

ÁREA TEMÁTICA: OPERAÇÕES E LOGÍSTICA

ECONOMIA CIRCULAR E PEGADA DE CARBONO: REVISÃO SISTEMÁTICA E AGENDA DE PESQUISA

Resumo

Com o crescimento populacional cada vez mais alarmante, prevendo mais de 9,2 bilhões de habitantes no mundo, segundo a ONU (Organização das Nações Unidas). Assim como, o aumento das tendências de superconsumo, levando a uma necessidade ainda maior de produção, conseqüente, aumento da emissão de gases de efeito estufa, sendo os principais: dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄) e o óxido nitroso (N₂O), provocando danos. Novos modelos relacionados ao desenvolvimento sustentável aplicando a Economia Circular (EC) têm sido propostos, com o intuito de mitigar a pegada de carbono, em linha, o trabalho presente busca responder (i.e., como a economia circular contribui para redução da pegada de carbono?) como possibilita novos modelos de negócios, aumentando a lucratividade, atingindo metas de sustentabilidade e reduzindo obsolescência e desperdício (BERTIN, 2020). Este projeto de pesquisa propõe investigar a EC aplicada como mecanismo para redução da pegada de carbono. Por meio de uma revisão sistemática de literatura, busca analisar os principais benefícios, barreiras e impactos esperados. O estudo espera fornecer uma caracterização detalhada de suas implicações nas diferentes dimensões da sustentabilidade. Além disso, os resultados podem fornecer análises de todos os artigos estudados, quais foram os mais utilizados e mencionados, por exemplo, além de trazer nuances quanto aos seus impactos, positivos e negativos no âmbito da sustentabilidade para redução de emissão de gases de efeito estufa. Os resultados esperados apresentam potencial de grande valia para pesquisadores e gestores, fornecendo *insights* valiosos para o desenvolvimento de novos caminhos de investigação para pesquisas, bem como, a sistematização de melhores práticas.

Palavras-chave: Economia Circular. Pegada de Carbono. Sustentabilidade

Abstract

With the increasingly alarming population growth, predicting more than 9.2 billion inhabitants in the world, according to the UN (United Nations). As well as the increase in overconsumption trends, leading to an even greater need for production, consequently increasing the emission of greenhouse gases, the main ones being: carbon dioxide (CO₂), methane (CH₄) and nitrous oxide (N₂O), causing damage. New models related to sustainable development applying the Circular Economy (CE) have been proposed, with the aim of mitigating the carbon footprint, in line, the present work seeks to answer (i.e., how does the circular economy contribute to reducing the carbon footprint?) as it enables new business models, increasing profitability, achieving sustainability goals and reducing obsolescence and waste (BERTIN, 2020). This research project proposes to investigate applied EC as a mechanism for reducing the carbon footprint. Through a systematic literature review, it seeks to analyze the main benefits, barriers and expected impacts. The study hopes to provide a detailed characterization of its implications on the different dimensions of sustainability. In addition, the results can provide analysis of all the articles studied, which were the most used and mentioned, for example, in addition to bringing nuances regarding their impacts, positive and negative in the context of sustainability to reduce the emission of greenhouse gases. . The expected results have potential of great value to researchers and managers, providing valuable insights for the development of new research paths for research, as well as the systematization of best practices.

Keywords: Circular Economy. Carbon footprint. Sustainability.

1. Introdução

Desde 1970, os recursos naturais são insuficientes à demanda, fato que se agrava na medida em que o crescimento populacional avança (GLOBAL FOOTPRINT NETWORK, DATA). Até 2050, estima-se que a população deva chegar à 9,8 bilhões de pessoas, acumulando um total de 3,5 milhões de toneladas de lixo no planeta (ONU, 2019; BANCO MUNDIAL, 2019). O aumento das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) é um impacto proeminente nesse cenário (IPCC, 2023). Esses temas têm grande relevância e vem sendo discutidos em fóruns como a Conferência das Partes (COP), e reunião anual das partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC). Em 2015, na COP21, o Acordo de Paris foi criado, ressaltando a gravidade das mudanças climáticas e apontando a necessidade de se acelerar a redução das emissões globais, por meio de cooperação ampla e efetiva (JAKUBELSKAS; SKVARCIANY, 2022).

Neste contexto, a busca por modelos econômicos sustentáveis que possam mitigar tais impactos vem se tornando prioridade. A Economia Circular (EC) desponta como abordagem promissora, definida como “um sistema regenerativo, no qual, a entrada de recursos, desperdício, emissão e o vazamento de energia são minimizados pela desaceleração, fechamento e estreitamento dos ciclos de material e energia. Isso pode ser alcançado por meio de design duradouro, manutenção, reparo, reutilização, remanufatura, reforma e reciclagem (GEISSDOERFER et al. 2017, p.759).

Assim, a EC procura redefinir padrões de produção e consumo, visando maximizar o uso de recursos, reduzir resíduos e minimizar a pegada de carbono, que representa uma medida da quantidade de emissões de GEE, associadas a uma atividade humana específica, é uma ferramenta diagnóstica crucial para identificar áreas em que é preciso fazer mudanças significativas (JAKUBELSKAS; SKVARCIANY, 2022), podendo ser mitigada com adoção de práticas da EC.

Em geral, a literatura explora a relação entre diminuição das emissões de GEE e a sustentabilidade, mas nem sempre considera uma visão do potencial da EC de reduzir essas emissões e mitigar a pegada de carbono. O presente trabalho se propõe a investigar essa relação, da EC e a pegada de carbono, por meio de uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), anteriores focaram em diferentes aspectos, como os padrões de modelos de negócios para a EC (LUDEKE-FREUND et al., 2018), a relação entre EC e Gestão da Cadeia de Suprimentos (PEREIRA et al., 2020), a relação entre EC, Sustentabilidade e Indústria 4.0 (TAVARES-LEHMANN; VARUM, 2021), e a convergência entre a Produção Enxuta e a EC (SALIBI et al., 2022), entretanto, poucas abordaram de forma abrangente a relação entre EC e a mitigação da pegada de carbono. A RSL presente busca contribuir para preencher essa lacuna, ao analisar e sistematizar evidências disponíveis no tema.

A RSL busca responder: Como a EC contribui para a redução da pegada de carbono? Desta forma, adota como objetivo compreender como a literatura aborda o debate sobre a contribuição da EC para redução da pegada de carbono. Como objetivos específicos, o estudo busca: (i) descrever a base de artigos mapeada; (ii) listar os estudos dentro dos temas mais relevantes encontrados na literatura; (iii) elaborar uma agenda de pesquisas futuras no tema. Para realizar esta RSL, os passos metodológicos seguiram a (i) definição dos critérios de busca e seleção dos estudos relevantes; a (2) extração e análise dos dados dos estudos selecionados; (3) síntese e apresentação dos resultados; (4) elaboração de um quadro com pesquisas futuras sugeridas sobre o tema. Com o objetivo de identificar e compilar a máxima quantidade de artigos que englobam o tema, a base Scopus foi escolhida, considerando como

filtros as palavras de busca “*circular economy*” e “*carbon footprint*”, publicados entre os anos de 2016 e 2022, o que resultou em um número total de 41 artigos.

O trabalho integra a EC e a pegada de carbono, explorando sua relação e sintetizando descobertas teóricas e empíricas para prover diretrizes futuras, apoiar as empresas e a comunidade em si, em suas decisões estratégicas de longo prazo. A relevância deste estudo reside na crescente necessidade de se adotar modelos econômicos mais sustentáveis, capazes de reduzir os impactos ambientais e promover a transição para uma economia de baixo carbono. Contribui ao preencher lacuna na literatura, e fornecer um panorama sobre os principais temas e caminhos de investigação futura. Os resultados são úteis para pesquisadores e demais atores interessados nas práticas relacionadas à EC e à redução da pegada de carbono. A síntese das evidências disponíveis fornecerá uma base para futuras pesquisas.

