



Relação conceitual entre Economia Circular, Ecologia Industrial e *Cradle to Cradle*: um ensaio teórico

Conceptual relationship between Circular Economy, Industrial Ecology and *Cradle to Cradle*: a theoretical essay

Milton Jarbas Rodrigues Chagas – Doutor em Desenvolvimento Sustentável pela Universidade de Brasília (UnB). Professor da Universidade Federal do Cariri (UFCA). E-mail: milton.rodrigues@ufca.edu.br

Armando de Azevedo Caldeira-Pires – Doutor em Engenharia Mecânica pela Universidade Técnica de Lisboa (UTL), Portugal. Professor Titular da Universidade de Brasília (UnB). E-mail: armandcp@unb.br

Resumo

Dentre os conceitos que têm por objeto a compreensão de fluxos de materiais e energia em um processo industrial, objetivando a adoção de práticas sustentáveis, destacam-se a Ecologia Industrial, o *Cradle to Cradle* e a Economia Circular. Neste sentido, este artigo objetiva verificar as relações entre os conceitos e as características da Ecologia Industrial, *Cradle to Cradle* e Economia Circular, investigando as principais diferenças e semelhanças existentes entre eles. Realizou-se um ensaio teórico, no qual foram analisados os conceitos e as características, além da realização de uma pesquisa na base de dados *Scopus*, utilizando-se dos termos: “*Circular Economy*” and “*Cradle to Cradle*” and “*Industrial Ecology*”. Como resultados verificou-se que há relação entre os três conceitos analisados no que se refere à análise de fluxos de materiais e energia em processos industriais, compreendendo todo o ciclo de vida, desde a etapa de *design* do produto até a reinserção do material de volta ao sistema.

Abstract

Among the concepts that have as object the understanding of material and energy flows in an industrial process, aiming at the adoption of sustainable practices, we highlight the Industrial Ecology, *Cradle to Cradle* and Circular Economy. In this sense, this article aims to verify the relationships between the concepts and characteristics of Industrial Ecology, *Cradle to Cradle* and Circular Economy, investigating the main differences and similarities between them. A theoretical essay was carried out, in which the concepts and characteristics were analyzed, in addition to conducting a search in the *Scopus* database, using the terms: “*Circular Economy*” and “*Cradle to Cradle*” and “*Industrial Ecology*”. As a result, it was found that there is a relationship between the three concepts analyzed with regard to the analysis of material and energy flows in industrial processes, comprising the entire life cycle, from the product design stage to the reinsertion of the material back to the system.

Palavras-chave

Economia Circular. *Cradle to Cradle*. Ecologia Industrial. Energia.

Keywords

Circular Economy. *Cradle to Cradle*. Industrial Ecology. Energy.

INTRODUÇÃO

Bursztyn e Bursztyn (2012) já apontavam que um dos elementos cruciais para compreender os problemas atuais da humanidade é o esforço de promover um entrosamento do olhar econômico com a dimensão ambiental. O sistema econômico interage com o meio ambiente, extraindo recursos naturais fundamentais e despejando dejetos (MÜELER, 2012).

A preocupação com a redução dos impactos ambientais e, ao mesmo tempo, a busca constante pela eficiência no setor produtivo, atendendo às demandas sociais e implementando ações sustentáveis, faz com que gestores estabeleçam modelos de negócios que integrem a busca por resultados positivos, associados à manutenção do capital natural, por meio de políticas de sustentabilidade (COBO; DOMINGUEZ-RAMOS; IRABIEN, 2017).

De acordo com Geissdoerfer *et al.* (2017), espera-se que um sistema econômico minimize a entrada e o desperdício de recursos, a emissão e o vazamento de energia do sistema e mitigue os impactos negativos, sem comprometer o crescimento e a prosperidade.

Para Sandin e Peters (2018), atualmente, vive-se em uma economia de materiais amplamente linear, na qual o uso de recursos naturais é caracterizado pela seguinte sequência: extrair – produzir – usar – descartar. Os mesmos autores argumentam que devido ao aumento da população e da riqueza, além da capacidade limitada do planeta de fornecer recursos e absorver resíduos, necessita-se de uma transição para uma forma mais circular de uso de materiais.

Para Merli, Preziosi e Acampora (2018), a definição de Economia Circular (EC) não é estática e contém um amplo conjunto de princípios e propostas que foram formulados nas últimas décadas, tais como: “design regenerativo” (LYLE, 1994), “economia de desempenho” (STAHEL, 2008), “Cradle-to-Cradle” (BRAUNGART; MCDONOUGH; BOLLINGER, 2007) e “ecologia industrial” (ERKMAN, 1997). Outros conceitos relacionados à Economia Circular são “Economia Espiral” (HARWOOD, 2017), “double loop” (ARGYRIS, 1976), “closed-loop” (BOCKEN *et al.*, 2016), logística reversa (ROGERS; TIBBEN-LEMBKE, 1998), “análise do ciclo de vida” (SEO; KULAY, 2006), “upcycle” (ZIMRING, 2016) e “simbiose industrial” (CHERTOW, 2000).

Para Kirchherr, Reike e Hekkert (2017), mesmo com a publicação de diversos estudos nos últimos anos, há a necessidade de mais pesquisa sobre o desenvolvimento conceitual da EC, devido à grande dispersão conceitual. A Economia Circular foi conceituada considerando que o crescimento econômico leva à degradação ambiental e à superexploração dos recursos naturais, reduzindo a capacidade reprodutiva da biosfera (LIEDER; RASHID, 2016).

O estudo de Sehnem e Pereira (2019) esclarece as diferenças semânticas e conceituais dos termos: Economia Circular, Economia Espiral, *Cradle to Cradle*, *double loop*, *closed-loop*, logística reversa, análise do ciclo de vida, *upcycle* e simbiose industrial. Já Bacovis (2019) realizou uma revisão sistemática da literatura sobre Economia circular, sintetizando-a por meio de mapas conceituais.

Este artigo se diferencia dos anteriores por propor a compreensão de como os conceitos de Ecologia Industrial, *Cradle to Cradle* e Economia Circular se relacionam, investigando as principais diferenças e semelhanças existentes entre eles. A escolha dos três conceitos para análise ocorreu uma vez que o objeto de investigação dos mesmos está relacionado à visão sistêmica da produção, repensando todo o sistema operativo, formando uma nova estrutura econômica (ALIGLERI; ALIGLERI; KRUGLIANSKAS, 2016).

A partir da identificação de semelhanças e diferenças conceituais será possível contribuir na compreensão sobre cada conceito, auxiliando na análise e definição de ações que objetivem reduzir o impacto ambiental e promover o desenvolvimento econômico e social.

