

PEGADA DE CARBONO NA RECICLAGEM DE RESÍDUOS PLÁSTICOS: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.8.25.I-030>

Leon Fernando Miecoanski (*), Guilherme A. Q. S. M. de Oliveira

* Universidade Positivo, leonfernando.mk@gmail.com

RESUMO

A busca pela redução dos impactos ambientais tornou-se um tema central para o desenvolvimento e a sustentabilidade dos negócios globalmente. As mudanças climáticas emergem como um tópico relevante em diversas áreas de pesquisa, no cotidiano empresarial e político, com ênfase na pegada de carbono e na adoção de créditos como forma de compensação dos impactos gerados. Entre os conceitos relacionados a esse tema, destaca-se o de Economia Circular, que propõe uma reconfiguração do modelo produtivo, valorizando os resíduos gerados e reinserindo-os como recursos em um novo ciclo produtivo. Este estudo tem como objetivo explorar a geração de créditos de carbono por meio da reintegração de resíduos plásticos no ciclo produtivo. O propósito principal é avaliar os benefícios da economia circular nesse contexto, a partir de uma revisão sistemática da literatura. Observou-se que existem artigos que quantificam a pegada de carbono de produtos reciclados, geralmente utilizando métodos de análise do ciclo de vida, evidenciando os benefícios dos produtos da economia circular. Contudo, nota-se uma escassez de discussões sobre a geração de créditos de carbono, bem como uma baixa presença de estudos focados no contexto brasileiro.

PALAVRAS-CHAVE: Pegada de carbono, resíduos plásticos, economia circular.

ABSTRACT

The quest for reducing environmental impacts has become a central issue for the development and sustainability of businesses globally. Climate change emerges as a relevant topic in various research areas, in daily business and political life, with a focus on carbon footprint and the adoption of credits as a means of compensating for the impacts generated. Among the concepts related to this theme, Circular Economy stands out, proposing a reconfiguration of the production model by valuing the waste generated and reinserting it as resources into a new production cycle. This study aims to explore the generation of carbon credits through the reintegration of plastic waste into the production cycle. The main objective is to evaluate the benefits of the circular economy in this context, through a systematic literature review. It was observed that there are articles quantifying the carbon footprint of recycled products, usually using life cycle analysis methods, highlighting the benefits of circular economy products. However, there is a scarcity of discussions on the generation of carbon credits, as well as a low presence of studies focused on the Brazilian context.

KEY WORDS: Carbon footprint, plastic waste, circular economy.

ATENÇÃO: A área que está sombreada (em amarelo) é a que poderá ser livremente editada pelo autor do trabalho. Isto é feito para proteger o cabeçalho e o rodapé de eventuais deformações. Posteriormente, a Comissão Organizadora retirará este sombreado e transformará o texto em arquivo PDF.

INTRODUÇÃO

O plástico é um produto com múltiplas aplicações, por apresentar características e propriedades técnicas que viabilizam a sua transformação em diversas mercadorias, distribuídas em escala global (MACEDO et al., 2020). Formados por polímeros orgânicos sintéticos, a destinação incorreta dos resíduos plásticos pode acarretar em graves problemas ambientais, com impactos na cadeia alimentar, contaminação dos solos e corpos hídricos (LANDIM et al., 2016). Tecnologias que proporcionam o reuso, reciclagem e biodegradabilidade precisam ser implementadas ao longo da cadeia produtiva, com vistas a minimizar os impactos ambientais.

Os consumidores impulsionam essa tendência ao optarem por produtos mais sustentáveis, de modo que empresas em nível mundial vêm adaptando seus planos de negócios com a pauta ambiental, como visto na disseminação de práticas ambientais, sociais e de governança corporativa (MACHADO; VENDRULOSCO; RODRIGUES, 2022).

Nesse sentido, a economia circular, que pode ser definida como um modelo econômico que visa otimizar o uso de recursos naturais, pode ajudar empresas e a sociedade a avançar em direção a um desenvolvimento mais sustentável, pois apresenta uma nova forma de pensar os negócios e modelos de produção, embasada em conceitos de circularidade e regeneração (JABBOUR et al., 2018).

