuição do Índice *Ordinatio* dos artigos. Ao analisar as medidas de tendência central do rol de dados equivalente aos Índices *Ordinatio* calculados,

verificou-se média (n = 106,73) superior a mediana (n = 95) e, portanto, uma assimetria à direita (positiva) na distribuição. Neste sentido, optou-se por estabelecer o recorte no terceiro quartil (n = 101,75).

O portfólio de artigos científicos, então, foi composto pelos 36 trabalhos com *InOrdinatio* superior a 101,75 (Tabela 1), considerados mais relevantes segundo o fator de impacto do periódico, o ano de publicação e o número de citações.

Tabela 1 – Portfólio de artigos científicos incluídos na RIL

Título	Autores	Periódico	FI	Ci	Ano	InOrdinatio
Recycling of WEEEs: An economic assessment of present and future e-waste streams	Cucchiella, Lenny D'Adamo, Koh & Rosa	Renewable and Sustainable Energy Reviews	3,522	426	2015	456,00
Design, management and control of demanufacturing and remanufacturing systems	Tolio, Bernard, Colledani, Kara, Seliger, Duflo, Battaia & Takata	CIRP Annals – Manufacturing Technology	2,37	305	2017	355,00
Products that go round: Exploring product life extension through design	Bakker, Wang, Huisman & Den Hollander	Journal of Cleaner Production	1,937	316	2014	336,00
Exploring Industry 4.0 technologies to enable circular economy practices in a manufacturing context: A business model proposal	Nascimento, Alencastro, Quelhas, Caiado, Garza-Reyes, Lona & Tortorella	Journal of Manufacturing Technology Management	1,29	227	2019	297,00
Exploring how usage-focused business models enable circular economy through digital technologies	Bressanelli, Adrodegari, Perona & Saccani	Sustainability (Switzerland)	0,612	181	2018	241,00
Circular value creation architectures: Make, ally, buy, or laissez-faire	Hansen & Revellio	Journal of Industrial Ecology	2,377	141	2020	221,00
Outsourcing and reverse supply chain performance: a triple bottom line approach	Agrawal & Singh	Benchmarking – An International Journal	0,64	106	2021	196,00
Transition to circular economy on firm level: Barrier identification and prioritization along the value chain	Werning & Spinler	Journal of Cleaner Production	1,937	114	2020	194,00
Ease of disassembly of products to support circular economy strategies	Vanegas, Peeters, Cattrysse, Tecchio, Ardente, Mathieux, Dewulf & Duflo	Resources, Conservation and Recycling	2,468	107	2018	167,00
Towards circular business models: Identifying consumer needs based on the jobs-to-be-done theory	Hankammer, Brenk, Fabry, Nordemann & Piller	Journal of Cleaner Production	1,937	92	2019	162,00
On the sustainability of lithium-ion battery industry – A review and perspective	Yang, Okonkwo, Huang, Xu, Sun & He	Energy Storage Materials	5,225	63	2021	153,01
Circular economy strategies for mitigating critical material supply issues	Gaustad, Krystofik, Bustamante & Badami	Resources, Conservation and Recycling	2,468	93	2018	153,00
Consumer Demand for Circular Products: Identifying Customer Segments in the Circular Economy	Boyer, Hunka & Whalen	Sustainability	0,612	55	2021	145,00
Tightening the loop on the circular economy: Coupled distributed recycling and manufacturing with recyclebot and RepRap 3-D printing	Zhong & Pearce	Resources, Conservation and Recycling	2,468	84	2018	144,00
Pyrometallurgical options for recycling spent lithium-ion batteries: A comprehensive review	Makuza, Tian, Guo, Chattopadhyay & Yu	Journal of Power Sources	2,139	52	2021	142,00

