



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA



IZABEL DA SILVA FONTANA

Explorando o universo dos bioplásticos e de sua biodegradabilidade:
uma revisão da literatura

Uberlândia - MG

2025

IZABEL DA SILVA FONTANA

Explorando o universo dos bioplásticos e de sua biodegradabilidade:
uma revisão da literatura

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Engenharia Química da
Universidade Federal de Uberlândia como
requisito parcial para obtenção do título de
bacharel em Engenharia Química.

Área de concentração: Engenharia Bioquímica

Orientador: Marina Seixas Pereira

Uberlândia - MG

2025



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Faculdade de Engenharia Química

Av. João Naves de Ávila, 2121, Bloco 1K - Bairro Santa Mônica, Uberlândia-MG, CEP
38400-902

Telefone: (34) 3239-4285 - secdireq@feq.ufu.br - www.feq.ufu.br



ATA DE DEFESA - GRADUAÇÃO

Curso de Graduação em:	Engenharia Química				
Defesa de:	Trabalho de Conclusão de Curso				
Data:	26/09/2025	Hora de início:	14h00min	Hora de encerramento:	15h15min
Matrícula do Discente:	12021EQU018				
Nome do Discente:	Izabel da Silva Fontana				
Título do Trabalho:	Explorando o universo dos bioplásticos e de sua biodegradabilidade: vantagens e desafios				

A defesa do Trabalho de Conclusão de Curso ocorreu na sala 1K228 do Campus Santa Mônica e a Banca Examinadora assim composta: **Ms. Warlen Agnelo Dias - PPGEQ/UFU, Profa. Dra. Fabiana Regina Xavier Batista - FEQUI/UFU e Profa. Dra. Marina Seixas Pereira - FEQUI/UFU**, orientadora da candidata. Iniciando os trabalhos, a presidente da mesa, **Profa. Dra. Marina Seixas Pereira - FEQUI/UFU**, apresentou a Comissão Examinadora e a candidata e concedeu à discente a palavra, para a exposição do seu trabalho. A duração da apresentação da discente e o tempo de arguição e resposta foram conforme as normas do curso.

A seguir o senhor(a) presidente concedeu a palavra, pela ordem sucessivamente, aos(as) examinadores(as), que passaram a arguir o(a) candidato(a). Ultimada a arguição, que se desenvolveu dentro dos termos regimentais, a Banca, em sessão secreta, atribuiu o resultado final, considerando o(a) candidato(a):

Aprovado(a). Nota: 95 (noventa e cinco).

Nada mais havendo a tratar foram encerrados os trabalhos. Foi lavrada a presente ata que após lida e achada conforme foi assinada pela Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Marina Seixas Pereira, Professor(a) do Magistério Superior**, em 26/09/2025, às 15:22, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Fabiana Regina Xavier Batista, Professor(a) do Magistério Superior**, em 26/09/2025, às 15:22, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Warlen Agnelo Dias, Usuário Externo**, em 26/09/2025, às 15:22, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site
[https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?
acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0](https://www.sei.ufu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **6713513** e o código CRC **99D6ED41**.

Referência: Processo nº 23117.067363/2025-80

SEI nº 6713513

IZABEL DA SILVA FONTANA

**Explorando o universo dos bioplásticos e de sua biodegradabilidade:
uma revisão da literatura**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Engenharia Química da
Universidade Federal de Uberlândia como
requisito parcial para obtenção do título de
bacharel em Engenharia Química

Área de concentração: Engenharia Bioquímica

Uberlândia, 26 de Setembro de 2025.

Banca Examinadora:

Prof.^a Dra. Marina Seixas Pereira

Orientadora – FEQUI/UFU

Dra. Fabiana Regina Xavier Batista

Membro da banca – FEQUI/UFU

Ms. Warlen Agnelo Dias

Membro da banca – PPGEQ/UFU

“Não podemos resolver nossos problemas com
o mesmo pensamento que os criou.”

Albert Einstein

Dedico este trabalho à minha família por ser,
ao mesmo tempo, minha fonte de coragem e
inspiração e meu porto seguro nessa longa
jornada universitária e na vida.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus por ter me concedido essa vida e ter me iluminado durante toda a minha trajetória até aqui.

Agradeço a minha família que sempre foi meu esteio em todos os meus momentos até aqui com conselhos, paciência, carinho, brincadeiras e respeito, além de me apoiarem e comemorarem a minha escolha de curso. Especialmente, quero agradecer a três pessoas. Primeiramente, minha mãe, Vera, por ter me concedido o privilégio de ser sua filha e sempre me ensinar com sua experiência, sabedoria e carinho como superar os desafios da vida da maneira mais radiante possível, mesmo em condições tortuosas. Segundamente, minha irmã, Natália, que além de ser a pessoa que literalmente mais ficou ao meu lado durante a jornada universitária, me ajudando a levantar em cada queda e comemorando cada uma das minhas vitórias presencialmente, ainda me ensinou muito sobre companheirismo, cumplicidade e superação, sendo um farol para o qual sempre posso retornar quando estou perdida. E por fim, minha avó Helena, que mesmo não estando mais aqui para comemorar esse momento tão especial comigo, sempre esteve e me iluminará em minha trajetória.

Agradeço aos meus professores e professoras por, além de agregarem na minha vida acadêmica, me fornecerem conselhos, incentivo, motivação e orientação nesta caminhada acadêmica, sendo, todos, fontes de inspiração para traçar minha jornada além da graduação e dos quais sempre guardarei em minhas lembranças. Em particular, quero agradecer a professora Marina por aceitar o desafio de me orientar neste Trabalho de Conclusão de Curso, me fornecendo todo o suporte possível.

Agradeço também aos amigos que encontrei ao longo desses anos universitários, que além de me apoiarem, me ensinarem e acreditarem em mim, fizeram a minha jornada ser muito prazerosa, divertida e leve, sendo relações que levarei para o resto de minha vida.

Por fim, agradeço à Universidade Federal de Uberlândia (UFU) e a todas as entidades que participei, por oferecer diversas oportunidades e experiências que contribuíram para minha formação acadêmica e pessoal.

RESUMO

Os plásticos são essenciais para a sociedade contemporânea, já que possuem variadas aplicações, alta durabilidade e relativamente baixo custo de produção e, por isso, estão presentes em praticamente todos os setores da sociedade. Entretanto, na mesma proporção em que são indispensáveis e com alta procura, por apresentarem elevada resistência à degradação e serem derivados de recursos não renováveis, como o petróleo, os plásticos convencionais emergem como uma questão crítica no século XXI, com impactos negativos para o meio ambiente e a sociedade. Nesse viés, surge a necessidade de alternativas que minimizem esses problemas, e ao mesmo tempo cumprem a demanda atual e são capazes de absorver seu crescimento futuro. Desta forma, os bioplásticos e compostos biodegradáveis ganham destaque e são estudados como possíveis soluções. Assim, este trabalho realizou uma revisão bibliográfica com foco em reunir os principais conhecimentos construídos até o momento acerca dos bioplásticos e da sua biodegradabilidade, utilizando-se para isso de artigos científicos sobre a temática publicados nas plataformas do *ScienceDirect* e *Wiley* nos últimos cinco anos. Com isso, foi possível esclarecer conceitos e abordar resumidamente algumas variedades em destaque atualmente, suas propriedades e origem, sendo elas o ácido polilático (PLA), poli-hidroxialcanoatos (PHAs), furanoato de polietileno (PEF), succinato de polibutileno (PBS) e os plásticos *drop-in*. Além disso, analisou-se os impactos desses materiais emergentes sob uma óptica socioeconômica e ambiental, ponderando sobre os reais benefícios trazidos por essa solução, bem como suas perspectivas de desenvolvimento no futuro. Logo, este estudo visou a promoção de conexões entre os estudos desenvolvidos até o momento e o auxílio na compreensão do tema proposto.

Palavras-chave: bioplásticos; biodegradação; ciclo dos plásticos; perspectivas.

ABSTRACT

Plastics are essential for contemporary society, as they have a variety of applications, high durability and relatively low production costs, and are therefore present in practically all sectors of society. However, while they are indispensable and in high demand due to their high resistance to degradation and their derivation from non-renewable resources, such as petroleum, conventional plastics are emerging as a critical issue in the 21st century, with negative impacts on the environment and society. In this context, there is a need for alternatives that, while minimizing these problems, must meet current demand and be capable of absorbing future growth. Thus, bioplastics and biodegradable compounds are gaining prominence and being studied as potential solutions. Therefore, this work conducted a literature review focused on gathering the main knowledge acquired to date about bioplastics and their biodegradability, using scientific articles on the subject published on ScienceDirect and Wiley platforms over the last five years. This allowed for a clear understanding of concepts and a brief overview of some currently popular materials, including their properties and origins, including polylactic acid (PLA), polyhydroxyalkanoates (PHAs), polyethylene furanoate (PEF), polybutylene succinate (PBS), and drop-in plastics. Furthermore, the impacts of these emerging materials were analyzed from a socioeconomic and environmental perspective, considering the real benefits of this solution, as well as its future development prospects. Therefore, this study aimed to foster connections between the studies developed to date and to aid in understanding the proposed topic.