Este artigo busca responder a seguinte questão problema: qual a relação entre os conceitos de Ecologia Industrial, *Cradle to Cradle* e Economia Circular? Para tanto, aborda nas próximas seções o referencial teórico, visando melhor compreender os conceitos, seguido pelo método, a análise de resultados e as considerações finais.

1 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Essa pesquisa tem características quali-quantitativa, uma vez que apresenta a quantidade de artigos publicados sobre a temática em estudo e, em seguida, analisa os aspectos conceituais e as relações existentes entre as abordagens da Economia Circular, Ecologia Industrial e *Cradle to Cradle*.

Foi realizada uma revisão sistemática, seguindo rigorosamente um método em sua elaboração. O levantamento da quantidade de artigos publicados ocorreu na base de dados *Scopus*, uma vez que esta contém uma quantidade abrangente de periódicos nacionais e regionais. As palavras-chave utilizadas foram: *Circular Economy or Industrial Ecology or Cradle to Cradle*. O intuito foi identificar a finalidade e o objetivo da utilização destes conceitos como embasamento teórico nas pesquisas já realizadas.

A busca ocorreu no mês de maio de 2020, considerando artigos em todos os idiomas. Neste tópico foram analisados os estudos que utilizaram os termos Ecologia Industrial, *Cradle to Cradle* e Economia Circular. Por meio de uma

bibliometria, foram identificados 6.199 artigos publicados, contendo uma ou mais das palavras chaves pesquisadas.

Limitando a busca pelas palavras-chave e o operador booleano *and*: *Circular Economy and Industrial Ecology and Cradle to Cradle*, foram encontrados 11 artigos contendo as três palavras-chave simultaneamente. A apresentação dos dados descritivos está na seção de análise de resultados.

Após a identificação dos artigos, procedeu-se a análise dos conceitos, considerando também os autores expostos no referencial teórico. A análise ocorreu por meio do ensaio, o qual é caracterizado pela sua natureza reflexiva e interpretativa, concentrando-se na relação quantitativa *versus* qualitativa (MENEGHETTI, 2011).

Foram definidas categorias de análise, de modo a identificar as semelhanças e diferenças conceituais de cada abordagem. Essas categorias foram: objeto, modelo de produção e consumo, objetivo/finalidade, metodologia/visão, atores impactados e relações estabelecidas. A análise está demonstrada na próxima seção.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 ECOLOGIA INDUSTRIAL

A Ecologia Industrial se preocupa, principalmente, com o rastreamento de fluxos e estoques de substâncias e materiais, principalmente, aqueles cujos ciclos são fortemente influenciados pelas atividades industriais, como base para reduzir o impacto do processo produtivo no meio ambiente (DUCHIN; HERTWICH, 2003).

A Ecologia Industrial, conforme Lifset e Graedel (2002), é industrial, uma vez que se concentra no *design* de produtos e nos processos de fabricação. As indústrias são consideradas agentes de melhoria ambiental, visto que possuem o conhecimento tecnológico essencial para a execução bem-sucedida de projetos e produtos ambientalmente informados.

É também ecológica por utilizar modelos de ecossistemas biológicos como modelos de atividades industriais, assim como os sistemas econômicos são vistos não isoladamente dos sistemas circundantes, mas em conjunto com eles (LIFSET; GRAEDEL, 2002).

De acordo com Graedel e Allenby (1995), a Ecologia Industrial corresponde ao estudo dos fluxos de materiais e de energia por meio de sistemas industriais. Frosch e Gallopoulos (1989) argumentam que a Ecologia Industrial

adota um olhar sobre os ecossistemas “naturais” não humanos como modelos para a atividade industrial.

É possível observar que a abordagem da Ecologia Industrial surge no intuito de considerar a adoção de estratégias nas quais haja a reinserção dos resíduos produzidos novamente no sistema. Nota-se que a análise dos insumos, matérias-primas e processos, além da inserção de recursos naturais no processo industrial, é necessária tanto no planejamento de bens e serviços como no reaproveitamento e reuso dos seus componentes na fabricação de novos bens e serviços.

A Ecologia Industrial, com as suas ferramentas, pode auxiliar na transição de uma economia linear para uma economia circular, uma vez que compreende o estudo não apenas das variáveis econômicas, mas da influência do ecossistema ambiental no processo produtivo (SAAVEDRA *et al.*, 2018).

Conforme Ayres e Ayres (2002), a Ecologia Industrial concentra-se tanto no *design* de produto e nos processos de fabricação, assim como na indústria como a porção da sociedade que mais produz bens e serviços. As indústrias utilizam tecnologia tanto para a redução da deterioração de recursos como para a melhoria contínua dos processos.

É possível, neste sentido, inferir que a utilização da Ecologia Industrial, na análise das relações industriais e de consumo, verificando o fluxo de massa e energia, é fundamental para a gestão com maior eficiência dos processos e a redução de externalidades negativas, ou seja, os resíduos podem ser analisados no processo fabril, no consumo/uso dos bens e no seu descarte. Os impactos negativos correspondem à poluição de solo, água e emissão de gases de efeito estufa.

2.2 CRADLE TO CRADLE

Outro conceito que se relaciona no contexto industrial é o chamado *Cradle to Cradle* (C2C), o qual pode ser traduzido como “do berço ao berço”, e é responsável por designar uma estrutura de produção que visa a qualidade do produto e a inovação (MCDONOUGH; BRAUNGART, 2002). Quando se planeja um produto desde sua concepção até o aproveitamento dos seus componentes após uso, busca-se reduzir o impacto no meio ambiente e a ampliação de possibilidades mercadológicas.

O *Cradle to Cradle* apresenta um conceito alternativo de *design* e produção para estratégias de emissão zero de resíduos e “ecoeficácia”, que buscam reduzir as consequências negativas não intencionais dos processos de produção e consumo de bens, incorporando aspectos sociais, econômicos e ambientais. Esses aspectos

vão desde a redução na extração de matérias-primas e da emissão de gases de efeito estufa, assim como a fabricação de produtos recicláveis de maior acesso à população com menor renda.

A transição para sistemas industriais “ecoeficazes” requer um processo de eliminação de substâncias indesejáveis, reinventando os produtos, apoiando simultaneamente sistemas ecológicos e sociais (BRAUNGART; MCDONOUGH; BOLLINGER, 2007). Sistemas ecológicos, no sentido de reaproveitamento de materiais, e sociais, no que se refere à educação quanto ao consumo consciente.

