v7.n7.2026

REVISTA CIENTÍFICA - RECIMA21 ISSN 2675-6218

AVALIAÇÃO DE BIOPLÁSTICO FORMULADO COM SUBPRODUTOS NATURAIS E SUA APLICABILIDADE COMO EMBALAGEM AGRÍCOLA BIODEGRADÁVEL

EVALUATION OF BIOPLASTIC FORMULATED WITH NATURAL BY-PRODUCTS AND ITS APPLICABILITY AS BIODEGRADABLE AGRICULTURAL PACKAGING

EVALUACIÓN DE BIOPLÁSTICO FORMULADO CON SUBPRODUCTOS NATURALES Y SU APLICABILIDAD COMO EMBALAJE AGRÍCOLA BIODEGRADABLE

Gabriela dos Santos Sant'Anna[1], Camila Correa[2], Verônica Valvassori de Medeiros[3], Sofia Müller David[4]

e778645
https://doi.org/10.47820/recima21.v7i7.8645

PUBLICADO: 07/2026

RESUMO

O crescimento populacional e econômico tem impulsionado a geração de resíduos plásticos de origem fóssil, gerando graves impactos ambientais. Como alternativa, este estudo teve como objetivo desenvolver e caracterizar filmes biodegradáveis à base de amido de milho incorporados com subprodutos naturais (borra de café) e um aditivo hidrofóbico (cera de abelha), visando sua aplicação prática como embalagens agrícolas sustentáveis para o cultivo de mudas. Os filmes foram sintetizados pela técnica de *casting* e divididos em grupo controle (sem cera) e grupo experimental (com cera). Os biofilmes foram caracterizados por ensaios de biodegradabilidade em composto orgânico durante 28 dias, espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier, ensaios de inchamento (*swelling*) em água e análise morfológica por estereomicroscopia óptica. Os resultados indicaram que a incorporação da cera de abelha reduziu de forma estatisticamente significativa (p < 0,001) a hidrofilicidade do bioplástico, diminuindo o intumescimento médio global de 61,23% para 52,10%. No ensaio de biodegradabilidade, ambos os grupos sofreram perda contínua de massa, porém o grupo experimental com cera apresentou uma taxa de decomposição significativamente mais controlada e lenta (p = 0,001), mantendo maior estabilidade estrutural nos primeiros 14 dias. A análise de FTIR e a estereomicroscopia confirmaram a dispersão física eficaz dos aditivos na matriz polimérica de amido, formando uma blenda heterogênea estável. Conclui-se que o bioplástico formulado com cera de abelha parece apresentar propriedades adequadas para aplicação em embalagens agrícolas, garantindo a integridade temporária necessária durante o manejo e promovendo a degradação segura no solo após o plantio definitivo.

PALAVRAS-CHAVE: Bioplástico. Borra de café. Cera de abelha.

ABSTRACT

Population and economic growth have driven the generation of fossil-based plastic waste, causing severe environmental impacts. As an alternative, this study aimed to develop and characterize biodegradable corn starch-based films incorporated with natural byproducts (spent coffee

[1] Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS), Campus Rolante, Doutora em Ciências Médicas pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).
[2] Instituto Federal de Educação,Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, Campus Rolante, Doutora em Química pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).
[3] Instituto Federal de Educação,Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS), Campus Rolante, Mestre em Fisiologia Pós-colheita (Produção vegetal) pela Universidade do Estado de Santa Catarina (UDESC).
[4] Instituto Federal de Educação,Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS), Campus Rolante, Ensino Médio Técnico Profissionalizante em Informática pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul (IFRS), Campus Rolante.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

grounds) and a hydrophobic additive (beeswax), targeting their practical application as sustainable agricultural packaging for seedling cultivation. The films were synthesized using the casting technique and divided into a control group (without wax) and an experimental group (with wax). The biofilms were characterized by biodegradability assays in organic compost over 28 days, Fourier-transform infrared spectroscopy, water swelling assays, and morphological analysis by optical stereomicroscopy. The results indicated that the incorporation of beeswax led to a statistically significant reduction ($p < 0.001$) in the hydrophilicity of the bioplastic, decreasing the overall average swelling from 61.23% to 52.10%. In the biodegradability assay, both groups underwent continuous weight loss; however, the experimental group with wax exhibited a significantly more controlled and slower decomposition rate ($p = 0.001$), maintaining higher structural stability over the first 14 days. FTIR analysis and stereomicroscopy confirmed the effective physical dispersion of the additives within the starch polymer matrix, forming a stable heterogeneous blend. It is concluded that the bioplastic formulated with beeswax seems to present suitable properties for agricultural packaging applications, ensuring the temporary integrity required during handling while promoting safe soil degradation after transplanting.