Keywords: bioplastics; biodegradation; plastics cycle; prospects.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1– Tipos de plásticos	18
Figura 2 – Ciclo de vida dos microplásticos.....	19
Figura 3 – Ciclo de vida dos bioplásticos e dos plásticos convencionais.....	26

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Bio-PA	Biopoliamidas
Bio-PE	Biopolietileno
Bio-PET	Biopolietileno tereftalato
CMC	Carboximetilcelulose
FDCA	Ácido 2,5-furandicarboxílico
IUPAC	União Internacional de Química Pura e Aplicada
MEG	Monoetilenoglicol
PBS	Succinato de polibutileno
PBSA	Poli(butileno succinato-coadipato)
PC	Policarbonato
PEAD	Polietileno de alta densidade
PEF	Furanoato de polietileno
PET	Polietileno tereftalato
PHAs	Poli-hidroxialcanoatos
PHB	Poli-4-hidroxibutirato
PHV	Poli-3-hidroxivalerato
PLA	Ácido polilático
PTA	Ácido tereftálico aromático

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
2	METODOLOGIA.....	15
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	16
3.1	Conceitos.....	16
3.1.1	<i>Bioplásticos</i>	16
3.1.2	<i>Biodegradabilidade</i>.....	17
	3.1.2.1 <i>Microplásticos</i>	18
3.2	Bioplásticos: variedades, propriedades e disponibilidade	20
3.2.1	<i>Ácido polilático (PLA)</i>	20
3.2.2	<i>Poli-hidroxialcanoatos (PHAs)</i>	21
3.2.3	<i>Furanoato de polietileno (PEF)</i>	21
3.2.4	<i>Succinato de polibutileno (PBS)</i>	22
3.2.5	<i>Bioplásticos drop-in</i>	22
3.3	Insumos da produção dos bioplásticos.....	23
3.3.1	<i>Bioplástico a partir de alga</i>.....	24
3.3.2	<i>Bioplástico a partir de permeado de soro de leite</i>	25
3.4	Impactos dos Bioplásticos	26
3.5	Perspectivas Futuras	29
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	32
	REFERÊNCIAS.....	33

1 INTRODUÇÃO

Desde a descoberta de seu potencial até a atualidade, o petróleo se transformou em um dos recursos mais valiosos para a sociedade, sendo amplamente empregado em diversos setores, como o energético, o automobilístico e o petroquímico (Farah, 2012). Enquanto o carvão foi pioneiro no processo da Revolução Industrial, o “ouro negro” foi o protagonista de sua segunda fase, principalmente com a criação dos motores à combustão interna, transformando totalmente as perspectivas e o modo de vida das pessoas em um contexto mundial (Sauer, 2016).

Um dos principais fatores que torna o petróleo e outros combustíveis fósseis indispensáveis na contemporaneidade, é a possibilidade de utilizar os seus derivados, dentre eles o etileno, o propileno e o butadieno, como monômeros para a produção de plásticos (Canevarolo Jr., 2006). Nesse viés, a importância desses produtos justifica-se principalmente pela versatilidade de uso, pelo baixo custo associado à sua produção e por sua notável durabilidade, podendo ser encontrado em praticamente todos os setores da sociedade (Ghobish et al., 2025).

Entretanto, a mesma alta durabilidade dos plásticos, antes vista como uma qualidade, torna-se um problema justamente por sua resistência à degradação, a qual pode levar de diversas décadas até um milênio para serem completamente metabolizadas pelo meio ambiente e desaparecerem (Singh; Sharma, 2008). Outra questão crítica, é a sua capacidade de, durante esse processo, se fragmentar em pedaços menores, gerando partículas com diâmetros inferiores à 5mm, denominadas de microplásticos, e que são potencialmente prejudiciais à saúde dos seres vivos (Ghobish et al., 2025). Logo, os plásticos tornaram-se um problema emergente e urgente da sociedade contemporânea, na mesma proporção que a sua relevância. Além disso, por serem derivados de combustíveis fósseis, a sua produção contribui na emissão de gases do efeito estufa (Buis, 2019 apud Atiwesh et al., 2021) e, a longo prazo, será impossibilitada por conta do esgotamento desses recursos, os quais não são renováveis.

Diante disso, a busca por alternativas aos plásticos convencionais que sejam sustentáveis, degradáveis facilmente e com menor impacto ao meio ambiente, torna-se de vital necessidade e é intensificada nos dias atuais. Neste contexto, surgem os bioplásticos e os compostos biodegradáveis como opções para substituí-los, sendo uma temática extensa e relativamente recente (Atiwesh et al., 2021).

Por conta disso, mesmo possuindo diversos trabalhos relacionados a essa temática, ainda há diversas lacunas em relação aos bioplásticos, seus tipos e suas propriedades, a sua biodegradabilidade e seus impactos nas esferas socioeconômica e ambiental. Agregado a isso,

observa-se que boa parte dos trabalhos desenvolvidos até o momento tendem a abordá-la em eixos e aspectos muito específicos, tornando o conhecimento adquirido até o momento em diversos fragmentos analisados de uma óptica particular.

Logo, o presente trabalho de conclusão de curso visou a confecção de uma revisão bibliográfica com o objetivo de explorar a temática dos bioplásticos e de sua biodegradabilidade e reunir os principais pontos encontrados nas diversificadas pesquisas existentes sobre o tema. Para isso, primeiramente, elucidou-se os conceitos de bioplásticos e biodegradabilidade, que ainda geram ambiguidades ao serem utilizadas, além de abordar de forma sucinta sobre os microplásticos. Depois, fez-se um levantamento dos principais tipos de bioplásticos desenvolvidos até o momento, analisando brevemente as suas propriedades e disponibilidades, além de apresentar dois estudos com insumos diferentes. Por fim, avaliou-se os impactos dos bioplásticos nas esferas ambiental e socioeconômica e suas perspectivas futuras.

No mais, este estudo proporcionou uma visualização mais ampla e genérica sobre a temática, contribuindo para sintetização dos aspectos principais pertinentes a ela. Desta forma, os resultados obtidos podem contribuir para agregar na exploração da temática e na promoção de conexões entre as pesquisas desenvolvidas recentemente.

2 METODOLOGIA

Esta revisão bibliográfica foi realizada de forma sistemática e sintetizou as informações apresentadas por outros pesquisadores e acadêmicos em suas pesquisas e trabalhos. Para isso, utilizou-se as bases de dados *ScienceDirect* e *Wiley* com as seguintes palavras-chaves em sua busca: “*bioplastic*”, “*properties*”, “*impacts*”. Além disso, para direcionar ainda mais os resultados obtidos, usou-se o filtro “*chemical engineering*” na base do *Science Direct* e o “*chemical & biochemical engineering*” no *Wiley*. Ademais, a pesquisa realizada priorizou artigos, publicados nos últimos cinco anos, redigidos nos idiomas de espanhol, inglês e português e disponíveis livremente.

Desta forma, encontrou-se 461 artigos, sendo 342 disponíveis no *ScienceDirect* e 119 no *Wiley*. A partir deles, foram selecionados 38 artigos para constituírem os resultados e a discussão, sendo eles alinhados com os objetivos propostos por esse trabalho e compondo uma amostragem representativa dos demais. Os resultados encontrados foram organizados nos seguintes tópicos:

- conceitos: esclarecimento sobre os significados de bioplásticos e biodegradabilidade, além de uma contextualização sobre microplásticos, o qual está intrinsecamente correlacionado ao processo degradativo;
- bioplásticos: variedades, propriedades e disponibilidade, com abordagem de algumas das variedades mais consolidadas, suas propriedades físico-químicas mais básicas e como obtê-las;
- insumos da produção dos bioplásticos: apresentação de dois estudos experimentais com matérias primas distintas;
- impacto dos bioplásticos: análise de suas influências nas esferas ambiental e socioeconômica;
- perspectivas futuras: possíveis projeções em relação a aplicabilidade deles e seus desafios.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Conceitos

Os termos bioplásticos e biodegradabilidade são frequentemente mencionados na busca por substitutos ideais aos plásticos convencionais, já que se visa a produção de compostos ecologicamente corretos e que minimize o impacto à saúde (Gioia et al., 2021). Entretanto, para a comunidade em geral, é comum associar esses termos como sinônimos, embora na realidade sejam bastantes distintos (Moshhood et al., 2022). Nesse sentido, esses conceitos são básicos para entendimento inicial da temática e as implicações no futuro sustentável, os quais serão abordados nos próximos tópicos.

3.1.1 Bioplásticos

Na análise das diversas literaturas, não é identificado um consenso absoluto no mundo científico sobre a definição dos bioplásticos. Pelo artigo “*End of Life of Biodegradable Plastics: Composting versus Re/Upcycling*”, os bioplásticos significam polímeros derivados de biomassa e/ou biodegradáveis (Gioia et al., 2021). Segundo a Comissão Europeia, os bioplásticos são plásticos derivados de bases biológicas/biomassa, como de plantas, microrganismos e algas (European Commission, 2022). Conforme a União Internacional de Química Pura e Aplicada (IUPAC), seu conceito traz o seguinte significado:

Polímero de base biológica derivado da biomassa ou emitido a partir de monômeros derivados da biomassa e que, em algum estágio de seu processamento em produtos acabados, pode ser moldado pelo fluxo (IUPAC, 2025).

