

AVANÇANDO NA ECONOMIA CIRCULAR DO PLÁSTICO: AVALIAÇÃO DE IMPACTO ATRAVÉS DE UMA PERSPECTIVA DE SUSTENTABILIDADE

Larissa Costa (Centro Universitário FEI)

Gabriela Scur (Centro Universitário FEI)

Roberta Souza Pião (Universidade de São Paulo - USP)

Claudia Aparecida de Mattos (Centro Universitário FEI)



Este artigo discute a importância da Economia Circular (EC) para o setor de plásticos, destacando a necessidade de ferramentas de avaliação para medir o progresso em direção à circularidade. Para tal, utiliza uma combinação de análise bibliométrica e revisão sistemática da literatura para investigar como as ferramentas de avaliação são abordadas no contexto da EC no setor de plásticos. Os resultados apontam para a relação entre bioeconomia e bioplásticos. Por fim, o estudo ressalta a relevância das ferramentas de avaliação, como Avaliação do Ciclo de Vida (LCA), Custo do Ciclo de Vida (LCC) e Avaliação do Ciclo de Vida Social (S-LCA), para a análise dos bioplásticos.

Palavras-chave: economia circular, plástico, avaliação, bioplástico

1. Introdução

O plástico é reconhecido por sua versatilidade e acessibilidade, apresentando uma ampla gama de aplicações (SILTALOPPI; JÄHI, 2021). Devido à sua durabilidade, flexibilidade, propriedades de barreira e custo acessível, seu uso tem aumentado de forma constante (GEYER; JAMBECK; LAW, 2017). Prevê-se que o crescimento econômico nos países em desenvolvimento conduza a uma escalada na produção de plástico, resultando na acumulação de 710 milhões de toneladas de plástico no ambiente até 2040 (LAU *et al.*, 2020). Em resposta a isto, um quadro de Economia Circular (EC) para produtos plásticos, abrangendo todas as facetas da cadeia de valor, poderia desempenhar um papel fundamental na mitigação do impacto da extração exaustiva de recursos virgens e das emissões decorrentes dos resíduos plásticos no ambiente (PARLAMENTO EUROPEU E CONSELHO DA UNIÃO EUROPEIA, 2018).

A mudança para uma EC no setor de plásticos é uma prioridade nas agendas socioeconômicas e políticas (GETOR; MISHRA; RAMUDHIN, 2020). A avaliação do progresso em direção à circularidade requer ferramentas e metodologias adequadas e a adoção de soluções práticas (CIMPAN *et al.*, 2023). Tal como sugerido por Garcia-Saravia Ortiz-de-Montellano e van der Meer (2022), uma avaliação da circularidade deve ter em conta a natureza inerente da EC – um sistema complexo e interligado que influencia e é influenciado pelo seu contexto socioeconômico. A partir disso, foi realizada uma análise bibliométrica e revisão sistemática da literatura (RSL) baseado nas diretrizes do *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA) (PAGE *et al.*, 2021), para responder a seguinte questão de pesquisa: “Como são abordadas as ferramentas de avaliação no contexto da EC no setor de plásticos?”.

O artigo está organizado em cinco seções principais, além da introdução. A seção 2 detalha os métodos empregados, abrangendo a seleção e análise dos dados. Na seção 3, são elucidados os resultados da análise bibliométrica. Em seguida, na seção 4, a análise de conteúdo é discutida, enquanto na seção 5, são apresentadas as conclusões, limitações e a agenda de pesquisa.