Um dos processos-chave da economia circular é melhorar o desempenho dos materiais utilizados, bem como o uso de matéria-prima reciclada em diferentes processos de produção. O plástico e sua reciclagem são um exemplo desse conceito em prática (ARCE-BASTIAS, 2022).

Conforme Jabbour et al. (2018), encontram-se barreiras para a implementação das iniciativas de economia circular no âmbito organizacional e em toda a cadeia de suprimentos. Isso se deve em parte pela falta de informações sobre reais impactos ambientais de processos, como dados sobre o ciclo de vida dos produtos, bem como a ausência de tecnologia e conscientização dos consumidores.

A avaliação do desempenho ambiental dos produtos ou processos é realizada pela quantificação dos impactos ambientais, o que é fundamental para direcionar a tomada de decisões no âmbito político e de negócios. Os métodos de avaliação devem considerar os três pilares da sustentabilidade: ambiental, social e econômico. Entre os métodos utilizados na literatura científica cabe destacar: análise de ciclo de vida (ACV), análise de custo de ciclo de vida (ACCV), análise de custo benefício de vida (ACBV) e avaliação de ciclo de vida sustentável (ACVS) (HOOGMARTENS et al., 2014).

Peña et al. (2020) destacam as oportunidades de desenvolvimento da ACV para avaliação de iniciativas de economia circular, citando: contabilização consistente dos estoques de recursos, respeitando o balanço de massa; modelagem da reciclagem em ciclos abertos; inclusão de todos os recursos e impactos relevantes; confiabilidade de dados, premissas e resultados.

Nesse sentido, a análise do ciclo de vida auxilia na mensuração dos créditos de carbono e da pegada de carbono (SOUZA et al., 2010). Os créditos de carbono são iniciativas para agregar valores aos resultados, dados os esforços realizados para a redução das emissões de gases de efeito estufa ou a sua remoção (RIBEIRO, 2005). A pegada de carbono possibilita estudar a reparação dos danos ambientais e neutralizar as emissões dos gases de efeito estufa. Com base na ACV a contabilidade de recursos é convertida em uma unidade comum, quantificando os impactos às alterações climáticas e/ou emissões de gases de efeito estufa (SOUZA et al., 2010).

Embora existam estudos que abordem os conceitos de crédito de carbono, da economia circular e da reciclagem de plástico separadamente, há a necessidade de explorar como esses conceitos podem ser integrados para promover uma abordagem sustentável na reutilização de resíduos plásticos e mitigação dos efeitos dos gases de efeito estufa. Desta forma, esta revisão pretende investigar como a sinergia entre esses três temas pode ser explorada e aplicada.

OBJETIVO

De modo a sintetizar o objetivo e direcionar o desenvolvimento desta revisão, elaborou-se a seguinte pergunta de pesquisa: Como são realizadas as quantificações de impactos ambientais relativos às emissões de gases de efeito estufa, para produtos plásticos de economia circular?

Dessa forma, as contribuições desse trabalho incidem no levantamento do corpo de conhecimento sobre os métodos de avaliação quantitativa de impactos ambientais de produtos de economia circular, na identificação de vantagens e barreiras sobre os métodos, e discussão de oportunidades sobre geração de créditos de carbono por meio de iniciativas de economia circular.

METODOLOGIA

Com o objetivo de auxiliar o desenvolvimento deste trabalho que envolve a temática “economia circular”, “ciclo de vida”, “mercado de crédito de carbono” e “reciclagem de plástico”, foi realizado um levantamento sistemático da literatura científica na base de dados SCOPUS, SCIELO e Web of Science, com período de início em 2019 até janeiro de 2024, seguindo as etapas para levantamento de dados e análise sistemática propostas por Petticrew e Roberts (2006).

Para uma revisão inicial do tema nas bases de dados científicas, utilizou-se dos descritores apresentados na tabela 1, o que resultou em um universo de 3.209 documentos quando realizado no dia 16 de janeiro de 2024.

Tabela 1 – descritores para a revisão de literatura.