Diante dessas definições, embora possuam alguns aspectos divergentes, percebe-se que essencialmente os bioplásticos podem ser conceituados como uma categoria de polímeros cuja origem está em compostos derivados de biomassa. Mesmo assim, para evitar esses desvios de interpretação, a IUPAC sugere que o termo bioplástico não seja empregado e em seu lugar seja utilizado o termo “polímeros de base biológica” ou outros similares, como “plásticos bioderivados” (IUPAC, 2025). Logo, os bioplásticos são uma fonte que proporciona uma rota alternativa para produção de plásticos, evitando o emprego de recursos não renováveis e,

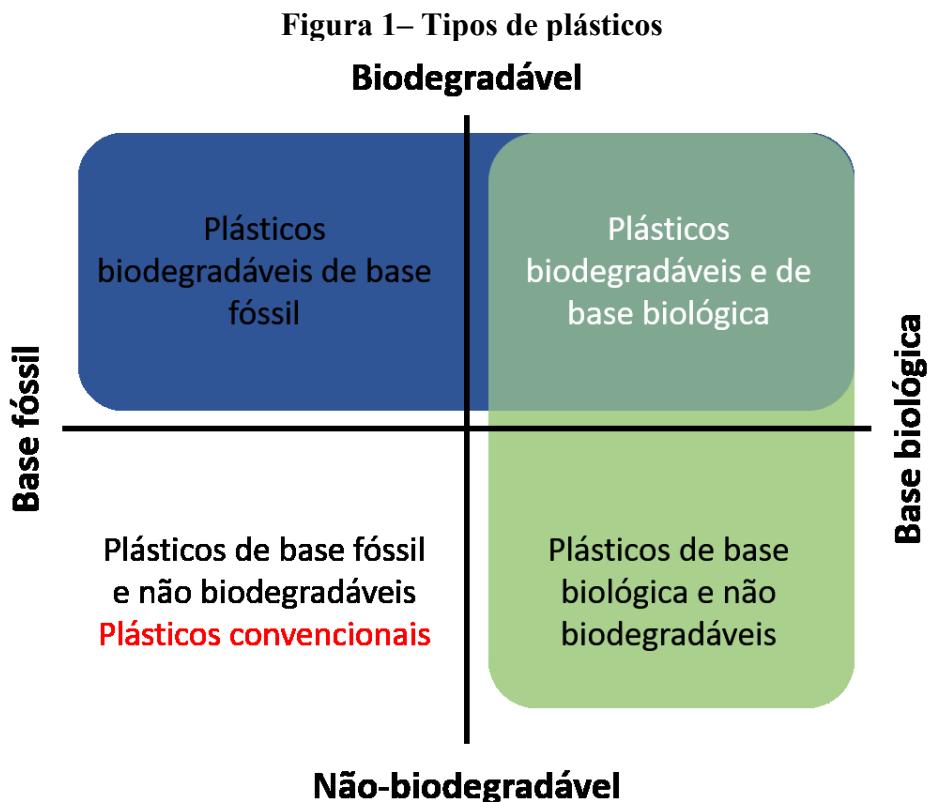
consequentemente, garantindo a produção desse recurso indispensável para a sociedade a longo prazo.

3.1.2 Biodegradabilidade

Segundo a IUPAC, a degradação ocorre quando um composto ou objeto perdem a sua funcionalidade e suas principais características, sendo que os prefixos e adjetivos anteriores a esse termo indicam o principal mecanismo para a ocorrência desse processo (IUPAC, 2025). Logo, a biodegradação é um processo de degradação que ocorre por meio da atividade biológica e gera compostos não tóxicos (Folino; Pangallo; Calabrò, 2023). Nesse viés, a biodegradabilidade é a capacidade de determinado composto ser degradado por meio da ação de agentes biológicos, como os microrganismos (IUPAC, 2025).

Mais detalhadamente, a Comissão Europeia define a biodegradabilidade como o processo degradativo em que componentes orgânicos dos plásticos transformam-se em dióxido de carbono, água, biomassa, sais minerais e, na ausência de oxigênio, metano (European Commission, 2020). Assim, diferentemente dos bioplásticos, a conceituação de biodegradabilidade, embora com distintos modos de ser expressa, convergem entre si e é amplamente aceita como tal.

Portanto, a biodegradabilidade é independente dos recursos utilizados para produção dos plásticos, já que esta só depende da análise da taxa de degradação de determinado composto perante a ação de microrganismo, ou seja, da interação química entre eles (Filiciotto; Rothenberg, 2021; Gioia et al., 2021). Dessa maneira, existe tanto plásticos de base biológica como de base fóssil que são biodegradáveis (Moshhood et al., 2022). Além do mais, também implica que nem todos os plásticos bioderivados são biodegradáveis (European Commission, 2020). Essa forma de categorizar os possíveis plásticos pode ser ilustrada pela Figura 1, na qual essas diferenças são evidenciadas e definidas.



Fonte: Adaptado de European Commission, 2022.

Logo, a busca por alternativas sustentáveis aos plásticos convencionais, de base fóssil e não biodegradável, deve priorizar que os substitutos sejam simultaneamente de base biológica e biodegradável.

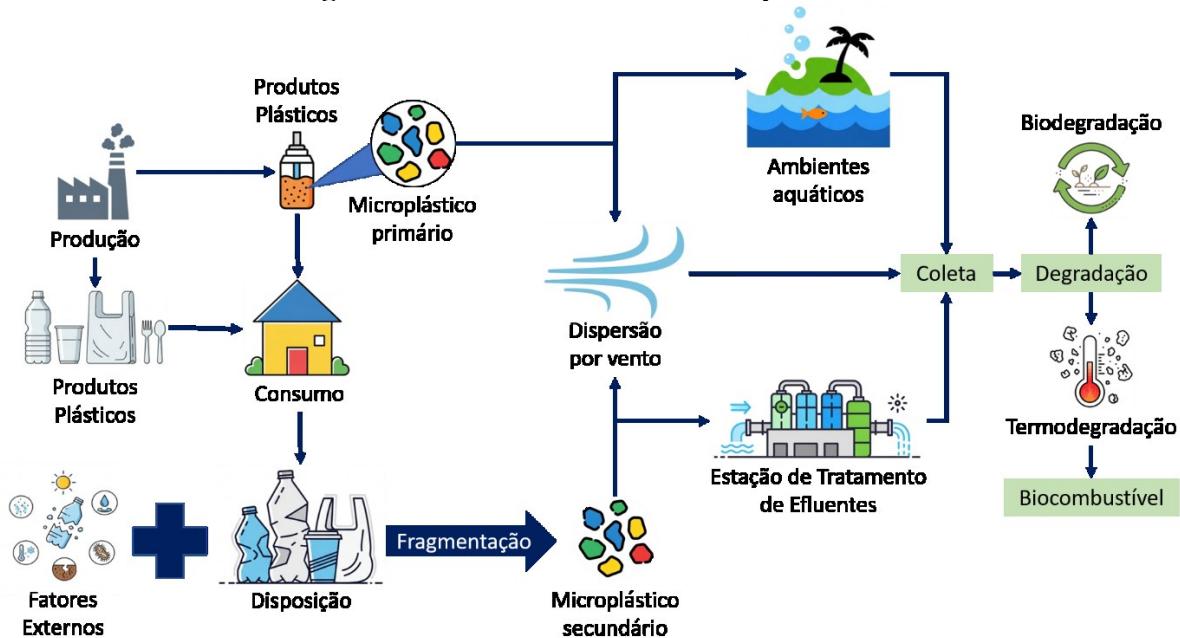
3.1.2.1 Microplásticos

Como os demais recursos presentes no meio ambiente, os plásticos também sofrem processos degradativos (Filiciotto; Rothenberg, 2021). Durante eles, caso sejam plásticos biodegradáveis, acontecem duas etapas principais: fragmentação e metabolização posterior pelos microrganismos, originando outros compostos (Gioia et al., 2021). No entanto, quando eles não são biodegradáveis, esse processamento é parcial, ou seja, embora possa ser reduzido de tamanho, os plásticos não são decompostos e absorvidos pelo meio ambiente, em condições naturais (Arpia et al., 2021; Barcelo; Pico, 2020). Logo, os macroplásticos, partículas com tamanho superior a 2,5 cm, e os mesoplásticos, com diâmetro entre 2,5 cm e 5 mm, destinados inadequadamente em ambientes terrestre e aquáticos e expostos a fatores externos degradativos, como água e luz, transformam-se em microplásticos e nanoplasticos, partículas com tamanhos inferiores a 5 mm (Barcelo; Pico, 2020; Filiciotto; Rothenberg, 2021).

Além do processo degradativo parcial dos macroplásticos, os quais os microplásticos são classificados como secundários, eles também são fabricados para aplicações específicas em diversas indústrias, como a produção de microfibras para o setor têxtil, sendo denominados de primários (Arpia et al., 2021). Desta forma, independente da sua origem, quando destinados inadequadamente em ambientes externos e não são coletados para realizar sua degradação completa por meio de processos térmicos ou biológicos com condições específicas, concluindo o seu ciclo de vida (Figura 2) (Arpia et al., 2021), os microplásticos são acumulados nos ambientes aquáticos e terrestres (Wang, 2025). Estimativas realizadas pela Fundação Ellen McArthur, indicam que até 2050 a quantidade em peso de plásticos presentes no oceano superará a de peixes (Smet, 2016).

Nesse viés, os microplásticos e nanoplasticos acumulados, pelas suas dimensões e por estarem dispersos no ambiente aquático e no ar, são difíceis de serem separados e são ingeridos, inalados e/ou absorvidos pelos seres vivos, penetrando a cadeia alimentar e se acumulando em seus organismos (Arpia et al., 2021). Desta forma, diversos estudos foram realizados a fim de explorar os possíveis efeitos dessas partículas nos seres vivos, sendo constatado o seu perigo para a saúde dos mesmos e revelando eles como problemática emergente (Allouzi et al., 2021).

Figura 2 – Ciclo de vida dos microplásticos.



Fonte: Adaptado de Arpia et al., 2021.