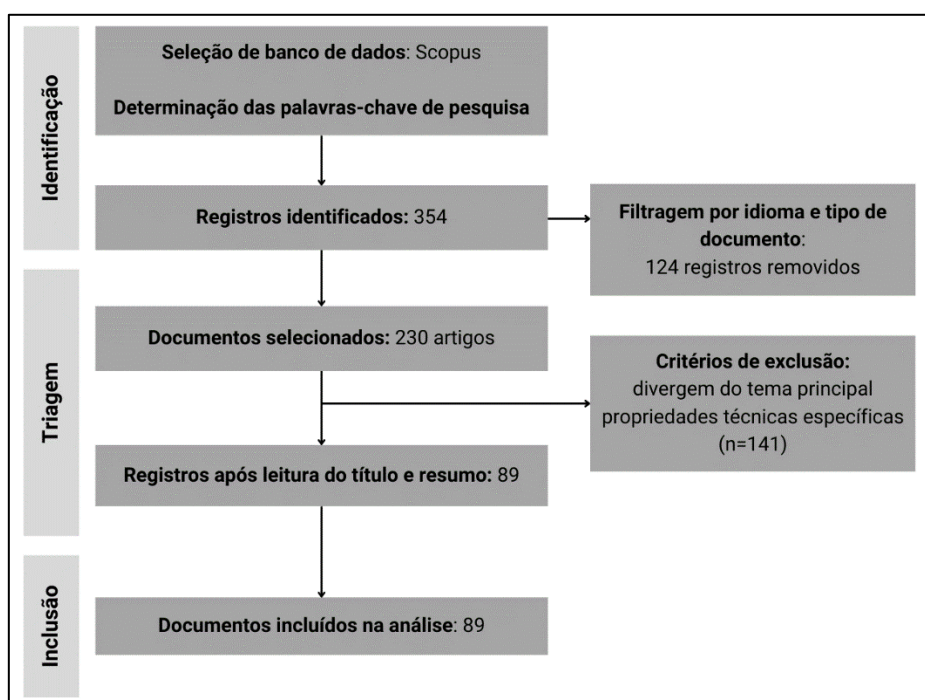
2. Procedimentos metodológicos

O processo de amostragem foi executado na base de dados *Scopus* por agregar publicações científicas de periódicos diversificados, proporcionando um acesso centralizado a uma ampla gama de literatura e fornecer informações detalhadas sobre as publicações utilizadas na análise bibliométrica. O desenho da pesquisa incluiu análise bibliométrica e RSL, com base nas

diretrizes PRISMA 2020 para seleção de artigos (PAGE *et al.*, 2021), como mostra o fluxograma da Figura 1.

Inicialmente, os grupos de palavras-chave foram definidos: ("assessment" OR "indicator*" OR "measurement*" OR "evaluat*" OR "framework" OR "metric*") AND ("plastic* industry" OR "plastic* sector") AND ("circular economy" OR "sustain*"). A busca foi aplicada por título, resumo e palavras-chave, resultando em 354 documentos. Subsequentemente os filtros foram aplicados exclusivamente aos tipos de documentos, priorizando artigos e idioma, restritos ao inglês, reduzindo para 230 documentos. Não houve restrição temporal, abrangendo todos os trabalhos publicados até 19 de dezembro de 2023. Após uma triagem cuidadosa realizada através da leitura de títulos, resumos e palavras-chave baseada em critérios de exclusão - que incluía aqueles não relacionados ao tema e artigos que abordavam detalhes específicos de propriedades técnicas - um total de 89 artigos foram submetidos a uma análise detalhada.

Figura 1 – Fluxograma PRISMA 2020



Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

Uma abordagem integrativa foi empregada de bibliometria e análise de conteúdo para conduzir a análise dos dados. Utilizando o pacote *Bibliometrix* e *Biblioshiny* (ARIA; CUCCURULLO, 2017) e o software *RStudio* (versão 4.3.2), as análises bibliométricas foram realizadas para extrair diversas informações da amostra final. Essas análises envolveram o exame do crescimento da produção científica, identificação de fontes proeminentes, análise das palavras-

chave mais frequentes e identificação de temas emergentes. Essas ferramentas foram utilizadas para construir uma rede de co-ocorrência de palavras-chave, facilitando o exame dos domínios conceituais dentro da amostra de pesquisa e agregando-os em 4 *clusters*. Posteriormente, para uma análise de conteúdo detalhada dos documentos da amostra, foi utilizado o *software NVivo* (versão 14) (JACKSON; BAZELEY, 2013), facilitando a revisão de títulos, resumos e seções principais para elucidar a utilização de ferramentas de avaliação dentro do setor de plásticos no contexto da EC.

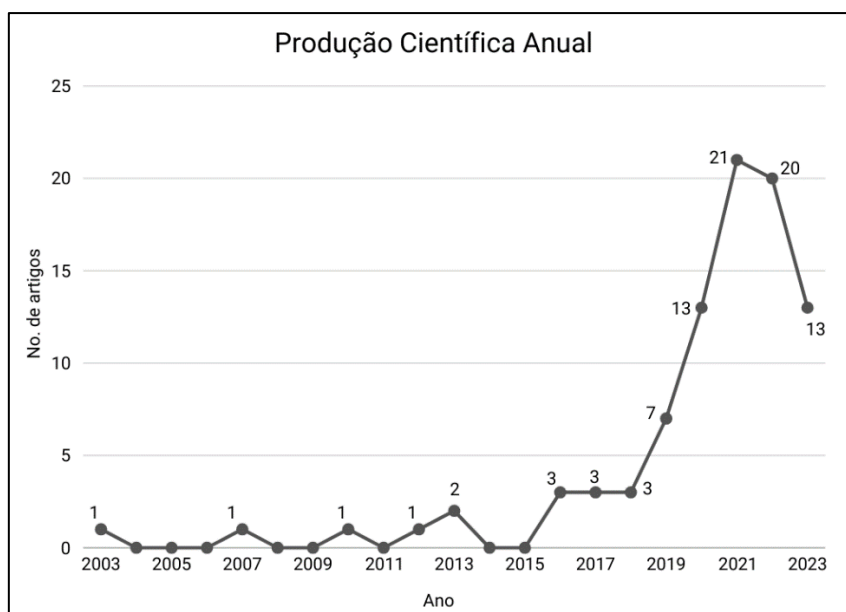
3. Análise bibliométrica

Esta seção abrange uma análise bibliométrica, a qual delineou a evolução das publicações ao longo dos anos, a identificação dos periódicos de maior influência, a frequência das palavras-chave mais utilizadas, a identificação de tópicos em tendência e a análise da rede de co-ocorrência de palavras.