Descritores	Resultados	1º filtro
"Circular economy" and "recycled plastics"	1329	980
"Industrial decarbonization" and "recycled plastics"	50	47
"Carbon Credits" and "recycled plastics"	83	34
recycling of post-consumer waste" and "recycled plastics"	34	10
"Life Cycle Assessment" and "recycled plastics"	1036	517
"Carbon footprint" and "recycled plastics"	661	337
"recycled plastics"	16	7

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Em seguida foi realizada a leitura de títulos e resumos quanto a coerência da pesquisa, restando 290 artigos. No próximo filtro (3º) foram verificados os tópicos entre os artigos, e por fim a leitura detalhada dos artigos finais para avaliação dos critérios de pesquisa, conforme tabela 2.

Tabela 2 – Pesquisas científicas resultantes do levantamento de dados para a revisão de literatura.

Autores	Título	Ano
Arce-Bastias, F.	Beneficios ambientales del reciclaje de residuos plásticos posconsumo para la producción de postes en Mendoza, Argentina	2022
Aristizábal-Alzate, C. E., González-Manosalva, J. L., & Gutiérrez-Cano, J. C.	Análisis del ciclo de vida y cálculo de la huella de Carbono para un proceso de reciclaje de botellas PET en Medellín (ANT)	2020
Goga, T., Harding, K., Russo, V., & von Blottnitz, H.	What material flow analysis and life cycle assessment reveal about plastic polymer production and recycling in South Africa	2022
Goga, T., Harding, K., Russo, V., & von Blottnitz, H.	A lifecycle-based evaluation of greenhouse gas emissions from the plastics industry in South Africa	2023
Istrate, I.-R., Juan, R., Martin-Gamboa, M., Domínguez, C., García-Muñoz, R. A., & Dufour, J.	Environmental life cycle assessment of the incorporation of recycled high-density polyethylene to polyethylene pipe grade resins.	2021
Ahamed, A., Huang, P., Young, J., Gallego-Schmid, A., Price, R., & Shaver, M. P.	Technical and environmental assessment of end-of-life scenarios for plastic packaging with electronic tags.	2024
Arce Bastias, F., Rodríguez, P. D., Arena, A. P., & Talens Peiró, L.	Measuring the symbiotic performance of single entities within networks using an LCA approach.	2023
Barjoveanu, G., Gadaleta, G., Santomasi, G., de Gisi, S., Notarnicola, M., & Teodosiu, C.	Does PET trays sorting affect the sustainability of plastic waste? An LCA and cost-revenue approach.	2023
Civancik-Uslu, D., Nhu, T. T., van Gorp, B., Kresovic, U., Larrain, M., Billen, P., Ragaert, K., de Meester, S., Dewulf, J., & Huysveld, S.	Moving from linear to circular household plastic packaging in Belgium: Prospective life cycle assessment of mechanical and thermochemical recycling.	2021
Callewaert, P., Lerche Raadal, H., & Lyng, K.-A.	How to achieve ambitious recycling targets for plastic packaging waste? The environmental impact of increased waste separation and sorting in Norway.	2023
Cristóbal, J., Federica Albizzati, P., Giavini, M., Caro, D., Manfredi, S., & Tonini, D.	Management practices for compostable plastic packaging waste: Impacts, challenges and recommendations.	2023
Khoo, H. H.	LCA of plastic waste recovery into recycled materials, energy and fuels in Singapore.	2019

Zhou, K., Song, Y., Xian, X., Liu, Y., Fang, W., Liu, D., Jia, Y., & Liu, J.	A comprehensive comparison of the life-cycle environmental impacts of traditional and returnable express delivery packaging in China.	2024
Myrin, E. S., Börjesson, P., & Ericsson, K.	A case study on closed-loop recycling of co-polyester plates – Assessment of material quality and life-cycle energy and greenhouse gas performance.	2022
Qin, Y., Huang, Z., Ma, K., Dong, L., Li, J., Wang, Q.-C., Xu, Z., & Chen, W.-Q..	Life cycle assessment of recycling high impact polystyrene and acrylonitrile butadiene styrene plastic from waste refrigerators	2024

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

RESULTADOS

Os artigos resultantes da revisão de literatura demonstraram uma concentração de pesquisas realizadas na Europa e Ásia, conforme demonstrado na Tabela 3. Compete ressaltar que os resultados encontrados com base nas publicações na América Latina corroboram com os resultados de Arce-Bastias et al. (2023), o qual enfatiza sobre as poucas publicações neste continente. No Brasil, de acordo com filtros aplicados nas bases de dados da Scielo, Scopus e Web of Science. Neste sentido, a revisão de literatura está centrada nas publicações internacionais concentrando-se nas temáticas: Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), Pegada de Carbono e Reciclagem de Plástico.