3.2 Bioplásticos: variedades, propriedades e disponibilidade

Os plásticos convencionais são polímeros formados a partir da polimerização de monômeros derivados de recursos fósseis, sendo que os tipos de monômeros e a forma como eles são interligados são essenciais para determinar as propriedades físico-químicas das macromoléculas geradas e são também o principal motivo por trás da grande diversidade, versatilidade e aplicabilidade desses compostos (Mano; Mendes, 1999). Logo, em conformidade com seu propósito como alternativa a esses plásticos, os bioplásticos também precisam ser diversificados e apresentarem características equivalentes a suas contrapartes fósseis. Nesse viés, parte das pesquisas atuais realizadas nessa temática possuem como enfoque a síntese desses componentes que possam cumprir o papel nessa transição, contribuindo para minimização dos impactos ambientais e a sustentabilidade. Por poderem ser obtidos de processos sintéticos distintos, os biopolímeros são organizados em três classes a depender de sua origem, sendo elas: os derivados de recursos agrícolas, renováveis ou biomassa; os produzidos por microrganismos ou de origem animal; e os sintetizados quimicamente a partir de polímeros naturais ou de derivados do petróleo para serem biodegradáveis (Narain, 2020 apud Naser; Deiab; Darras, 2021). Desta forma, a seguir serão apresentados alguns tipos de bioplásticos desenvolvidos até o momento.

3.2.1 Ácido polilático (PLA)

O PLA é um bioplástico constituído por monômeros de ácido lático, o qual é obtido pelo processo fermentativo da dextrose (D-glicose), presente em carboidratos, realizado por bactérias (McMackin; Cardinal, 2025). Logo, o PLA é derivado de recursos renováveis e necessita de etapas posteriores de purificação a etapa de polimerização (Naser; Deiab; Darras, 2021). Para sua construção, as rotas sintéticas disponíveis são a polimerização por condensação direta, policondensação direta em solução azeotrópica e polimerização por formação de lactídeo (Jamshidian et al., 2010 apud McMackin; Cardinal, 2025; Ghadamyari et al., 2018). Dentre as suas propriedades, estão a sua processabilidade térmica, que se destaca em relação aos outros plásticos, alta fragilidade, baixa tenacidade, natureza hidrofóbica, barreira à água e gases semelhante e baixa taxa de biodegradação, embora seja compostável industrialmente (Ghasemlou; Barrow; Adhikari, 2024).

Embora haja limitações em suas aplicações devido a suas propriedades, esse bioplástico está se destacando por sua versatilidade e demanda pela a indústria de embalagens alimentícias

(Drago et al., 2025 ; Ghasemlou; Barrow; Adhikari, 2024). Além disso, elas o tornam uma alternativa a diversos plásticos como o polietileno tereftalato (PET) e ao policarbonato (PC) (Ghasemlou; Barrow; Adhikari, 2024; Naser; Deiab; Darras, 2021).

3.2.2 Poli-hidroxialcanoatos (PHAs)

Os PHAs são uma classe de bioplásticos constituídos de hidroxialcanoato, sintetizados por bactérias através da fermentação de compostos carbônicos em excesso, como lipídios e açúcares (Naser; Deiab; Darras, 2021). Desta forma, eles são subdivididos conforme a quantidade de átomos de carbono que os constituem em PHAs de cadeia curta até cinco átomos, média, entre seis e quatorze, e longa, acima de quinze, sendo o poli-3-hidroxivalerato (PHV) e o poli-4-hidroxibutirato (PHB) os mais conhecidos (Filiciotto; Rothenberg, 2021; Xavier et al., 2015). Apesar das propriedades variarem conforme o tamanho da cadeia, os PHAs em geral são insolúveis em água, resistentes à degradação hidrolítica, biodegradáveis, biocompatíveis e não tóxicos (Naser; Deiab; Darras, 2021). Logo, os PHAs se destacam diante dos demais bioplásticos justamente por serem os únicos realmente biodegradáveis em condições ambientais e em ambiente marítimo se aproximando do conceito de plástico biodegradável ideal (Kunamaneni, 2023).

3.2.3 Furanoato de polietileno (PEF)

O PEF é um bioplástico formado a partir dos monômeros de etilenoglicol e ácido 2,5-furandicarboxílico (FDCA), os quais podem ser sintetizados quimicamente a partir de biomassa (Haas et al., 2022; Pellis; Guebitz; Ribitsch, 2023). Ao analisar sua composição, verifica-se que sua cadeia é muito similar ao PET, com a exceção do anel furânico assumir a posição do anel aromático (Filiciotto; Rothenberg, 2021). Logo, mesmo com um processo sintético mais complexo e caro justificado principalmente pela rota química do FDCA, a qual utiliza açúcares, catalisadores caros, solventes tóxicos e energia em grandes quantidades, o PEF é visto com um potencial sucessor para o PET, devido sua origem biológica e propriedades de barreira superior (Coppola et al., 2021; Kunamaneni, 2023). Ao avaliar as propriedades do PEF, utilizando como referência o PET, destaca-se sua barreira a gases com alto desempenho, principalmente em relação ao dióxido de carbono e ao oxigênio, menor permeabilidade e temperatura de

processamento e maior rigidez, resistência mecânica e capacidade de suportar calor (Gruter, 2023).

3.2.4 Succinato de polibutileno (PBS)

A síntese de PBS, poliéster semicristalino, é realizada por meio da polimerização por condensação de 1,4-butanodial e ácido succínico, apresentando propriedades físico-químicas como maciez, flexibilidade, semitransparência e resistência, além de poder ser extruído em filmes soprados ou fundidos (Kim et al., 2023 apud Ghasemlou; Barrow; Adhikari, 2024). Essas características o tornam similar ao polietileno de baixa densidade (Ghasemlou; Barrow; Adhikari, 2024). Logo, para produzi-lo, os seus componentes são extraídos a partir de combustíveis fósseis (Ghasemlou; Barrow; Adhikari, 2024).

Entretanto, o ácido succínico em sua constituição pode ser derivado de biomassa, como forma alternativa, pelo processo fermentativo realizado pelas bactérias *Escherichia coli*, *Saccharomyces cerevisiae* ou *Anaerobiospirillum* (Rajendran; Han, 2023). Além dessa etapa, a qual possui elevado gasto energético, ainda necessita de etapas posteriores de secagem e hidrólise para sua obtenção, o que contribui para os altos custos associados à sua produção, considerando o conhecimento técnico atual, e reduz a sua viabilidade econômica (Islam et al., 2024).

Logo, o PBS é um bioplástico derivado parcialmente de insumos biológicos e biodegradável em condições específicas obtidas em processos industriais. Para aumentar a sua biodegradabilidade e reduzir sua opacidade, pode-se copolimerizá-lo com ácido adípico, obtendo-se o poli(butileno succinato-coadipato) (PBSA), embora haja uma redução em seu ponto de fusão (Jar-iyasakoolroj; Leelaphiwat; Harnkarnsujarit, 2020 apud Ghasemlou; Barrow; Adhikari, 2024).

3.2.5 Bioplásticos *drop-in*

Outra vertente dos bioplásticos são os plásticos *drop-in*, os quais são idênticos as suas contrapartes convencionais, mas, ao invés de serem produzidos a partir de combustíveis fósseis, eles são derivados de recursos biológicos, ou seja, a única diferença entre eles é a rota de síntese utilizada (Gruter, 2023). Nesse viés, para distinguí-los e evitar equívocos, geralmente utiliza-se o prefixo bio antes do nome do plástico, como biopolietileno tereftalato (bio-PET), biopolietileno (bio-PE) ou biopoliamidas (bio-PA). Logo, ressalta-se que essa categoria de

bioplásticos é uma solução parcial, já que a contribuição para a minimização dos efeitos negativos dos plásticos fica restrita ao insumo utilizado (Filiciotto; Rothenberg, 2021).

Desta forma, o biopolietileno tereftalato (bio-PET) é um desses bioplástico, e, como o PET, pode ser utilizado no setor de embalagens devido as suas propriedades físicas e mecânicas ideais para essa aplicação (Ghasemlou; Barrow; Adhikari, 2024). Para sintetize do PET, é realizada reações de esterificação e polimerização com geralmente 70% e 30% dos monômeros de ácido tereftálico aromático (PTA) e monoetilenoglicol (MEG), respectivamente (Ghasemlou; Barrow; Adhikari, 2024). Já para a produção de bio-PET, com os conhecimentos técnicos adquiridos até o momento, é possível produzir somente MEG a partir de biomassa, ou seja, a maior parte ainda é constituída por combustíveis fósseis, embora já haja estudos para obtenção de PTA a partir de bases biológicas (Volanti et al., 2019 apud Ghasemlou; Barrow; Adhikari, 2024).

3.3 Insumos da produção dos bioplásticos

Como mencionado anteriormente, os bioplásticos possuem como principal matéria prima a biomassa, por ser um recurso renovável e que completa o ciclo dos plásticos quando esses são completamente biodegradados. Entretanto, o processo de fabricação dos bioplásticos é mais caro ao comparar com suas contrapartes fósseis, atrelado a necessidade de mais etapas de pré-tratamento, preparação de matéria prima e purificação dos compostos, que a depender da complexidade de separação podem corresponder até 90% dos custos de sua produção (Cuellar; Straathof, 2020 apud Asin-Garcia et al., 2025). Além disso, esses custos também estão relacionados com as reações biológicas, fundamentais para alguns tipos de bioplásticos, apresentarem mais divergências ao aumentar a escala produtiva e, consequentemente, precisarem de teste e otimizações adicionais em comparação com a síntese química (Asin-Garcia et al., 2025).

Nesse viés, uma das formas de viabilizar técnico-economicamente a produção de bioplásticos similares aos seus equivalentes fósseis, é através da redução dos custos destinados a matérias primas e do aprimoramento das tecnologias e metodologias de produção. Desta forma, parte das pesquisas experimentais realizadas até o momento visam o desenvolvimento de bioplásticos com propriedades técnicas equivalentes aos plásticos convencionais a partir de insumos de baixo custo e/ou disponíveis em abundância, como resíduos agroalimentares e algas, e por meio da otimização e evolução das técnicas existentes (Favaro et al., 2025; Zytner

et al., 2023). Logo, a seguir serão abordados e analisados dois desses estudos, ressaltando os seus principais achados.

