



**Universidade Federal de Goiás
Instituto de Ciências Biológicas
Curso de Ciências Biológicas Bacharelado**

ICB
INSTITUTO DE
CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

Kamilla Ohana de Paiva Cunha

**Estudo sobre a biodegradação de
bioplásticos que utilizam compostos naturais como aditivos**

GOIÂNIA

2024



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE GRADUAÇÃO NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio do Repositório Institucional (RI/UFG), regulamentado pela Resolução CEPEC no 1240/2014, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei no 9.610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo dos Trabalhos de Conclusão dos Cursos de Graduação disponibilizado no RI/UFG é de responsabilidade exclusiva dos autores. Ao encaminhar(em) o produto final, o(s) autor(a)(es)(as) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

1. Identificação do Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação (TCCG)

Nome(s) completo(s) do(a)(s) autor(a)(es)(as): Kamilla Ohana de Paiva Cunha

Título do trabalho: "Estudo sobre a biodegradação de bioplásticos que utilizam compostos naturais como aditivos"

2. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador) Concorda com a liberação total do documento [x] SIM [] NÃO¹

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante: a) consulta ao(à)(s) autor(a)(es)(as) e ao(à) orientador(a); b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo do TCCG. O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro.

Obs.: Este termo deve ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.



Documento assinado eletronicamente por **Katia Flavia Fernandes Silva, Professor do Magistério Superior**, em 10/12/2024, às 14:14, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Kamilla Ohana De Paiva Cunha, Discente**, em 11/12/2024, às 04:33, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5030399** e o código CRC **32184D0A**.

Kamilla Ohana de Paiva Cunha

**Estudo sobre a biodegradação de
bioplásticos que utilizam compostos naturais como aditivos**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Ciências Biológicas Bacharelado do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Goiás, como requisito para obtenção do título de Bacharela em Ciências Biológicas.

Orientadora: Dra. Kátia Flávia Fernandes
Coorientador: Dr. Maurício Vicente Cruz

GOIÂNIA
2024

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Cunha, Kamilla Ohana de Paiva

Estudo sobre a biodegradação de bioplásticos que utilizam compostos naturais como aditivos [manuscrito] / Kamilla Ohana de Paiva Cunha. - 2024.

23 f.

Orientador: Profa. Dra. Kátia Flávia Fernandes Silva; co orientador Dr. Maurício Vicente Cruz.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Goiás, Instituto de Ciências Biológicas (ICB), Ciências Biológicas, Goiânia, 2024.

1. Polímeros. 2. Filmes. 3. Biodegradáveis. 4. Compostos Fenólicos. I. Silva, Kátia Flávia Fernandes, orient. II. Título.

CDU 60



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos nove dias do mês de dezembro de dois mil e vinte e quatro iniciou-se a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado “Estudo sobre a biodegradação de bioplásticos que utilizam compostos naturais como aditivos” de autoria de Kamilla Ohana de Paiva Cunha, do curso de Ciências Biológicas Bacharelado, do Instituto de Ciências Biológicas da UFG. Os trabalhos foram instalados pelo(a) Dra. Kátia Flávia Fernandes Silva - Instituto de Ciências Biológicas/ UFG com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Me. Guilherme Liberato Alves - Instituto de Ciências Biológicas/ UFG e Dr. Maurício Vicente Cruz - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás/ IFG. Após a apresentação, a banca examinadora realizou a arguição do(a) estudante. Posteriormente, de forma reservada, a Banca Examinadora atribuiu a nota final de 8,5, tendo sido o TCC considerado aprovado.

Proclamados os resultados, os trabalhos foram encerrados e, para constar, lavrou-se a presente ata que segue assinada pelos Membros da Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Katia Flavia Fernandes Silva, Professor do Magistério Superior**, em 10/12/2024, às 10:27, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Guilherme Liberato Alves, Usuário Externo**, em 16/12/2024, às 13:17, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Maurício Vicente Cruz, Usuário Externo**, em 19/12/2024, às 10:29, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **5018606** e o código CRC **D45CC4DB**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Universidade Federal de Goiás, especialmente ao Laboratório de Química de Polímeros, pelo apoio e infraestrutura fundamentais para a realização deste trabalho. À minha orientadora, professora Kátia, sou profundamente grata pelo conhecimento, suporte e dedicação, que tornaram simples aquilo que parecia complexo. Sua confiança em mim foi crucial para que eu acreditasse na minha capacidade de alcançar meus objetivos.

Agradeço também ao meu supervisor, Maurício, por me incentivar a estudar mais sobre química e por todas as lições valiosas. Aos meus colegas de laboratório, sou grata pela aula sobre metabolismo vegetal e produção de extratos. Agradeço aos meus professores, especialmente à professora Tânia, pelas orientações essenciais para a elaboração do pré-projeto de TCC.

Sou muito grata à minha família, ao meu pai, à minha mãe e aos meus amigos, pelo apoio constante e incentivo, à minha cachorrinha, Sophie, pela alegria e companhia, e à nossa gatinha, Scarlett, por sua presença durante as aulas na pandemia.