Tabela 3 - Dados descritivos dos artigos analisados

Ano	3° Filtro	País de origem
2019	9	Singapura
2020	16	Colômbia
2021	20	Espanha; Bélgica
2022	35	Argentina; África do Sul; Suécia
2023	25	África do sul; Argentina/Espanha; Romênia/Itália; Noruega; Itália/Espanha
2024	8	Reino Unido; China (2)

Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

Para aferir a quantificação dos impactos ambientais relativos à emissão de GEE, esta subseção descreve os principais resultados encontrados na revisão literatura, incluindo a metodologia empregada pelos pesquisadores, assim como oportunidades e desafios.

O estudo de Khoo (2019), realizado em Singapura, pesquisou soluções alternativas para resolver o problema dos resíduos, como a recuperação de combustíveis de plásticos por meio de métodos termoquímicos. Para tanto, o autor utilizou a ACV para pesquisar oito cenários de opções de gerenciamento de resíduos plásticos. O estudo concluiu que o Cenário 7 é a opção ideal com as menores pontuações normalizadas e ponderadas (total = 3,2) em comparação com o caso de referência (total = 5,0). O qual apresentou uma redução anual de 31.000 toneladas de CO₂-eq que foi obtida com a distribuição de 87.500 toneladas de resíduos plásticos para reciclagem mecânica, 60.000 toneladas para pirólise e o restante para a transformação de resíduos em energia.

A pesquisa de Aristizábal-Alzate; González-Manosalva e Gutiérrez-Cano (2020) buscou quantificar o consumo de matérias-primas e energia e a emissão de gases do efeito estufa (GEE) para o processo de reciclagem de tereftalato de polietileno (PET) utilizado pela empresa EKORED SAS, na Colômbia. Para responder ao objetivo os autores basearam-se na ISO 14040, 14041, 14042 e 14043, para descrever a avaliação de impacto do ciclo de vida foi utilizada as recomendações de Lehtinen et al (2011), com relação a pegada de carbono os autores basearam-se em Ertug Ercin e Hoekstra (2012), Aenor (2015) e Colling et al (2016). O software utilizado na pesquisa foi OpenLCA e a metodologia TRACI na análise do ciclo de vida. O diferencial desse artigo trata-se da análise sobre as emissões de dióxido de

carbono (CO₂) pelo trabalho humano. Os autores concluíram que o fator que mais influencia na pegada de carbono são o consumo de eletricidade e o gás liquefeito de petróleo (GLP). Os dados da pegada de carbono da empresa pesquisada demonstram que estão abaixo do esperado, com valor de 1,402kg CO₂ eq/ton PET.

Para avaliar os potenciais impactos ambientais do ciclo de vida na produção de resinas para tubos de resinas de polietileno (PE), a partir da incorporação de polietileno de alta densidade (HDPE) reciclado com um tubo de HDPE virgem, os autores Istrate et al. (2021) pesquisaram o HDPE reciclado a partir de quatro matérias-primas residuais: (I) produtos de injeção, como engradados e tampas, (II) produtos moldados por sopro, como embalagens e frascos de detergente, (III) produtos industriais pós-consumo e (IV) tanques de combustível automotivo. Cada uma das quatro matérias-primas residuais foi avaliada para a produção de qualidades de tubos PE80 e PE100, resultando em um total de oito cenários para a produção de resina de qualidade para tubos PE. Os autores realizaram a ACV e a pegada de carbono, dessa forma utilizaram o software Brightway, simulação de Monte Carlo com 1000 iterações, na análise de incerteza e o uso de dados do Ecoinvent v3.7. A pesquisa foi realizada na Espanha, ressaltando que os dados correspondem com a realidade local. Os autores concluem que a produção de resina PE80, realizada a partir de tanques de combustível de automóveis e produtos pós-consumo resultou em menores impactos ambientais em comparação com os restantes cenários e com a resina 100% virgem.