3.3.1 Bioplástico a partir de alga

O artigo “*Sargassum inspired, optimized calcium alginate bioplastic composites for food packaging*” traz como alternativa de insumo para a produção de filmes plásticos de embalagens alimentícias a alga marrom *Sargassum natans*, já que ela possui o alginato de sódio utilizado no desenvolvimento do bioplástico (Mohammed et al., 2023). Outro fator contribuinte para sua escolha, está associado a essa espécie ser invasora problemática e atualmente abundante na região do Caribe e América Latina, contribuindo para sua minimização e agregando valor a ela (Mohammed et al., 2023). Entretanto, as características de alta fragilidade e baixa trabalhabilidade com o filme constituído puramente por alginato, fez com que os pesquisadores criassem um compósito com aditivos para alterar essas propriedades nas seguintes proporções: alginato a 6% em peso; sorbitol a 0,065 g/g; PEG 200 a 0,025 g/g; amido a 0,263% em peso; e carboximetilcelulose (CMC) a 0,35% em peso (Mohammed et al., 2023).

Ao avaliar suas propriedades em comparação com os plásticos PLA, PET e polietileno de alta densidade (PEAD), aferiu-se que o seu módulo de elasticidade de 3,93 GPa aproximou-se do PLA, sendo seu valor 60% superior que o PEAD e 30% inferior que o PET, indicando maior rigidez e menor deformidade que esses plásticos, respectivamente (Mohammed et al., 2023). Em relação a sua barreira a vapor de água, seu desempenho foi abaixo dos outros plásticos, inclusive em comparação com outros filmes de alginato, concluindo que sua aplicação será limita a ambientes de baixa umidade (Mohammed et al., 2023). Em contrapartida, a permeabilidade a oxigênio foi notoriamente menor que os demais, inclusive em comparação com outros filmes relatados pela literatura, sendo uma excelente característica para prevenir a oxidação de alimentos suscetíveis a esse processo (Mohammed et al., 2023). Além disso, o seu tempo de degradação total foi de 14 dias em condições simuladas e a 58 °C, e não foi identificado migração de seus componentes aditivos, demonstrando sua alta biodegradabilidade e reafirmando seu potencial de aplicação na indústria alimentícia (Mohammed et al., 2023).

Embora suas aplicações sejam limitadas a ambientes com baixa umidade, essa é uma alternativa de mitigação da problemática relacionada a alga marrom e um bioplástico promissor para embalagens de alimentos.

3.3.2 Bioplástico a partir de permeado de soro de leite

No artigo “*Utilization of lactose and whey permeate for the sustainable production of polyhydroxyalkanoates by Hydrogenophaga pseudoflava DSM1034*” é exposto que a produção por processo fermentativo do polímero PHA pela cepa *Hydrogenophaga pseudoflava DSM1034*, cuja função no organismo é aumentar a sua resistência a fatores de estresse, apresenta altos custos, sendo que o tipo de matéria prima utilizada contribui para esse cenário (Favaro et al., 2025; Obruca et al., 2020 apud Favaro et al., 2025). Como alternativa, propôs-se a sua obtenção a partir do permeado de soro de leite sem hidrolisar a lactose presente nele, ou seja, utilizar a fração do soro de leite obtida após a extração de suas proteínas, já que esse insumo é um resíduo derivado da produção de queijo (Favaro et al., 2025). Além disso, essa matéria prima, por ser rica em nutrientes, apresenta alta demanda química e bioquímica de oxigênio e, consequentemente, precisa de tratamento antes de sua disposição no meio ambiente (Favaro et al., 2025).

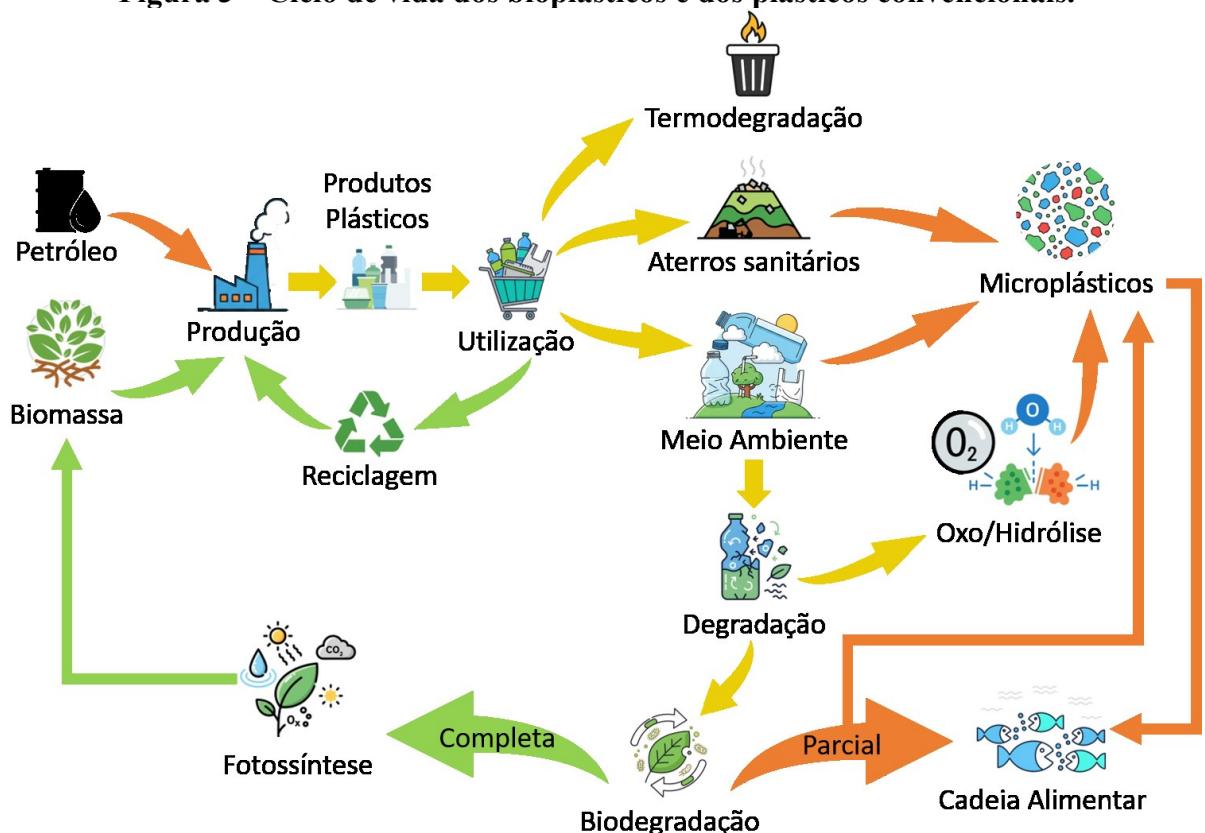
Entretanto, estudos anteriores sobre a produção PHA a partir dessa cepa e soro de leite apresentaram baixo rendimento na obtenção de PHA, dificultando sua viabilização econômica (Povolo et al., 2013). Logo, além da substituição da matéria prima, a otimização do processo fermentativo também foi necessária para o processo apresentar retorno financeiro. Assim, realizou-se a preparação prévia do inóculo em substratos mínimos antes de sua utilização no processo principal de fermentação, visando a adaptação da cepa *Hydrogenophaga pseudoflava DSM1034* à utilização de lactose como substrado, ao invés de seus monossacarídeos de glicose e galactose, obtidos por meio de hidrólise (Favaro et al., 2025). Desta forma, o processo completo passou a produzir a mesma quantidade que o processo não otimizado em 72 horas em detrimento das 140 horas necessárias anteriormente. Além disso, o rendimento alcançado foi notoriamente maior em comparação aos estudos anteriores, obtendo-se a fração de PHAs de $52,48 \pm 3,14\%$ em peso seco molecular e o rendimento de PHAs foram de 0,144 g/g de açúcar consumido (Favaro et al., 2025).

Logo, o estudo propôs uma alternativa com potencial econômico promissor por aproveitar um subproduto que, se não fosse utilizado, necessitaria de tratamento para não causar efeitos indesejados no meio ambiente, embora seja preciso avaliar a sua viabilidade técnico-econômica e reprodutividade em escala industrial, já que o artigo realizou os experimentos em escala laboratorial.

3.4 Impactos dos Bioplásticos

No ciclo dos plásticos, os que são derivados do petróleo, após a sua produção e utilização, geram resíduos com as seguintes destinações possíveis: reciclagem, a qual destaca-se entre as outras alternativas por possibilitar o aproveitamento deles como matéria prima, depósitos em aterros sanitários e incineração (Figura 3) (Badger et al., 2025; Banerjee; Ray, 2022). Entretanto, quando a gestão de seus resíduos é ineficiente, como a falta de destinação correta ou falhas no projeto dos aterros, eles são despejados no meio ambiente e ficam sujeitos à degradação, os quais, a depender da biodegradabilidade, transformam-se em composto a serem utilizados pelo ecossistema ou em microplásticos, os quais são acumulados no meio ambiente (Filiciotto; Rothenberg, 2021).

Figura 3 – Ciclo de vida dos bioplásticos e dos plásticos convencionais.



Fonte: Adaptado de Filiciotto; Rothenberg, 2021.