3.1. Análise bibliométrica

A amostra consiste em documentos de 2003 a 2023, incorporando 89 documentos provenientes de 49 fontes. A distribuição temporal das publicações ao longo das duas décadas é mostrada na Figura 2.

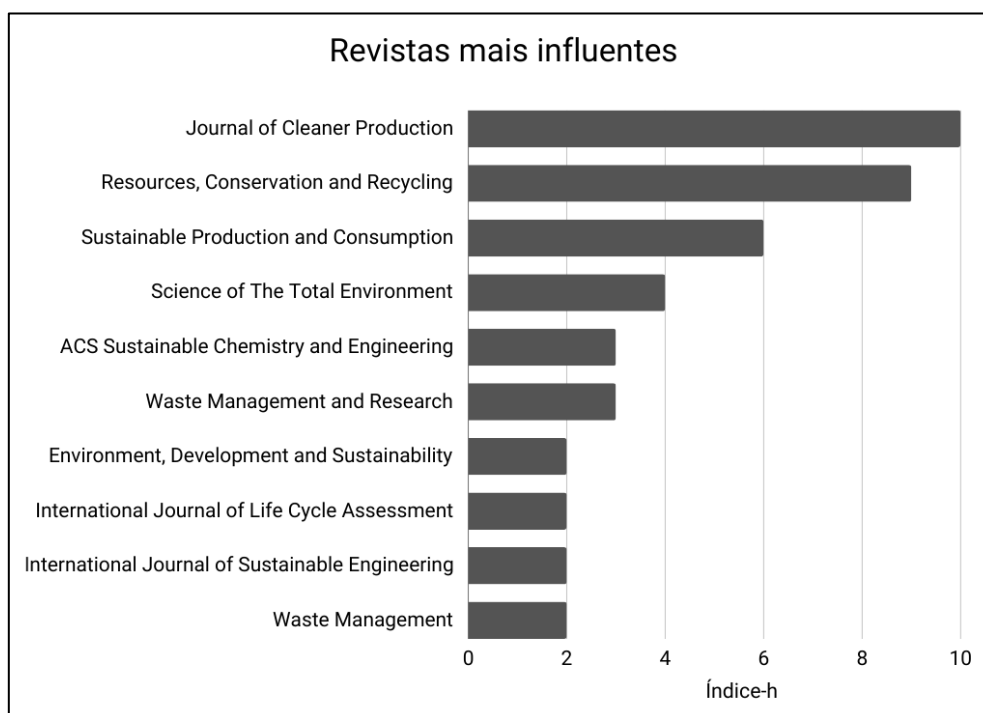
Figura 2 – Número de publicações por ano



Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

Houve um padrão caracterizado por uma tendência relativamente estável com pequenas oscilações observadas até 2018, durante o qual a contagem anual de publicações permaneceu consistentemente abaixo de 4. Posteriormente, um notável aumento nas contribuições acadêmicas é discernido, começando em 2018 e atingindo o pico em 2021, com a contagem de publicações ultrapassando 20 artigos. Essa explosão representa uma taxa de crescimento anual de 13,68%, indicando um aumento no interesse acadêmico e engajamento dentro do domínio.