KEYWORDS: *Bioplastic. Coffee grounds. Beeswax.*

RESUMEN

El crecimiento poblacional ha impulsado la generación de residuos plásticos de origen fósil, causando graves impactos ambientales. Como alternativa, este estudio desarrolló y caracterizó películas biodegradables a base de almidón de maíz incorporadas con subproductos naturales (borra de café) y un aditivo hidrofóbico (cera), para su aplicación práctica como envases agrícolas sostenibles en el cultivo de plántulas. Las películas se sintetizaron mediante casting y se dividieron en un grupo de control (sin cera) y uno experimental (con cera). Las biopelículas se evaluaron mediante ensayos de biodegradabilidad en compost orgánico durante 28 días, espectroscopia de infrarrojo por transformada de Fourier, hinchamiento en agua y análisis morfológico por estereomicroscopía óptica. Los resultados indicaron que la cera de abejas condujo a una reducción estadísticamente significativa ($p < 0.001$) en la hidrofilicidad del bioplástico, disminuyendo el hinchamiento promedio general del 61.23% al 52.10%. En el ensayo de biodegradabilidad, ambos grupos sufrieron una pérdida continua de masa; sin embargo, el grupo experimental con cera exhibió una tasa de descomposición significativamente más controlada y lenta ($p = 0.001$), manteniendo una mayor estabilidad durante los primeros 14 días. El análisis de FTIR y la estereomicroscopía confirmaron la dispersión física efectiva de los aditivos dentro de la matriz polimérica de almidón, formando una mezcla heterogénea estable. Se concluye que el bioplástico formulado con cera presenta propiedades adecuadas para aplicaciones en envases agrícolas, garantizando la integridad temporal necesaria durante el manejo de las plántulas y promoviendo una degradación segura en el suelo después de su trasplante.

PALABRAS CLAVE*: Bioplástico. Borra de café. Cera de abejas.*

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e econômico em escala global tem intensificado a geração de resíduos sólidos urbanos, dentre os quais os resíduos plásticos se destacam. Estima-se que o Brasil produza anualmente cerca de 11,3 milhões de toneladas desses materiais, ocupando a quarta posição entre os maiores geradores mundiais. O descarte inadequado de polímeros de origem fóssil acarreta impactos ambientais significativos, sobretudo em função de sua baixa biodegradabilidade (Brasil, 2019). Ademais, por derivarem de recursos não renováveis, os plásticos contribuem para a degradação ambiental, afetando ecossistemas terrestres e aquáticos e permanecendo no ambiente por longos períodos. Nesse contexto, cresce a demanda por materiais biodegradáveis produzidos a partir de fontes renováveis (Silva et al., 2020; Lapa et al., 2021), capazes de reduzir os impactos ambientais associados aos plásticos convencionais. Os bioplásticos biodegradáveis representam uma alternativa promissora, pois apresentam maior taxa de degradação quando submetidos às condições adequadas de compostagem, contribuindo para a redução da geração de resíduos e para a promoção da economia circular. Além das aplicações em embalagens convencionais, os bioplásticos apresentam elevado potencial para utilização na agricultura, especialmente como recipientes para produção de mudas. Diferentemente dos recipientes plásticos tradicionais, esses materiais podem ser incorporados ao solo após o plantio, reduzindo a geração de resíduos e minimizando danos ao sistema radicular durante o transplante (Lapa et al., 2021).

Diversos materiais naturais vêm sendo estudados para melhorar o desempenho dos bioplásticos, destacando-se o amido como matriz polimérica (Zhou et al., 2002), resíduos agroindustriais como a borra de café (Borrelli et al., 2004) e aditivos hidrofóbicos, como a cera de abelha, capazes de aumentar a resistência à umidade sem comprometer a biodegradabilidade do material (Peron et al., 2023). Diante desse contexto, o presente estudo teve como objetivo desenvolver e caracterizar filmes biodegradáveis à base de amido de milho incorporados com borra de café e cera de abelha, avaliando seu potencial de aplicação como embalagens agrícolas biodegradáveis para o armazenamento e transporte de mudas.