Logo, ao examinar o ciclo, os principais pontos negativos dos plásticos convencionais são: a quantidade limitada dos seus insumos, os quais progressivamente se tornaram escassos ao longo do tempo até o esgotamento total de suas reservas; a geração de gases do efeito estufa

durante o seu ciclo, principalmente na fase produtiva; e, como apontado anteriormente, a possibilidade de geração de microplásticos vinculada a má gestão de resíduos no final da sua vida, sendo eles uma problemática emergente, com seus impactos ao meio ambiente e saúde dos seres vivos cada vez mais estudados e comprovados (Rajendran et al., 2025; Wang, 2025). Além disso, a possibilidade de liberação de monômeros tóxicos durante o processo degradativo parcial é outra questão prejudicial nos dias atuais, com implicação de severos riscos à saúde (Wang et al., 2023).

Apesar desses fatores prejudiciais envolvendo a existência dos plásticos, eles também possuem benefícios consideráveis, como o custo atual menos elevado para sua produção, os seus produtos com pesos reduzidos e com uma ampla aplicabilidade em diversos setores. Nesse viés, ao avaliar sob o contexto de embalagens para transportar recursos, essas características contribuem para minimizar o gasto energético presente nesse tipo de atividade econômica, quando comparados as suas contrapartes feitas de vidro e papel, ressaltando a importância da avaliação do ciclo de vida detalhada para evitar conclusões precipitadas (Banerjee; Ray, 2022).

Logo, os bioplásticos surgem como uma solução parcial para os efeitos adversos dos plásticos, considerando que são uma fonte alternativa aos combustíveis fósseis no processo de sua fabricação, atuando no início do seu ciclo e ampliando as rotas possíveis para sua obtenção. Além disso, também possuem uma pegada de carbono reduzida, já que são derivados de biomassa, ou seja, durante o seu desenvolvimento, ela absorve o gás carbono gerado pela degradação deles (Islam et al., 2024). Outro ponto chave na utilização de bioplásticos é que, no caso de eles serem biodegradáveis, o ciclo dos plásticos completa-se e se torna circular, uma vez que os compostos gerados pela biodegradação completa dos bioplásticos viram insumos para o cultivo das matérias primas, conforme exemplificado pela Figura 3 (Filiciotto; Rothenberg, 2021).

Entretanto, a análise das contribuições dos bioplásticos deve ser feita com cautela, já que como qualquer outro bem de consumo, também ocasionam impactos negativos durante seu ciclo de vida. A ausência de propriedades que proporcionam a biodegradação corrobora para a persistência da problemática dos microplásticos e, em casos de ocorrência incompleta desse processo, podem contribuir para o agravamento dessa questão, visto que a degradação parcial dos bioplásticos tendem a acontecer com maior rapidez em comparação as suas contrapartes derivadas de petróleo (Sintim et al., 2019).

Ademais, a sua produção por meio de biomassa derivada de plantações traz preocupações sobre o gerenciamento de terras cultiváveis, na medida em que parte dessas áreas seriam destinadas para suprir a demanda por plásticos, competindo com os setores alimentícios

e energético, além do plantio em larga escala englobar outros desafios ambientais, como questões climáticas, esgotamento de solo e processos de eutrofização e acidificação (Islam et al., 2024). No entanto, não há um consenso no meio científico sobre essa última questão como um dos aspectos contraproducentes dos bioplásticos, já que estudos indicam que a quantidade de terras necessárias para abastecer as produtoras de bioplásticos seria mínima em comparação a outros setores que também as utilizam (European Bioplastics, 2021; Filiciotto; Rothenberg, 2021).

Outrossim, a realização da gestão dos resíduos ao final da sua utilização ainda será parte fundamental para mitigar os impactos dos plásticos, independentemente de sua origem, visto que essa é uma das principais etapas do ciclo de vida dos plásticos, já que 60% da produção anual deles finalizam o ciclo nessa etapa (Filiciotto; Rothenberg, 2021). Além disso, o percentual de plásticos presentes nos resíduos urbanos é 78%, enfatizando a importância e a necessidade dessa etapa (Filiciotto; Rothenberg, 2021). Como as propriedades dos plásticos variam entre si, principalmente quando se compara os plásticos convencionais com os bioplásticos biodegradáveis, o sistema de gestão de resíduos atual é ineficiente e não está preparado para lidar com essa diversidade, o que corrobora com a entrada dos plásticos no meio ambiente e a sua transformação em microplásticos (Folino; Pangallo; Calabò, 2023; Niknejad et al., 2025).

Logo, um dos impactos dessa transição é a demanda pela resolução das problemáticas entorno da gestão de resíduos atual e o seu ajuste para lidar com essa realidade diversa. Nesse contexto, um dos exemplos é o acréscimo necessário da etapa de liquefação hidrotérmica a jusante do processo de digestão anaeróbica no caso em que há mistura entre os resíduos orgânicos separados na fonte e os bioplásticos, já que esses não são decompostos integralmente durante a primeira etapa e torna-se um resíduo indesejado no digestato (Niknejad et al., 2025).

Outro caso é a questão da liberação dos aditivos utilizados para obter as características desejadas dos bioplásticos durante sua degradação na natureza, a qual nem sempre é avaliada nos estudos e pode ser mais agressivo ao meio ambiente do que a degradação dos plásticos convencionais (Wang et al., 2023). Isso ressalta a importância da destinação correta dos bioplásticos e do estudo completo sobre os possíveis impactos como resíduo.

Outra questão relevante, é que o processo produtivo dos bioplásticos, embora alguns já estejam em operação, como a produção de embalagens sustentáveis, ainda carecem de maior desenvolvimento tecnológico para viabilizar o funcionamento, além de apresentarem investimentos iniciais e custos operacionais maiores em relação aos seus equivalentes fósseis, atrelados a rota biológica de síntese, tornando-se menos atrativo financeiramente para a

indústria e a população (Caleb; Belay, 2023; Turkcu; Tura, 2023). Outrossim, é que o desempenho técnico deles em relação as suas contrapartes fósseis nem sempre é equiparado, o que impossibilita a transição para os compostos biodegradáveis e favorece a procura das indústrias pelos bioplásticos *drop-in*, já que estes são quimicamente idênticos aos plásticos convencionais, mas produzidos a partir de biomassa (Molina-Besch; Keszler, 2023; Turkcu; Tura, 2023).

Por fim, a transição dos plásticos convencionais para os bioplásticos biodegradáveis, como qualquer mercadoria, dependem da disposição da sociedade em realizá-la. Nesse aspecto, com o desenvolvimento técnico atual e os custos de fabricação, os bioplásticos são mais caros e, em certos casos, inviáveis economicamente, já que o preço é um fator relevante ao selecionar um produto e esse adicional seria repassado para os consumidores, diminuindo sua competitividade no mercado ou a margem de lucro da empresa (Turkcu; Tura, 2023). Além disso, a falta de clareza sobre a colaboração e requisitos técnicos dos bioplásticos para um futuro sustentável e as incertezas associadas a seu futuro e produção transformam-se em mais barreiras à sua adesão (Mehta et al., 2021).

Logo, a adoção de políticas públicas de padronização e de incentivo e a conscientização dos consumidores sobre a temática são fortes aliados para essa mudança, visto que a percepção e disposição dos mesmos é um fator chave para realizar essa alteração (Cao et al., 2025; Turkcu; Tura, 2023).

3.5 Perspectivas Futuras

Nesse contexto, as perspectivas de substituição dos plásticos convencionais para os que sejam de base biológica, principalmente os biodegradáveis, são promissoras, visto que a prospecção da viabilidade da produção de plásticos a partir de combustíveis fósseis no futuro indica que o processo se tornará progressivamente mais caro devido ao aumento do preço nos insumos das refinarias, atrelado a seu esgotamento inevitável e sua alta demanda também no setor energético (Götz; Kruse, 2024). Essa projeção reflete igualmente a necessidade por alternativas que minimizem os impactos ambientais (Rajendran et al., 2025).

Entretanto, ainda há um longo caminho a ser percorrido para que as soluções propostas sejam concretizadas, uma vez que boa parte dos conhecimentos desenvolvidos no momento estão em escala laboratorial e os seus impactos não são totalmente identificados, analisados e quantificados (Folino; Pangallo; Calabró, 2023; Yin; Woo, 2024). Além disso, vale ressaltar que, atualmente, a contribuição de bioplásticos na cadeia produtiva dos plásticos é irrigária

perante os derivados de petróleo, com contribuição mínima de 0,0005% no fluxo material desses produtos, sendo almejado a inversão desse cenário no futuro (Filiciotto; Rothenberg, 2021).

Logo, para as próximas etapas, o enfoque das pesquisas realizadas deverá ser na viabilização da produção em escala industrial das biorrefinarias, com o desenvolvimento de tecnologias que possibilitem o processo técnico-economicamente (Asin-Garcia et al., 2025; Götz; Kruse, 2024). Paralelamente, deverá ser desenvolvida uma padronização para a quantificação dos impactos ambientais que seja abrangente, replicável e reflita os cenários reais. Esse processo tornasse necessário devido aos desafios atuais em relação à dificuldade de estabelecer os parâmetros para realizar uma análise completa dos impactos, de recriar as condições ambientais em laboratório para testar os novos plásticos e de replicá-lo com as condições, proporções e especificações exatas de inóculo, substrato e ambiente (Folino; Pangallo; Calabró, 2023; Islam et al., 2024).

Além disso, os bioplásticos biodegradáveis desenvolvidos até o momento não são suficientes para substituir integralmente todas as variedades de plásticos existentes, por conta de a durabilidade ser uma propriedade chave e indispensável em alguns setores (Filiciotto; Rothenberg, 2021). Até o momento, a maior aplicabilidade dos bioplásticos biodegradáveis é encontrada na produção de embalagens com o potencial de serem empregados em setores como o alimentício, visto que este é um dos que mais contribuem para a geração de resíduos e utiliza os plásticos para prolongar a vida dos alimentos e promover a segurança alimentar (DeFlorio et al., 2021; Ghasemlou; Barrow; Adhikari, 2024).