Os artigos da base estudada mostram pesquisas de práticas sustentáveis e como isso pode trazer benefícios financeiros e não financeiros para as empresas, como a redução de custos, a melhoria da reputação e a satisfação dos clientes. As empresas analisadas nos artigos adotaram práticas como a diminuição do consumo de energia e água, a implementação de programas de reciclagem e compostagem, o uso de energias renováveis e a adoção de políticas de compra responsável, expressos na EC. A adoção de tais medidas contribui com a redução da emissão de GEEs, diminuindo a pegada de carbono, que por sua vez, reduz a possibilidade de desastres ambientais decorrentes de mudanças climáticas. Entretanto, há dificuldades na implementação de tais medidas, como: disseminação de conhecimento acerca do assunto, falta uma maior concentração na análise dos benefícios e uma gestão empresarial e governamental que implemente tais projetos.

Como trabalhos futuros mais relevantes, pode-se destacar: (i) desenvolvimento de habilidades verdes em empresas, o que pode ser iniciativa não só da empresa, mas do colaborador em si, reutilizando materiais, método que pode ter início imediato e pode ser relativamente simples, entretanto, para a empresa, pode ser uma adoção mais detalhada e com maior impacto; (ii) Uso de peças plásticas injetadas com polipropileno reciclado, para desenvolver a produção da peça injetada com polipropileno reciclado, a qual, gera uma redução significativa de emissões de gases de efeito estufa e consumo de energia em comparação com as alternativas de materiais virgens, podendo ser utilizado em diversas empresas.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

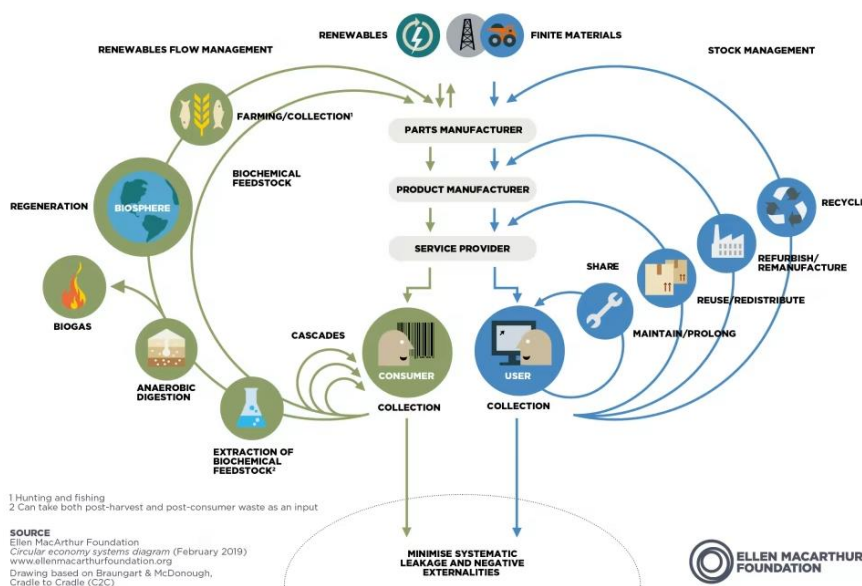
A Economia Circular (EC) surgiu com o intuito de reduzir os danos causados pelo modelo da Economia Linear (EL), expresso no sistema Extrair-Produzir-Descartar, e vem buscando contribuir para frear a escassez de recursos naturais (JAKUBELSKAS; SKVARCIANY, 2022). Mudanças como essas são necessárias, uma vez que, a demanda sobre o planeta tem superado a capacidade da natureza, de modo que, só nos últimos 50 anos, 60% dos ecossistemas da Terra foram destruídos ou degradados (WEETMAN, 2019).

A circularidade gera uma economia sustentável, beneficiando todos os envolvidos (APALKOVA et al., 2021). A EC representa uma nova abordagem para o processo produtivo, que busca reaproveitar insumos e matérias-primas. Esse modelo traz a oportunidade de captar e abastecer, considerando a necessidade de produção na mesma proporção da sustentabilidade, ou seja, buscando eliminar o desperdício de matéria-prima evitando que sejam apenas meros poluentes, reutilizando o que inicialmente seria descartado, encorajando a recuperação dos materiais, barateando

os produtos, eliminando a poluição que partiria de seu descarte, unindo economia, sustentabilidade e tecnologia (APALKOVA et al. 2021).

A Ellen Macarthur Foundation afirma que o modelo de EC pode ser aplicado a qualquer escala. Fundada em 2010, a fundação tem como principal objetivo acelerar a EC, ajudando empresas a fomentarem práticas mais circulares, realiza pesquisas, relatórios e eventos para discussão e disseminação do assunto, abordando princípios como: (i) *design* circular: desenvolvido para eliminar resíduos e poluição e mitigar a obsolescência programada; (ii) circularidade dos materiais: resíduos de um processo se tornam recursos para outro, reduzindo a extração para produzir novos produtos e (iii) energia renovável: incentiva consumo de energias limpas e renováveis, para reduzir a dependência de combustíveis fósseis e mitigar as mudanças climáticas (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2021). Como ilustrado na Figura 01, os principais ciclos da EC são: o técnico, no qual os produtos e materiais são mantidos em circulação por meio de processos como reuso, reparo, remanufatura e reciclagem; e o ciclo biológico, em que nutrientes de materiais biodegradáveis são devolvidos à Terra para regenerar a natureza.

A EC mantém os produtos, materiais e componentes em uso em seu valor mais alto em todos os momentos, buscando em última análise, dissociar o crescimento econômico, e o desenvolvimento, fazendo uma distinção entre os dois tipos de ciclos. Explicando de forma mais detalhada. A EC trata de obter o máximo valor dos recursos que temos, mantendo-os em sua mais alta utilidade e valor. De acordo com a Fundação Ellen MacArthur, se os princípios da EC forem aplicados às indústrias de aço, alumínio, cimento e alimentos, as emissões anuais de GEEs poderiam ser reduzidas em 9,3 bilhões de toneladas de CO₂e até 2050, o equivalente à eliminação de todas as emissões da navegação global. Com a crescente ênfase global em questões ambientais, sociais e de governança (ESG), a adoção do conceito de EC pode ser uma estratégia valiosa para as empresas tornarem seus produtos e operações mais sustentáveis (ELLEN MACARTHUR FOUNDATION, 2021).



Fonte: Ellen Marcarthur Foundation

Figura 01: Diagrama de Borboleta - Modelo Ilustrativo EC Ellen Macarthur Foundation

Além de todo benefício sustentável, é uma maneira de evitar a escassez de produtos, afinal, é um dos motivos da economia linear tornar-se inviável (SALIBI et al.

2022). Sendo útil para apoiar a eficácia das ferramentas de gestão ambiental e minimização da pegada de carbono na redução do impacto ambiental da geração de resíduos (MARRUCCI et al., 2020), que ao ser adotada, também oferece oportunidades para a criação de empregos verdes, o fomento a inovação tecnológica e o desenvolvimento de uma economia mais resiliente, sustentável, além de ser possível reduzir significativamente a pegada de carbono ao longo de toda a cadeia de valor, a qual, será abordada no tópico a seguir.