Figura 3 – As 10 revistas mais relevantes da amostra final

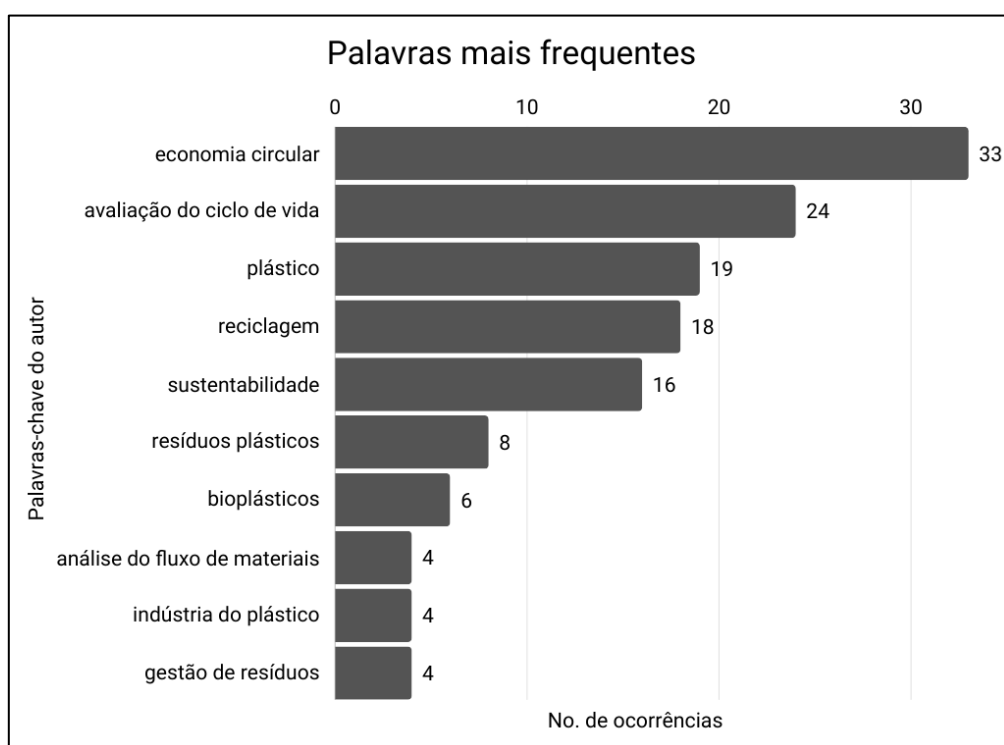


Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

A Figura 3 ilustra o impacto das revistas com base no índice-h, lançando luz sobre as revistas mais influentes dentro da amostra de 2003 a 2023. O índice-h é utilizado como uma métrica para avaliar o impacto e a produtividade de uma revista, medindo a frequência de citações obtidas por suas publicações. Entre as dez revistas de maior impacto, os cinco periódicos mais influentes, destacam-se: *Journal of Cleaner Production* (10), *Resources, Conservation and Recycling* (9), *Sustainable Production and Consumption* (6), *Science of the Total Environment* (4) e *ACS Sustainable Chemistry and Engineering* (3). É importante destacar o crescente interesse demonstrado por numerosas revistas emergentes nesse campo. Ressalta-se que todas as fontes citadas são revistas revisadas por pares, destacando o rigor e a credibilidade dos resultados obtidos.

Um panorama do domínio de pesquisa pode ser adquirido através da análise das palavras-chave dos autores. Da amostra de 89 artigos, um total de 333 palavras-chave foram extraídas. A Figura 4 delinea as palavras-chave com a maior frequência de ocorrência, começando com "economia circular" (33). Subsequentemente incluem-se "avaliação do ciclo de vida" (24), "plástico" (19), "reciclagem" (18), "sustentabilidade" (16), "resíduos plásticos" (8), "bioplásticos" (6), "análise do fluxo de materiais" (4), "indústria do plástico" (4) e "gestão de resíduos" (4). Uma tendência discernível dentro da literatura é evidente, enfatizando preocupações com o gerenciamento de plásticos pós-consumo ("resíduos plásticos"), juntamente com uma ênfase profunda em abordar impactos ambientais ("análise de ciclo de vida", "sustentabilidade", "análise de fluxo de materiais"), combinada com explorações de estratégias potenciais de mitigação ("reciclagem", "bioplásticos", "gestão de resíduos").

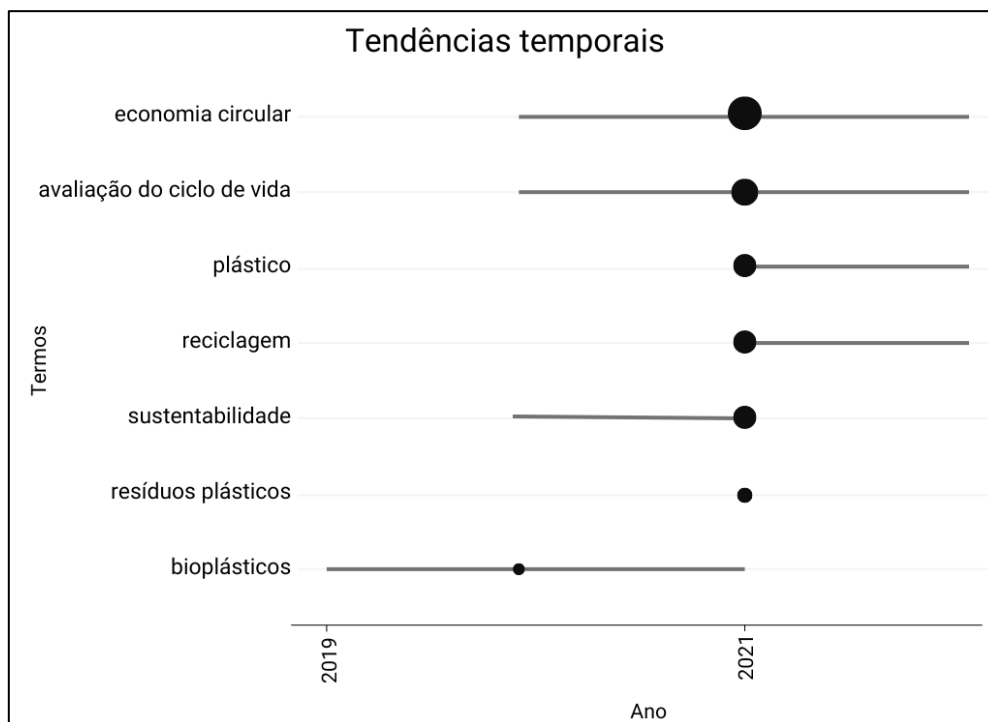
Figura 4 – As 10 palavras-chave mais frequentes na amostra final



Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

A Figura 5 ilustra as tendências temporais de assuntos específicos investigados em relação às ferramentas de avaliação no setor de plásticos dentro da EC. A evolução temporal dos focos temáticos, segmentados por ano, fornece *insights* sobre áreas de investigação duradouras e tópicos emergentes que recentemente ganharam atenção no cenário de pesquisa.

Figura 5 – Evolução temporal temática



Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

De 2019 a 2020, "bioplásticos" foi o tema predominante, indicativo de um marcado interesse acadêmico neste assunto. Posteriormente, no período de 2020 a 2021, temas como "economia circular", "avaliação do ciclo de vida" e "sustentabilidade" foram introduzidos, testemunhando um aumento significativo na frequência para a última parte deste período. Avançando para 2021 a 2022, os temas acima permaneceram proeminentes, acompanhados pela inclusão de temas populares adicionais, como "plástico", "reciclagem" e "resíduos plásticos". Essa descrição detalhada destaca a natureza dinâmica da pesquisa dentro deste campo, refletindo mudanças no foco acadêmico e áreas de investigação em evolução ao longo do tempo.

4. Análise de conteúdo

Por meio da análise de conteúdo, foi identificada a relação entre a bioeconomia e os bioplásticos, destacando a importância da transição para uma economia baseada em recursos biológicos. Por outro lado, o papel fundamental das ferramentas de avaliação, como Avaliação do Ciclo de Vida (LCA), Avaliação do Ciclo de Vida Social (S-LCA) e Custo do Ciclo de Vida (LCC), na análise dos bioplásticos ao longo de seu ciclo de vida, além de explorar as potenciais vantagens e desafios associados à sua adoção.

4.1. Bioeconomia e bioplásticos

A discussão foi provocada em relação aos bioplásticos dentro do contexto de transição para bioeconomia (RAZZA *et al.*, 2020). A bioeconomia engloba todos os processos econômicos e produtos que utilizam recursos biogênicos, especificamente recursos orgânicos não fósseis que são regularmente renováveis (JANDER; GRUNDMANN, 2019). Ampliando o conceito, Spierling *et al.* (2018) enfatizam a transformação abrangente tanto da economia quanto da sociedade, trazendo benefícios para vários *stakeholders*, como trabalhadores e a necessidade de gerar novas oportunidades de emprego, especialmente em escalas locais e regionais.

Spierling *et al.* (2018) argumentam que, dentro do domínio da bioeconomia, o avanço de produtos *bio-based* inovadores é relevante, pois promove a sustentabilidade nas etapas iniciais da cadeia de valor. Os autores afirmam que os indicadores derivados da LCA, S-LCA e LCC dos plásticos *bio-based* carecem de resultados sociais e econômicos quantificáveis. Esses resultados estão exclusivamente associados ao aspecto ambiental, concentrando-se principalmente no potencial de aquecimento global.

Jander e Grundmann (2019) afirmam que a avaliação das ramificações econômicas, sociais e ambientais da bioeconomia ainda está evoluindo. Eles argumentam que o processo de monitoramento falha em incorporar o conceito de transição para a bioeconomia. Assim, os autores propõem um novo indicador utilizando inventário de ciclo de vida e dados de entrada e saída. Essa abordagem oferece a vantagem de uma perspectiva híbrida, abordando tanto a expansão da bioeconomia quanto a substituição de produtos convencionais por alternativas *bio-based*. Além disso, eles enfatizam a importância de monitorar o processo de transição, considerando a necessidade de financiamento público e apoio político.

Em relação aos bioplásticos, os principais benefícios incluem o uso de recursos renováveis provenientes de resíduos agroindustriais e uma diminuição na dependência de recursos não renováveis (PREKA *et al.*, 2022). Walker *et al.* (2023) introduziram Indicadores de Transição Circular (CTI), enfatizando a avaliação de circularidade centrada na indústria. O CTI compreende dados de entrada e saída que abrangem insumos de produção, materiais de embalagem, resíduos de produção e resíduos de embalagem. Segundo os autores, a combinação do CTI por duas organizações multinacionais levou à otimização de processos e à melhoria da comunicação com os *stakeholders*.