Civancik-Uslu et al. (2021) pesquisaram a reciclagem mecânica (MR) e a reciclagem termoquímica (TCR) do polipropileno (PP), poliestireno (PS), rígidos de poliolefinas mistas (MPO) e filmes de polietileno (PE). Os quais foram investigados por meio da ACV, comparando a incineração com recuperação de energia. Os principais resultados mostraram benefícios em relação à reciclagem ao comparar com a incineração, no quesito recuperação de energia. Os resultados ainda mostraram que o MR possui um melhor impacto ambiental líquido em comparação com o TCR. Os produtos MR, ou seja, regranulados ou flocos, podem ser usados diretamente na fabricação, enquanto os produtos TCR exigem primeiros processos como craqueamento a vapor, polimerização e granulação antes de serem usados na fabricação.

O artigo de Goga et al (2022) descreve um panorama sobre a análise do fluxo de materiais e a ACV sobre a produção de reciclagem de polímeros de plásticos na África do Sul. Trata-se de uma análise sobre a realidade do país, para tanto os autores utilizaram dados locais e do Ecoinvent, bem como o uso do Software SimaPro. A análise de impacto foi realizada com o indicador do Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) 2013. A ACV revelou que a pegada de carbono é de 117,9mt CO₂eq, e que a produção de monômeros e a utilização de energia são os que mais contribuíram para a pegada de carbono. O modelo de fluxos futuros, projetados para 2025, revelou que a reciclagem mecânica tem capacidade de reduzir a procura de polímeros virgens, bem como resíduos em aterros.

Buscando fazer uma análise comparativa, a pesquisa de Arce-Bastias (2022) avaliou o desempenho ambiental da produção de postes a partir de resíduos plásticos pós-consumo com os postes de matéria-prima virgem, que são utilizados na aramação de vinhas, na Argentina. Como método de pesquisa, o autor realizou a ACV, com base na ISO 14.040 e ISO 14.044, foi utilizado dados do Ecoinvent 3.6, o Software SimaPro, a análise de sensibilidade e o IPCC 2013 para emissões de GEE. Os principais resultados encontrados demonstram que matéria-prima virgem gerou 0,16kg co₂-eq de GEE em aterros e os materiais reciclados gerou 0,15kgco₂-eq na eliminação do produto, com uma poupança ambiental (indicador de Taxa de Benefícios da Reciclabilidade – RBR) de 22% em relação a matéria-prima virgem. Este indicador mostrou um benefício ambiental positivo, com diminuição das emissões de gases com efeito estufa, ao comparar a reciclagem com a deposição em aterro.

A pesquisa de Myrin, Borjesson e Ericsson (2022) analisou um sistema de reciclagem de ciclo fechado envolvendo um fabricante de plásticos na Suécia, que produz e reprocessa vários produtos plásticos. Para tanto, os autores analisaram as propriedades físicas e da segurança alimentar e a avaliação do desempenho energético e de GEE do ciclo de vida do sistema de reciclagem em circuito fechado e de três outras opções convencionais. Dessa forma, os resultados mostram deterioração na qualidade do material das placas plásticas após seis ciclos de reprocessamento, mas mantiveram a funcionalidade e o cumprimento dos requisitos de segurança alimentar. Além disso, os resultados mostram que as emissões de GEE do ciclo de vida do sistema de reciclagem em circuito fechado correspondem a 20-60% das emissões dos sistemas alternativos. Esse estudo demonstrou a importância de levar em conta a qualidade do material nas avaliações do ciclo de vida e confirmou os benefícios de GEE dos sistemas de ciclo fechado.