Título	Autores	Periódico	FI	Ci	Ano	InOrdinatio
Transition to circular economy in Brazil A look at the municipal solid waste management in the state of Sao Paulo	Paes, de Medeiros, Mancini, Ribeiro & de Oliveira	Management Decision	0,923	47	2021	137,00
Cleaner production as an antecedent for circular economy paradigm shift at the micro-level: Evidence from a home appliance manufacturer	Sousa-Zomer, Magalhães, Zancul, Campos & Cauchick-Miguel	Journal of Cleaner Production	1,937	75	2018	135,00
A systematic literature review on the circular economy initiatives in the European Union	Mhatre, Panchal, Singh & Bibyan	Sustainable Production and Consumption	1,019	35	2021	125,00
Global E-waste management: Can WEEE make a difference? A review of e-waste trends, legislation, contemporary issues and future challenges	Shittu, Williams & Shaw	Waste Management	1,807	34	2021	124,00
The importance of design in lithium-ion battery recycling-a critical review	Thompson, Hartley, Lambert, Shiref, Harper, Kendrick, Anderson, Ryder, Gaines & Abbott	Green Chemistry	2,221	41	2020	121,00
Behavioral change for the circular economy: A review with focus on electronic waste management in the EU	Parajuly, Fitzpatrick, Muldoon & Kuehr	Resources, Conservation and Recycling	2,468	39	2020	119,00
Sustainable Li-Ion Batteries: Chemistry and Recycling	Piątek, Afyon, Budnyak, Budnyk, Sipponen & Slabon	Advanced Energy Materials	10,08	25	2021	115,01
Supporting Household Waste Sorting Practices by Addressing Information Gaps	Rasmussen, Pagels & Ramanujan	Journal of Computing and Information Science in Engineering	0,538	32	2020	112,00
Technical challenges and opportunities in realizing a circular economy for waste photovoltaic modules	Farrell, Osman, Doherty, Saad, Zhang, Murphy, Harrison, Vennard, Kumaravel, Al-Muhtaseb & Rooney	Renewable and Sustainable Energy Reviews	3,522	31	2020	111,00
Identifying design guidelines to meet the circular economy principles: A case study on electric and electronic equipment	Bovea & Pérez-Belis	Journal of Environmental Management	1,441	51	2018	111,00
Towards a circular and low-carbon economy: Insights from the transitioning to electric vehicles and net zero economy	Bonsu	Journal of Cleaner Production	1,937	30	2020	110,00
Growing e-waste management risk awareness points towards new recycling scenarios: The view of the Big Four's youngest consultants	Appolloni, D'Adamo, Gastaldi, Santibanez-Gonzalez & Settembre-Blundo	Environmental Technology and Innovation	0,866	16	2021	106,00
Electric car battery: An overview on global demand, recycling and future approaches towards sustainability	Martins, Guimarães, Botelho Junior, Tenório & Espinosa	Journal of Environmental Management	1,441	14	2021	104,00
Repurposing of Fruit Peel Waste as a Green Reductant for Recycling of Spent Lithium-Ion Batteries	Wu, Soh, Chan, Meng, Meyer, Srinivasan & Tay	Environmental Science and Technology	2,851	23	2020	103,00

Título	Autores	Periódico	FI	Ci	Ano	InOrdinatio
Circular economy-based new products and company performance: The role of stakeholders and Industry 4.0 technologies	Pinheiro, Jugend, Jabbour, Jabbour & Latan	Business Strategy and the Environment	2,123	3	2022	103,00
To realize better extended producer responsibility: Redesign of WEEE fund mode in China	Gu, Wu, Xu, Wang & Zuo	Journal of Cleaner Production	1,937	53	2017	103,00
Circular economy approach in solid waste management system to achieve UN-SDGs: Solutions for post-COVID recovery	Sharma, Vanapalli, Samal, Cheela, Dubey & Bhattacharya	Science of the total Environment	1,795	13	2021	103,00
Orchestrating entrepreneurial ecosystems in circular economy: the new paradigm of sustainable competitiveness	Oliveira, Lopes, Farinha, Silva & Luízio	Management of Environmental Quality: An International Journal	0,652	3	2022	103,00
Sustainable electronic waste management among households: a circular economy perspective from a developing economy	Ofori & Mensah	Management of Environmental Quality: An International Journal	0,652	3	2022	103,00
Enablers, levers and benefits of Circular Economy in the Electrical and Electronic Equipment supply chain: a literature review	Bressanelli, Pigosso, Sacconi & Perona	Journal of Cleaner Production	1,937	12	2021	102,00
Closed-Loop Recycling of Lithium, Cobalt, Nickel, and Manganese from Waste Lithium-Ion Batteries of Electric Vehicles	Chan, Anawati, Malik & Azimi	ACS Sustainable Chemistry and Engineering	1,878	12	2021	102,00

Fonte: Os autores (2022).

Por fim, nas **fases 8 e 9**, os textos completos dos artigos incluídos no portfólio (n = 36) foram localizados nos meios eletrônicos, baixados, lidos integralmente e, então, submetidos à análise aprofundada. Para tanto, foram empregados procedimentos da análise de conteúdo que, segundo Bardin (2011), diz respeito a:

Um conjunto de técnicas de análise das comunicações visando obter por procedimentos sistemáticos e objetivos de descrição do conteúdo das mensagens indicadores (quantitativos ou não) que permitam a inferência de conhecimentos relativos às condições de produção/recepção (variáveis inferidas) dessas mensagens (p. 48).

Os resultados da análise bibliométrica (n = 142) e da análise de conteúdo (n = 36) do portfólio de artigos científicos incluídos nesta RIL são apresentados e discutidos na seção seguinte.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

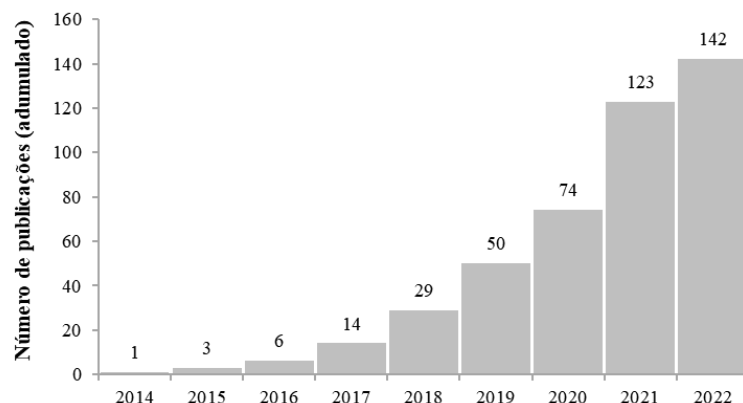
4.1. Análise bibliométrica

Os artigos ranqueados seguindo o protocolo *Methodi Ordinatio* (n = 142) foram publicados em 63 periódicos distintos, dentre os quais destacam-se o *Journal of Cleaner Production* (n = 21), o *Resources, Conservation and Recycling* (n = 18) e o *Sustainability (Switzerland)* (n = 12).