SUMÁRIO

RESUMO.....	8
ABSTRACT.....	9
1. INTRODUÇÃO.....	10
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	12
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	13
3.1. Polímeros Biodegradáveis.....	13
3.2. Estudo de Biodegradação.....	14
3.3. Aditivos Naturais: Antocianinas.....	16
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	18
5. REFERÊNCIAS.....	19

RESUMO

A crescente preocupação com os impactos ambientais dos plásticos convencionais tem impulsionado a busca por alternativas mais sustentáveis, como os bioplásticos, que se degradam de forma mais eficiente e sem liberar substâncias tóxicas. Este estudo investiga o uso de aditivos naturais, em especial as antocianinas, em bioplásticos, com o objetivo de otimizar suas propriedades antioxidantes e antimicrobianas. As antocianinas, compostos fenólicos presentes em frutas de coloração escura, são exploradas por suas potencialidades em retardar o crescimento microbiano e indicar mudanças de pH. A pesquisa discute como a incorporação dessas substâncias pode influenciar a biodegradabilidade dos bioplásticos e ressalta a importância de compreender as alterações na estrutura e nas características dos materiais para garantir sua decomposição adequada no ambiente. O estudo conclui que, apesar do grande potencial das antocianinas e outros aditivos naturais, mais pesquisas são necessárias para otimizar suas propriedades e maximizar os benefícios ambientais dos bioplásticos.

Palavras-Chave: Polímeros. Filmes. Biodegradáveis. Compostos Fenólicos.

ABSTRACT

Growing concern about the environmental impacts of conventional plastics has driven the search for more sustainable alternatives, such as bioplastics, which degrade more efficiently and without releasing toxic substances. This study investigates the use of natural additives, especially anthocyanins, in bioplastics in order to optimize their antioxidant and antimicrobial properties. Anthocyanins, phenolic compounds present in dark-colored fruits, are explored for their potential to slow microbial growth and indicate pH changes. The research discusses how the incorporation of these substances can influence the biodegradability of bioplastics and highlights the importance of understanding the changes in the structure and characteristics of the materials to ensure their proper decomposition in the environment. The study concludes that, despite the great potential of anthocyanins and other natural additives, more research is needed to optimize their properties and maximize the environmental benefits of bioplastics.

Keywords: Polymers. Films. Biodegradable. Phenolic Compounds.

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de polímeros sintéticos e semissintéticos, como o celulóide (1862) e o baquelite (1907), reflete a busca por alternativas ao marfim, oriundo da caça de animais. Esses materiais, compostos por longas cadeias poliméricas, podem ser de origem natural ou artificial, exemplificados pela celulose e pelo PET, respectivamente. Contudo, os polímeros artificiais se destacaram pela sua versatilidade e baixo custo, tornando-se predominantes em aplicações industriais e cotidianas (Callister & Rethwisch, 2016; Feldman, 2008; Shackelford, 2008).

Os plásticos convencionais são polímeros sintetizados a partir de recursos fornecidos pela indústria petroquímica e são em grande parte produzidos para serem utilizados como recipientes descartáveis. A sua degradação, quando ocorre, é através de processos abióticos, resultando não apenas em resíduos de grande volume, que contaminam oceanos e áreas urbanas, mas também em partículas de dimensões microscópicas e até nanométricas. Essas últimas representam uma ameaça potencial aos organismos vivos, devido à sua capacidade de causar efeitos em todos os níveis biológicos (Andrady, 2011; Lehner *et al.*, 2019).

Atualmente, ao mesmo tempo em que são incentivadas buscas por métodos mais sustentáveis de reciclagem, as metas ambientais não têm sido alcançadas, e alternativas como a incineração não se mostram adequadas devido às péssimas consequências, como a liberação de gases tóxicos. Nesse contexto, cresce a busca por matérias-primas renováveis e biodegradáveis para a produção de plásticos. Os bioplásticos emergem como uma solução viável, pois, quando biodegradáveis, se decompõem na presença de organismos vivos, gerando água, gás carbônico e biomassa, sem a liberação de resíduos tóxicos (Delang Xie *et al.*, 2024; Narancic *et al.*, 2020).

Os bioplásticos são divididos em dois grupos, os que são produzidos com insumos renováveis e os biodegradáveis. É importante destacar que nem todos os bioplásticos de base biológica são necessariamente biodegradáveis. Durante o processo de produção, diversos aditivos são incorporados aos bioplásticos. Os aditivos desempenham um papel crucial na melhoria do desempenho dos polímeros, com destaque para os plastificantes, que aumentam a flexibilidade, os agentes de reticulação, que conferem maior estabilidade e rigidez estrutural, os enchimentos, que incrementam a resistência, os agentes antimicrobianos, que ajudam a reduzir a contaminação e antioxidantes que aumentam a durabilidade do material (Abu Ubaidah *et al.*, 2024; Jariyasakoolroj P *et al.*, 2019; Luz *et al.*, 2023).