1. REFERENCIAL TEÓRICO

1.1. Bioplásticos e sustentabilidade

A crescente preocupação com os impactos ambientais provocados pelos plásticos derivados do petróleo impulsionou o desenvolvimento de materiais biodegradáveis obtidos a partir de fontes renováveis. Os bioplásticos destacam-se por apresentarem menor persistência ambiental,

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

podendo ser degradados pela ação de microrganismos em condições adequadas de compostagem. Durante esse processo, os polímeros são convertidos em dióxido de carbono, água, biomassa e compostos minerais, reduzindo significativamente o acúmulo de resíduos sólidos no ambiente (Feil, 1995; Nascimento *et al.*, 2022).

Além da biodegradabilidade, esses materiais apresentam potencial para integrar sistemas produtivos baseados na economia circular, permitindo o aproveitamento de resíduos agroindustriais como matérias-primas e reduzindo a dependência de recursos fósseis (Silva *et al.*, 2020; Lapa *et al.*, 2021). Normas internacionais, como a EN 13432 e a ABNT NBR 15448-2, estabelecem critérios para avaliar a biodegradação e compostabilidade de embalagens produzidas a partir desses materiais.

1.2. O amido como matriz polimérica

Entre os biopolímeros disponíveis, o amido destaca-se devido à sua ampla disponibilidade, baixo custo, renovabilidade e elevada biodegradabilidade (Zhou *et al.*, 2002). Constituído principalmente por amilose e amilopectina, esse polissacarídeo apresenta elevada capacidade filmogênica após o processo de gelatinização, formando filmes transparentes e relativamente homogêneos. A fim de otimizar suas propriedades mecânicas, em especial a flexibilidade, a plastificação surge como etapa essencial; o uso de glicerol, por exemplo, atua rompendo as ligações de hidrogênio entre os monômeros dos grânulos de amido, viabilizando a obtenção de amido termoplástico (TPS) de alta qualidade (Mali *et al.*, 2010)

Entretanto, sua elevada hidrofilicidade constitui uma importante limitação para aplicações em embalagens, favorecendo a absorção de água e reduzindo sua estabilidade mecânica. Apesar de limitar o desempenho físico inicial do filme, esse caráter hidrofílico acelera consideravelmente o processo de biodegradação, tornando o material altamente responsivo à umidade e à atividade biológica do meio. Em condições adequadas no solo, diversos microrganismos secretam enzimas específicas, como a amilase, capazes de quebrar as moléculas insolúveis de amido em subprodutos solúveis (como maltose e glicose) que são facilmente assimilados pelas células microbianas, garantindo a decomposição total do polímero em poucas semanas (Rizwan *et al.*,2022) . Dessa forma, diferentes estratégias vêm sendo empregadas para melhorar suas propriedades físicas buscando um equilíbrio entre a estabilidade em uso e a taxa de biodegradação, incluindo a incorporação de fibras naturais, cargas vegetais e compostos hidrofóbicos capazes de reduzir a permeabilidade à umidade (Sobral, 2000; Zhou *et al.*, 2002).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

1.3. Borra de café como subproduto agroindustrial

A borra de café constitui um dos principais resíduos gerados pela indústria cafeeira e pelo consumo doméstico da bebida. Embora frequentemente descartada, apresenta elevado potencial de reaproveitamento devido à presença de celulose, hemicelulose, lignina, compostos fenólicos e outras biomoléculas bioativas. Sua incorporação em matrizes poliméricas pode aumentar a rigidez dos materiais, reduzir custos de produção e agregar características funcionais, como atividade antioxidante e antimicrobiana.Nesse sentido, estudos recentes indicam que a incorporação da borra de café em matrizes poliméricas amiláceas pode atuar como um agente de nucleação, elevando ligeiramente o grau de cristalinidade e a estabilidade térmica do compósito, embora teores acima de 5% possam comprometer a resistência mecânica devido a problemas de dispersão e agregação natural das partículas (Masssijaya *et al.*, 2023)

Além disso, sua utilização está alinhada aos princípios da economia circular, promovendo a valorização de resíduos agroindustriais e contribuindo para a redução dos impactos ambientais (Borrelli *et al.*, 2004; Cataneo *et al.*, 2008; Franca & Oliveira, 2022; Bomfim *et al.*, 2022).