Vale ressaltar que as categorias dos periódicos referentes às publicações analisadas possuem um alto nível de heterogeneidade. Observando a classificação proposta pelo *Scimago Journal Ranking* (SJR), foram identificadas 97 categorias distintas. As categorias mais recorrentes dentre os artigos analisados foram *Industrial and Manufacturing Engineering*; *Renewable Energy, Sustainability and the Environment*; e, *Management, Monitoring, Policy and Law*. Essa evidência qualitativa demonstra o caráter multidisciplinar das discussões relacionadas ao tema e corrobora com os achados de Singh et al. (2021).

Nos últimos 8 anos, observou-se um aumento médio de 44,15% no número de publicações ao ano, conforme ilustrado na Figura 2, acumulando um total de 142 artigos até a data da consulta às bases de dados para esta RIL, realizada em março de 2022. O ano de 2021 registrou o maior número de artigos publicados no período, quando 49 artigos (34,51%) foram publicados.

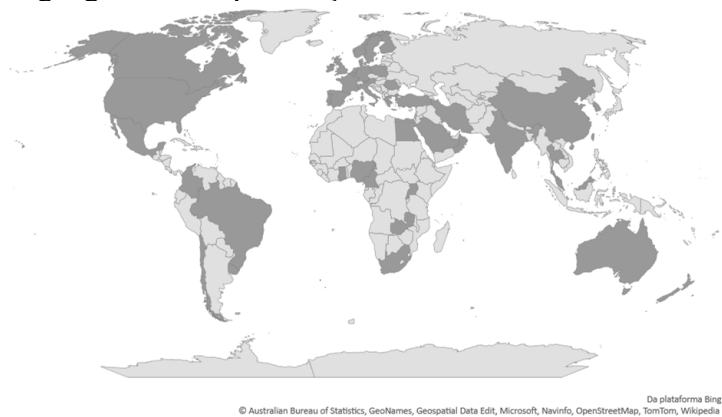
Figura 2 – Número de publicações acumulado nos últimos 8 anos



Fonte: Os autores (2022).

A análise do contexto geográfico dos artigos ranqueados verificou a realização de pesquisas em 48 países distintos, de todos os cinco continentes, dentre os quais destacam-se os Estados Unidos ($n = 17$), o Reino Unido ($n = 15$), a Itália ($n = 11$), a Alemanha, a Índia e o Brasil ($n = 9$), e a China ($n = 8$). A Figura 3 destaca (em cinza escuro) os países nos quais verificou-se a realização das referidas pesquisas.

Figura 3 – Contexto geográfico das publicações

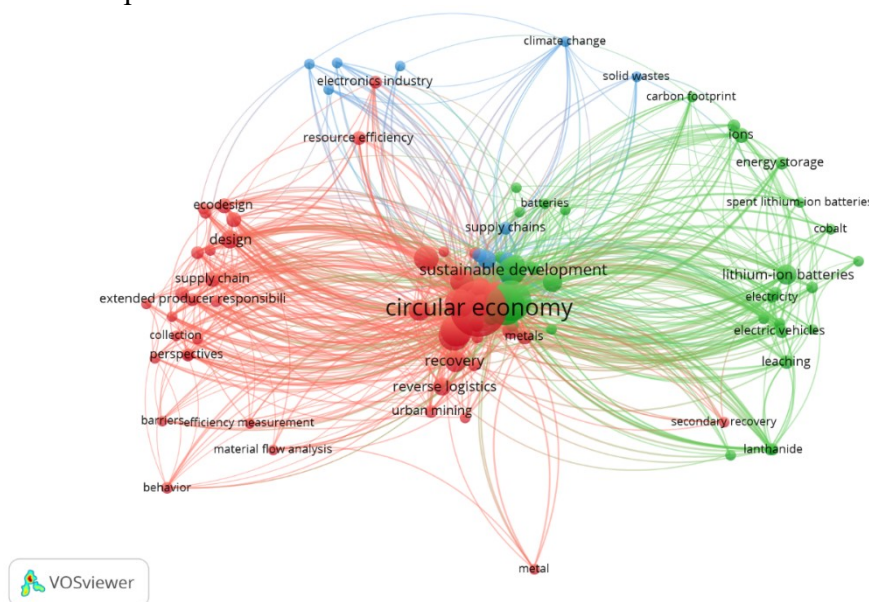


Fonte: Os autores (2022).

Cabe ressaltar que, dentre os artigos analisados ($n = 142$), 13 (9,15%) retratam o contexto geográfico supranacional da União Europeia, sob a ótica da comparação de práticas entre os países integrantes do Pacto Ecológico Europeu, ou *Green Deal*, que cita a economia circular como uma das estratégias para a redução da emissão de gases do efeito estufa em até 55% até 2030 (Mhatre et al., 2021; Parajuly et al., 2020).