Os bioplásticos, derivados de fontes naturais, têm o potencial de substituir os plásticos tradicionais em aplicações de embalagem onde propriedades de materiais semelhantes são alcançáveis (KOCH; MIHALYI, 2018). Os bioplásticos à base de plantas podem reduzir o

Potencial de Aquecimento Global (GWP) em comparação com os plásticos convencionais, pois se originam de recursos renováveis (SPIERLING *et al.*, 2018). Além disso, os bioplásticos oferecem o benefício de serem biodegradáveis ou compostáveis, o que ajuda a mitigar o impacto ambiental dos resíduos plásticos (KLEMEŠ; FAN; JIANG, 2020). No entanto, desafios surgem neste contexto. Apesar das vantagens potenciais em categorias específicas de impacto ambiental como GWP, os processos agrícolas necessários para produzir materiais à base de plantas podem aumentar outras categorias de impacto como Potencial de Acidificação (AP) e Potencial de Eutrofização (EP) (SPIERLING *et al.*, 2018). Além disso, os custos de produção dos bioplásticos geralmente são mais altos do que os dos plásticos convencionais, que foram refinados ao longo do tempo por meio de economias de escala (KOCH; MIHALYI, 2018). Portanto, realizar uma LCA abrangente para avaliar o desempenho ambiental geral dos bioplásticos em embalagens é significativo, considerando fatores como obtenção de matéria-prima, processos de produção, fase de uso e opções de fim de vida (KOCH; MIHALYI, 2018). Koch e Mihalyi (2018) enfatizam várias considerações relevantes ao avaliar a sustentabilidade dos bioplásticos em materiais de construção. Em primeiro lugar, garantir que os materiais bioplásticos usados na construção possuam propriedades semelhantes às dos plásticos convencionais para atender aos padrões de desempenho exigidos. Em segundo lugar, verificar a durabilidade, resistência e outras propriedades mecânicas dos bioplásticos é necessário para garantir que possam substituir efetivamente materiais de construção tradicionais sem comprometer a integridade estrutural. Em terceiro lugar, realizar uma LCA abrangente é relevante para avaliar o desempenho ambiental dos bioplásticos em aplicações de construção, levando em consideração fatores como extração de matéria-prima, processos de produção, transporte, fase de uso e cenários de fim de vida.

Em quarto lugar, avaliar a redução potencial das emissões de dióxido de carbono (CO₂) substituindo plásticos convencionais por bioplásticos derivados de biomassa em materiais de construção. Em quinto lugar, avaliar a biodegradabilidade ou compostabilidade dos materiais bioplásticos de construção para determinar seu impacto ambiental no final de seu ciclo de vida. Em sexto lugar, considerar opções de reciclagem para bioplásticos para reduzir a quantidade de material virgem necessário e minimizar a geração de resíduos no setor de construção é imperativo (SPIERLING *et al.*, 2018). Em sétimo lugar, avaliar a eficiência de recursos do uso de bioplásticos em materiais de construção, incluindo o uso de recursos renováveis e a redução potencial na dependência de materiais à base de fósseis, é necessário. Finalmente, avaliar o

consumo de energia e recursos ao longo do ciclo de vida dos materiais de construção bioplásticos para garantir a sustentabilidade geral.

4.2. Ferramentas de avaliação: LCA, LCC e S-LCA

Ferramentas de avaliação, como LCA, LCC e S-LCA, desempenham papéis notáveis no avanço do conceito de EC no setor de plásticos. A LCA é uma ferramenta importante para modelar os impactos ambientais de produtos e serviços, incluindo no segmento de plásticos. A aplicação da LCA no setor de plásticos é extensa e relevante para entender os impactos ambientais associados à produção, uso e descarte de materiais plásticos (ARENA; MASTELLONE; PERUGINI, 2003; Mudersbach *et al.*, 2023; STOYCHEVA *et al.*, 2018).

Ao longo dos anos, a LCA evoluiu significativamente em vários aspectos. As metodologias de LCA se tornaram mais sofisticadas e padronizadas. Houve uma mudança para abordagens mais holísticas, como a LCA consequencial, que considera os impactos indiretos de decisões e ações (MUDERSBACH *et al.*, 2023). Enquanto a LCA inicialmente encontrou aplicação em indústrias como manufatura e agricultura, seu uso se expandiu para os setores de energia, construção e transporte. Essa aplicação mais ampla demonstra a versatilidade e relevância da LCA em diferentes domínios.