Muitos polímeros biodegradáveis tem suas funcionalidades potencializadas quando são adicionadas substâncias com propriedades bioativas, que vão além de apenas embalagens para armazenar alimentos ou curativos para proteção de feridas. As propriedades bioativas podem

melhorar a vida útil e servir como indicador de qualidade, como no estudo de Luz *et al.* (2023), onde foram produzidos filmes de amido com compostos fenólicos para utilização em embalagens de alimentos, onde tanto os compostos com propriedade antioxidante e antimicrobiana foram extraídos da casca da jabuticaba (*Plinia cauliflora*), espécie nativa da Mata Atlântica, quanto ao amido é oriundo dos frutos da lobeira (*Solanum lycocarpum*), espécie típica do Cerrado.

Os compostos fenólicos são produzidos pelo metabolismo secundário dos vegetais como resposta evolutiva à limitada natureza sésil das plantas. Entre os compostos fenólicos temos as lignanas, estilbenos, taninos, ácidos fenólicos e flavonóides, sendo os flavonóides o grupo com mais compostos. As antocianinas são pigmentos naturais produzidos pelos vegetais, estando entre os pigmentos mais importantes após as clorofilas e os carotenóides. Na natureza, esses pigmentos atraem polinizadores e dispersores de sementes, e evitam a herbivoria. Possuem atividade antioxidante, fotoprotetora e halocrômica (Gould; Davies; Winefield, 2009).

A incorporação de antioxidantes naturais, como as antocianinas, em bioplásticos pode prolongar a vida útil dos alimentos, proteger o próprio material da degradação oxidativa e servir como indicador de qualidade. No entanto, surge uma questão fundamental: até que ponto a presença desses aditivos pode interferir nos processos de biodegradação? É preciso investigar se os aditivos podem acelerar, retardar ou até mesmo inibir a decomposição dos bioplásticos em contato com o solo, e quais os possíveis impactos dessa interação no meio ambiente (Jariyasakoolroj P *et al.*, 2019).

Motivada pela busca de soluções para o desenvolvimento de polímeros biodegradáveis que utilizam aditivos de compostos naturais e bioativos, esta pesquisa realizou uma revisão bibliográfica sobre a influência das antocianinas. Nesse contexto, as antocianinas, pigmentos naturais presentes em frutas como a jabuticaba (*P. cauliflora*), surgem como promissoras aditivas para esses materiais. Seus atributos antioxidantes, antimicrobianos e sensoriais as tornam candidatas ideais para a produção de embalagens alimentícias biodegradáveis e inteligentes. No entanto, a incorporação de antocianinas em polímeros biodegradáveis levanta uma questão crucial: a manutenção das propriedades de biodegradabilidade do material final. É necessário investigar se a presença das antocianinas interfere nos processos de biodegradação e se a embalagem resultante se decompõe de forma eficiente no meio ambiente (Cazón & Silva, 2024; Fleck *et al.*, 2023; Miranda *et al.*, 2022).

2. MATERIAL E MÉTODOS

Segundo Severino (2017), a pesquisa bibliográfica fundamenta-se em registros de estudos anteriores, como livros, artigos e teses, aproveitando dados e teorias já documentadas. Nessa abordagem, o pesquisador desenvolve seu trabalho com base nas análises e contribuições presentes nesses textos. Logo, a presente revisão bibliográfica teve como objetivo analisar os estudos relacionados à biodegradação de bioplásticos com aditivos de compostos naturais, principalmente as antocianinas. Foram utilizadas as bases de dados *SCOPUS*, *Web of Science*, *PubMed* e *SciELO*, onde as principais palavras-chave foram “*biodegradable bioplastics*” ou “*biodegradable polymers*”, e “*natural additives*”, “*anthocyanins*” e “*bioactive films*”. Priorizando pesquisas entre o período de 2015 e 2024, utilizando revistas indexadas. Livros de referência na área também foram utilizados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Polímeros Biodegradáveis

A ampla utilização de plásticos derivados do petróleo em nosso dia a dia é indiscutível. Seus atributos, como a plasticidade e a durabilidade, os tornam materiais extremamente versáteis. Paradoxalmente, essas mesmas características que os tornam tão úteis contribuem para um dos maiores desafios ambientais da atualidade: a persistência dos plásticos no meio ambiente. A estrutura molecular dos plásticos, com alta massa molecular e ligações fortes, aliada à sua natureza hidrofóbica, dificulta a degradação por processos naturais, levando ao acúmulo de resíduos plásticos em diversos ecossistemas (Xie *et al.*, 2024).

Embora existam métodos de produção de plásticos não biodegradáveis utilizando recursos renováveis, o problema relacionado à má gestão do descarte desses materiais persiste, impactando negativamente o meio ambiente. Por esse motivo, os polímeros biodegradáveis produzidos a partir de recursos renováveis despontam como alternativas promissoras, especialmente para embalagens descartáveis ou como biomateriais, com a possibilidade de serem fabricados utilizando resíduos de biomassa (Zhao *et al.*, 2022).