Com o apoio do *software* VOSviewer, gerou-se a visualização rede de palavras-chave dos autores ilustrada na Figura 4, na qual os círculos representam as palavras-chave, as linhas representam a co-ocorrência delas nos artigos analisados ($n = 142$), e a distância entre os círculos é definida pela co-ocorrência de citações. Na figura é possível observar a existência de dois *clusters* bem delimitados, cuja intersecção é o termo economia circular. O *cluster* indicado pelas palavras-chave destacadas em vermelho refere-se a estudos de caráter predominantemente gerencial, isto é, pesquisas cujo objeto volta-se à análise de práticas e modelos relacionados à

economia circular nos níveis micro, meso e macro. O *cluster* indicado pelas palavras-chave em verde, por sua vez, refere-se a estudos de caráter predominantemente técnico, nos quais são analisados e desenvolvidos procedimentos para a promoção e o aprimoramento das estratégias da economia circular sob a ótica das ciências físicas e químicas, e de materiais.



Complementarmente à análise bibliométrica, realizou-se a análise de conteúdo do portfólio de artigos incluídos na RIL com base no protocolo *Methodi Ordinatio* (n = 36). Essa análise permitiu identificar com maior aprofundamento as abordagens dos estudos de caráter técnico (integrantes do *cluster* verde) e gerencial (integrantes do *cluster* vermelho).

Dentre os **estudos de caráter técnico** analisados (n = 9), verificou-se referência a dois tipos de equipamentos principalmente: as placas fotovoltaicas (Farrell et al., 2020), as baterias de íons de lítio (Chan et al., 2021; Makuza et al., 2021; Martins et al., 2021; Piątek et al., 2021; Thompson et al., 2020; Wu et al., 2020; Yang et al., 2021). Na análise das rotas de reciclagem mais eficientes para os módulos de placas fotovoltaicas pós-consumo, Farrell et al. (2020) dissertam sobre a pirólise como o método com menor consumo energético e maior percentual de recuperação dos materiais poliméricos contidos nas placas.

Em sua maioria, os estudos de caráter técnico, possuem um nível de análise micro, isto é, com foco nas práticas de empresas, com exceção dos trabalhos de Yang et al. (2021) e Makuza et al. (2021), cujas análises incorporaram as implicações dos processos de reciclagem de baterias às práticas observadas no nível macro. Dentre os estudos de **caráter gerencial** (n = 27), observou-se uma ligeira predominância de estudos com foco de análise micro (51,85%) sobre aqueles com foco na análise macro (37,04%). Os outros 11,11% referem-se a estudos com foco de análise meso.

Adicionalmente, verificou-se que dos 27 artigos com caráter gerencial, somente 5 abordaram a perspectiva do consumidor (Boyer et al., 2021; Hankammer et al., 2019; Ofori et al., 2022; Parajuly et al., 2020; Rasmussen et al., 2020), corroborando e sugerindo a manutenção da lacuna identificada por Bressanelli et al. (2020). Os principais critérios de decisão do consumidor em relação ao reparo e à disposição de equipamentos no contexto da economia circular apontados na literatura foram os custos para reparo; custos para solução de problemas; duração para solução de problemas; esforço físico para o reparo; disponibilidade de instruções para o autorreparo; tempo para informações sobre a disposição; distância de transporte para disposição; esforço físico para disposição; espaço para dispositivos não utilizados; custos para disposição; uso de dispositivos antigos; e, tempo para disposição (Hankammer et al., 2019).

Parajuly et al. (2020) analisam as decisões dos consumidores sob a lente das teorias comportamentais (e.g. teoria das escolhas racionais, teorias morais, modelos econômicos, nudging) e observam que as intervenções comportamentais sem o conhecimento dos aspectos tecno-econômicos da economia circular pode produzir resultados insuficientes.

A indústria 4.0, as novas tecnologias (como a Internet das Coisas – IoT e o *big data*), além dos novos modelos de negócios, como os modelos focados no uso/serviço, são analisados na literatura como catalisadores das estratégias para a economia circular para aumentar a eficiência de recursos e estender a vida útil dos produtos (Bressanelli et al., 2018; Nascimento et al., 2019; Pinheiro et al., 2022). A extensão da vida útil dos produtos é destacada como estratégia circular para *design* de equipamentos que possam ter a vida útil prolongada e redução da necessidade de reciclagem de produtos (Bakker et al., 2014; Vanegas et al., 2018).

Por fim, vale ressaltar que somente um estudo reportou a utilização de método multicritério de apoio à decisão (MCDA). Appolonna et al. (2021) aplicaram o método AHP (do inglês, *Analytical Hierarchy Process*) para desenvolver e validar um indicador de risco, chamado RAI (do inglês, *Risk Awareness Indicator*) para avaliar o risco associado à reciclagem de lixo eletrônico e apoiar a definição de políticas orientadas ao consumo.