Relacionado ao aspecto social, os artigos discutem essa dimensão. No entanto, a extensão dessa discussão pode variar dependendo do foco do estudo ou dos objetivos específicos da pesquisa (STOYCHEVA *et al.*, 2018; SPIERLING *et al.*, 2018). A avaliação dos aspectos sociais dentro de um quadro de ciclo de vida, conhecida como S-LCA, é uma área de pesquisa relativamente nova em comparação com o foco de longa data na avaliação dos impactos ecológicos por meio da LCA (PAPO; CORONA, 2022). Consequentemente, a S-LCA recebeu menos atenção nas últimas décadas dentro do campo mais amplo da sustentabilidade ao longo do ciclo de vida.

A interação entre LCC e LCA é essencial para avaliações abrangentes de sustentabilidade de produtos, processos e serviços. Enquanto o LCC se concentra na dimensão econômica, analisando os custos incorridos ao longo do ciclo de vida, a LCA examina os impactos ambientais em todo o ciclo de vida. A integração dessas duas abordagens fornece uma compreensão mais holística do desempenho global da sustentabilidade (SPIERLING *et al.*, 2018; STOYCHEVA *et al.*, 2018; WANG *et al.*, 2020). LCC, LCA e S-LCA fornecem um quadro robusto para tomada de decisões sustentáveis, permitindo que organizações equilibrem eficiência econômica com responsabilidade ambiental e social. Ao considerar a interconexão de fatores econômicos, ambientais e sociais, as organizações podem criar valor, gerenciar riscos

e promover impactos positivos ao longo do ciclo de vida de produtos e serviços (KOCH; MIHALYI, 2018; SPIERLING *et al.*, 2018).

O método mais aplicado que inclui essas três dimensões é a Engenharia do Ciclo de Vida (LCE), que tem sido usada para selecionar materiais. Cada dimensão é avaliada e equilibrada para analisar de forma abrangente as opções disponíveis (SPIERLING *et al.*, 2018).

A literatura frequentemente discute a LCA e a S-LCA, no entanto, há uma necessidade reconhecida de indicadores adicionais adaptados a setores específicos para analisar a transição dentro da bioeconomia. Vários autores propuseram novas avaliações, como o Ambiente de Trabalho do Ciclo de Vida (LCWE) (SPIERLING *et al.*, 2018) e o CTI, que incorpora o framework de capacidades dinâmicas para analisar corporações multinacionais (WALKER *et al.*, 2023).

Em relação aos bioplásticos, a LCA avalia de forma abrangente a pegada ambiental desses substitutos ao longo de todo o seu ciclo de vida, desde a extração de matéria-prima até cenários de fim de vida. Isso facilita uma análise comparativa dos impactos ambientais dos substitutos de bioplásticos e plásticos convencionais em diversas aplicações. Através de tais comparações, as partes interessadas podem avaliar os benefícios potenciais da transição para bioplásticos na redução dos ônus ambientais e no avanço dos objetivos de sustentabilidade.

Além disso, a LCA auxilia na identificação de pontos críticos ambientais ou áreas de impacto significativo dentro do ciclo de vida dos substitutos de bioplásticos, possibilitando iniciativas de melhoria direcionadas (SPIERLING *et al.*, 2018). Ela serve como uma ferramenta para aprimoramento contínuo, monitorando e avaliando o desempenho ambiental dos substitutos de bioplásticos ao longo do tempo (KOCH; MIHALYI, 2018).

A LCA emerge como um instrumento potente que oferece insights valiosos sobre o desempenho ambiental de substitutos de bioplásticos em várias aplicações. Sua utilização capacita as partes interessadas a tomar decisões embasadas, identificar oportunidades de melhoria e contribuir ativamente para promover a utilização sustentável de bioplásticos em diferentes setores.

5. Conclusão

Integrar bioplásticos em vários setores demanda uma avaliação ampla que englobe as dimensões econômicas, ambientais e sociais. A LCA, LCC e S-LCA surgem como ferramentas essenciais na avaliação da viabilidade e impacto dos bioplásticos ao longo de seu ciclo de vida. A complexidade dessas avaliações destaca a necessidade de pesquisa contínua e desenvolvimento de indicadores específicos, como o CTI, para monitorar efetivamente o

progresso da transição para a bioeconomia. Embora os bioplásticos ofereçam benefícios ambientais promissores, incluindo redução da dependência de recursos não renováveis e reduções potenciais no GWP, desafios persistem, especialmente relacionados a outras categorias de impacto ambiental como AP e EP. Abordar esses desafios requer uma abordagem abrangente, desde a obtenção de materiais renováveis até a avaliação de cenários de fim de vida. Integrar a LCA nos processos de tomada de decisão facilita escolhas fundamentadas, promove melhorias contínuas e apoia a adoção sustentável dos bioplásticos. À medida que as indústrias navegam pelas complexidades da transição para uma bioeconomia, alavancar ferramentas robustas de avaliação como a LCA será fundamental para investigar todo o potencial dos bioplásticos, ao mesmo tempo em que garante um gerenciamento responsável de recursos e proteção ambiental. A principal limitação do estudo é a seleção de palavras-chave que podem acidentalmente negligenciar estudos significativos que poderiam fornecer *insights* valiosos sobre o tema. Sugerimos uma compreensão mais profunda de como essas ferramentas de avaliação de circularidade estão sendo usadas nas empresas, apontando seus obstáculos, desafios e facilitadores.