Um estudo de Arce-Bastias et al (2023) buscou avaliar os benefícios ambientais da Simbiose Industrial (SI), sendo proposto para tal um indicador de desempenho simbiótico baseado na Análise de Ciclo de Vida (ACV). Na metodologia os autores utilizaram a ISO 14040 e 14044 e o banco de dados do Ecoinvent 3.6 contido no software SIMAPRO® para

fazer a ACV, o método CEENE (Cumulative Exergy Extraction from the Natural Environment) para análise do uso de recursos, e o método IPCC 2013 GWP 100a para verificar as emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE). Realizaram um estudo de caso com três empresas em Mendoza, na Argentina, que reciclam plástico pós-indústria (PE e PP) e pós-consumo, e a partir disso produzem pellets de plástico que são matéria-prima para novos produtos, postes plásticos e caixas plásticas. Foram analisados vários cenários para permitir a comparação de situações com e sem a simbiose industrial. Em termos ambientais, os autores concluíram que a produção de PP virgem e o uso de eletricidade são os fatores responsáveis pelos maiores impactos. Por fim, o estudo aponta que o uso da simbiose pode reduzir em 19% e 15% o uso de recursos e emissões de GEE, respectivamente, para os casos estudados, principalmente devido a substituição de PP virgem por plásticos reciclados.

Na Noruega foi realizado um estudo por Callewaert, Raadal e Lyng (2023) para avaliar estratégias para os resíduos plásticos de embalagens, através da análise de fluxo de materiais, tendo em vista metas políticas de impacto ambiental. A pesquisa analisou resíduos plásticos pós-consumo, especificamente gerados em residências. O sistema existente foi comparado a sistemas propostos avaliando o impacto do aumento da separação, da capacidade de triagem dos resíduos, localização da instalação de triagem e sua eficiência. Para avaliar o atendimento às metas de reciclagem foram empregados os indicadores de taxa de separação e de taxa de reciclagem. A análise do ciclo de vida considerou informações locais, dados da literatura, banco de dados Ecoinvent 3.8, sendo utilizado o método EF3.0 para avaliação do impacto ambiental, conforme Fazio et al (2018). A pesquisa revelou que fatores como o aumento da separação de resíduos e o aumento da triagem podem contribuir para reduzir o impacto ambiental da mudança climática, que é uma das categorias de impacto mais importantes, conforme identificado no estudo.

Buscando quantificar as emissões de GEE da indústria de plásticos sul-africana e da cadeia de valor, a pesquisa de Goga et al. (2023) utilizou a metodologia da ACV, com base na metodologia de Zheng e Suh (2019) e com os dados do ecoinvent 3.621 e o método de avaliação de impacto do IPCC 2013 GWP 100a. Os autores concluíram que no ciclo de vida, o setor do plástico na África do Sul emitiu cerca de 15,3 Mt CO₂eq em 2015. A fase de produção de resina foi a fonte dominante de emissões GEE devido à natureza específica da produção de monômero de etileno e propileno na África do Sul. Outras contribuições significativas incluem o impacto da energia baseada no carvão, bem como as emissões provenientes de métodos informais de eliminação, especialmente a queima de resíduos plásticos.

A tabela 4 sintetiza os principais resultados apresentados pelos artigos na revisão de literatura, contemplando os tipos de plásticos, as metodologias utilizadas, os principais resultados e as recomendações dos pesquisadores.

Tabela 4- Dados descritivos dos artigos analisados.

Plásticos analisados	Metodologias	Resultados	Recomendações
Resíduos de plásticos	ACV; Ecoinvent 3.6 e 3.8; Software SimaPro; método EF3.0	Redução de resíduos e identificação de impactos ambientais variáveis dependendo do método de recuperação utilizado.	Implementar tecnologias que maximizem a recuperação e minimizem os impactos negativos; Expandir programas de reciclagem e aumentar a conscientização sobre o uso de plásticos reciclados e resíduos em nível doméstico
PET	ACV; OpenLCA; TRACI; Ecoinvent 3.3	Redução significativa da pegada de carbono comparada ao uso de PET virgem; triagem adequada melhora a sustentabilidade e a viabilidade econômica do processo de reciclagem.	Promover incentivos para o aumento da reciclagem de PET na região.
PE	ACV; Brightway; Ecoinvent v3.7	O uso de resinas recicladas diminui os impactos ambientais.	Incentivar a indústria a incorporar mais resinas recicladas em seus produtos.