Outra tendência nas pesquisas atuais que crescerá com o tempo, será diversificação e a migração das matérias primas empregadas na produção dos bioplásticos, com a biomassa derivada de plantações sendo alterada gradativamente por alternativas com menor impacto ambiental e social associado, como microalgas, resíduos biológicos e até mesmo carbono (Dutta et al., 2025; Gruter, 2023; Pérez-Bassart et al., 2023). Além disso, o desenvolvimento de políticas públicas, regulamentações e a conscientização da população serão forças motrizes para o processo de transição e deverão aumentar ao longo do tempo, intensificando a cobrança por alternativas otimizadas e com contribuição real para a minimização dos impactos negativos nas esferas socioeconômicas e ambiental (Banerjee; Bandyopadhyay; Ray, 2025; Mehta et al., 2021). Nesse sentido, alternativas paliativas e *greenwashing*, ou seja, que, à primeira vista, parecem ser ecologicamente corretas e são divulgadas dessa forma, mas, ao serem analisadas detalhadamente, apresentam problemáticas similares aos seus antecessores (Zhu; Wang, 2020), serão evitadas.

Paralelamente a essas medidas, metodologias de mitigação dos problemas gerados pelos plásticos, com destaque para os microplásticos, deverão ser desenvolvidas e aplicadas, a fim de paralisar e/ou reverter o cenário atual de degradação progressiva do meio ambiente e das condições de vida dos seres vivos. Para isso, a tecnologia deverá avançar para solucionar os desafios e as complexidades trazidas pela poluição ambiental, como a utilização de nanopartículas para a purificação de locais contaminados (Gulati et al., 2024). Ademais, será essencial o desenvolvimento de equipamentos para a quantificação dos poluentes emergentes em ambientes externos e de alternativas para eliminar os microplásticos existentes, como formas de coleta e sua conversão em biocombustível (Arpia et al., 2021; Barcelo; Pico, 2020).

Uma outra alternativa aplicável e que deverá ser intensificada ao longo dos anos, é a resolução do gerenciamento ineficiente de resíduos, priorizando a reciclagem dos plásticos devido a ela estender o seu ciclo e contribuir para redução da necessidade de sua produção, além da disposição adequada agregar diretamente no processo de minimização dos microplásticos por atuar em sua principal fonte de origem (Filiciotto; Rothenberg, 2021).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar dos estudos atuais já constatarem o potencial dos bioplásticos como via alternativa para os plásticos derivados de fontes não renováveis, ainda há várias barreiras para torná-los substitutos. Dentre elas estão: os atendimentos dos requisitos técnicos, os quais devem ser equivalentes ou superiores aos seus concorrentes fósseis; a viabilidade econômica de sua produção, já que as rotas biológicas envolvidas em sua produção tendem a ser mais caras que as rotas químicas convencionais; e a sua real biodegradabilidade e contribuição para minimização dos impactos ambientais. Logo, estes aspectos são fundamentais para torná-lo um produto superior ecologicamente e uma alternativa que realmente tenha efeitos no desenvolvimento de um futuro mais sustentável.

Outrossim, é que a própria conciliação de alternativas que solucionem todas as barreiras citadas acima torna-se um dos maiores desafios ao consolidar ou propor novos bioplásticos, já que muitas das soluções propostas atualmente não atendem a todos esses requisitos simultaneamente. Isso relaciona-se com o paradoxo que ao adquirir resistência duradoura ao processo de degradação, o material se distancia de sua biodegradabilidade, já que são processos opostos. E mesmo que haja materiais que contornem essa problemática, muitas vezes as formas de obtenção deles ainda são inviáveis economicamente ou ocasionam impactos ambientais equivalentes aos convencionais. Logo, embora já existam alternativas consolidadas de bioplásticos biodegradáveis, as suas aplicações ainda são menos vastas que os plásticos convencionais e geralmente a sua biodegradabilidade necessita de condições específicas para ocorrerem, subestimando os impactos reais dos seus resíduos.

Desta forma, o futuro das pesquisas e desenvolvimento de bioplásticos é promissor e necessário, principalmente considerando a finitude das matérias primas não renováveis e a necessidade de reverter o cenário atual dos riscos ambientais e a saúde, associados à produção dos plásticos convencionais e à sua degradação em microplásticos e nanoplasticos devido a destinação incorreta, incluindo alguns tipos de bioplásticos. Assim, deve-se considerar todas essas questões técnico-econômicas e ambientais simultaneamente ao propor a sua síntese, além das demandas sociais atreladas a questões políticas, financeiras e educacionais, como também a forma como será realizada a sua gestão de resíduos. Afinal, os bioplásticos biodegradáveis, embora isolados não sejam suficientes para solucionar totalmente as problemáticas derivadas dos plásticos convencionais, são um ponto de partida para a resolução delas.

REFERÊNCIAS

ALLOUZI, Mintallah Mousa A. *et al.* Micro (nano) plastic pollution: The ecological influence on soil-plant system and human health. **Science of The Total Environment**, v. 788, p. 147815, 20 set. 2021. DOI: 10.1016/J.SCITOTENV.2021.147815

ARPIA, Arjay A. *et al.* Microplastic degradation as a sustainable concurrent approach for producing biofuel and obliterating hazardous environmental effects: A state-of-the-art review. **Journal of Hazardous Materials**, v. 418, p. 126381, 15 set. 2021. DOI: 10.1016/J.JHAZMAT.2021.126381

ASIN-GARCIA, Enrique *et al.* A snapshot of biomanufacturing and the need for enabling research infrastructure. **Trends in Biotechnology**, v. 43, n. 5, p. 1000–1014, 1 maio 2025. DOI: 10.1016/J.TIBTECH.2024.10.014

ATIWESH, Ghada *et al.* Environmental impact of bioplastic use: A review. **Heliyon**, v. 7, n. 9, 1 set. 2021. DOI: 10.1016/j.heliyon.2021.e07918

BADGER, Nicholas *et al.* Life cycle assessment of formic acid synthesis utilizing CO₂ from direct air capture. **RSC Sustainability**, v. 3, n. 5, p. 2404–2421, 9 abr. 2025. DOI: 10.1039/D5SU00111K

BANERJEE, Ritima; BANDYOPADHYAY, Jayita; RAY, Suprakas Sinha. Functional Polymers and Their Nanocomposites for Sustainable Packaging Applications. **Macromolecular Materials and Engineering**, 2025. DOI: 10.1002/MAME.202500130

BANERJEE, Ritima; RAY, Suprakas Sinha. Sustainability and Life Cycle Assessment of Thermoplastic Polymers for Packaging: A Review on Fundamental Principles and Applications. **Macromolecular Materials and Engineering**, v. 307, n. 6, 1 jun. 2022. DOI: 10.1002/MAME.202100794

BARCELO, D.; PICO, Y. Case studies of macro- and microplastics pollution in coastal waters and rivers: Is there a solution with new removal technologies and policy actions?

Case Studies in Chemical and Environmental Engineering, v. 2, p. 100019, 1 set. 2020.
DOI: 10.1016/J.CSCEE.2020.100019

CALEB, Oluwafemi J.; BELAY, Zinash A. Role of biotechnology in the advancement of biodegradable polymers and functionalized additives for food packaging systems. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 83, p. 102972, 1 out. 2023. DOI: 10.1016/J.COPBIO.2023.102972

CANEVAROLO JR., Sebastião. **Ciência dos polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros**. 2. ed. São Paulo: Artliber Editora, 2006.

CAO, Yunmeng *et al.* Consumers' knowledge, perceptions, and preferences regarding bioplastics: Evidence from a survey in Japan. **Sustainable Production and Consumption**, v. 55, p. 1–10, 1 maio 2025. DOI: 10.1016/J.SPC.2025.02.003

COPPOLA, Gerardo *et al.* **Bioplastic from Renewable Biomass: A Facile Solution for a Greener Environment. Earth Systems and Environment** Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, , 1 jun. 2021. DOI: 10.1007/s41748-021-00208-7

DEFLORIO, William *et al.* Recent developments in antimicrobial and antifouling coatings to reduce or prevent contamination and cross-contamination of food contact surfaces by bacteria. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 20, n. 3, p. 3093–3134, 1 maio 2021. DOI: 10.1111/1541-4337.12750

DRAGO, Emanuela *et al.* Food Contact Compatibility of Bioplastic Materials Filled With Degradable Additives for Repeated-Use Food Applications. **Journal of Applied Polymer Science**, 15 jul. 2025. DOI: 10.1002/APP.57104

DUTTA, Swapnamoy *et al.* Microalgal biorefineries in sustainable biofuel production and other high-value products. **New Biotechnology**, v. 87, p. 39–59, 25 jul. 2025. DOI: 10.1016/J.NBT.2025.02.007

EUROPEAN BIOPLASTICS. Global bioplastics production will more than triple within the next five years.

EUROPEAN COMMISSION. Biodegradable and compostable plastics - challenges and opportunities. . 27 ago. 2020.

EUROPEAN COMMISSION. EU policy framework on biobased, biodegradable and compostable plastics. . 30 nov. 2022.