A Pegada de Carbono é uma medida das emissões totais de gases do efeito estufa, incluindo gases de carbono (CO₂) e metano (CH₄), associados às atividades humanas em todo o planeta. Essa medição leva em consideração as emissões que são geradas durante a produção, uso e descarte de produtos e serviços (JENNIFER; THOMAS, 2021). Essa medida é um indicador do impacto climático decorrente da produção de um produto, abrangendo os GEEs emitidos em todo o seu ciclo de vida, mede a quantidade de gases do efeito estufa, principalmente dióxido de carbono (CO₂e), emitidos na atmosfera como resultado das atividades humanas, as quais, geralmente associadas à queima de combustíveis fósseis (e.g., carvão, petróleo e gás natural) para produzir energia, transporte e outros fins (JENNIFER; THOMAS, 2021). A concentração excessiva de GEEs na atmosfera tem efeito nocivo, ao aprisionar mais calor e, assim, contribuir para o aumento da temperatura e o aquecimento global (JENNIFER; THOMAS, 2021). Ao reduzir a pegada de carbono, contribui-se para reduzir os efeitos negativos que as mudanças climáticas têm sobre o meio ambiente e a sociedade (JENNIFER; THOMAS, 2021).

A pegada de carbono pode ser medida para uma ampla variedade de atividades, incluindo a produção de bens e serviços, a construção de edifícios, o transporte e o uso de energia em casa (WEETMAN, 2019). Ela é medida em unidades de dióxido de carbono equivalente, que representam a quantidade de emissões de GEEs que têm o mesmo impacto climático que uma quantidade específica de gás carbônico, as atividades e fatores podem ser utilizados para avaliar seu impacto, incluindo o uso de energia, transporte, alimentação, consumo de bens e serviço e gerenciamento de resíduos (WEETMAN, 2019). A grande maioria das emissões provenientes da queima de combustíveis fósseis ocorreu no final dos anos 90. Desde o término da Segunda Guerra Mundial, aproximadamente 85% dessas emissões foram lançadas na atmosfera (MARQUES, 2018). A trajetória do mundo industrial é uma história de risco iminente, na qual, em um curto espaço de tempo, o planeta passou de um estado aparentemente estável para estar à beira da catástrofe, tudo em um período que pode ser comparado entre um batismo e um funeral (WALLACE, 2019). O Global Carbon Project aponta o crescimento de 52,74% nas emissões de CO₂ em todo o mundo, fato preocupante e que demonstra a urgência de medidas para reduzi-las. Esse crescimento é resultado do aumento na atividade econômica e no consumo de energia no mundo, principalmente em países em desenvolvimento. Entre algumas de suas consequências, destaca-se o aumento do nível do mar, a intensificação de fenômenos climáticos extremos e a perda de biodiversidade, questões danosas para a humanidade e para o planeta (CHRISTIS, 2019).

Para reverter essa tendência e mitigar tais impactos, é fundamental que governos, empresas e indivíduos adotem medidas para reduzir suas emissões de GEEs (CHRISTIS, 2019). Isso pode demandar investimentos em energias renováveis, melhoria da eficiência energética, mudanças nos hábitos de consumo e transporte e a adoção de políticas públicas que incentivem a transição para uma economia de baixo carbono (CHRISTIS, 2019). Uma estratégia possível para congregiar tais ações e atuar para a redução da pegada de carbono pode ser delineada

por meio da adoção de práticas circulares, ou seja, práticas alinhadas com a EC. O próximo tópico apresenta considerações sobre esse tema.

Estudos analisando a implementação de estratégias de EC e mitigação das mudanças climáticas já foram conduzidos em casos como o da cidade de Bruxelas, na Bélgica, por Maarten, Aristide e Vercalsteren (2019). Os autores apontam práticas que incluem a promoção da reciclagem, a implementação de sistemas de compartilhamento de veículos e bicicletas, a redução de resíduos alimentares e a promoção da produção local de alimentos. Discutem, ainda, a importância da implementação de políticas públicas em nível municipal para enfrentar os desafios globais da mudança climática e do consumo insustentável de recursos. Por fim, concluem que a implementação de estratégias de EC em nível municipal pode desempenhar um papel importante na mitigação das mudanças climáticas, além de outros benefícios socioeconômicos. Alertam, contudo, que é salutar o envolvimento de todos os setores na implementação dessas estratégias, a adoção de avaliação sistemática e a adaptação contínua das políticas públicas.

No estudo, apontou-se que as estratégias de EC implementadas por Bruxelas ajudaram a reduzir as emissões de GEEs em cerca de 18% entre 2004 e 2016, além de criar empregos e promover a inovação e a competitividade de empresas locais. Os resultados do caso de Bruxelas mostram que a implementação dessas estratégias é viável e pode trazer benefícios significativos para o meio ambiente, a economia e a sociedade em geral (MAARTEN; ARISTIDE; VERCALSTEREN, 2019).

Jiménez-Benítez et al. (2020) destacam como a EC é essencial para mitigação da emissão de CO₂. Os autores descrevem como a redução pode se dar por meio uso de tecnologias de recuperação de água e fertilização em ambientes agrícolas. O caso investigado aponta para a utilização da tecnologia de Membrana de Biorreator Anaeróbio (AnMBR) para tratar águas residuais e a utilizar águas recuperadas na fertirrigação, gerando benefícios ambientais e econômicos significativos, incluindo a redução das emissões e a economia de custos com fertilizantes e água potável.

Já Xue et al. (2019) investigam sobre a abordagem da ACV (Análise do Ciclo de Vida) para avaliar o impacto ambiental e econômico da implementação de tecnologias de EC em fazendas de suínos. As tecnologias avaliadas incluíram a recuperação de nutrientes, a recuperação de energia e a utilização de resíduos agrícolas como fonte de alimentação para os suínos, destacando a importância da EC como abordagem sustentável para a gestão de resíduos e a redução de emissões de carbono na indústria agropecuária. Assim, é possível perceber que existe uma diversidade de formas de aplicar a EC, em diversos segmentos e materiais diferentes, mas sempre que adotada de alguma forma, a redução de processos e reutilizações de materiais, a redução automática da produção, focando em minimizar a quantidade de CO₂ emitido e, assim, sua pegada de carbono.

3 METODOLOGIA

Para responder sua pergunta de pesquisa (i.e., como a EC contribui para redução da pegada de carbono?), este estudo propõe uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL). As RSL diferem das revisões tradicionais, uma vez que adotam um processo replicável, científico e transparente, que busca minimizar vieses e fornecer uma trilha de auditoria das decisões, procedimentos e conclusões (TRANFIELD et al., 2003). A RSL ajuda a produzir resultados defensáveis (MASSARO et al., 2016).

A RSL foi conduzida com base em três grandes fases: (i) Planejamento da revisão: definição do problema de pesquisa, da base de dados, dos critérios de

inclusão e exclusão dos estudos, das *strings* de pesquisa; (ii) execução da revisão: condução das buscas nas bases de dados, seleção e triagem dos estudos, extração de dados relevantes dos estudos selecionados; e (iii) síntese dos resultados: análise e interpretação a partir de artigos selecionados, com busca de padrões, temas e questões a partir do corpo de artigos revisados (CHRISTOFI et al., 2017; TRANFIELD et al., 2003). Ao final da RSL, obtém-se informações e evidências relevantes para responder à pergunta de pesquisa, com base na literatura prévia da área.

O escopo de RSL incluiu uma base qualificada na área de operações e cadeia de suprimentos, a base Scopus. A Scopus, criada pela Elsevier em 2004, é uma base de dados multidisciplinar que abrange artigos científicos, livros, conferências e patentes. Conta com mais de 76 milhões de registros e oferece recursos para análises de citações, métricas de impacto e visualização de redes de colaboração entre pesquisadores. Essa base apresenta uma ampla cobertura de artigos científicos, incluindo periódicos de grande relevância e impacto no meio acadêmico, e adota critérios rigorosos para a seleção de artigos e periódicos, com avaliação da qualidade editorial dos periódicos.