A relevância da economia circular tem refletido o desenvolvimento de novas técnicas e materiais para a fabricação de equipamentos com menor geração de resíduos e rejeitos, bem como de novos modelos de negócios potencializados pelas novas tecnologias. Entretanto, os consumidores, que têm papel preponderante na cadeia de suprimentos, precisam ser melhor envolvidos por meio de intervenções comportamentais que considerem os aspectos tecno-econômicos da economia circular.

5. AGENDA DE PESQUISAS FUTURAS

Com base na leitura dos artigos incluídos no portfólio da revisão integrativa da literatura (n = 36), elaborou-se uma agenda de pesquisas futuras, apresentada no Quadro 2.

Quadro 2 – Agenda de pesquisas futuras

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none">• Análise da aplicação da estratégia de extensão da vida útil de diferentes tipos de EEE e diferentes contextos.• Desenvolvimento de parâmetros de desempenho relacionados à economia circular para a análise da performance de EEE quanto à reparabilidade, remanufaturabilidade e reciclabilidade. |
|---|

- Análise e desenvolvimento de sistemas de informação integrados para disponibilizar informações relacionadas aos bens produzidos pelos fabricantes aos demais atores da cadeia de suprimentos para otimização dos processos de fim de vida útil dos produtos.
- Proposição de *frameworks* regulatórios e incentivos governamentais que envolvam todos os atores da cadeia de suprimentos para o desenvolvimento de tecnologias para a reciclagem econômica e ambientalmente viável de diferentes tipos de EEE.
- Análise dos desafios (atributos intrínsecos e extrínsecos do comportamento do consumidor) à adoção de modelos de negócios circulares, práticas de reparo e reuso e coleta apropriada de lixo eletrônico.
- Proposição de *frameworks* de integração de elementos comportamentais às políticas nacionais e/ou regionais de lixo eletrônico, com base estratégias de mudança de comportamento relacionadas à infraestrutura de gestão de bens pós-consumo e modelos de negócios que facilitem o reuso e a reparação de EEE.
- Análise do papel da digitalização na catalização da economia circular.
- Análise da variação dos critérios de decisão de consumidores quanto aos EEE e o lixo gerado a partir deles em diferentes contextos (idade, formação, localidade geográfica, entre outros).
- Análise do ciclo de vida de insumos de base orgânica empregados no processo de manufatura de EEE, como baterias de íons de lítio.
- Desenvolvimento de uma abordagem metodológica sistemática para o desenho e avaliação de ferramenta de intervenções comportamentais às práticas dos consumidores em relação aos EEE e ao tratamento de seus resíduos.

Fonte: Os autores (2022).

A agenda apresentada sugere questões não abordadas em pesquisas anteriores na expectativa de contribuir com o aprofundamento da investigação científica acerca do tema.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente artigo propôs-se a analisar o papel análise do papel e das implicações da economia circular para o design e a fabricação de equipamentos eletroeletrônicos a partir da realização de revisão integrativa da literatura apoiada no protocolo *Methodi Ordinatio*.

Os resultados demonstraram que o número de publicações observou-se um aumento contínuo nos últimos anos e que as discussões possuem um caráter multidisciplinar (Q1). Os artigos dividem-se em estudos de natureza gerencial, isto é, cujo objeto volta-se à análise de práticas e modelos relacionados à economia circular nos níveis micro, meso e macro, e técnica, nos quais são procedimentos são analisados e desenvolvidos para a promoção e o aprimoramento das estratégias da economia circular sob a ótica das ciências físicas e químicas, e de materiais. Adicionalmente, novas tecnologias e modelos de negócios (Q2) são analisados e desenvolvidos com vistas a catalisar estratégias para a economia circular por meio do aumento da eficiência de recursos e da extensão da vida útil dos produtos. Poucos estudos abordam a problemática sob a perspectiva do consumidor, corroborando e sugerindo a manutenção da lacuna identificada por Bressanelli et al. (2020). As evidências na literatura indicam que as intervenções comportamentais sem o conhecimento dos aspectos tecno-econômicos da economia circular pode produzir resultados insuficientes (Q3). Dentre os principais critérios de decisão dos consumidores em relação ao reparo e à disposição de equipamentos no contexto da economia circular estão os custos para reparo, o esforço físico para o reparo, as informações sobre a disposição e a distância de transporte para disposição final.

A revisão possibilitou identificar as características das publicações relacionadas ao papel e às implicações da economia circular no desenvolvimento de equipamentos eletroeletrônicos do ponto de vista gerencial e técnico, além dos principais critérios de decisão dos consumidores em relação ao reparo e à disposição de equipamentos no contexto da economia circular.

Vale ressaltar, que a análise de conteúdo realizada limitou-se ao conjunto dos 36 artigos mais relevantes segundo o Índice *Ordinatio*, que considerou o ano das publicações, o número de citações e o fator de impacto dos respectivos periódicos. Embora o protocolo tenha sido seguido com rigor metodológico, a análise de uma amostra maior de artigos pode contribuir com uma visão mais ampla das implicações existentes. Outros protocolos para revisão sistemática e

integrativa e outros critérios de inclusão e exclusão de artigos, podem conduzir a outros resultados. Sugere-se que estudos futuros possam comparar os resultados dessa revisão com os resultados da aplicação de outros protocolos. Adicionalmente, o objeto de interesse desta revisão restringiu-se às implicações da economia circular no *design* e na fabricação dos EEE. Outras etapas do processo produtivo, igualmente relevantes, podem ser analisadas para uma visão integrada dos efeitos da economia circular sobre a manufatura deste segmento de produtos.