Para Aligleri, Aligleri e Kruglianskas (2016), o *Cradle to Cradle* é uma plataforma de inovação paradigmática, uma vez que visa substituir o modelo atual de uso e descarte por um novo sistema industrial, no qual materiais retornam ao ciclo produtivo infinitas vezes. É inspirado no modelo da natureza e objetiva estimular um método de produção inteligente e sem desperdícios.

2.3 ECONOMIA CIRCULAR

A introdução do conceito de Economia Circular é atribuída a Pearce e Turner (1990), e está intimamente ligado ao conceito de sustentabilidade (GEISSDOERFER *et al.*, 2017), uma vez que busca o desenvolvimento econômico com redução dos impactos ambientais (YUAN; BI; MORIGUICHI, 2006).

Para Haas *et al.* (2015), a Economia Circular (EC) é uma estratégia simples, mas convincente, que visa reduzir tanto a entrada de materiais virgens quanto a produção de resíduos, fechando *loops* econômicos e ecológicos de fluxos de recursos. A ideia de uma economia circular envolve que o valor e a utilidade dos produtos sejam estendidos e que a produção e o consumo sejam utilizados como recursos secundários (MAYER *et al.*, 2019).

Sauvé, Bernard e Sloan (2016) argumentam que a Economia Circular tem por objetivo otimizar o uso de recursos virgens e reduzir a poluição e o desperdício em cada etapa do processo produtivo, na medida do possível e desejável. A constante adaptação, regeneração, recriação e inovação em termos de práticas sustentáveis geram conceitos que agregam e congregam elementos que têm o potencial para produzir efeitos substantivos sobre a sustentabilidade (SEHNEM; PEREIRA, 2019).

Conforme Saavedra *et al.* (2018), a Economia Circular representa, atualmente, uma opção viável para países, governos, universidades e sociedades, capaz de transformar os materiais lineares e semicirculares e os fluxos de energia em fluxos circulares, obtendo benefícios sustentáveis por meio do aproveitamento dos materiais destinados à produção, reduzindo o desperdício e o impacto ambiental.

De acordo com Lewandowski (2016), o conceito geral implícito na Economia Circular foi desenvolvido por muitas escolas de pensamento, tais como *Design* Regenerativo, Economia de Desempenho, *Cradle to Cradle*, Ecologia Industrial, Biomimética, Economia Azul, Capitalismo Natural, Metabolismo Industrial e Simbiose Industrial (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2012, 2013; LOVINS; LOVINS; HAWKEN, 1999; AYRES; SIMONIS, 1994), sendo essas escolas complementares entre si e basilares para os principais fundamentos dessa nova abordagem econômica.

Uma Economia Circular visa transformar o lixo de volta em recurso, invertendo a tendência linear dominante de extração, processamento, consumo/uso, finalizando com o descarte das matérias-primas. O objetivo final da Economia Circular é o de preservar os recursos naturais, mantendo o crescimento econômico e minimizando os impactos ambientais (GHISELLINI; CIALANI; ULGIATI, 2016; LIEDER; RASHID, 2016).

A Economia Circular é uma abordagem que transforma a função dos recursos na economia. O desperdício das fábricas se torna um insumo valioso para outro processo, podendo os produtos serem reparados, reutilizados ou atualizados ao invés de descartados. A ideia de uma economia circular corresponde a produção mínima de resíduos, os quais, se gerados, se tornam uma matéria-prima. O desperdício e o melhor uso de recursos, ao transitar de um modelo linear para o circular, apresentam-se como impulsionadores do seu desenvolvimento (WYSOKINSKA, 2018; GEISSDOERFER *et al.*, 2017; NIERO *et al.*, 2017; ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2012; EL-HAGGAR, 2007).

Para Pomponi e Moncaster (2017), a principal inovação dentro da ideia de uma EC consiste em desassociar o esgotamento e o crescimento do consumo de recursos, permitindo, com isso, que haja desenvolvimento econômico e rentabilidade cada vez maiores, sem que exista uma pressão crescente sobre o meio ambiente. Para Sauvé, Bernard e Sloan (2016), a EC é conceituada como um modelo de produção e consumo de bens por meio de fluxos de materiais de circuito fechado que analisam externalidades ambientais ligadas à extração de recursos virgens e à geração de resíduos, inclusive a poluição.

De acordo com Murray, Skene e Haynes (2017), a Economia Circular é considerada como sendo um modelo econômico onde planejamento, recursos, compras, produção e reprocessamento são projetados e gerenciados, tanto como processo como em resultados, para maximizar o funcionamento do ecossistema e o bem-estar humano.

Andersen (2007) afirma que a EC aborda as interligações das quatro funções econômicas do meio ambiente: 1) ser um sistema fundamental de suporte à vida;

2) proporcionar qualidade de vida; 3) ser base para o fornecimento de recursos; e 4) receber os descartes de materiais provenientes das atividades econômicas. McDonough *et al.* (2003) classificam a Economia Circular como um sistema que se alimenta de energia renovável, cujos materiais avançam em circuitos fechados, seguros e regenerativos.

Kirchherr, Reike e Hekkert, (2017) analisaram 114 definições de EC e puderam concluir que é descrita, mais frequentemente, como uma combinação de atividades de redução, reutilização e reciclagem. Além disso, os autores concluíram que nos trabalhos analisados, raramente, dá-se enfoque à necessidade de mudança sistêmica que a EC necessita.

De acordo com Geisendorf e Pietrulla (2017), o conceito de Economia Circular vem ganhando cada vez mais atenção dos *policy makers*, da academia e da indústria. No entanto, ainda falta uma definição amplamente aceita e precisa de uma EC, uma vez que o seu conceito é aplicado de diferentes maneiras pelas partes interessadas, dependendo de seus interesses específicos (MURRAY; SKENE; HAYNES. 2017).

Conforme Cobo, Dominguez-Ramos e Irabien (2017), um sistema circular integrado de gestão de resíduos deve abranger os subsistemas que conectam a transformação de matérias-primas em resíduos com o subsistema de tratamento de resíduos, de modo que as consequências da recirculação dos materiais nos subsistemas possam ser totalmente contabilizadas.