1.4. Cera de abelha como agente hidrofóbico

A incorporação de compostos lipídicos é uma estratégia amplamente empregada para reduzir a hidrofilia de bioplásticos. Dentre esses materiais, destaca-se a cera de abelha (produzida por espécies do gênero *Apis*), uma substância composta principalmente por hidrocarbonetos, ésteres, ácidos graxos e álcoois de cadeia longa. Além de suas propriedades biológicas inerentes como ação antimicrobiana, antioxidante e cicatrizante, essa cera atua como uma barreira física contra o transporte de umidade, reduzindo a permeabilidade e elevando a estabilidade hidrofóbica de filmes biodegradáveis. Pesquisas recentes confirmam que sua adição melhora significativamente o desempenho físico de embalagens sustentáveis (Morillon *et al.*, 2002; Cornara *et al.*, 2017; Peron *et al.*, 2023; Florido-Moreno *et al.*, 2025). Embora a associação desse lipídeo ao amido tradicionalmente requeira surfactantes para viabilizar a dispersão na matriz polimérica, a técnica de fundição contínua de solução (*continuous solution casting* - CSC) surge como uma alternativa viável para a obtenção de filmes emulsionados livres de aditivos. Isso ocorre porque a alta velocidade de processamento da CSC mitiga a separação de fases ao promover uma distribuição homogênea das gotículas de cera na matriz amilácea (Luchesi *et al.*, 2023).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

1.5. Aplicação de bioplásticos como embalagens agrícolas

O uso de bioplásticos na agricultura representa uma alternativa promissora para reduzir o consumo de recipientes plásticos convencionais utilizados na produção de mudas. Embalagens biodegradáveis podem ser transplantadas juntamente com a planta, reduzindo danos ao sistema radicular, diminuindo o tempo de manejo e eliminando a necessidade de descarte posterior do recipiente. Entretanto, para essa aplicação, os materiais devem apresentar equilíbrio entre resistência mecânica, estabilidade durante o período de cultivo e biodegradação após o plantio. Dessa forma, a combinação de matrizes amiláceas com resíduos agroindustriais e agentes hidrofóbicos surge como estratégia promissora para obtenção de embalagens agrícolas ambientalmente sustentáveis, conciliando desempenho funcional e menor impacto ambiental (Briassoulis, 2007; Lapa *et al.*, 2021). Contudo, para evitar o acúmulo de fragmentos persistentes no solo, a biodegradação completa desses materiais deve ser garantida, processo que é fortemente influenciado pelas condições bióticas e abióticas do ambiente. Além disso, embora a tecnologia para o desenvolvimento dessas embalagens agrícolas seja viável, o elevado custo das matérias-primas ainda limita sua ampla adoção pelos produtores (Kasirajan & Ngouajio, 2012).

2. METODOLOGIA

2.1. Materiais

A borra de café utilizada na produção dos bioplásticos foi proveniente de resíduos gerados no preparo de café por método de filtração, sendo coletada imediatamente após a extração da bebida. Posteriormente, o material foi submetido à secagem em temperatura controlada de 60°C até completa remoção da umidade. Após, o material foi triturado com o auxílio de um moinho analítico (Quimis,Q298A) e peneirado até a completa remoção de grumos, obtendo-se uma fração mais homogênea, adequada para a incorporação na formulação dos bioplásticos. O amido de milho utilizado foi o de uso comercial (Maisena®), agente plastificante glicerina bi-destilada (Farmax®) e como aditivo cera de abelha.