6. Agradecimentos

Este trabalho foi desenvolvido com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) – #2022/10837-4 e #2020/16011-5 do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) n. 311263/2022-4.

REFERÊNCIAS

- ARENA, Umberto; MASTELLONE, Maria Laura; PERUGINI, Floriana. Life Cycle assessment of a plastic packaging recycling system. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 8, n. 2, p. 92–98, 2003.
- ARIA, Massimo; CUCCURULLO, Corrado. bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. **Journal of Informetrics**, v. 11, n. 4, p. 959–975, 2017.
- CIMPAN, Ciprian *et al.* Keep circularity meaningful, inclusive and practical: A view into the plastics value chain. **Waste Management**, v. 166, p. 115–121, 2023.
- GARCIA-SARAVIA ORTIZ-DE-MONTELLANO, Cris; VAN DER MEER, Yvonne. A Theoretical Framework for Circular Processes and Circular Impacts Through a Comprehensive Review of Indicators. **Global Journal of Flexible Systems Management**, v. 23, n. 2, p. 291–314, 2022.

GETOR, Roland Yawo; MISHRA, Nishikant; RAMUDHIN, Amar. The role of technological innovation in plastic production within a circular economy framework. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 163, 2020.

GEYER, Roland; JAMBECK, Jenna R.; LAW, Kara Lavender. Production, use, and fate of all plastics ever made. **Science Advances**, v. 3, n. 7, 2017.

JACKSON, Kristi; BAZELEY, Patricia. **Qualitative data analysis with NVivo**. London ; Los Angeles: Sage Publications, 2013.

JANDER, Wiebke; GRUNDMANN, Philipp. Monitoring the transition towards a bioeconomy: A general framework and a specific indicator. **Journal of Cleaner Production**, v. 236, p. 117564, 2019.

KLEMEŠ, Jiří Jaromír; FAN, Yee Van; JIANG, Peng. Plastics: friends or foes? The circularity and plastic waste footprint. **Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects**, v. 43, n. 13, p. 1–17, 2020.

KOCH, Daniel; MIHALYI, Bettina. Assessing the Change in Environmental Impact Categories when Replacing Conventional Plastic with Bioplastic in Chosen Application Fields. **Chemical Engineering Transactions**, v. 70, p. 853–858, 2018.

LAU, Winnie W. Y. *et al.* Evaluating scenarios toward zero plastic pollution. **Science**, v. 369, n. 6510, p. 1455–1461, 2020.

MUDERSBACH, Marina *et al.* Life Cycle Assessment in a Nutshell—Best Practices and Status Quo for the Plastic Sector. **Macromolecular Rapid Communications**, 2023.

PAGE, Matthew J. *et al.* The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. **Systematic Reviews**, v. 10, p. 1–11, 2021.

PAPO, Marjolein; CORONA, Blanca. Life cycle sustainability assessment of non-beverage bottles made of recycled High Density Polyethylene. **Journal of Cleaner Production**, v. 378, p. 134442, 2022.

PARLAMENTO EUROPEU E CONSELHO DA UNIÃO EUROPEIA. **Directive (EU) 2018/851 Of the European Parliament and of the council of 30 May 2018 amending Directive 2008/98/EC on waste**. 2018.

PREKA, Rovenka *et al.* The challenge of plastics in a circular perspective. **Frontiers in sustainable cities**, v. 4, p. 920242, 2022.

RAZZA, Francesco *et al.* Metrics for quantifying the circularity of bioplastics: The case of bio-based and biodegradable mulch films. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 159, p. 104753, 2020.

SILTALOPPI, Jaakko; JÄHI, Markus. Toward a sustainable plastics value chain: Core conundrums and emerging solution mechanisms for a systemic transition. **Journal of Cleaner Production**, v. 315, p. 128113, 2021.

SPIERLING, Sebastian *et al.* Bio-based plastics - A review of environmental, social and economic impact assessments. **Journal of Cleaner Production**, v. 185, p. 476–491, 2018.

STOYCHEVA, Stella *et al.* Multi-criteria decision analysis framework for sustainable manufacturing in automotive industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 187, p. 257–272, 2018.

WALKER, Anna M *et al.* A dynamic capabilities perspective on implementing the Circular Transition Indicators: A case study of a multi-national packaging company. **Corporate Social Responsibility and Environmental Management**, v. 30, n. 5, p. 2679–2692, 2023.

WANG, Lin-Lin *et al.* Plastic mulching reduces nitrogen footprint of food crops in China: A meta-analysis. **Science of The Total Environment**, v. 748, p. 141479, 2020.