Esse artigo contribui para pesquisadores e gestores interessados na temática da economia circular de REEE sob a ótica do design, principalmente por sintetizar o corpo de conhecimento sobre o tema e também por apontar uma agenda de pesquisa que pode ser explorada em estudos futuros.

REFERÊNCIAS

- Agrawal, S., & Singh, R. K. (2021). Outsourcing and reverse supply chain performance: a triple bottom line approach. *Benchmarking: An International Journal*, 28(4), 1146–1163.
- Anandh, G., PrasannaVenkatesan, S., Goh, M., & Mathiyazhagan, K. (2021). Reuse assessment of WEEE: Systematic review of emerging themes and research directions. *Journal of Environmental Management*, 287.
- Appolloni, A., D’Adamo, I., Gastaldi, M., Santibanez-Gonzalez, E. D. R. R., & Settembre-Blundo, D. (2021). Growing e-waste management risk awareness points towards new recycling scenarios: The view of the Big Four’s youngest consultants. *Environmental Technology and Innovation*, 23, 101716.
- Bakker, C., Wang, F., Huisman, J., & Den Hollander, M. (2014). Products that go round: Exploring product life extension through design. *Journal of Cleaner Production*, 69, 10–16.
- Bardin, L. (2011). *Análise do Conteúdo* (1ª Ed.). Grupo Almedina.
- Blomsma, F., & Brennan, G. (2017). The Emergence of Circular Economy: A New Framing Around Prolonging Resource Productivity. *Journal of Industrial Ecology*, 21(3), 603–614.
- Bonsu, N. O. (2020). Towards a circular and low-carbon economy: Insights from the transitioning to electric vehicles and net zero economy. *Journal of Cleaner Production*, 256.
- Bovea, M. D., & Pérez-Belis, V. (2018). Identifying design guidelines to meet the circular economy principles: A case study on electric and electronic equipment. *Journal of Environmental Management*, 228, 483–494.
- Boyer, R. H. W., Hunka, A. D., & Whalen, K. A. (2021). Consumer Demand for Circular Products: Identifying Customer Segments in the Circular Economy. *Sustainability*, 13(22).
- Bressanelli, G., Adrodegari, F., Perona, M., & Saccani, N. (2018). Exploring how usage-focused business models enable circular economy through digital technologies. *Sustainability (Switzerland)*, 10(3).
- Bressanelli, G., Pigosso, D. C. A., Saccani, N., & Perona, M. (2021). Enablers, levers and benefits of Circular Economy in the Electrical and Electronic Equipment supply chain: a literature review. *Journal of Cleaner Production*, 298, 126819.
- Bressanelli, G., Saccani, N., Pigosso, D. C. A., & Perona, M. (2020). Circular Economy in the WEEE industry: a systematic literature review and a research agenda. *Sustainable Production and Consumption*, 23, 174–188.
- Brito, J. L. R. de, Ruiz, M. S., Kniess, C. T., & Santos, M. R. dos. (2022). Reverse remanufacturing of electrical and electronic equipment and the circular economy. *Revista de Gestão*.
- Chan, K. H., Anawati, J., Malik, M., & Azimi, G. (2021). Closed-Loop Recycling of Lithium,