No Quadro 1, apresentado por Mangal *et al.* (2023), constam exemplos de plásticos biodegradáveis e não biodegradáveis. Podemos ver o PLA (ácido polilático), sendo frequentemente citado como biodegradável, com a compostagem sendo seu destino ideal. No entanto, a realidade do descarte de plásticos é bem diferente. Considerando que 46% dos plásticos produzidos globalmente são destinados a aterros sanitários e 22% são mal administrados, as chances de o PLA, assim como outros plásticos, se degradar adequadamente em compostagem são reduzidas. Sem as condições ideais de um ambiente de compostagem, esses materiais estão mais propensos à fragmentação em microplásticos (Acharjee *et al.*, 2023).

Quadro 1. Tipos de plásticos

Tipos	Produtos	Fonte	Degradabilidade
Plástico de base petroquímica	PE PS PVC PP PC	Combustíveis fósseis (petróleo, gás natural)	Não biodegradável
Plástico de base petroquímica	PBS PCL PBAT	Combustíveis fósseis (petróleo, gás natural)	Semi biodegradável

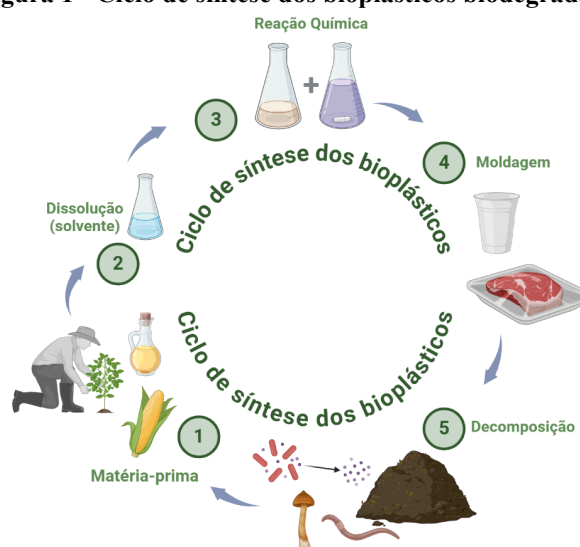
Plásticos de base biológica	Bio-PE Bio-PET Bio-PVC	Biológicas (milho, cana-de-açúcar)	Semi biodegradável
Plásticos de base biológica	PHA PHB PLA PU	Biológicas (milho, cana-de-açúcar, óleo vegetal)	Biodegradável
<p>Abreviações: PE, polietileno; PS, poliestireno; PVC, poli(cloreto de vinila); PP, polipropileno; PC, policarbonato; PU, poliuretano; PBS, poli(succinato de butileno); PCL, policaprolactona; PBAT, poli(tereftalato de adipato de butileno); PET, poli(tereftalato de etileno); PHA, poli-hidroxialcanoato; PHB, poli-hidroxitirato; PLA, ácido polilático.</p>			

Fonte: Mangal *et al.* (2023)

Os bioplásticos biodegradáveis são polímeros de base biológica produzidos por uma variedade de fontes renováveis. Eles utilizam como base glicídios, proteínas e lipídios, tendo origem vegetal, como o amido e a celulose; de animal, como a quitosana, ou produzidos por microrganismos. Além disso, esses materiais devem apresentar qualidades essenciais, garantindo tanto a segurança alimentar quando utilizados em embalagens, quanto a biocompatibilidade quando empregados como biomateriais (Zhao *et al.*, 2022).

Na Figura 1, podemos visualizar o ciclo de síntese simplificado dos bioplásticos biodegradáveis.

Figura 1 - Ciclo de síntese dos bioplásticos biodegradáveis



Fonte: Adaptado de Mangal *et al.* (2023)

3.2. Estudo de Biodegradação

O solo atua como um dos destinos finais para os resíduos orgânicos de origem vegetal e animal, bem como para os produtos gerados durante sua decomposição. A matéria orgânica do solo (MOS) é composta principalmente pela serapilheira e pela biomassa microbiana. A maior parte

dessa massa orgânica é originada de resíduos vegetais, como folhas, galhos e outras partes que caem do dossel, além de restos animais. Esses materiais formam a necromassa, componente essencial da serapilheira. O sistema “serapilheira-solo” desempenha um papel crítico ao armazenar grandes quantidades de carbono, nutrientes e energia, além de fornecer habitat para uma diversificada fauna e comunidade microbiana (Kögel-Knabner, 2002; Moreira & Siqueira, 2006).

A decomposição é realizada por fungos, bactérias e microfauna, que são principais responsáveis pelo processamento da matéria orgânica do solo. Os resíduos vegetais precisam ser decompostos por exoenzimas em moléculas relativamente pequenas antes de serem transportados ativamente através das paredes celulares dos microrganismos. No solo vivo, existe um contínuo de compostos orgânicos em diferentes estágios de decomposição, seguindo um gradiente termodinâmico. Esse processo transforma moléculas grandes e ricas em energia em compostos menores e com menor conteúdo energético (Lehmann & Kleber, 2015; Moreira & Siqueira, 2006).