PP; OS; MPO; PE	ACV	Benefícios ambientais em cenários circulares, especialmente em reciclagem mecânica e termofísica.	Implementar políticas para fomentar a economia circular em embalagens plásticas.
Polimeros	ACV; SimaPro; ecoinvent 3.621	Identificação de gargalos na cadeia de reciclagem de plásticos.; Qualidade do material reciclado comparável ao novo, com menor emissão de GEE; Embalagens retornáveis mostram menor impacto ambiental ao longo do ciclo de vida.	Fortalecer a infraestrutura de reciclagem e incentivar a pesquisa em tecnologias de reciclagem; Promover a adoção de sistemas de reciclagem em ciclo fechado na indústria; Estabelecer regulamentações mais rígidas e incentivar tecnologias de produção mais limpas; Incentivar o uso de embalagens retornáveis nas entregas.
PE; PP	ACV; <i>Ecoinvent</i> 3.6 ; <i>SIMAPRO</i> ; método CEENE	PP virgem e o uso de eletricidade são os fatores responsáveis pelos maiores impactos ambientais.	Fomentar parcerias e colaborações entre diferentes setores para otimizar a reciclagem.
CPP	ACV	Identificação de barreiras para a compostagem eficaz.	Desenvolver diretrizes claras e infraestrutura para compostagem de plásticos compostáveis.
PS	ACV	O processo de reciclagem reduz significativamente os impactos ambientais em comparação ao descarte.	Desenvolver programas específicos de reciclagem para plásticos de refrigeradores e aumentar a conscientização

Observa-se que os principais resultados demonstram que a reciclagem do plástico reduz a GEE, mas são necessárias medidas de aprimoramento principalmente no que diz respeito a políticas de incentivo de reciclagem e o fortalecimento da infraestrutura para a realização dessas operações.

Em relação aos softwares utilizados nas pesquisas, há a predominância da utilização de modelos privados. Esses softwares possuem sua interface mais acessível, bem como a disponibilidade de suporte e de centros de estudo. Somente um estudo utilizou software livre, sendo este o OpenLCA. As pesquisas demonstraram que os métodos seguem padrões normativos (ISO 14040, ISO 14044) e utilizam dados de bancos como o Ecoinvent.

Entre os resultados apresentados pelas pesquisas destacam que a energia e as matérias-primas são considerados fatores críticos para as emissões de GEE. Como a pesquisa de Aristizábal-Alzate et al. (2020) que enfatiza que a variável eletricidade e o GLP possuem efeito significativo na pegada de carbono, enquanto Goga et al. (2023) relata o impacto elevado relacionado ao uso de energia à base de carvão e às práticas informais de eliminação de resíduos.

Observa-se uma diferença inerente entre os métodos de quantificação das emissões de gases de efeito estufa utilizados, o que dificulta a comparação dos resultados e a estruturação para o mercado de créditos de carbono (Wang et al., 2024; Sankaran, 2023; Elia et al., 2017). Como exemplo, podem-se citar os artigos de Aristizábal et al. (2020) e Qin et al. (2024), que mostram que a taxa de emissão pela reciclagem de resíduos plásticos (kgCO₂/kg), de PET e ABS respectivamente, apresentaram uma diferença em três ordens de grandeza.

CONCLUSÕES

Este trabalho teve como motivação investigar as metodologias empregadas no cálculo das emissões de gases de efeito estufa para produtos plásticos de economia circular. A pesquisa tem como justificativa a busca por soluções em destinação de resíduos plásticos, o potencial em desenvolvimento de projetos de economia circular para estes resíduos, a demanda crescente por descarbonização da indústria; mercado em desenvolvimento para créditos de carbono, e por fim a necessidade de integração desses tópicos.

Observou-se que a metodologia predominante nos estudos é a análise de ciclo de vida, tendo como embasamento os padrões normativos da ISO 14040 e ISO 14044. Para obtenção dos resultados, são empregados softwares que calculam os impactos como SimaPro ou OpenLCA, com variações em relação à base de dados e métodos de análise de impactos.