A Fundação Ellen MacArthur (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2017) elenca três princípios para uma economia circular: 1) preservar e aprimorar o capital natural, controlando estoques finitos e equilibrando os fluxos de recursos renováveis; 2) otimizar o rendimento de recursos, fazendo circular produtos, componentes e materiais em uso no mais alto nível de utilidade; e 3) estimular a efetividade do sistema, revelando e excluindo as externalidades negativas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

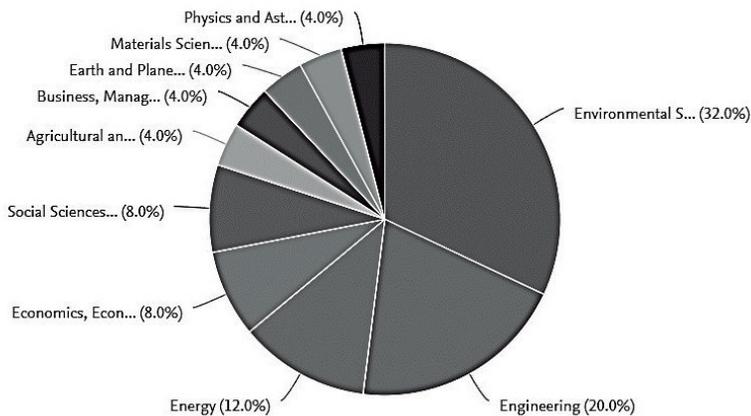
Neste tópico é apresentado o quantitativo de artigos pesquisados, envolvendo as palavras-chave *Circular Economy*, *Industrial Ecology* e *Cradle to Cradle*, assim como as relações e diferenças conceituais entre os termos citados.

Inicialmente, foram identificados 6.199 artigos publicados, contendo uma ou mais das palavras-chave pesquisadas. Destaca-se que, a partir de 2006, houve

um aumento de publicações, as quais utilizavam as abordagens da Economia Circular, Ecologia Industrial e *Cradle to Cradle*, com destaque para o ano de 2019 com 1.396 publicações. No ano de 2020, considerando ainda não concluso, já havia 870 pesquisas publicadas.

Visando analisar os estudos que utilizaram os termos EC, C2C e EI juntos, na mesma pesquisa, foi realizada uma busca na base de dados *Scopus* com as seguintes palavras-chave e o operador booleano “and”: *Circular Economy and Industrial Ecology and Cradle to Cradle*. Foram encontrados 11 artigos contendo as três palavras-chave simultaneamente. Inicialmente, verifica-se, conforme Figura 1, que a maior parte dos artigos publicados está vinculada à área temática de Ciência Ambiental (32%), seguida da Engenharia (20%) e Energia (12%). Pode-se observar que os estudos estão direcionados com a preocupação dos impactos ambientais.

Figura 1 – Áreas Temáticas vinculadas aos termos *Circular Economy and Industrial Ecology and Cradle to Cradle*



Fonte: Elaborada pelos autores (2020).

Os dados referentes aos títulos dos artigos, nome dos autores, ano de publicação e os nomes dos periódicos onde foram publicados estão elencados no Quadro 1. É possível perceber que as publicações, envolvendo os três termos pesquisados, iniciaram a partir de 2013, sendo o ano de 2018 o que possui o maior número delas. Dentre os periódicos, a maior quantidade de publicações ocorreu no *Journal of Cleaner Production* e no *Resources, Conservation and Recycling*, com duas publicações em cada um deles. Os autores Niero e Olsen tiveram duas publicações cada, observando que as duas foram realizadas em conjunto.

Quadro 1 – Relação de artigos, autores, anos e periódicos contendo as palavras Ecologia Industrial, *Cradle to Cradle* e Economia Circular

	TÍTULO DO ARTIGO	AUTORES	ANO PUB.	PERIÓDICO
01	Making the circular economy work for human development	Schröder P., Lemille A., Desmond P.	2020	Resources, Conservation and Recycling
02	Circular economy – From review of theories and practices to development of implementation tools	Kalmykova Y., Sadagopan M., Rosado L.	2018	Resources, Conservation and Recycling
03	Renewable energy and carbon management in the Cradle-to-Cradle certification: Limitations and opportunities	Niero M., Olsen S.I., Laurent A.	2017	Journal of Industrial Ecology
04	Antioxidant activity of citrus peel and seeds extracts	Damian C.	2018	International Multidisciplinary Scientific Conference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM
05	Analyzing and Measuring Circularity – Teaching and Industrial Tools by Granta Design	Ashby M., Vakhitova T.	2018	MRS Advances
06	Combining Eco-Efficiency and Eco-Effectiveness for Continuous Loop Beverage Packaging Systems: Lessons from the Carlsberg Circular Community	Niero M., Hauschild M.Z., Hoffmeyer S.B., Olsen S.I.	2017	Journal of Industrial Ecology
07	Extraction and utilisation of bioactive compounds from agricultural waste	Azeez S., Narayana C.K., Oberoi H.S.	2017	Utilisation of Bioactive Compounds from Agricultural and Food Production Waste
08	Life Cycle Assessment from food to food: A case study of circular economy from cruise ships to aquaculture	Strazza C., Magrassi F., Gallo M., Del Borghi A.	2015	Sustainable Production and Consumption
09	Integrated management framework for sustainable cities: Insights into multiple concepts and principles	Baffour Awuah K.G., Booth C.A.	2014	WIT Transactions on Ecology and the Environment

	TÍTULO DO ARTIGO	AUTORES	ANO PUB.	PERIÓDICO
10	Current options for the valorization of food manufacturing waste: A review	Mirabella N., Castellani V., Sala S.	2014	Journal of Cleaner Production
11	Strategies and ecosystem view for industrial sustainability	Despeisse M., Ball P.D., Evans S.	2013	Re-Engineering Manufacturing for Sustainability – Proceedings of the 20th CIRP International Conference on Life Cycle Engineering

Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Dos 11 artigos analisados, o mais recente deles foi publicado no ano de 2020 por Schröder, Lemille e Desmond (2020), inovando no seu objetivo ao visar re-conceitualizar Economia Circular e avançar nas suas aplicações práticas em direção a uma abordagem mais ampla do desenvolvimento em geral e, mais particularmente, combiná-la com a abordagem para o desenvolvimento humano.

Ao considerar todos os humanos como parte de um sistema circular mais amplo, possibilita a conexão entre o desenvolvimento humano, a economia e o ambiente natural, construindo as bases de sociedades circulares e inclusivas, que ajudarão a atingir os Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (SCHRÖDER; LEMILLE; DESMOND, 2020).