Segundo Moreira & Siqueira (2006), a decomposição de resíduos orgânicos é um processo complexo influenciado pela qualidade do material a ser degradado e pela atividade biológica, além dos fatores ambientais. Sendo o processo de degradação favorecido por resíduos com baixo teor de lignina e compostos fenólicos, que podem inibir a atividade microbiana, e alto conteúdo de materiais solúveis, partículas pequenas e baixa relação C/N, pois quanto menos nitrogênio menos crescimento dos organismo. Além disso, as condições ideais de temperatura (30 a 35°C), umidade e aeração no solo também favorecem a decomposição. Fatores tóxicos no resíduo ou no solo também podem inibir a atividade dos decompositores heterotróficos.

De acordo com Silva (2023), a degradação de polímeros ocorre por meio de reações químicas, físicas ou bioquímicas que promovem a ruptura de ligações covalentes, resultando em alterações irreversíveis em suas propriedades e na redução do seu peso molecular. Inicialmente, esse processo é desencadeado por fatores abióticos que fornecem a energia necessária para romper as ligações químicas, predominantemente covalentes. A cisão pode acontecer tanto na cadeia principal quanto em grupos laterais, causando a perda ou a modificação desses grupos. A energia para esse rompimento pode ser originada de fontes como calor, oxigênio, luz, radiação ou forças mecânicas. Sendo a termólise, a hidrólise e a oxidação os tipos de degradação com maior ocorrência.

Esses fatores abiótico, como calor, luz, radiação, umidade, variações de pH, estresse mecânico ou exposição a agentes químicos, enfraquecem a estrutura dos polímeros, gerando fragmentos menores que são inicialmente degradados por animais detritívoros e também por exoenzimas, onde podem atravessar a membrana celular dos microrganismos, para continuar a serem decompostos por enzimas intracelulares. A degradação geralmente começa na superfície do polímero, por ser mais exposta e vulnerável ao ataque químico ou enzimático (Silva *et al.*, 2023; Sun *et al.*, 2022).

Existem normas técnicas que padronizam os métodos de testagem de materiais biodegradáveis, diferenciando-se pelo tipo de material avaliado, pelo ambiente de teste, como água, solo, compostagem ou aterros, e pelo impacto ambiental causado. Primeiramente precisamos definir os termos. Para a Sociedade Americana de Testes e Materiais (ASTM D883-17), plásticos biodegradáveis são plásticos onde sua degradação natural ocorre pela ação de microrganismos, como bactérias, fungos e algas (ASTM, 2017; Silva *et al.*, 2023).

Para a IUPAC, União Internacional de Química Pura e Aplicada, os polímeros biodegradáveis são suscetíveis à degradação por atividades biológicas, que reduzem sua massa molar. Essa degradação ocorre não apenas por ação de enzimas, mas também por diversas atividades biológicas (IUPAC, 2012; Silva *et al.*, 2023).

A avaliação da biodegradabilidade de plásticos é abordada por diferentes normas. A ISO 14855-2:2018 estabelece um método para avaliar a biodegradação aeróbica em condições controladas de compostagem, monitorando a liberação de dióxido de carbono. A ASTM D6954-24, por sua vez, apresenta um guia mais abrangente, dividindo a avaliação em três níveis. Os níveis 1 e 2 focam nos processos abióticos e bióticos, respectivamente, enquanto o nível 3 avalia os impactos ecológicos, proporcionando uma visão mais completa do ciclo de vida do plástico (ASTM, 2024; ISO, 2018).

Diversos métodos normatizados pela ASTM (D5988-18, D6002-96, D5526-18 e D5951-96) permitem avaliar a biodegradação de materiais plásticos em diferentes ambientes: solo, compostagem e aterros sanitários. Embora a compostagem e a biodegradação em aterros sejam importantes, os testes que simulam a degradação no solo, seguidos pela avaliação da toxicidade dos resíduos, são os mais relevantes para a realidade do descarte de plásticos. Considerando que uma parcela significativa dos resíduos plásticos é descartada diretamente no solo, a avaliação da biodegradação nesse ambiente e os potenciais impactos à saúde e ao meio ambiente são cruciais.