Identificou-se ainda que os resultados são suscetíveis às definições de premissas, e por vezes, os autores fazem uso de métodos de análise de sensibilidade, com intuito de reduzir o viés da pesquisa e discutir simulações em condições diversificadas.

De modo geral, os resultados demonstraram que a economia circular em resíduos plásticos traz reduções de emissões de GEE quando comparado à produtos virgens, ou em cenários de destinação de resíduos onde os materiais não retornam ao ciclo produtivo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Arce-Bastias, F. **Beneficios ambientales del reciclaje de residuos plásticos posconsumo para la producción de postes en Mendoza, Argentina.** Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, v. 25, n. spe, 2022
2. Chertow, M. R. Industrial Symbiosis: Literature and taxonomy. **Annual review of energy and the environment**, v. 25, n. 1, p. 313–337, 2000.
3. Hoogmartens, B.; Passel, S. V.; Acker, K. V.; Dubois, M. **Briding the gap between LCA, LCC, and CBA as sustainability assessment tools.** Environmental Impact Assessment Review, v.48, p. 27-33, setembro, 2014.
4. Jabbour, A. B. L.; Jabbour, C. J.; Filho, M. G.; Roubaud, D. **Industry 4.0 and the circular economy: a proposed research agenda and original roadmap for sustainable operations.** Annals of operations research. V. 270, p 273-286, 2018.
5. Landim, A. P. M.; Bernardo, C. O.; Martins, I. B.; Francisco, M. R.; Santos, M. B.; Melo, N. R. **Sustentabilidade quanto às embalagens de alimentos no Brasil.** Polímeros, n. 26, pg 82-2, 2016.
6. Macedo, I.; Souza, M. D. L.; Shinohara, N. K. S.; Santos, C. S. **Reciclagem do polietileno tereftalato (PET) no fomento da economia circular.** Brazilian Journal of Development, v.6, n. 8, p. 57704-57723. Agosto, 2020.
7. Machado, J. A.; Vendruscoso, M. I.; Rodrigues, A. T. **Práticas ambientais, sociais e corporativas (ASG) para um eficiente modelo de gestão sustentável: um estudo de caso.** XVIII congresso USP de iniciação científica em contabilidade. São Paulo, 29 julho de 2022.
8. Ragaert, K.; Ragot, C.; Van Geem, K. M. **Clarifying European terminology in plastics recycling.** Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry, v. 44, p. 100871, 2023. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2452223623001190>>.
9. Peña, C.; Civit, B.; Schmid, A. G.; Druckman, A. **Using life cycle assessment to achieve a circular economy.** Position paper of the life cycle initiative, julho, 2020.
10. Petticrew, M.; Roberts, H. **Systematic Reviews in the Social Sciences: A Practical Guide.** Oxford, UK: Blackwell Publishing Ltd, 2006.
11. Ribeiro, M. S. **O tratamento contábil dos créditos de carbono.** 2005. Tese (Livre Docência em Contabilidade Geral) - Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade de Ribeirão Preto, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2005. doi:10.11606/T.96.2006.tde-11082006-093115. Acesso em: 24 set. 2024.
12. Savisaar, E. **Report Stockholm+50: a healthy planet for the prosperity of all – our responsibility, our opportunity.** Stockholm: United Nations, 2022. Disponível em: <https://documents-dds-ny.un.org/doc/UNDOC/GEN/K22/117/97/PDF/K2211797.pdf?OpenElement>. Acesso em: 26 set. 2024.
13. Souza, A. L.; Ramos, E. J.; Júnior, A. C.; Andrade, J. C.; Ramos, A. J. S. **Análise dos aspectos contábeis no reconhecimento dos créditos de carbono em projetos de mdl no Brasil.** XVII Congresso brasileiro de custos, Belo Horizonte, Novembro, 2010.
14. Teixeira, D. S. **A natureza jurídica do crédito de carbono no Brasil e seus impactos no mercado voluntário.** Revista Políticas Públicas & Cidades, [S. l.], v. 13, n. 2, p. e1037, 2024. DOI: 10.23900/2359-1552v13n2-157-2024. Disponível em: <https://journalppc.com/RPPC/article/view/1037>. Acesso em: 9 out. 2024.