2.2. Síntese dos filmes biodegradáveis

Os filmes biodegradáveis foram obtidos através da técnica de *"casting"* (Souza et al., 2011). O processo de elaboração dos filmes biodegradáveis consistiu em preparar uma mistura composta por amido de milho, glicerina, borra de café e cera de abelha nas proporções definidas na Tabela 01. Em seguida, a suspensão foi aquecida a 60°C por 40 minutos, sob agitação

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

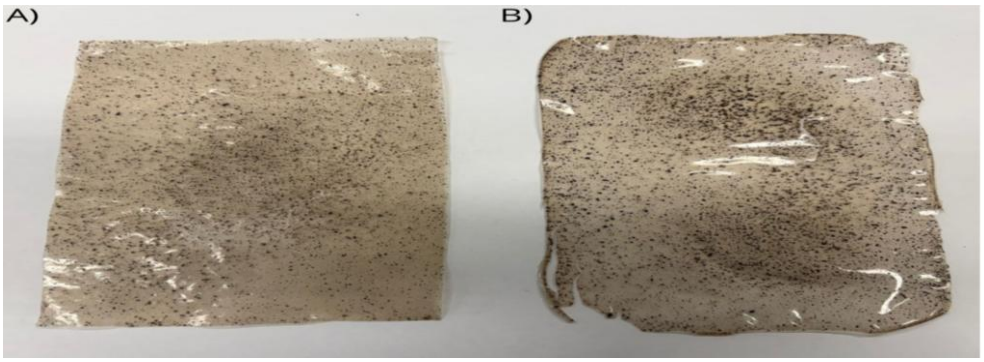
constante até a cera de abelha ser adicionada e a temperatura passando para 70°C por mais 30 minutos. Após o término deste procedimento, as soluções filmogênicas foram vertidas em bandejas de acrílico, secas em chapa aquecedora na temperatura de 30°C durante 48 horas para total evaporação da água e formação dos filmes biodegradáveis (Figura 01). Os filmes produzidos foram armazenados em recipientes vedados da ação externa até que as análises fossem realizadas.

Tabela 1. Matriz contendo as condições empregadas na síntese dos filmes biodegradáveis

Componentes	Grupo 01	Grupo 02
Amido (g)	10	10
Borra de café(g)	1	1
Cera de abelha (g)	-	1,15
Glicerina (ml)	3	3
Água destilada (ml)	300	300

Grupo 1. Grupo controle, com borra de café e sem cera de abelha; Grupo 02 - Grupo Experimental, com borra de café e cera de abelha.

Figura 1. Filmes biodegradáveis após o procedimento de "*casting*". A) bioplástico com amido, glicerina,água e borra de café. B) bioplástico com amido, glicerina,água,borra de café e cera de abelha



Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

2.3. CARACTERIZAÇÃO DO BIOPLÁSTICO

2.3.1. Análise de biodegradabilidade dos filmes em composto orgânico

A análise de biodegradabilidade avalia a capacidade de decomposição de um bioplástico no meio ambiente. Entre os métodos disponíveis, o ensaio de degradação por enterramento no solo é amplamente utilizado por permitir quantificar o grau de deterioração do material por meio da redução de sua massa molecular ao longo do tempo (Nagaraj *et al.*, 2023). No cenário nacional, a diretriz para essa avaliação baseia-se na norma ABNT NBR 15448 (2008), elaborada sob as premissas da norma europeia EN 13432 (2000) (*Requirements for packaging recoverable through composting and biodegradation*). Para o presente estudo, utilizou-se um composto orgânico comercial como meio de imersão. Por definição, esse substrato consiste em uma matriz obtida pela biodegradação de resíduos predominantemente vegetais e outros materiais orgânicos, associada a um conteúdo mineral delimitado (Briassoulis, 2007; Cerruti *et al.*, 2011).

Os filmes obtidos por *casting* foram seccionados em corpos de prova de 2 cm × 3 cm, secos em estufa e pesados em balança analítica para determinação da massa inicial. Na sequência, as amostras foram acondicionadas individualmente em telas plásticas vazadas para viabilizar sua posterior recuperação. O experimento foi conduzido sob condições controladas de laboratório, mantendo-se a temperatura ambiente (~25 °C) e a pressão atmosférica. O procedimento consistiu no enterramento dos corpos de prova a uma profundidade de aproximadamente 4 cm em bandejas de cultivo de mudas, preenchidas com 80 g do composto orgânico. O ensaio foi realizado em triplicata experimental (n = 3) para cada período avaliado. A umidade do sistema foi mantida constante por meio de pulverização com água a cada dois dias. Nos intervalos amostrais estabelecidos de 7, 14, 21 e 28 dias, as respectivas amostras foram removidas cuidadosamente do substrato, submetidas à secagem em estufa a 45 °C até massa constante e pesadas novamente. Adicionalmente, realizou-se o registro fotográfico dos materiais para fins de monitoramento qualitativo do processo de desintegração visual, seguindo a metodologia proposta por Cerruti *et al.* (2011) e Piñeros-Hernandez *et al.* (2017).