A escolha da base foi acompanhada da escolha das palavras-chave e da seleção de critérios para definição da amostra de estudos analisados para prazo de publicação e análise para critérios de inclusão e exclusão. As *strings* de pesquisa usadas para a busca de palavras-chave consideraram os títulos, resumos e palavras-chave dos artigos, incluindo variações dos termos Economia Circular e Pegada de Carbono, incluindo as palavras de busca “circular economy” e “carbon footprint”.

Quanto ao prazo de publicação, tem-se a busca no período entre 2016 e 2022, considerando que embora o conceito tenha ganhado mais atenção nas últimas décadas, pesquisas relacionadas ao tema são mais recentes, ganhando mais atenção nos últimos anos. Os critérios de inclusão da análise detalhada abrangem artigos de periódicos revisados por pares em inglês. Um resumo dos critérios aplicados na base Scopus contempla: (TITLE-ABS-KEY ("circular economy*") AND TITLE-ABS-KEY (carbon footprint*)) AND (LIMIT-TO (SUBJAREA, "BUSI*")) AND (LIMIT-TO (DOCTYPE, "ar")) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE, "English")). Essa busca obteve como resultado final considerado para análise 41 artigos.

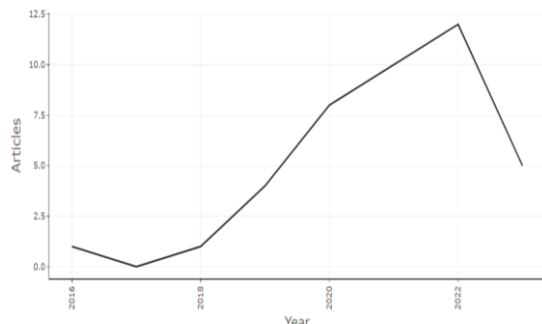
Os metadados dos 41 artigos serviram de insumo para análise no software R Studio, com apoio do pacote de análise Bibliometrix. Segundo Christofi et al. (2017), o método da RSL ajuda a garantir um processo mais objetivo uma vez que, identifica, seleciona e sintetiza criticamente todos os estudos relevantes em um campo específico e fornece uma visão abrangente e completa dessa pesquisa, bem como resultados e informações de maior qualidade sobre um tópico específico. Ao identificar os padrões, temas e questões, o método resume a pesquisa realizada e, em seguida, ajuda a identificar o conteúdo conceitual do fenômeno, desempenhando um papel no desenvolvimento de novas estruturas e teorias (NOFAL et al., 2017).

4. RESULTADOS

Com o apoio do software *Bibliometrix**, foi possível descrever as características principais dos artigos coletados. Assim, foi possível obter informações para aprofundar no tema investigado no presente trabalho e entender o quanto explorado ele é no meio científico atualmente. Foram analisados 41 documentos de 173 autores, produzidos e publicados entre 2016 e 2023 em 13 fontes diferentes. Ao todo, houve uma taxa de crescimento na utilização das pesquisas de 25,85%, totalizando uma média de 16,2 de citações por documentos. A base de artigos mais antigos utilizados na análise

presente é de 2016, conforme o Gráfico 02. Nele é possível apontar que a quantidade de artigos publicados anualmente tem aumentado, com maior atenção a partir de 2018, e maior impulso em 2022.

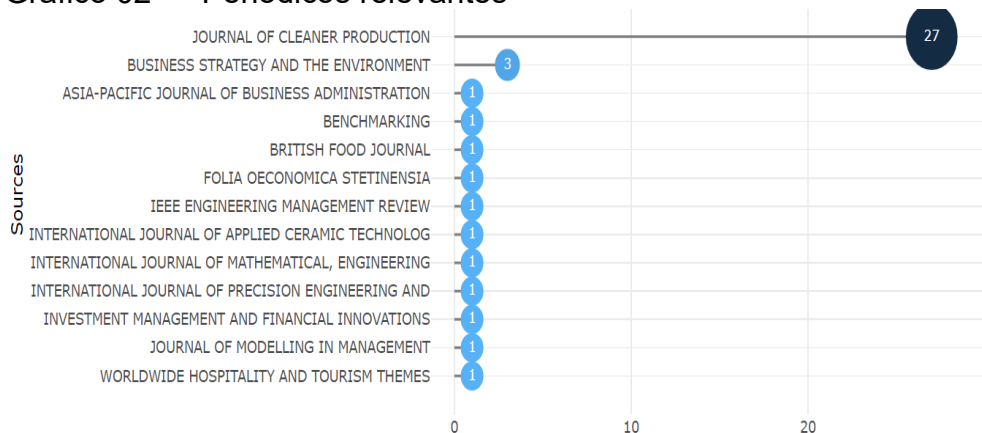
Gráfico 02 — Produção Científica anual entre 2012 e 2023



Fonte: Bibliometrix

Os anos 2018 e 2021 foram os anos com um maior número de citações médias, representando picos de disseminação do tema. Existe uma crescente preocupação global com a crise climática, bem como com a necessidade de abordagens mais sustentáveis para a produção e consumo de bens e serviços, que se torna mais evidente. Como expresso no Gráfico 02, ao analisar as fontes mais relevantes, o *Journal of Cleaner Production* (JCLP) se destaca, uma revista científica que publica artigos e estudos relacionados à sustentabilidade e práticas ambientais, abrangendo, assim, a EC. O periódico enfatiza que a EC pode trazer benefícios econômicos e sociais, além dos ambientais. Esses benefícios incluem a criação de novos empregos, o aumento da eficiência dos recursos e a redução de custos para as empresas. Os estudos publicados na revista enfatizam que a EC é uma abordagem fundamental para enfrentar desafios de sustentabilidade. Ainda, destacam a importância da colaboração entre empresas, governos e sociedade civil para implementação efetiva da EC. O periódico apontado em segundo lugar é o *Business Strategy and the Environment* (BSE). Demais periódicos, apresentaram apenas um artigo em cada.

Gráfico 02 — Periódicos relevantes

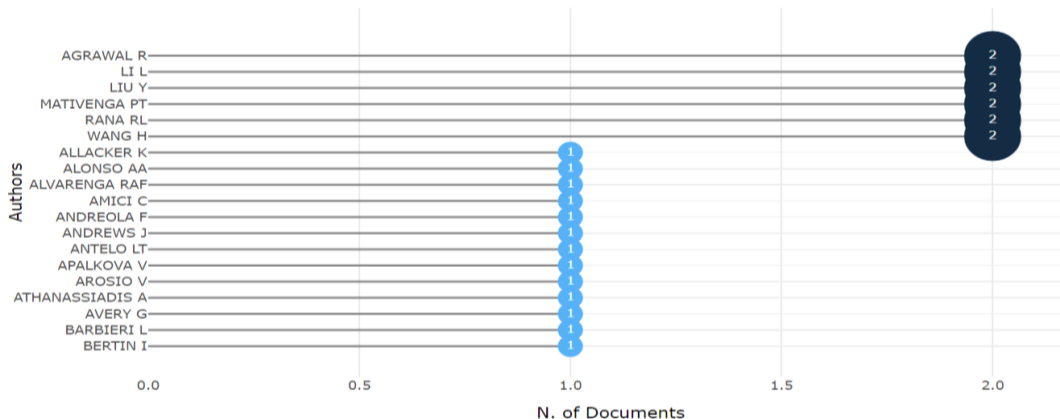


Fonte: Bibliometrix

O JCLP possui um maior número de citações, sendo também o que possui uma maior produção ao longo do tempo, seguido do BSE. A produção de literatura das fontes pelo tempo percorrido, permitiu que seja explorado se o interesse foi crescente

ou não por pesquisadores e instituições. Focando nos autores correspondentes, identifica-se como mais relevantes Agrawal, Rajeev pelo International Journal of Mathematical e Li, Lin; Liu, Ying; Mativenga, Paul Tarisai; Rana, Roberto Leonarado e Wang, Jie pelo Journal of Cleaner Production, o qual, também foi maior que o impacto nas fontes e número de produção científica, conforme gráficos 03 e 04.