As principais relações observadas nos estudos, referentes à utilização dos termos Economia Circular, *Cradle to Cradle* e Ecologia Industrial, foram as seguintes:

1) Descrição de forma cronológica das abordagens, demonstrando uma evolução com início no conceito de Ecologia Industrial e *Cradle to Cradle* até chegar à definição de Economia Circular (SCHRÖDER; LEMILLE; DESMOND, 2020; KALMYKOVA; SADAGOPAN; ROSADO, 2018; DAMIAN, 2018; ASHBY; VAKHITOVA, 2018; NIERO *et al.*, 2017; AZEEZ; NARAYANA; OBEROI, 2017; STRAZZA *et al.*, 2015; BAFFOUR AWUAH; BOOTH, 2014; MIRABELLA; CASTELLANI; SALA, 2014; DESPEISSE; BALL; EVANS, 2013);

2) Elenca princípios advindos da Ecologia Industrial e que se ampliam até a abordagem da Economia Circular (SCHRÖDER; LEMILLE; DESMOND, 2020; KALMYKOVA; SADAGOPAN; ROSADO, 2018; NIERO; OLSEN; LAURENT, 2018; DAMIAN, 2018; AZEEZ; NARAYANA; OBEROI, 2017;

STRAZZA *et al.*, 2015; BAFFOUR AWUAH; BOOTH, 2014; MIRABELLA; CASTELLANI; SALA, 2014; DESPEISSE; BALL; EVANS, 2013);

3) Utilização destes conceitos para contrapor o modelo linear de produção industrial, o qual extrai, produz e descarta, com uma preocupação no ciclo de vida dos produtos (SCHRÖDER; LEMILLE; DESMOND, 2020; KALMYKOVA; SADAGOPAN; ROSADO, 2018; NIERO; OLSEN; LAURENT, 2018; DAMIAN, 2018; ASHBY; VAKHITOVA, 2018; NIERO *et al.*, 2017; STRAZZA *et al.*, 2015; BAFFOUR AWUAH; BOOTH, 2014; DESPEISSE; BALL; EVANS, 2013);

4) Narrativas que visam identificar o que necessita ser ampliado, melhorado ou inserido nos conceitos dos termos analisados, de modo a torná-los mais completos (SCHRÖDER; LEMILLE; DESMOND, 2020; ASHBY; VAKHITOVA, 2018; AZEEZ; NARAYANA; OBEROI, 2017; BAFFOUR AWUAH; BOOTH, 2014);

5) Análise teórico-conceitual (estado da arte) de modo a subsidiar uma aplicação prática da Economia Circular, seja por meio de políticas públicas, melhoria de processos, análise de indicadores socioambientais, além do desenvolvimento de novas ferramentas com foco na sustentabilidade e na mensuração da circularidade (KALMYKOVA; SADAGOPAN; ROSADO, 2018; NIERO; OLSEN; LAURENT, 2018; DAMIAN, 2018; ASHBY; VAKHITOVA, 2018; NIERO *et al.*, 2017; AZEEZ; NARAYANA; OBEROI, 2017; STRAZZA *et al.*, 2015; MIRABELLA; CASTELLANI; SALA, 2014);

6) Disseminação da Economia Circular como agenda política de ações governamentais, baseadas em princípios da Ecologia Industrial e do *Cradle to Cradle* (KALMYKOVA; SADAGOPAN; ROSADO, 2018; DAMIAN, 2018; ASHBY; VAKHITOVA, 2018; STRAZZA *et al.*, 2015);

7) Análise das limitações do *Cradle to Cradle* quando comparado à Economia Circular e à Ecologia Industrial, com foco em critérios de certificações e definição de cenários (NIERO; OLSEN; LAURENT, 2018; NIERO *et al.*, 2017; DESPEISSE; BALL; EVANS, 2013).

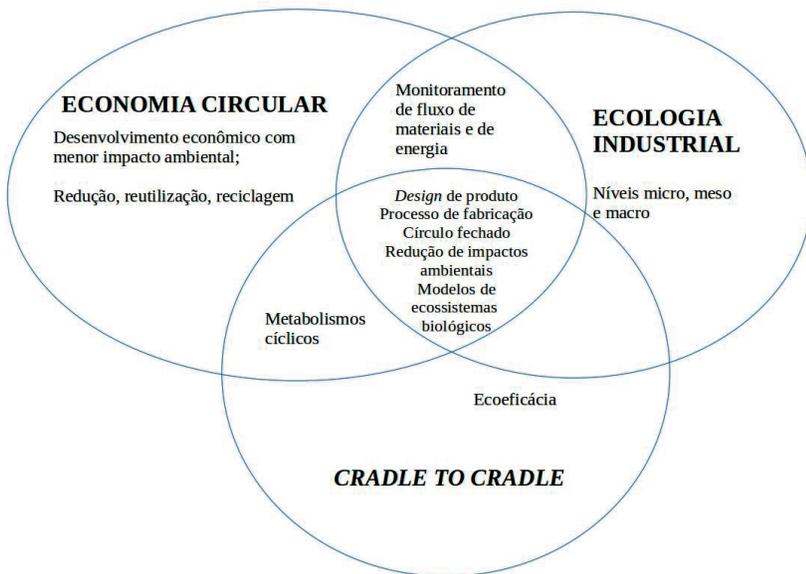
Por meio da análise destes artigos foi possível verificar, quantitativamente, o número de publicações e identificar as relações e os conceitos de Economia Circular, *Cradle to Cradle* e Ecologia Industrial.

Após a exposição dos conceitos, relativos às abordagens da Ecologia Industrial, *Cradle to Cradle* e Economia Circular; é possível identificar, na Figura 2, categorias de análise que demonstram as principais semelhanças e diferenças, assim como o foco principal de cada uma destas abordagens, de acordo com os autores elencados no referencial teórico e os identificados após a revisão sistemática.

Considerando o exposto no Quadro 1, assim como a identificação das principais relações entre Ecologia Industrial, *Cradle to Cradle* e Economia Circular, verifica-se que os conceitos se relacionam entre si, apresentando a inserção de elementos e características mais amplas a partir do desenvolvimento de uma nova abordagem.

De acordo com a Figura 2, os conceitos abordados apresentam características semelhantes no que se refere ao *design* de produtos, processo de fabricação, circuitos fechados, redução de impactos ambientais e a utilização de ecossistemas biológicos como modelo para sistemas industriais.

Figura 2 – Resumo da relação entre os conceitos de Ecologia Industrial, *Cradle to Cradle* e Economia Circular



Fonte: Elaborada pelos autores (2020).

Após a análise dos conceitos de Ecologia Industrial, *Cradle to Cradle* e Economia Circular foi possível apresentar a Figura 2, a qual consegue sintetizar as relações de semelhanças e diferenças entre os três conceitos. Nota-se que os três conceitos abordam temáticas como a redução dos impactos ambientais, os modelos de ecossistemas biológicos, o *design* de produtos, o processo de fabricação e o circuito fechado. Nesse sentido, a discussão central nas três abordagens se refere ao processo de planejamento do produto até a sua utilização e descarte, retornando ao processamento de novos produtos, com uma redução de impactos no meio ambiente.