3.3. Aditivos Naturais: Antocianinas

As plantas são capazes de sintetizar uma ampla variedade de compostos químicos. Esses compostos podem ser classificados em três grupos principais: metabólitos primários, secundários e hormônios. Os metabólitos primários (como glicídios, proteínas, lipídios e ácidos nucleicos) são essenciais para o crescimento e desenvolvimento das plantas, sendo fundamentais para os processos vitais. Já os hormônios vegetais, como as auxinas, atuam como reguladores do crescimento e desenvolvimento, coordenando diversas funções fisiológicas. Por outro lado, os metabólitos secundários são produtos do metabolismo vegetal que não estão diretamente relacionados com o crescimento e desenvolvimento da planta. Ao longo da evolução, as plantas desenvolveram a

capacidade de produzir esses compostos como uma estratégia adaptativa para enfrentar os desafios do ambiente, como a defesa contra herbívoros e patógenos, a tolerância a estresses abióticos (como seca e salinidade) e a interação com outros organismos. Além de suas funções ecológicas, os metabólitos secundários apresentam um grande potencial para a saúde humana, sendo utilizados em diversas áreas, como a indústria alimentícia (aditivos aromáticos e corantes), farmacêutica e cosmética (Borges & Amorim, 2020).

Eles se dividem em três categorias principais: terpenos, compostos fenólicos e compostos nitrogenados. As antocianinas são compostos solúveis em água, conhecidos como glicosídeos ou acilglicosídeos de poli-hidroxi. Elas derivam de sais de 2-fenilbenzopirílio ou flavílio e constituem um grupo significativo de pigmentos produzidos através da via biosintética fenilpropanoide, sendo compostos fenólicos. Até o momento, foram identificadas quase 700 variedades diferentes de antocianinas (Kulkarni *et al*, 2016).

Sendo as antocianinas pertencentes a uma das principais classes de flavonoides, também são consideradas um dos pigmentos mais importantes na determinação da cor das plantas. A maioria dos vegetais vermelhos e azuis contém antocianinas hidrossolúveis nos vacúolos das células, onde a cor desses pigmentos está relacionada à acidez do conteúdo vacuolar, podendo variar de tonalidade em função do pH. Elas passam por modificações como hidroxilação, metilação, glicosilação e acilação, o que confere maior versatilidade de cores e estabilidade. A função desses pigmentos nas plantas pode variar, atuando tanto na atração de polinizadores quanto na absorção de radiação UV e atividade antioxidante, doando elétrons e hidrogênio (Alappat & Alappat, 2020; Raven *et al.*, 2014, Sadowska-Bartosz *et al.*, 2020 ; Valle *et al.*, 2020).

A junção de polímeros biodegradáveis com aditivos é uma técnica eficaz para criar novos materiais com propriedades específicas, e a crescente demanda por aditivos naturais tem impulsionado pesquisas com compostos naturais, como extratos vegetais, que são seguros, dada a importância da qualidade e segurança dos alimentos na indústria. Polímeros que incorporam extratos vegetais apresentam propriedades físico-químicas, mecânicas, de barreira, antioxidantes e antimicrobianas alteradas em comparação aos produzidos de componentes individuais (Mir *et al.*, 2018).

Os plásticos de uso único são utilizados principalmente em embalagens alimentícias e para obter substitutos que garantam a segurança alimentar e contribuindo mais na preservação das características organolépticas dos alimentos, novas pesquisas em embalagens bioativas são realizadas. A embalagem ativa é um tipo de embalagem projetada para melhorar a vida útil dos alimentos ou alcançar propriedades específicas, indo além de uma simples barreira ao ambiente externo, com interação positiva entre a embalagem, o ambiente interno e o produto (Kola; Carvalho, 2023).

De acordo com Mir *et al.* (2018), os extratos vegetais podem conferir propriedades antioxidantes e antimicrobianas aos filmes de bioplásticos, dependendo de sua composição e das interações com a matriz polimérica, podendo assim contribuir para preservar e estender a vida útil dos alimentos embalados. Os resultados de Khan *et al.* (2024), indicam que a incorporação de cera de frutos vermelhos e azuis, ricos em lipídeos e compostos fenólicos, em filmes de quitosana, não só melhorou a qualidade dos filmes, mas também aumentou sua biodegradabilidade.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Fundamentada nas informações apresentadas, é evidente que a crescente preocupação com os impactos ambientais dos plásticos convencionais têm impulsionado a busca por alternativas mais sustentáveis, como os polímeros biodegradáveis. Esses materiais têm um grande potencial para reduzir os resíduos plásticos e minimizar os danos ao meio ambiente, pois se degradam de forma mais eficiente e sem liberar substâncias tóxicas. A degradação dos bioplásticos pode ser mais otimizada com a incorporação de aditivos naturais. No entanto, é fundamental compreender como esses aditivos, com propriedades antioxidantes e fotoprotetoras, podem alterar a estrutura e as características dos materiais, influenciando diretamente sua biodegradabilidade.