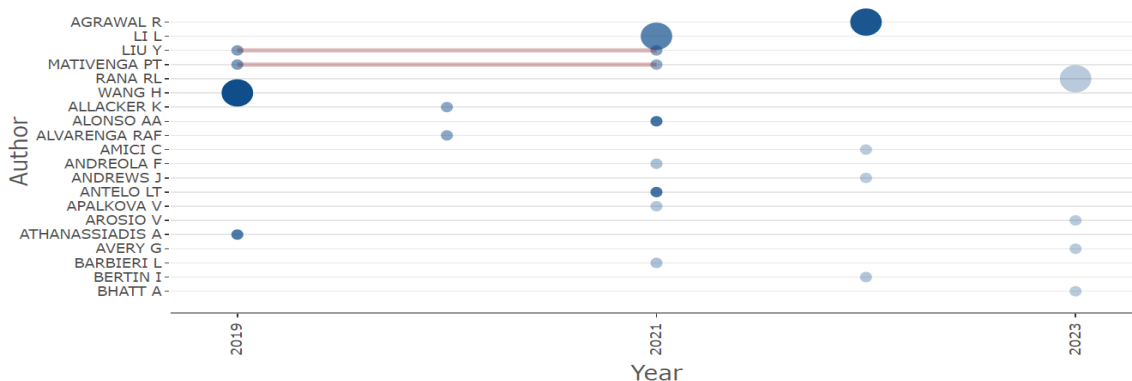
Gráfico 03: Autores mais relevantes



Fonte: Bibliometrix

Considerando a produção dos autores ao longo do tempo, destaca-se o ano de 2021, com o aumento das preocupações com mudanças climáticas, aumento da conscientização dos consumidores e inovações tecnológicas, de acordo com a Relatórios de organizações internacionais: Instituições como o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) e a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE).

Gráfico 04: Produção dos autores ao longo do tempo

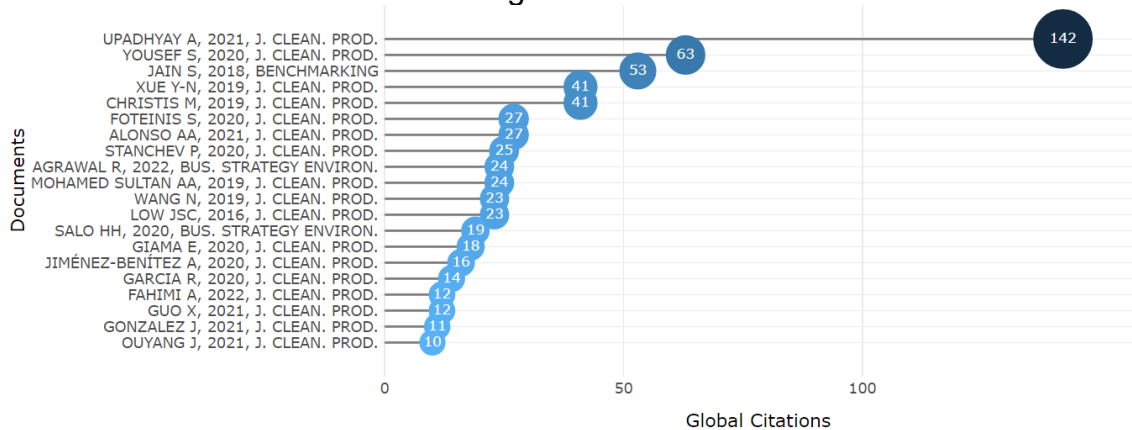


Fonte: Bibliometrix

Considerando uma perspectiva global, os 3 documentos mais citados foram: (i) Upadhyay et al. (2017), apresentando uma análise sobre o potencial da tecnologia *blockchain* para apoiar a implementação da EC e promover a sustentabilidade e responsabilidade social nas empresas; (ii) Yousef et al. (2020) fazem um estudo sobre a reutilização de algodão têxtil, como forma mais sustentável que o algodão cultivado, a pesquisa visa desenvolver uma tecnologia verde sustentável para recuperação de fibras de algodão e poliéster a partir de resíduos têxteis, ambos do *Journal of Cleaner Production* e (iii) Jain et al. (2018) apresentando um modelo estratégico para medir a

eficácia da gestão de cadeias de suprimentos circulares. O modelo é baseado em quatro fatores principais: a estratégia de circularidade da empresa, a integração da cadeia de suprimentos, a medição do desempenho da cadeia de suprimentos e a colaboração entre empresas. O estudo argumenta que a medição do desempenho da cadeia de suprimentos é fundamental para avaliar a eficácia de cadeias circulares; Benchmarking, com 142, 63 e 53 citações, respectivamente, como no gráfico 05.

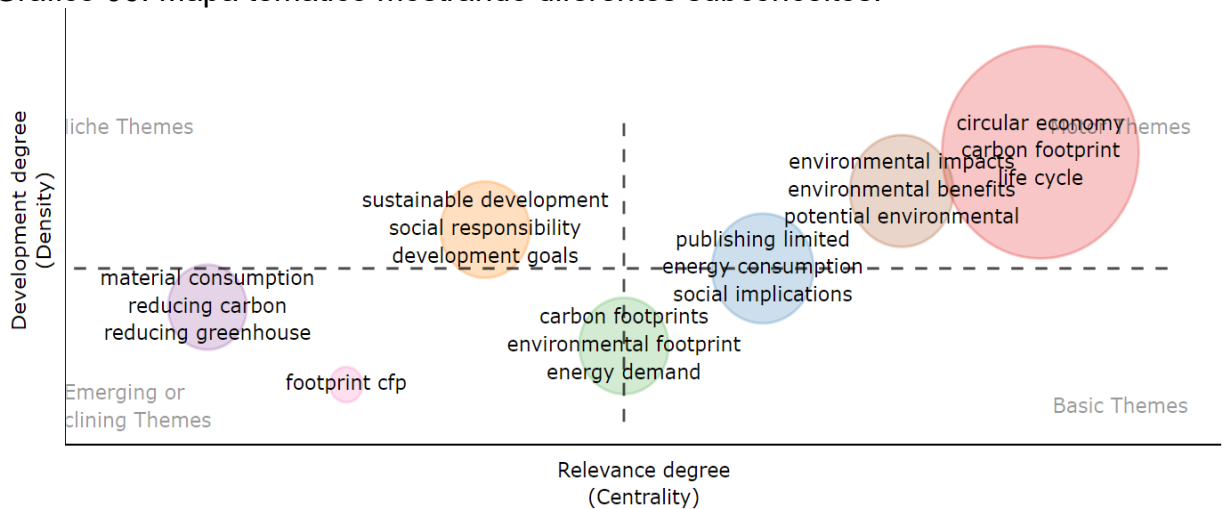
Gráfico 05: Maiorias dos documentos globalmente citados.



Fonte: Bibliometrix

Como pode ser observado no Gráfico 06, a frequência de ocorrências de palavras-chave e suas relações com a EC, ao se observar os termos mais usados para descrever os artigos, é possível visualizar alguns padrões no que esses termos são relacionados aos temas de sustentabilidade, EC e pegada de carbono.

Gráfico 06: Mapa temático mostrando diferentes subconceitos.



Fonte: Bibliometrix

O referido mapa temático apresenta a relação entre o grau de desenvolvimento dos temas (i.e., sua densidade) e o grau de relevância dos temas (i.e., sua centralidade). Dessa forma, oferece quatro quadrantes, o de temas básicos (alta relevância X baixo desenvolvimento), que seriam.