Quando se analisam as relações dos conceitos de Economia Circular e Ecologia Industrial, percebe-se que o foco central está no monitoramento do fluxo de materiais e energia, destacando o uso eficiente dos materiais e energia envolvidos no processo produtivo. Na relação entre Economia Circular e *Cradle to Cradle*, destaca-se a ênfase nos metabolismos cíclicos.

Inicialmente, a abordagem da Ecologia Industrial surge com a preocupação de associar os sistemas produtivos de acordo com os ecossistemas biológicos, ou seja, reduzir o impacto ambiental e mensurar, nos processos produtivos, o fluxo de massa e energia. Em seguida, a abordagem *Cradle to Cradle* acrescenta o elemento da “ecoeficácia”, com foco não apenas na minimização dos impactos ambientais, mas também destacando os impactos econômicos e sociais.

Os princípios adotados na Ecologia Industrial são ampliados no *Cradle to Cradle*, a exemplo da inserção de energias renováveis e a qualidade dos materiais envolvidos na produção. A Economia Circular é uma abordagem mais recente e ainda com um conceito em construção, no entanto, é possível observar que a mesma busca ampliar os conceitos já existentes, inserindo atores governamentais, da sociedade e da indústria, com objetivo de aproveitar ao máximo a utilidade de um bem ou serviço, gerando desenvolvimento regional e mudando a cultura de extração e consumo de bens e serviços.

As categorias de análise estão descritas no Quadro 2 e, como pode-se observar, as semelhanças entre os conceitos são maiores que as diferenças entre cada abordagem, isso implica na construção e aperfeiçoamento de conceitos que se ampliam a partir da aplicação empírica e a necessidade de abordar novos elementos.

Quadro 2 – Categorias analíticas na relação de conceitos de EC, C2C e EI

Categorias	Ecologia Industrial	<i>Cradle to Cradle</i>	Economia Circular
Objeto	Análise de Fluxo de materiais e energia	Ecoeficácia e inovação	Redução de desperdício
Modelo de produção e consumo	Circular	Circular	Circular
Objetivo/finalidade	Melhorar o processo de fabricação dos bens/serviços	Melhorar a qualidade dos produtos, aumentando sua utilização	Otimizar o uso de recursos e reduzir o desperdício no processo produtivo (modelo de negócios circulares)

Categorias	Ecologia Industrial	<i>Cradle to Cradle</i>	Economia Circular
Metodologia/ Visão	Ecossistemas biológicos	Ecossistemas biológicos aliados a ecoeficácia	Ecossistemas biológicos aliados a qualidade do bem e ao desenvolvimento econômico, social e ambiental
Atores impactados	Sociedade, Indústria e Governo	Sociedade, Indústria e Governo	Sociedade, Indústria e Governo
Relações estabelecidas	Extração, produção, consumo e reinserção no sistema	Extração, produção, consumo e reinserção no sistema	Extração, produção, consumo e reinserção no sistema

Fonte: Elaborado pelos autores (2020).

Conforme observado no Quadro 2, os conceitos de EI, C2C e EC envolvem características semelhantes em alguns aspectos, como o foco na relação entre sistemas industriais e ecossistemas biológicos, no intuito de otimizar a utilização dos recursos, ao mesmo tempo que há preocupação com a sustentabilidade nos aspectos econômicos, sociais e ambientais; os atores impactados, os quais atuam tanto no consumo como na produção dos bens, além das relações circulares, por meio da extração, produção, consumo e reinserção no sistema e do modelo circular de produção e consumo.

Quanto ao objeto de cada uma das abordagens pesquisadas, nota-se que a Ecologia Industrial visa analisar o fluxo de materiais e energia nos processos produtivos (GRAEDEL; ALLENBY, 1995; AYRES; AYRES, 2002; WEETMAN, 2019); o *Cradle to Cradle* enfoca na ecoeficácia e inovação da produção (MCDONOUGH; BRAUNGART, 2002; BRAUNGART; MCDONOUGH; BOLLINGER, 2007); e a Economia Circular objetiva, dentre outros, a redução do desperdício (YUAN; BI; MORIGUICHI, 2006; EL-HAGGAR, 2007; ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2012; SAUVÉ; BERNARD; SLOAN, 2016; GEISSDOERFER *et al.*, 2017; NIERO *et al.*, 2017 WYSOKINSKA, 2018).

CONCLUSÕES

Tendo em vista que o objetivo geral deste artigo foi analisar as relações entre os conceitos de Ecologia Industrial, *Cradle to Cradle* e Economia Circular, investigando as principais diferenças e semelhanças existentes entre eles, pode-se

identificar, por meio de categorias analíticas apresentadas, a existência de relação de complementaridade, no que se refere aos objetivos e princípios estabelecidos por estas abordagens. Do mesmo modo, foi possível identificar o que cada conceito aborda e estratifica, para melhor compreensão e auxílio nas discussões conceituais, as categorias estabelecidas entre as abordagens estudadas.

Destaca-se que, dentre os autores utilizados neste estudo para discutir os conceitos relativos às três abordagens pesquisadas, existe semelhança quanto à sistematização dos conceitos nos estudos, elencando-os em ordem cronológica de modo a embasar teoricamente a pesquisa, facilitando a compreensão do leitor quanto ao objeto da pesquisa (WEETMAN, 2019; KALMYKOVA; SADAGOPAN; ROSADO, 2018; NIERO; OLSEN; LAURENT, 2018; DAMIAN, 2018; ASHBY; VAKHITOVA, 2018; NIERO *et al.*, 2017; GEISSDOERFER *et al.*, 2017; AZEEZ; NARAYANA; OBEROI, 2017; LEWANDOWSKI, 2016; STRAZZA *et al.*, 2015; MIRABELLA; CASTELLANI; SALA, 2014; EL-HAGGAR, 2007).

Fica evidente que a caracterização destas abordagens demonstra que há relação no que se refere à análise de fluxos de materiais e energia em processos industriais, compreendendo todo o ciclo de vida, desde a etapa de *design* do produto até a reinserção do material de volta ao sistema. Como contribuição, este estudo elenca categorias de análise que facilitam a compreensão dos conceitos e podem, em estudos futuros, embasar teoricamente as pesquisas empíricas. Outra contribuição é a sobreposição dos conceitos em um esquema gráfico (Figura 1), facilitando o entendimento das relações entre eles.

Para novas pesquisas, sugere-se que seja ampliado o escopo da investigação, utilizando-se uma quantidade maior de abordagens, assim como a análise de metodologias empregadas pelos estudos que utilizaram essas abordagens como referenciais teóricos. Outra sugestão é investigar como os conceitos abordados são empregados em pesquisas empíricas e em diferentes setores econômicos, tais como o setor têxtil.