5. REFERÊNCIAS

- ABU UBAIDAH, AS. *et al.* Synthesis of bioplastics and the effects of additives on the mechanical, thermal and biodegradable properties. **Polymers from Renewable Resources**, 16 out. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/20412479241292148>. Acesso em: 10 nov. 2024
- ACHARJEE, S. A. *et al.* PHA-Based Bioplastic: a Potential Alternative to Address Microplastic Pollution. **Water, Air, & Soil Pollution**, v. 234, n. 1, 29 dez. 2022. Disponível em: doi.org/10.1007/s11270-022-06029-2. Acesso em: 10 dez. 2024
- ALAPPAT, B.; ALAPPAT, J. Anthocyanin Pigments: Beyond Aesthetics. **Molecules**, v. 25, n. 23, p. 5500, 24 nov. 2020. Disponível em: [10.3390/molecules25235500](https://doi.org/10.3390/molecules25235500). Acesso em: 28 nov. 2024
- ANDRADY, A. L. Microplastics in the Marine Environment. **Marine Pollution Bulletin**, v. 62, n. 8, p. 1596–1605, ago. 2011. Disponível em: <https://10.1016/j.marpolbul.2011.05.030>. Acesso em: 20 jun. 2024
- ASTM. Standard Test Method for Determining Aerobic Biodegradation of Plastic Materials in Soil. ASTM International, D5988-18, 2018. Disponível em: <https://www.astm.org/Standards/D5988.htm>. Acesso em: 28 nov. 2024
- ASTM. Standard Test Method for Determining the Biodegradability of Polymeric Materials in Soil. ASTM International, D6002-96, 1996. Disponível em: <https://www.astm.org/Standards/D6002.htm>. Acesso em: 28 nov. 2024
- ASTM. Standard Test Method for Determining Anaerobic Biodegradation of Plastic Materials in an Aqueous System. ASTM International, D5526-18, 2018. Disponível em: <https://www.astm.org/Standards/D5526.htm>. Acesso em: 28 nov. 2024
- ASTM. Standard Test Method for Determining the Biodegradability of Polymeric Materials in an Aqueous Medium. ASTM International, D5951-96, 1996. Disponível em: <https://www.astm.org/Standards/D5951.htm>. Acesso em: 28 nov. 2024
- ASTM International. ASTM D883-17: Standard Terminology Relating to Plastics. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2017. Acesso em: 28 nov. 2024
- ASTM. Standard Guide for Exposing and Testing Plastics that Degrade in the Environment by a Combination of Biological, Chemical, and Physical Processes. ASTM International, D6954-24, 2024. Disponível em: <https://www.astm.org/Standards/D6954.htm>. Acesso em: 28 nov. 2024
- BORGES, L; AMORIM, V. Metabólitos secundários de plantas. **Revista Agrotecnologia** (ISSN 2179-5959), v. 11 n. 1, 2020. Disponível em: <https://www.revista.ueg.br/index.php/agrotecnologia/article/view/9705>. Acesso em: 28 nov. 2024
- CALLISTER, William D.; RETHWISCH, David G. **Ciência e Engenharia de Materiais**. 9. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016. Acesso em: 2 nov. 2024
- CAZÓN, P.; ANA SANCHES SILVA. Natural pigments from food wastes: new approaches for the extraction and encapsulation. **Current opinion in green and sustainable chemistry**, p.

100929–100929, 1 maio 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2024.100929>. Acesso em: 10 nov. 2024

FELDMAN, D. Polymer History. **Designed Monomers and Polymers**, v. 11, n. 1, p. 1–15, jan. 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1163/156855508X292383>. Acesso em: 2 nov. 2024

GEYER, R.; JAMBECK, J. R.; LAW, K. L. Production, Use, and Fate of All Plastics Ever Made. **Science Advances**, v. 3, n. 7, 19 jul. 2017. Acesso em: 2 nov. 2024

GOULD, K.; DAVIES, K.; WINEFIELD, C. **Anthocyanins: Biosynthesis, Functions, and Applications**. Nova York: Springer, 2009.

ISO. ISO 14855-2:2018 - Plásticos - Determinação da biodegradabilidade sob compostagem aeróbica - Parte 2: Método de ensaio com substrato sólido. Genebra: International Organization for Standardization, 2018. Disponível em: <https://www.iso.org/standard/69357.html>. Acesso em: 28 nov. 2024

IUPAC. **Gold Book: Definition of Biotechnology**. Disponível em: <https://goldbook.iupac.org/terms/view/BT07169>. Acesso em: 29 nov. 2024

JARIYASAKOOLROJ, P.; LEELAPHIWAT, P.; HARNKARNSUJARIT, N. Advances in research and development of bioplastic for food packaging. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 100, n. 14, 20 jan. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1002/jsfa.9497>. Acesso em: 20 jun. 2024

KHAN, S. *et al.* Berry wax improves the physico-mechanical, thermal, water barrier properties and biodegradable potential of chitosan food packaging film. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 261, p. 129821, 1 mar. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.129821>. Acesso em: 20 nov. 2024

KÖGEL-KNABNER, I. The macromolecular organic composition of plant and microbial residues as inputs to soil organic matter. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 34, n. 2, p. 139–162, fev. 2002. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(01\)00158-4](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(01)00158-4). Acesso em: 25 nov. 2024

KOLA, V.; CARVALHO, I. S. Plant extracts as additives in biodegradable films and coatings in active food packaging. **Food bioscience**, v. 54, p. 102860–102860, 1 ago. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.102860>. Acesso em: 25 nov. 2024