- Cobalt, Nickel, and Manganese from Waste Lithium-Ion Batteries of Electric Vehicles. *ACS Sustainable Chemistry and Engineering*, 9(12), 4398–4410.
- Cucchiella, F., D’Adamo, I., Koh, S. C. L., & Rosa, P. (2015). Recycling of WEEE: An economic assessment of present and future e-waste streams. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 51, 263–272.
- Farrell, C. C., Osman, A. I., Doherty, R., Saad, M., Zhang, X., Murphy, A., Harrison, J., Vennard, A. S. M., Kumaravel, V., Al-Muhtaseb, A. H., & Rooney, D. W. (2020). Technical challenges and opportunities in realising a circular economy for waste photovoltaic modules. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 128.
- Forti, V., Baldé, C. P., Kuehr, R., & Bel, G. (2020). *The Global E-waste Monitor 2020: Quantities, flows and the circular economy potential*. United Nations University (UNU). Bonn/Geneva/Rotterdam.
- Freeman, R. E. (1984). *Strategic Management: A Stakeholder Approach*. Pitman.
- Friant, M. C., Vermeulen, W. J. V., & Salomone, R. (2021). Analysing European Union circular economy policies: words versus actions. *Sustainable Production and Consumption*, 27, 337–353.
- Gaustad, G., Krystofik, M., Bustamante, M., & Badami, K. (2018). Circular economy strategies for mitigating critical material supply issues. *Resources, Conservation and Recycling*, 135, 24–33.
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M. P., & Hultink, E. J. (2017). The Circular Economy – A new sustainability paradigm? *Journal of Cleaner Production*, 143, 757–768.
- Gharibi, K., & Abdollahzadeh, S. (2021). A mixed-integer linear programming approach for circular economy-led closed-loop supply chains in green reverse logistics network design under uncertainty. *Journal of Enterprise Information Management*.
- Ghisellini, P., Cialani, C., & Ulgiati, S. (2016). A review on circular economy: The expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. *Journal of Cleaner Production*, 114, 11–32.
- Gil, A. C. (2002). *Como elaborar projetos de pesquisa* (4^a Ed.). Editora Atlas.
- Gu, Y. F., Wu, Y. F., Xu, M., Wang, H. D., & Zuo, T. Y. (2017). To realize better extended producer responsibility: Redesign of WEEE fund mode in China. *Journal of Cleaner Production*, 164, 347–356.
- Hankammer, S., Brenk, S., Fabry, H., Nordemann, A., & Piller, F. T. (2019). Towards circular business models: Identifying consumer needs based on the jobs-to-be-done theory. *Journal of Cleaner Production*, 231, 341–358.
- Hansen, E. G., & Revellio, F. (2020). Circular value creation architectures: Make, ally, buy, or laissez-faire. *Journal of Industrial Ecology*, 24(6), 1250–1273.
- Hartley, K., van Santen, R., & Kirchherr, J. (2020). Policies for transitioning towards a circular economy: Expectations from the European Union (EU). *Resources, Conservation and Recycling*, 155(June 2019), 104634.
- Karagiannopoulos, P. S., Manousakis, N. M., & Psomopoulos, C. S. (2022). A novel ILP formulation for PCB maintenance considering electrical measurements and aging factors: A “right to repair” approach. *Energies*, 15(1).
- Kirchherr, J., Reike, D., & Hekkert, M. (2017). Conceptualizing the circular economy: An analysis of 114 definitions. *Resources, Conservation and Recycling*, 127, 221–232.
- Lewandowski, M. (2016). Designing the business models for circular economy-towards the conceptual framework. *Sustainability (Switzerland)*, 8(1), 1–28.
- Lieder, M., & Rashid, A. (2016). Towards circular economy implementation: A comprehensive review in context of manufacturing industry. *Journal of Cleaner Production*, 115, 36–51.
- Makuza, B., Tian, Q., Guo, X., Chattopadhyay, K., & Yu, D. (2021). Pyrometallurgical options for recycling spent lithium-ion batteries: A comprehensive review. *Journal of Power*

Sources, 491.

- Martins, L. S., Guimarães, L. F., Botelho Junior, A. B., Tenório, J. A. S., & Espinosa, D. C. R. (2021). Electric car battery: An overview on global demand, recycling and future approaches towards sustainability. *Journal of Environmental Management*, 295(March).
- Mhatre, P., Panchal, R., Singh, A., & Bibyan, S. (2021). A systematic literature review on the circular economy initiatives in the European Union. *Sustainable Production and Consumption*, 26, 187–202.
- Modgil, S., Gupta, S., Sivarajah, U., & Bhushan, B. (2021). Big data-enabled large-scale group decision making for circular economy: An emerging market context. *Technological Forecasting and Social Change*, 166.
- Murray, A., Skene, K., & Haynes, K. (2017). The Circular Economy: An Interdisciplinary Exploration of the Concept and Application in a Global Context. *Journal of Business Ethics*, 140(3), 369–380.
- Nascimento, D. L. M., Alencastro, V., Quelhas, O. L. G., Caiado, R. G. G., Garza-Reyes, J. A., Lona, L. R., & Tortorella, G. (2019). Exploring Industry 4.0 technologies to enable circular economy practices in a manufacturing context A business model proposal. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 30(3), 607–627.
- Ofori, D., Mensah, A. O., Opoku Mensah, A., & Mensah, A. O. (2022). Sustainable electronic waste management among households: a circular economy perspective from a developing economy. *Management of Environmental Quality*, 33(1), 64–85.
- Oliveira, J. C., Lopes, J. M., Farinha, L., Silva, S., Luízio, M., Oliveira, J. C., Lopes, J. M., Farinha, L., Silva, S., & Luizio, M. (2022). Orchestrating entrepreneurial ecosystems in circular economy: the new paradigm of sustainable competitiveness. *Management of Environmental Quality*, 33(1), 103–123.
- Ottoni, M., Dias, P., & Xavier, L. H. (2020). A circular approach to the e-waste valorization through urban mining in Rio de Janeiro, Brazil. *Journal of Cleaner Production*, 261, 120990.
- Paes, M. X., de Medeiros, G. A., Mancini, S. D., Ribeiro, F. de M., Puppim de Oliveira, J. A., & de Oliveira, J. A. P. (2021). Transition to circular economy in Brazil A look at the municipal solid waste management in the state of Sao Paulo. *Management Decision*, 59(8), 1827–1840.
- Pagani, R. N., Kovaleski, J. L., & de Resende, L. M. M. (2017). Advances in the composition of Methodi Ordinatio for systematic literature review. *Ciência Da Informação*, 46(2), 161–187.
- Pagani, R. N., Kovaleski, J. L., & Resende, L. M. (2015). Methodi Ordinatio: a proposed methodology to select and rank relevant scientific papers encompassing the impact factor, number of citation, and year of publication. *Scientometrics*, 105(3), 2109–2135.
- Parajuly, K., Fitzpatrick, C., Muldoon, O., & Kuehr, R. (2020). Behavioral change for the circular economy: A review with focus on electronic waste management in the EU. *Resources, Conservation and Recycling: X*, 6.
- Piątek, J., Afyon, S., Budnyak, T. M., Budnyk, S., Sipponen, M. H., & Slabon, A. (2021). Sustainable Li-Ion Batteries: Chemistry and Recycling. *Advanced Energy Materials*, 11(43).
- Pinheiro, M. A. P., Jugend, D., Lopes de Sousa Jabbour, A. B., Chiappetta Jabbour, C. J., & Latan, H. (2022). Circular economy-based new products and company performance: The role of stakeholders and Industry 4.0 technologies. *Business Strategy and the Environment*, 31(1), 483–499.
- Rasmussen, M. B., Pagels, K. O., & Ramanujan, D. (2020). Supporting Household Waste Sorting Practices by Addressing Information Gaps. *Journal of Computing and Information Science in Engineering*, 20(4).