Alguns termos se destacam mais do que outros, “Circular economy carbon footprint life cycle” e “Impacts, benefits and potential environmental”, por exemplo,

estão entre os mais utilizados, ao que “Material consumption, reducing carbon and reducing greenhouse” que é menos visto. Cada um dos temas é detalhado no tópico a seguir.

4.2 ANÁLISE TEMÁTICA DOS RESULTADOS

Análise dos tópicos do mapa temático:

(1) Pegada de carbono na economia circular: a EC pode ser uma estratégia importante para reduzir a pegada de carbono de uma empresa ou organização, promovendo a sustentabilidade ambiental e econômica ao mesmo tempo.

(2) Impactos, benefícios e potencial ambiental: estão interconectados e devem ser considerados de forma integrada para garantir a sustentabilidade ambiental e econômica. A adoção de práticas sustentáveis tem um potencial significativo para promover a sustentabilidade e trazer benefícios econômicos e sociais, mas é importante que sejam acompanhadas por políticas e regulamentações efetivas para garantir a sua implementação em larga escala.

(3) Publicação de implicações sociais de consumo limitados de energia: possui implicações sociais significativas, especialmente em relação às desigualdades sociais, mudanças comportamentais e impacto econômico.

(4) Pegada de carbono e demanda de energia: devem ser consideradas de forma integrada para garantir a sustentabilidade ambiental e econômica. A redução da pegada de carbono é importante para mitigar as mudanças climáticas, mas é apenas uma parte da pegada ambiental, que considera outros impactos ambientais além das emissões de GEEs. A demanda de energia é um fator importante para ambas as medidas e deve ser reduzida para garantir a sustentabilidade ambiental.

(5) Desenvolvimento sustentável, responsabilidade social e metas de desenvolvimento: desenvolvimento sustentável é baseado em três pilares interdependentes: ambiental, social e econômico. A responsabilidade social empresarial enfatiza o papel das empresas na promoção do desenvolvimento sustentável, incluindo preocupações com questões sociais, ambientais e éticas. As metas de desenvolvimento sustentável são um conjunto de metas globais acordadas pelas Nações Unidas para orientar o desenvolvimento sustentável.

(6) Consumo de material, redução de carbono e redução de efeito estufa: O consumo de material pode ser reduzido através da adoção de práticas mais eficientes e sustentáveis na produção e consumo de bens e serviços. A redução de carbono e a redução de efeito estufa, podem ser alcançadas através da adoção de tecnologias mais limpas, aumento da eficiência energética e mudança para fontes de energia renovável. Juntos, esses esforços têm como objetivo criar um futuro mais sustentável e reduzir os impactos negativos das atividades humanas no meio ambiente.

Em suma, a adoção da economia circular e práticas sustentáveis é essencial para reduzir a pegada de carbono, promover a sustentabilidade ambiental e econômica, e enfrentar os desafios relacionados à demanda de energia, mudanças climáticas e desenvolvimento sustentável, o que é mencionado em todos os tópicos com temas que conversam entre si e se complementam.

Ao analisar os temas apresentados no Quadro 03, quando pautado como a EC pode reduzir a pegada de carbono, foram destacados alguns estudos mais relevantes em relações aos temas, bem como seus principais achados. De modo geral, o plano de trabalho segue com pesquisa que evidenciem a EC, para implementá-la, adotando práticas mais sustentáveis e diversos âmbitos e segmentos, diminuindo a emissão de GEEs, como a EC contribui para redução da pegada de carbono.

Quadro 03 – Análise Temática dos Artigos da RSL com base nos temas predefinidos com apoio do software Bibliometrix

Temas	Achados sobre esses temas identificados nos artigos analisados da RSL	Referências da RSL
Pegada de carbono na economia circular:	Utilização da EC como alternativa para a redução da pegada de carbono, destacam a importância da economia circular para reduzir a pegada de carbono e outros impactos ambientais. Ao promover a reutilização, reciclagem e outras formas de aproveitamento de recursos, a economia circular pode contribuir para a transição para um modelo de produção e consumo mais sustentável, minimizando a produção de CO ₂ .	Foteinis (2016); Garcia et al., (2022); Hagedorn, et al., (2022).; Fahimi et al., (2022); Gonzalez et al., (2018).; Jiménez-Benítez et al., (2022).
Impactos, benefícios e potencial ambiental:	Os autores destacam que a adoção de uma abordagem circular pode trazer diversos benefícios, como a redução do impacto ambiental, a redução de custos, a criação de novas oportunidades de negócios e a melhoria da reputação das empresas. O estudo apresenta casos de sucesso de empresas que adotaram a abordagem circular, bem como os desafios enfrentados na implementação desse modelo. Os autores concluem que a adoção de uma abordagem circular de gerenciamento de ativos excedentes pode ser um "game changer" na indústria de ciências da vida, trazendo benefícios para as empresas e para a sociedade como um todo.	Krikke et al., (2020); Chaudhari et al., (2020); Upadhyay et al., (2020); Galve et al., (2020); Barbieri et al., (2020).
Implicações sociais de consumo limitados de energia:	Os artigos analisados apresentam uma revisão abrangente da literatura sobre a integração da Indústria 4.0 na EC, destacando as principais tendências e desafios. Os autores propõem diversas áreas de pesquisa para explorar ainda mais essa integração, como a modelagem de sistemas integrados, a criação de modelos de negócios circulares e a análise de impactos ambientais e sociais. A análise da pegada de carbono pode ajudar a identificar as fontes de emissões de GEE e implementar medidas de redução, como a adoção de tecnologias mais limpas e eficientes. Além disso, a análise da pegada ambiental pode ajudar a identificar oportunidades de economia de recursos naturais e redução da poluição.	Agrawal et al., (2021); Hagedorn et al., (2022); Foteinis (2016); Stanchev et al., (2021); Santoyo-Castelazo et al., (2021).
Pegada de carbono e demanda de energia:	A implementação de princípios de EC pode levar a redução na pegada de carbono, análises de ciclo de vida e cálculos de alocação de carbono usando modelos matemáticos e dados empíricos para avaliar as emissões de CO ₂ e a pegada de carbono de diferentes cenários de gerenciamento de resíduos, artigos mostram análise quantitativa, para simular as emissões de carbono e a degradação do solo em sistema circular	Garcia et al., (2022); Fahimi et al., (2022); Giungato et al., (2022); Agrawal et al., (2021); Hagedorn et al., (2022); Foteinis (2016); Wani (2021).
Desenvolvimento sustentável, responsabilidade social e metas de desenvolvimento	A implementação de práticas sustentáveis pode gerar benefícios financeiros e não financeiros para as empresas como redução de custos, melhoria da reputação e satisfação dos clientes. As empresas estudadas adotaram diversas práticas sustentáveis, como a redução do uso de energia e água, a implementação de programas de reciclagem e compostagem, o uso de fontes renováveis de energia e a adoção de políticas de compra responsável. A transparência e a comunicação efetiva das iniciativas para os stakeholders são essenciais para o sucesso das práticas adotadas. Práticas contribuem para os ODS demonstrando o potencial em contribuir para um mundo mais sustentável, podendo aumentar seu valor corporativo e obter vantagens competitivas.	Matteucci (2020); Napathorn (2019); Mattinzioli et al., (2019); Chaudhari et al., (2020); Garcia et al., (2022); Fahimi et al., (2022); Giungato et al., (2022).
Consumo de material, redução de carbono e redução de efeito estufa:	Com o aumento das atividades humanas, as concentrações de gases na atmosfera, principalmente devido à queima de combustíveis fósseis e ao desmatamento, o que amplifica o efeito estufa e causa um aquecimento global. A comparação de quando é aplicado a economia circular há uma redução significativa de emissões de gases de efeito estufa e consumo de energia em comparação com as alternativas de materiais virgens.	Galve et al., (2020); Barbieri et al., (2020); Garcia et al., (2022); Wani et al., (2021).