REFERÊNCIAS

ALIGLERI, L.; ALIGLERI, A.; KRUGLIANSKAS, I. **Gestão industrial e produção sustentável**. São Paulo: Saraiva, 2016.

ANDERSEN, M. S. An introductory note on the environmental economics of the circular economy. **Sustainability Science**, [s. l.], v. 2, n. 1, p. 133-140, Mar. 2007.

- ARGYRIS, C. **Increasing leadership effectiveness**. New York: Wiley, 1976.
- ASHBY, M.; VAKHITOVA, T. Analyzing and Measuring Circularity – Teaching and Industrial Tools by Granta Design. **MRS Advances**, [s. l.], vol. 3, n. 25, p. 1379-1386, 2018.
- AYRES, R. U.; AYRES, L. W. **A handbook of industrial ecology**. Massachusetts, USA: Library of Congress Cataloguing, 2002.
- AYRES, R.U.; SIMONIS, U.E. **Industrial metabolism**: restructuring for sustainable development. Tokyo: United Nations University Press, 1994.
- AZEEZ, S.; NARAYANA, C. K.; OBEROI, H.S. Extraction and utilisation of bioactive compounds from agricultural waste shamina. *In*: OBEROI, H.S. (Ed.). **Utilization of bioactive compounds from agricultural and food waste**. New York: CRC Press, 2017. p. 32-64.
- BACOVIS, M. C. Synthesizing the research on Circular Economy through the use of conceptual maps. **Espacios**, [s. l.], vol. 40, n. 3, p. 1-15, May 2019.
- BAFFOUR AWUAH, K. G.; BOOTH, C. A. Integrated management framework for sustainable cities: Insights into multiple concepts and principles. **WIT Transactions on Ecology and the Environment**, [s. l.], vol. 191, p. 111-123, 2014.
- BOCKEN, N. M. P. *et al.* Product design and business model strategies for a circular economy. **Journal of Industrial and Production Engineering**, [s. l.], v. 33, n. 5, p. 308-320, 2016.
- BRAUNGART, M.; MCDONOUGH, W.; BOLLINGER, A. Cradle-to-cradle design: creating healthy emissions – a strategy for eco-effective product and system design. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], vol. 15, n. 13-14, p. 1337-1348, 2007.
- BURSZTYN, M. A.; BURSZTYN, M. **Fundamentos de política e gestão ambiental**: caminhos para a sustentabilidade. Rio de Janeiro: Garamond, 2012.
- COBO, S.; DOMINGUEZ-RAMOS, A.; IRABIEN, A. From linear to circular integrated waste management systems: a review of methodological approaches. **Resources, Conservation & Recycling**, [s. l.], vol. 135, p. 279-295, 2017.
- CHERTOW, M. R. Industrial symbiosis: literature and taxonomy. **Annual Review of Energy and the Environment**, [s. l.], vol. 25, p. 313-337, 2000.

DAMIAN, C. International multidisciplinary scientific geoconference. **SGEM**, Sofia, vol. 18, n. 6, p. 44-76, 2018.

DESPEISSE, M.; BALL, P. D.; EVANS, S. Industrial ecology at factory level – A conceptual model. **Journal of Cleaner Production**, vol. 31, p. 30-39, Oct. 2017.

DUCHIN, F.; HERTWICH, E. Industrial Ecology. **Ecological Economics**, [s. l.], p. 1-12, May 2003.

EL-HAGGAR, S. **Sustainable Industrial Design and Waste Management Cradle-to-cradle for Sustainable Development**. New York: Elsevier, 2007.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. Towards the circular economy. **Journal of Industrial Ecology**, [s. l.], vol. 2, p. 23-44, 2012.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. **Towards the circular economy: opportunities for the consumer goods sector**. Isle of Wight, UK: Ellen MacArthur Foundation, 2013.

ELLEN MACARTHUR FOUNDATION. A new textiles economy: redesigning fashion's future. **Ellen Macarthur Foundation**, [s. l.], 2017.
Disponível em: <https://ellenmacarthurfoundation.org/a-new-textiles-economy>.
Acesso em: 01 out. 2018.

ERKMAN, S. Industrial ecology: an historical view. **J. Clean. Prod.**, [s. l.], vol. 5, p. 1-10, 1997.

FROSCHE, R. A.; GALLOPOULOS, N. E. Strategies for manufacturing. **Sci. Am.**, [s. l.], n. 261, p. 144-152, 1989.

GEISENDORF, S.; PIETRULLA, F. The circular economy and circular economic concepts: A literature analysis and redefinition. **Thunderbird International Business Review**, [s. l.], vol. 60, n. 5, p. 771-782, 2017.

GEISSDOERFER, M.; SAVAGET, P.; BOCKEN, N. M. P.; HULTINK, E. J. The circular economy: a new sustainability paradigm? **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], vol. 143, p. 757-768, 2017.

GHISELLINI, P.; CIALANI, C.; ULGIATI, S. A review on circular economy: the expected transition to a balanced interplay of environmental and economic systems. **J. Clean. Prod.**, [s. l.], vol. 114, p. 11-32, 2016.

GRAEDEL, T. E.; ALLENBY, B. R. **Industrial ecology**. Upper Saddle River, NJ: Prentice-Hall, 1995.

HAAS, W.; KRAUSMANN, F.; WIEDENHOFER, D.; HEINZ, M. How circular is the global economy? An assessment of material flows, waste production, and recycling in the European union and the world in 2005. **Journal of Industrial Ecology**, [s. l.], vol. 19, n. 5, p. 765-777, 2015.

HARWOOD, R. Towards a spiral economy. **100open**, [s. l.], 2017. Disponível em: <https://www.100open.com/towards-a-spiral-economy/#:~:text=One%20where%20the%20by%2Dproducts,like%20the%20famous%20fibonacci%20sequence..> Acesso em: 10 mar. 2021.

KALMYKOVA, Y.; SADAGOPAN, M.; ROSADO, L. Circular economy – From review of theories and practices to development of implementation tools. **Resources, Conservation and Recycling**, [s. l.], vol. 135, p. 190-201, 2018.

KIRCHERR, J.; REIKE, D.; HEKKERT, M. Conceptualizing the circular economy: an analysis of 114 definitions. **Resources, Conservation and Recycling**, [s. l.], v. 127, n. 4, p. 221-232, Dec. 2017.

LEWANDOWSKI, M. Designing the business models for circular economy-towards the conceptual framework. **Sustainability**, [s. l.], vol. 8, n. 1, p. 1-28, 2016.