- Rebehly, P. C. P. W., Lima, S. A. dos S., Novi, J. C., & Salgado Jr., A. P. (2019). Reverse logistics systems in Brazil: Comparative study and interest of multistakeholders. *Journal of Environmental Management*, 250(June), 109223.
- Reike, D., Vermeulen, W. J. V., & Witjes, S. (2018). The circular economy: New or Refurbished as CE 3.0? — Exploring Controversies in the Conceptualization of the Circular Economy through a Focus on History and Resource Value Retention Options. *Resources, Conservation and Recycling*, 135, 246–264.
- Sauvé, S., Bernard, S., & Sloan, P. (2016). Environmental sciences, sustainable development and circular economy: Alternative concepts for trans-disciplinary research. *Environmental Development*, 17, 48–56.
- Schroeder, P., Anggraeni, K., & Weber, U. (2019). The Relevance of Circular Economy Practices to the Sustainable Development Goals. *Journal of Industrial Ecology*, 23(1), 77–95.
- Sharma, H. B., Vanapalli, K. R., Samal, B., Cheela, V. R. S. S., Dubey, B. K., & Bhattacharya, J. (2021). Circular economy approach in solid waste management system to achieve UN-SDGs: Solutions for post-COVID recovery. *Science of the Total Environment*, 800, 149605.
- Shittu, O. S., Williams, I. D., & Shaw, P. J. (2021). Global E-waste management: Can WEEE make a difference? A review of e-waste trends, legislation, contemporary issues and future challenges. *Waste Management*, 120, 549–563.
- Singh, S., Trivedi, B., Dasgupta, M. S., & Routroy, S. (2021). A bibliometric analysis of circular economy concept in E-waste research during the period 2008-2020. *Materials Today: Proceedings*, 46, 8519–8524.
- Sousa-Zomer, T. T., Magalhães, L., Zancul, E., Campos, L. M. S. S., Cauchick-Miguel, P. A., Magalhaes, L., Zancul, E., Campos, L. M. S. S., & Cauchick-Miguel, P. A. (2018). Cleaner production as an antecedent for circular economy paradigm shift at the micro-level: Evidence from a home appliance manufacturer. *Journal of Cleaner Production*, 185, 740–748.
- Thompson, D. L., Hartley, J. M., Lambert, S. M., Shiref, M., Harper, G. D. J., Kendrick, E., Anderson, P., Ryder, K. S., Gaines, L., & Abbott, A. P. (2020). The importance of design in lithium ion battery recycling-a critical review. *Green Chemistry*, 22(22), 7585–7603.
- Tolio, T., Bernard, A., Colledani, M., Kara, S., Seliger, G., Duflou, J., Battaia, O., & Takata, S. (2017). Design, management and control of demanufacturing and remanufacturing systems. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 66(2), 585–609.
- Vanegas, P., Peeters, J. R., Cattrysse, D., Tecchio, P., Ardente, F., Mathieux, F., Dewulf, W., & Duflou, J. R. (2018). Ease of disassembly of products to support circular economy strategies. *Resources, Conservation and Recycling*, 135(January 2017), 323–334.
- Werning, J. P., & Spinler, S. (2020). Transition to circular economy on firm level: Barrier identification and prioritization along the value chain. *Journal of Cleaner Production*, 245, 118609.
- Wu, Z., Soh, T., Chan, J. J., Meng, S., Meyer, D., Srinivasan, M., & Tay, C. Y. (2020). Repurposing of Fruit Peel Waste as a Green Reductant for Recycling of Spent Lithium-Ion Batteries. *Environmental Science and Technology*, 54(15), 9681–9692.
- Yang, Y., Okonkwo, E. G., Huang, G., Xu, S., Sun, W., & He, Y. (2021). On the sustainability of lithium ion battery industry – A review and perspective. *Energy Storage Materials*, 36, 186–212.
- Zhong, S., & Pearce, J. M. (2018). Tightening the loop on the circular economy: Coupled distributed recycling and manufacturing with recyclebot and RepRap 3-D printing. *Resources, Conservation and Recycling*, 128, 48–58.