Fonte: elaboração da autora

Quadro 04 – Agenda para Pesquisas Futuras

Tópicos	Achados sobre esses temas identificados nos artigos analisados da RSL	Referência da RSL
Adoção de práticas circulares sem restrições	-Redução na utilização de copos descartáveis para a redução do impacto ambiental, desde a sua produção, que demanda grandes quantidades de energia, até o seu descarte, pode causar sérios danos ao meio ambiente, incluindo a poluição do solo e da água.	Foteinis (2020).
Desenvolvimento de habilidades verdes em empresas	-Desenvolver mais meios e implementação para maiores avanços da adoção de habilidade verde em empresas, entretanto, a importância de medidas políticas e incentivos para a EC, urge a necessidade de investimentos em tecnologias e infraestrutura para melhorar a reciclagem e a reutilização de materiais.	Napathorn (2022).
Redução da pegada de carbono de um sistema de geração de energia a partir de cinzas	-Criar um cenário de recuperação de energia, a qual, representará um plano em que o calor residual do sistema de geração de energia é recuperado e utilizado para alimentar outros processos no parque industrial, e um cenário de reciclagem de cinzas, o qual, representará um plano em que as cinzas geradas pelo sistema de geração de energia são recicladas e utilizadas como material de construção.	Wang et al., (2019).
Uso de peças plásticas injetadas com polipropileno reciclado	-Desenvolver a produção da peça injetada com polipropileno reciclado, a qual, gera uma redução significativa de emissões de gases de efeito estufa e consumo de energia em comparação com as alternativas de materiais virgens. A reciclagem de polipropileno se mostra uma alternativa viável e sustentável para a produção de peças injetadas, com redução significativa do impacto ambiental. O uso de polipropileno reciclado também reduz a pegada de carbono da produção, especialmente em relação ao consumo de energia durante o processo de produção.	Galve et al.,(2022).
Redução das emissões de carbono na pecuária por meio da EC	-Intensificar pesquisas que mostram os benefícios ambientais e econômicos da redução de emissões de carbono na criação de porcos por meio da economia circular. Os resultados mostraram que a implementação de práticas de economia circular, como o uso de resíduos agrícolas como ração animal e a reciclagem de esterco de porco para produção de biogás, pode reduzir significativamente as emissões de gases de efeito estufa e os custos de produção, além de gerar renda adicional para os agricultores.	Xue et al., (2019).
Estrutura estratégica para medir uma gestão circular da cadeia de suprimentos	- Modelo de gestão da cadeia de suprimentos circular (CSCM) baseado em um quadro estratégico. Propõe um modelo de gestão que visa desenvolver uma cadeia de suprimentos circular eficiente e sustentável. O quadro proposto é composto por quatro dimensões principais: circularidade, colaboração, competência e controle.	Jain et al., (2018)

Fonte: elaboração da autora

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo deste estudo é abordar a seguinte questão: (i.e., como a economia circular contribui para redução da pegada de carbono?). Para isso, adota como objetivo revisar sistematicamente a literatura do estado da arte sobre economia circular, pegada de carbono, emissão de gases de efeito estufa e sustentabilidade. Como objetivos específicos, o estudo busca: i) identificar estudo do tema de pesquisa por meio de uma revisão sistemática da literatura; ii) listar as principais barreiras, benefícios e impactos positivos e negativos encontrados na literatura; iii) elaborar uma agenda de pesquisa para listar futuras pesquisas sobre o tema.

Com o objetivo de identificar e compilar a máxima quantidade de artigos que englobam o tema de sustentabilidade, com ênfase em economia circular e pegada de carbono, foi utilizada como base de dados a plataforma Scopus, e a partir de seus recursos, foram-se usados como filtros de pesquisa as palavras de busca circular economy” e “carbon footprint”, publicados entre os anos de 2016 a 2023, o que resultou em um número total de 41 artigos.

Em uma análise preliminar, observa-se que o tema mobiliza atenção recente, de modo que 35 dos 41 artigos foram publicados apenas dentro dos quatro últimos anos, de 2020 a 2023. Ao todo, 173 autores foram mapeados, em uma média de 3 autores por artigo. As fontes consideradas de maior impacto são as Journal of Cleaner Production, e Business Strategy and the Environment. Em uma nuvem de palavras das palavras-chave dos artigos selecionados, alguns termos se destacam mais do que outros, “Circular economy carbon footprint life cycle” e “Impacts, benefits and potential environmental”, por exemplo, estão entre os mais utilizados, ao que “Material consumption, reducing carbon and reducing greenhouse” que é menos visto.

Seis blocos temáticos foram mapeados, em quatro categorias de temas frequentes aos artigos. Os temas contemplam: (i) Circular economy carbon footprint life cycle; (ii) Publishing limited energy consumption social implications; (iii) Sustainable development social responsibility desenvolvimento goals; (iv) Environmental impacts environmental benefits potential environmental limited; (v) carbon footprints environmental footprint energy demand; (vi) material consumption, reduction carbon reducing greenhouse. Cada um dos temas será explorado nas próximas etapas da pesquisa, bem como demais temas observados a partir da emergência de padrões dos artigos coletados.

Os artigos da base estudada mostram pesquisas de práticas sustentáveis e como isso pode trazer benefícios financeiros e não financeiros para as empresas, como a redução de custos, a melhoria da reputação e a satisfação dos clientes. As empresas analisadas nos artigos adotaram diversas práticas sustentáveis, como a diminuição do consumo de energia e água, a implementação de programas de reciclagem e compostagem, o uso de energias renováveis e a adoção de políticas de compra responsável, expressos na EC. Além de os benefícios supracitados, a adoção de tais medidas contribui com a redução da emissão de GEEs, diminuindo a pegada de carbono, que por sua vez, reduz a possibilidade de desastres ambientais decorrentes de mudanças climáticas.

REFERÊNCIAS

AGRAWAL, Rohit et al. Progress and trends in integrating Industry 4.0 within Circular Economy: A comprehensive literature review and future research propositions. Business Strategy and the Environment, v. 31, n. 1, p. 559-579, 2022.

ALONSO, Antonio A.; ÁLVAREZ-SALGADO, Xosé Antón; ANTELO, L. T. Assessing the impact of bivalve aquaculture on the carbon circular economy. *Journal of Cleaner Production*, v. 279, p. 123873, 2021.

APALKOVA, V. et al. Evaluating the economic and ecological effects of investment projects: A new model and its application to smartphone manufacturing in Europe. *Investment Management and Financial Innovations*, p. 252-265, 2021.

BARBIERI, Luisa et al. Environmental impact estimation of ceramic lightweight aggregates production starting from residues. *International Journal of Applied Ceramic Technology*, v. 18, n. 2, p. 353-368, 2021.

BERTIN, Ingrid et al. Environmental impacts of Design for Reuse practices in the building sector. *Journal of Cleaner Production*, v. 349, p. 131228, 2022.

CHRISTIS, Maarten; ATHANASSIADIS, Aristide; VERCALSTEREN, An. Implementation at a city level of circular economy strategies and climate change mitigation—the case of Brussels. *Journal of cleaner production*, v. 218, p. 511-520, 2019.

FAHIMI, Ario et al. Evaluation of the sustainability of technologies to recycle spent lithium-ion batteries, based on embodied energy and carbon footprint. *Journal of Cleaner Production*, v. 338, p. 130493, 2022.

FOTEINIS, Spyros. How small daily choices play a huge role in climate change: The disposable paper cup environmental bane. *Journal of Cleaner Production*, v. 255, p. 120294, 2020.