LIEDER, M.; RASHID, A. Towards circular economy implementation: a comprehensive review in the context of manufacturing industry. **J. Clean. Prod.**, [s. l.], vol. 115, p. 36-51, 2016.

LIFSET, R.; GRAEDEL, T. Industrial ecology: goals and definitions. *In*: AYRES, R; AYRES, L. (Ed.). **A handbook of industrial ecology**. Northampton: Edward Elgar Publishing Limited, 2002. p. 3-15

LOVINS, A.B, LOVINS, L.H., HAWKEN, P. A road map for natural capitalism. **Harvard Business Review**, New York, vol. 77, n. 3, p. 145-158, May-Jun. 1999.

LYLE, J. T. **Regenerative design for sustainable development**. New York: The Wiley, 1994.

MAYER, A.; HAAS, W.; WIEDENHOFER, D.; KRAUSMANN, F.; NUSS, P.; BLENGINI, G. A. Measuring Progress towards a Circular Economy: A Monitoring Framework for Economy-wide Material Loop Closing in the EU28. **Journal of Industrial Ecology**, [s. l.], vol. 23, n. 1, p. 62-76, 2019.

MCDONOUGH, W.; BRAUNGART, M. **Cradle to cradle: remaking the way we make things**. New York: Farrar, Straus and Giroux, 2002.

MCDOUNOUGH, W.; BRAUNGART, M.; ANASTAS, P. T.; ZIMMERMAN, J. B. Applying the Principles of Green Engineering to Cradle-to-Cradle Design. **Environmental Science Technology**, [s. l.], v. 37, n. 23, p. 434A-441A, 2003.

MENEGHETTI, F. K. O que é um ensaio-teórico? **Revista de Administração Contemporânea**, São Paulo, v. 15, n. 2, p. 320-332, 2011.

MERLI, R.; PREZIOSI, M.; ACAMPORA, A. How do scholars approach the circular economy? A systematic literature review. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], vol. 178, p. 703-722, 2018.

MIRABELLA, N.; CASTELLANI, V.; SALA, S. Current options for the valorization of food manufacturing waste: A review. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], vol. 65, p. 28-41, 2014.

MUELLER, C. C. **Os economistas e as relações entre o sistema econômico e o meio ambiente**. Brasília, DF: Editora UnB, 2012.

MURRAY, A.; SKENE, K.; HAYNES, K. The circular economy: an interdisciplinary exploration of the concept and application in a global context. **Journal of Business Ethics**, [s. l.], vol. 140, n. 3, p. 369-380, 2017.

NIERO, M.; HAUSCHILD, M. Z.; HOFFMEYER, S. B.; OLSEN, S. I. Combining Eco-Efficiency and Eco-Effectiveness for continuous loop beverage packaging systems: lessons from the Carlsberg circular community. **Journal of Industrial Ecology**, [s. l.], vol. 21, n. 3, p. 742-753, 2017.

NIERO, M., OLSEN, S. I.; LAURENT, A. Renewable energy and carbon management in the Cradle-to-Cradle certification: Limitations and opportunities. **Journal of Industrial Ecology**, [s. l.], vol. 22, n. 4, p. 760-772, 2017.

PEARCE, D. W.; TURNER, R. K. **Economics of Natural Resources and the Environment**. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1990.

POMPONI, F.; MONCASTER, A. Circular economy for the built environment: a research framework. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], vol. 143, p. 710-718, Feb. 2017.

ROGERS, D. S.; TIBBEN-LEMBKE, R. S. **Going Backwards**: reverse logistics trends and practices. Reno: University of Nevada, 1998.

SAAVEDRA, Y. M. B.; IRITANI, D. R.; PAVAN, A. L. R.; OMETTO, A. R. Theoretical contribution of industrial ecology to circular economy. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], vol. 170, p. 1514-1522, 2018.

SANDIN, G.; PETERS, G. M. Environmental impact of textile reuse and recycling – A review. **Journal of Cleaner Production**, [s. l.], vol. 184, p. 353–365, 2018.

SAUVÉ, S.; BERNARD, S.; SLOAN, P. Environmental sciences, sustainable development and circular economy: Alternative concepts for trans-disciplinary research. **Environmental Development**, [s. l.], vol. 17, p. 48–56, 2016.

SCHRÖDER, P.; LEMILLE, A.; DESMOND, P. Resources, Conservation & Recycling Making the circular economy work for human development. **Resources, Conservation & Recycling**, [s. l.], n. 156, Sept. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.104686>. Acesso em: 10 mar. 2021.

SEHNEM, S.; PEREIRA, S. C. F. Rumo à economia circular: sinergia existente entre as definições conceituais correlatas e apropriação para a literatura brasileira. **Revista Eletrônica de Ciência Administrativa**, São Paulo, v. 18, n. 1, p. 35-62, 2019.

SEO, E. S. M.; KULAY, L. Avaliação do Ciclo de Vida: ferramenta gerencial para tomada de decisão. **Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente**, São Paulo, v. 1, n. 1, p. 1-23, 2006.

STAHEL, W., The performance economy: business models for the functional service economy. In: MISRA, K. B. (Ed.). **Handbook of performability engineering**. New York: Springer, 2008. p. 127-138.

STRAZZA, C.; MAGRASSI, F.; GALLO, M.; DEL BORGHI, A. Life Cycle Assessment from food to food: A case study of circular economy from cruise ships to aquaculture. **Sustainable Production and Consumption**, [s. l.], vol. 2, p. 40-51, 2015.

WEETMAN, C. **Economia Circular**: conceitos e estratégias para fazer negócios de forma mais inteligente, sustentável e lucrativa. São Paulo: Autêntica Business, 2019.

WYSOKIŃSKA, Z. Implementing the Main Circular Economy Principles within the Concept of Sustainable Development in the Global and European economy, with Particular Emphasis on Central and Eastern Europe – The Case of Poland and the Region of Lodz. **Comparative Economic Research**, [s. l.], vol. 21, n. 3, p. 75-93, 2018.

YUAN, Z.; BI, J.; MORIGUICHI, Y. The circular economy – a new development strategy in China. **Journal of Industrial Ecology**, [s. l.], vol. 10, n. 2, p. 4-8, Feb. 2006.

ZIMRING, C. A. Upcycling in History: Is the Past a Prologue to a Zero-Waste Future? The Case of Aluminum. **RCC Perspectives: Transformations in Environment and Society**, [s. l.], vol. 3, p. 45-52, 2016.

Texto submetido à Revista em 18.03.2021
Aceito para publicação em 16.05.2022