KULKARNI, Yogesh A. Diabetes, diabetic complications, and flavonoids. In: SINGH, Vijay Kumar; SINGH, Vijai Kumar (org.). **Flavonoids and Anti-inflammatory Activity**. 1. ed. Londres: Academic Press, 2019. p. 123-145. Acesso em: 29 nov. 2024

LEHMANN, J.; KLEBER, M. The contentious nature of soil organic matter. **Nature**, v. 528, n. 7580, p. 60–68, 1 dez. 2015. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/nature16069>. Acesso em: 25 nov. 2024

LEHNER, R. *et al.* Emergence of Nanoplastic in the Environment and Possible Impact on Human Health. **Environmental Science & Technology**, v. 53, n. 4, p. 1748–1765, 10 jan. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b05512>. Acesso em: 20 jun. 2024

- LUZ, R. F. *et al.* Development of a Halochromic, Antimicrobial, and Antioxidant Starch-Based Film Containing Phenolic Extract from Jaboticaba Peel. **Foods**, v. 12, n. 3, p. 653–653, 2 fev. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/foods12030653>. Acesso em: 20 jun. 2024
- MANGAL, M.; CHEBROLU VENKATESHWARA RAO; BANERJEE, T. Bioplastic: An Eco-friendly Alternative of Non-Biodegradable Plastic, 29 jun. 2023. Acesso em: 20 nov. 2024
- MOREIRA, F. M. S.; SIQUEIRA, J. O. **Microbiologia e Bioquímica do Solo**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2006. Acesso em: 20 nov. 2024
- MIRANDA, B. M. *et al.* A Halochromic Film Containing *Plinia cauliflora* Peel Anthocyanins Loaded into a Cashew Gum Polysaccharide-Polyvinyl Alcohol Matrix. **Waste and biomass valorization**, v. 13, n. 5, p. 2565–2574, 10 jan. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12649-022-01688-y>. Acesso em: 20 jun. 2024
- NARANCIC, T. *et al.* Recent Advances in Bioplastics: Application and Biodegradation. **Polymers**, v. 12, n. 4, p. 920, 1 abr. 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/polym12040920>. Acesso em: 2 nov. 2024
- RAVEN, Peter H.; EVERT, Ray F.; EICHHORN, Susan E. **Biologia Vegetal**. 8. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014. Acesso em: 25 nov. 2024
- SADOWSKA-BARTOSZ, I.; BARTOSZ, G. Antioxidant Activity of Anthocyanins and Anthocyanidins: A Critical Review. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 25, n. 22, p. 12001, 8 nov. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijms252212001>. Acesso em: 28 nov. 2024
- SEVERINO, Antônio Joaquim. **Metodologia do trabalho científico**. 24. ed. São Paulo: Cortez, 2017. Capítulo II: O Trabalho Acadêmico: orientações gerais para o estudo na universidade. Acesso em: 2 nov. 2024
- SHACKELFORD, James F. **Ciência dos Materiais**. 7. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008. Acesso em: 2 nov. 2024
- SILVA, R. R. A. *et al.* Biodegradation of Polymers: Stages, Measurement, Standards and Prospects. **Macromol**, v. 3, n. 2, p. 371–399, 1 jun. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/macromol3020023>. Acesso em: 28 nov. 2024
- SILVA, F. *et al.* A stimuli-responsive and bioactive film based on blended polyvinyl alcohol and cashew gum polysaccharide. v. 58, p. 927–934, 1 jan. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.msec.2015.09.064>. Acesso em: 20 jun. 2024
- SMITH, William F.; HASHIMI, S. M. R. **Fundamentos da Engenharia e Ciência dos Materiais**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012. Acesso em: 2 nov. 2024
- SUN, J. *et al.* Insights into plastic biodegradation: community composition and functional capabilities of the superworm (*Zophobas morio*) microbiome in styrofoam feeding trials. **Microbial Genomics**, v. 8, n. 6, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1099/mgen.0.000842>. Acesso em: 28 nov. 2024

XIE, D. *et al.* A robust, recyclable, and biodegradable whole corn bioplastic enabled by dissolution-regeneration strategy. **Chemical Engineering Journal**, p. 157571–157571, 1 nov. 2024. Acesso em: 10 nov. 2024

XIE, D. *et al.* Developing active and intelligent biodegradable packaging from food waste and byproducts: A review of sources, properties, film production methods, and their application in food preservation. **Comprehensive reviews in food science and food safety**, v. 23, n. 3, 2 abr. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13334>. Acesso em: 20 jun. 2024

ZHAO, Y. *et al.* Biodegradable intelligent film for food preservation and real-time visual detection of food freshness. **Food Hydrocolloids**, v. 129, p. 107665, ago. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107665>. Acesso em: 20 jun. 2024

ZHAO, X. *et al.* Sustainable bioplastics derived from renewable natural resources for food packaging. **Matter**, v. 6, n. 1, p. 97–127, jan. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.matt.2022.11.006>. Acesso em: 10 nov. 2024