FARAH, Marco. **O Petróleo e seus Derivados**. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

FAVARO, Lorenzo *et al.* Utilization of lactose and whey permeate for the sustainable production of polyhydroxyalkanoates by *Hydrogenophaga pseudoflava DSM1034*. **New Biotechnology**, v. 87, p. 72–81, 25 jul. 2025. DOI: 10.1016/J.NBT.2025.02.009

FILICIOTTO, Layla; ROTHENBERG, Gadi. Biodegradable Plastics: Standards, Policies, and Impacts. **ChemSusChem**, v. 14, n. 1, p. 56–72, 7 jan. 2021. DOI: 10.1002/CSSC.202002044

FOLINO, Adele; PANGALLO, Domenica; CALABRÒ, Paolo Salvatore. Assessing bioplastics biodegradability by standard and research methods: Current trends and open issues. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 11, n. 2, p. 109424, 1 abr. 2023. DOI: 10.1016/J.JECE.2023.109424

GHASEMLOU, Mehran; BARROW, Colin J.; ADHIKARI, Benu. The future of bioplastics in food packaging: An industrial perspective. **Food Packaging and Shelf Life**, v. 43, p. 101279, 1 jun. 2024. DOI: 10.1016/J.FPSL.2024.101279

GHOBISH, Sarah A. *et al.* Microplastics in the marine environment: Challenges and the shift towards sustainable plastics and plasticizers. **Journal of Hazardous Materials**, v. 491, p. 137945, 5 jul. 2025. DOI: 10.1016/J.JHAZMAT.2025.137945

GIOIA, Claudio *et al.* End of Life of Biodegradable Plastics: Composting versus Re/Upcycling. **ChemSusChem**, v. 14, n. 19, p. 4167–4175, 5 out. 2021. DOI: 10.1002/CSSC.202101226

GÖTZ, Markus; KRUSE, Andrea. A Proposal for Evaluating the Economic Viability of Biorefineries against Petrochemical Benchmarks. **Chemie-Ingenieur-Technik**, v. 96, n. 3, p. 355–362, 1 mar. 2024. DOI: 10.1002/CITE.202300124

GRUTER, Gert Jan M. Using carbon above the ground as feedstock to produce our future polymers. **Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry**, v. 40, p. 100743, 1 abr. 2023. DOI: 10.1016/J.COGSC.2022.100743

GULATI, Shikha *et al.* Greener nanobiopolymers and nanoencapsulation: environmental implications and future prospects. **RSC Sustainability**, v. 2, n. 10, p. 2805–2832, 3 set. 2024. DOI: 10.1039/D4SU00411F

HAAS, Verena *et al.* Developing future visions for bio-plastics substituting PET – A backcasting approach. **Sustainable Production and Consumption**, v. 31, p. 370–383, 1 maio 2022. DOI: 10.1016/J.SPC.2022.02.019

ISLAM, Monjurul *et al.* Impact of bioplastics on environment from its production to end-of-life. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 188, p. 151–166, 1 ago. 2024. DOI: 10.1016/J.PSEP.2024.05.113

IUPAC. **Compendium of Chemical Terminology (Golden Book)**. 5.0.0 ed. [s.l.]: IUPAC, 2025. DOI: 10.1351/goldbook.13890

KUNAMANENI, Suneel. Bioplastics innovation: commercialization strategies for polyethylene furanoate (PEF) and polyhydroxy alkanoates (PHA). **Biofuels, Bioproducts and Biorefining**, v. 17, n. 3, p. 421–436, 1 maio 2023. DOI: 10.1002/BBB.2438

MANO, Eloisa Biasotto; MENDES, Luís Cláudio. **Introdução a polímeros**. 2. ed. São Paulo: Editora Blucher, 1999.

MCMACKIN, Amy; CARDINAL, Sébastien. Carbohydrate-based alternatives to traditional synthetic plastic microbeads: a critical review. **RSC Sustainability**, v. 3, n. 4, p. 1629–1651, 26 fev. 2025. DOI: 10.1039/D4SU00364K

MEHTA, Neha *et al.* Exploring perceptions of environmental professionals, plastic processors, students and consumers of bio-based plastics: Informing the development of the sector. **Sustainable Production and Consumption**, v. 26, p. 574–587, 1 abr. 2021. DOI: 10.1016/J.SPC.2020.12.015

MOHAMMED, Akeem *et al.* Sargassum inspired, optimized calcium alginate bioplastic composites for food packaging. **Food Hydrocolloids**, v. 135, p. 108192, 1 fev. 2023. DOI: 10.1016/J.FOODHYD.2022.108192

MOLINA-BESCH, Katrin; KESZLERI, Hannah. Exploring the industrial perspective on biobased plastics in food packaging applications – Insights from Sweden. **Sustainable Production and Consumption**, v. 35, p. 72–84, 1 jan. 2023. DOI: 10.1016/J.SPC.2022.10.018

MOSHOOD, Taofeq D. *et al.* Sustainability of biodegradable plastics: New problem or solution to solve the global plastic pollution? **Current Research in Green and Sustainable Chemistry**, v. 5, p. 100273, 1 jan. 2022. DOI: 10.1016/J.CRGSC.2022.100273

NASER, Ahmed Z.; DEIAB, I.; DARRAS, Basil M. Poly(lactic acid) (PLA) and polyhydroxyalkanoates (PHAs), green alternatives to petroleum-based plastics: a review. **RSC Advances**, v. 11, n. 28, p. 17151–17196, 10 maio 2021. DOI: 10.1039/D1RA02390J

NIKNEJAD, Parisa *et al.* Unveiling the impact of bioplastic bags on high-solids anaerobic digestion and subsequent hydrothermal liquefaction of source separated organics. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 197, p. 106960, 1 maio 2025. DOI: 10.1016/J.PSEP.2025.106960

PELLIS, Alessandro; GUEBITZ, Georg M.; RIBITSCH, Doris. Bio-upcycling of multilayer materials and blends: closing the plastics loop. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 81, p. 102938, 1 jun. 2023. DOI: 10.1016/J.COPBIO.2023.102938

PÉREZ-BASSART, Zaida *et al.* Feasibility of Agaricus bisporus waste biomass to develop biodegradable food packaging materials. **Food Hydrocolloids**, v. 142, p. 108861, 1 set. 2023. DOI: 10.1016/J.FOODHYD.2023.108861

POVOLO, Silvana *et al.* Polyhydroxyalkanoate biosynthesis by Hydrogenophaga pseudoflava DSM1034 from structurally unrelated carbon sources. **New Biotechnology**, v. 30, n. 6, p. 629–634, 25 set. 2013. DOI: 10.1016/J.NBT.2012.11.019

RAJENDRAN, Naveenkumar; HAN, Jeehoon. Techno-economic analysis and life cycle assessment of poly (butylene succinate) production using food waste. **Waste Management**, v. 156, p. 168–176, 1 fev. 2023. DOI: 10.1016/J.WASMAN.2022.11.037

RAJENDRAN, Sundarakannan *et al.* Replacement of Petroleum Based Products With Plant-Based Materials, Green and Sustainable Energy—A Review. **Engineering Reports**, v. 7, n. 4, 1 abr. 2025. DOI: 10.1002/ENG2.70108

SAUER, Ildo. O pré-sal e a geopolítica e hegemonia do petróleo face às mudanças climáticas e à transição energética. In: MELFI, Adolpho *et al.* (Orgs.). **Recursos Minerais no Brasil: problemas e desafios**. Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências, 2016. p. 316–330.

SINGH, Baljit; SHARMA, Nisha. Mechanistic implications of plastic degradation. **Polymer Degradation and Stability**, v. 93, n. 3, p. 561–584, 1 mar. 2008. DOI: 10.1016/J.POLYMDGRADSTAB.2007.11.008

SINTIM, Henry Y. *et al.* Release of micro- and nanoparticles from biodegradable plastic during in situ composting. **Science of The Total Environment**, v. 675, p. 686–693, 20 jul. 2019. DOI: 10.1016/J.SCITOTENV.2019.04.179

SMET, Michiel. The New Plastics Economy – Rethinking the future of plastics . In: REIFFERSCHEID, Georg *et al.* (orgs.). Berlin: Umweltbundesamt , jun. 2016.

TURKCU, Deniz; TURA, Nina. The dark side of sustainable packaging: Battling with sustainability tensions. **Sustainable Production and Consumption**, v. 40, p. 412–421, 1 set. 2023. DOI: 10.1016/J.SPC.2023.07.007

WANG, Tiantian *et al.* Comparative toxicity of conventional versus compostable plastic consumer products: An in-vitro assessment. **Journal of Hazardous Materials**, v. 459, p. 132123, 5 out. 2023. DOI: 10.1016/J.JHAZMAT.2023.132123

WANG, Wen Xiong. Marine micro(nano)plastics toxicology: Knowledge gaps and perspectives. **Journal of Hazardous Materials**, v. 492, p. 138086, 15 jul. 2025. DOI: 10.1016/J.JHAZMAT.2025.138086

XAVIER, Janifer Raj *et al.* Material Properties and Antimicrobial Activity of Polyhydroxybutyrate (PHB) Films Incorporated with Vanillin. **Applied biochemistry and biotechnology**, v. 176, n. 5, p. 1498–1510, 28 jul. 2015. DOI: 10.1007/S12010-015-1660-9

YIN, Yue; WOO, Meng Wai. Transitioning of petroleum-based plastic food packaging to sustainable bio-based alternatives. **Sustainable Food Technology**, v. 2, n. 3, p. 548–566, 24 maio 2024. DOI: 10.1039/D4FB00028E

ZHU, Jingkun; WANG, Can. Biodegradable plastics: Green hope or greenwashing? **Marine Pollution Bulletin**, v. 161, p. 111774, 1 dez. 2020. DOI: 10.1016/J.MARPOLBUL.2020.111774

ZYTNER, Peter *et al.* A review on polyhydroxyalkanoate (PHA) production through the use of lignocellulosic biomass. **RSC Sustainability**, v. 1, n. 9, p. 2120–2134, 30 nov. 2023. DOI: 10.1039/D3SU00126A