O percentual de biodegradabilidade foi mensurado com base na perda de massa, calculada a partir da Equação 1:

Perda de massa (%) = Massa inicial - Massa final \Massa inicial x 100

2.3.2. FTIR

Para avaliar a estrutura química dos compósitos produzidos com borra de café e cera de abelha, foram realizadas análises de Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Fourier (FTIR). O intervalo utilizado para a leitura dos espectros foi de 4000 - 650 cm-1 , o equipamento utilizado foi o Espectrômetro FTIR, modelo Frontier IR,Perkin Elmer® e o software SPECTRUM.

2.3.3. Ensaio de inchamento (*swelling*) em água

Foi realizado o teste de *swelling* (teste de absorção/inchamento) para avaliar a capacidade do material em absorver líquidos (água) e aumentar de volume sem se dissolver. Sendo uma importante ferramenta para indicar o grau de resistência à umidade e o potencial de degradação do material (Nagaraj *et al.*, 2023).

O ensaio de absorção de água foi realizado com base nos princípios descritos na norma ASTM D570 (2018), empregando uma adaptação metodológica quanto aos tempos de avaliação. Enquanto a norma estabelece períodos padronizados, geralmente de 24 horas, para determinação da absorção de água em materiais plásticos convencionais, neste estudo foram adotados intervalos de 15, 30 e 60 minutos com o objetivo de acompanhar a cinética inicial de inchamento dos bioplásticos à base de amido, cuja elevada hidrofilicidade promove rápida absorção de água. Essa adaptação permitiu avaliar de forma mais representativa o comportamento inicial do material frente à umidade, aspecto relevante para sua aplicação como embalagem agrícola biodegradável. As amostras foram triplicatas e inicialmente pesadas (wo) e imersas em água destilada, e após tempos fixos foram removidas e pesadas novamente (wt); utilizou-se um papel para remover o excesso de água nesta etapa. A porcentagem de inchamento (*swelling*) foi calculada utilizando a Equação:

$$Inchamento\ (\%) = (Wt - Wo)/\ Wo \times 100$$

2.3.4. Análise morfológica com estereomicroscópio óptico

A análise morfológica dos bioplásticos foi realizada para compreender como a estrutura interna afetou o desempenho do material. A morfologia da superfície dos filmes de bioplástico foi analisada utilizando um estereomicroscópio (ION/XT-3L-NM). As amostras foram observadas sob iluminação refletida com aumentos de 20x e 40x para avaliar a homogeneidade da matriz, a distribuição dos aditivos e a presença de eventuais microbolhas ou imperfeições superficiais resultantes do processo de *casting*.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Teste de biodegradabilidade