GALVE, José Eduardo et al. Life Cycle Assessment of a Plastic Part Injected with Recycled Polypropylene: A Comparison with Alternative Virgin Materials. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, v. 9, n. 3, p. 919-932, 2022.

GARCIA, Rita et al. Accounting for biogenic carbon and end-of-life allocation in life cycle assessment of multi-output wood cascade systems. *Journal of Cleaner Production*, v. 275, p. 122795, 2020.

GEISSDOERFER, Martin et al. The Circular Economy—A new sustainability paradigm? *Journal of cleaner production*, v. 143, p. 757-768, 2017.

GHOSH, Tapajyoti et al. Towards a circular economy for PET bottle resin using a system dynamics inspired material flow model. *Journal of Cleaner Production*, v. 383, p. 135208, 2023.

GIAMA, Effrosyni; PAPADOPOULOS, A. M. Benchmarking carbon footprint and circularity in production processes: The case of stonewool and extruded polystyrene. *Journal of Cleaner Production*, v. 257, p. 120559, 2020.

GIUNGATO, Pasquale et al. Carbon footprint of FFP2 protective facial masks against SARS-CoV-2 used in the food sector: effect of materials and dry sanitisation. *British Food Journal*, 2023.

GONÇALVES, Taynara Martins; BARROSO, Ana Flavia da Fonseca. A economia circular como alternativa à economia linear. *Anais do XI SIMPROD*, 2Pereira, R., Ferreira, EA, Alves, JL et al. (2020), “Economia circular e cadeia de suprimentos: uma

GONZALEZ, Julieta; SARGENT, Paul; ENNIS, Chris. Sewage treatment sludge biochar activated blast furnace slag as a low carbon binder for soft soil stabilisation. *Journal of Cleaner Production*, v. 311, p. 127553, 2021.

GUO, Xin et al. A smart knowledge deployment method for the conceptual design of low-carbon products. *Journal of Cleaner Production*, v. 321, p. 128994, 2021.

HAGEDORN, Wiebke et al. More than recycling—The potential of the circular economy shown by a case study of the metal working industry. *Journal of Cleaner Production*, v. 377, p. 134439, 2022.

ISTRATE, Ioan-Robert et al. Environmental life cycle assessment of the incorporation of recycled high-density polyethylene to polyethylene pipe grade resins. *Journal of Cleaner Production*, v. 319, p. 128580, 2021.

JAIN, Sourabh; JAIN, Nikunj Kumar; METRI, Bhimaraya. Strategic framework towards measuring a circular supply chain management. *Benchmarking: An International Journal*, 2018.

JAKUBELSKAS, Ugnius; SKVARCIANY, Viktorija. An Evaluation of Circular Economy Development in the Baltic States. *Folia Oeconomica Stetinensia*, v. 22, n. 2, 2022.

JIMÉNEZ-BENÍTEZ, Antonio et al. AnMBR, reclaimed water and fertigation: Two case studies in Italy and Spain to assess economic and technological feasibility and CO2 emissions within the EU Innovation Deal initiative. *Journal of Cleaner Production*, v. 270, p. 122398, 2020.

KEK, Vimal et al. Investigating the effect of carbon tax on sharing network participation. *Journal of Modelling in Management*, 2022.

KRIKKE, Harold et al. Circular Economic Surplus Asset Management: A Game Changer in Life Sciences. *IEEE Engineering Management Review*, v. 50, n. 2, p. 117-126, 2022.

LOW, Jonathan Sze Choong et al. Adaptation of the Product Structure-based Integrated Life cycle Analysis (PSILA) technique for carbon footprint modelling and analysis of closed-loop production systems. *Journal of Cleaner Production*, v. 120, p. 105-123, 2016.

LÜDEKE-FREUND, Florian; GOLD, Stefan; BOCKEN, Nancy MP. A review and typology of circular economy business model patterns. *Journal of Industrial Ecology*, v. 23, n. 1, p. 36-61, 2019.

MARTINS, Thalisson de Sousa. A obsolescência programada em aparelhos eletrônicos: uma análise sob a ótica da Economia Circular. 2021.

MATEUS, Maria Margarida et al. Refuse derived fuels as an immediate strategy for the energy transition, circular economy, and sustainability. *Business Strategy and the Environment*.

MATIVENGA, Paul Tarisai et al. Sustainable Location Identification Decision Protocol (SuLIDeP) for determining the location of recycling centres in a circular economy. *Journal of cleaner production*, v. 223, p. 508-521, 2019.

MATTEUCCI, Victoria. How can the hospitality industry increase corporate value aligned with sustainable development goals? Case examples from Hilton, Meliá and Sun. *Worldwide Hospitality and Tourism Themes*, v. 12, n. 5, p. 509-523, 2020.

MATTINZIOLI, Thomas et al. Analysis of the GHG savings and cost-effectiveness of asphalt pavement climate mitigation strategies. *Journal of Cleaner Production*, v. 320, p. 128768, 2021.

MICHELINI, Gustavo et al. From linear to circular economy: PSS conducting the transition. *Procedia CIRP*, v. 64, n. 2017, p. 2-6, 2017.

NAPATHORN, Chaturong. The development of green skills across firms in the institutional context of Thailand. *Asia-Pacific Journal of Business Administration*, v. 14, n. 4, p. 539-572, 2022.

OUYANG, Jinglei et al. Energy consumption and process characteristics of picosecond laser de-coating of cutting tools. *Journal of Cleaner Production*, v. 290, p. 125815, 2021.

RANA, Roberto Leonardo; BUX, Christian; LOMBARDI, Mariarosaria. Carbon footprint of the globe artichoke supply chain in Southern Italy: From agricultural production to industrial processing. *Journal of Cleaner Production*, v. 391, p. 136240, 2023.

ROTILIO, Marianna et al. Temporary building construction to make cities more sustainable: An innovative "Square Box" proposal. *Journal of Cleaner Production*, v. 372, p. 133657, 2022.

SALO, Hanna H.; SUIKKANEN, Johanna; NISSINEN, Ari. Eco-innovation motivations and ecodesign tool implementation in companies in the Nordic textile and information technology sectors. *Business Strategy and the Environment*, v. 29, n. 6, p. 2654-2667, 2020.

SALVI, Alessandro et al. Considering the environmental impact of circular strategies: A dynamic combination of material efficiency and LCA. *Journal of Cleaner Production*, p. 135850, 2023.

SANTOYO-CASTELAZO, E. et al. Life cycle assessment for a grid-connected multi-crystalline silicon photovoltaic system of 3 kWp: A case study for Mexico. *Journal of Cleaner Production*, v. 316, p. 128314, 2021.

STANCHEV, P. et al. Multilevel environmental assessment of the anaerobic treatment of dairy processing effluents in the context of circular economy. *Journal of Cleaner Production*, v. 261, p. 121139, 2020.

UPADHYAY, Arvind et al. Blockchain technology and the circular economy: Implications for sustainability and social responsibility. *Journal of Cleaner Production*, v. 293, p. 126130, 2021.

WANG, Ning et al. The circular economy and carbon footprint: A systematic accounting for typical coal-fuelled power industrial parks. *Journal of cleaner production*, v. 229, p. 1262-1273, 2019.

WANI, Najaf Ali; MISHRA, Umakanta. An integrated circular economic model with controllable carbon emission and deterioration from an apple orchard. *Journal of Cleaner Production*, v. 374, p. 133962, 2022.

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

XUE, Yu-nan et al. Environmental and economic benefits of carbon emission reduction in animal husbandry via the circular economy: case study of pig farming in Liaoning, China. *Journal of Cleaner Production*, v. 238, p. 117968, 2019.

YOUSEF, Samy et al. Sustainable green technology for recovery of cotton fibers and polyester from textile waste. *Journal of cleaner production*, v. 254, p. 120078, 2020.