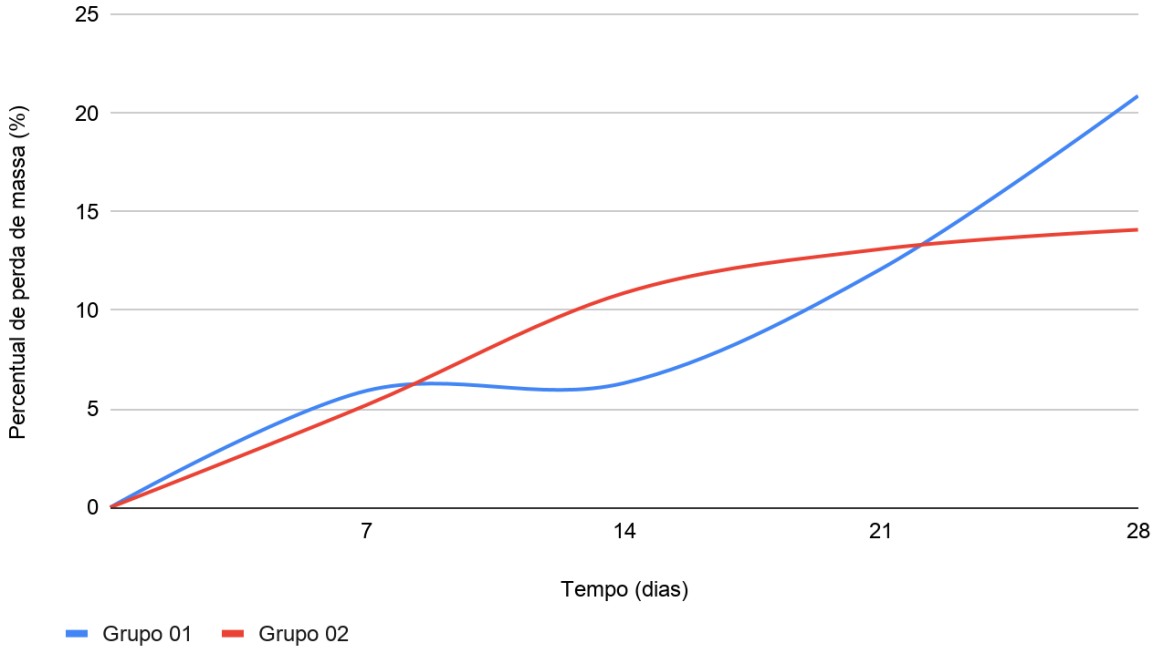
O teste de biodegradabilidade indicou que ambos os bioplásticos (Grupo 01 e Grupo 02) apresentaram perda de massa contínua ao longo dos 28 dias, o que confirma o processo de biodegradação em contato com o solo. O Grupo 01 exibiu perdas de massa de 5,93%, 6,31%, 12,10% e 20,88% após 7, 14, 21 e 28 dias, respectivamente. Por sua vez, o Grupo 02 apresentou valores de 5,21%, 10,88%, 13,11% e 14,09% nos mesmos períodos avaliados. Nota-se, contudo, que o comportamento e a velocidade de degradação variaram significativamente entre a formulação sem e com cera (Gráfico 01).

Para validar essas diferenças, realizou-se a análise de variância ANOVA de duas vias (*Two-Way* ANOVA), seguida pelo teste de comparações múltiplas de *Tukey* ($p \leq 0,05$). Nos dias 7 e 14, observou-se que a cera funcionou de forma eficaz como uma barreira protetora inicial contra a umidade e a ação de microrganismos. A partir do dia 21, o grupo com a incorporação de cera começou a sofrer uma degradação mais perceptível, embora a sua perda de massa total tenha permanecido significativamente menor em relação ao grupo sem cera ao final do período de 28 dias.

Os resultados estatísticos confirmaram que a presença da cera no bioplástico reduziu de forma significativa a taxa de biodegradação em comparação ao grupo puramente à base de borra de café ($p = 0,001$). Além disso, a análise de interação ($p = 0,005$) demonstrou que o grupo com cera apresentou maior estabilidade e menor perda de massa principalmente nos primeiros 14 dias, mantendo-se significativamente menos degradado até o encerramento do experimento ($p \leq 0,05$). Esse perfil de retardamento na degradação inicial corrobora os achados obtidos por Chowdhury *et al.* (2022) que ao avaliarem bioplásticos sintetizados a partir de sementes de tamareira e de bagas, os autores verificaram que a incorporação de um aditivo natural extraído da raiz de alcaçuz (licorice) reduziu consideravelmente a perda de massa no solo (de 50% para 30% após 30 dias) devido a uma fase de latência inicial (*lag phase*) requerida para a adaptação microbiana. De maneira semelhante ao observado no presente estudo, Masssijaya *et al.* (2023), verificaram que a substituição parcial do amido livre (que é altamente hidrofílico e rapidamente assimilável) por frações insolúveis e complexas de borra de café parece auxiliar no controle cinético de perda de massa inicial das blendas bioplásticas.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Gráfico 1. Análise da biodegradabilidade no período de 28 dias. Grupo 01: Bioplástico com amido, glicerina,borra de café e água; Grupo 02: Bioplástico com amido, glicerina,borra de café e cera de abelha. Os dados representam a média ± desvio padrão (N=3 por ponto temporal)



3.2. FTIR

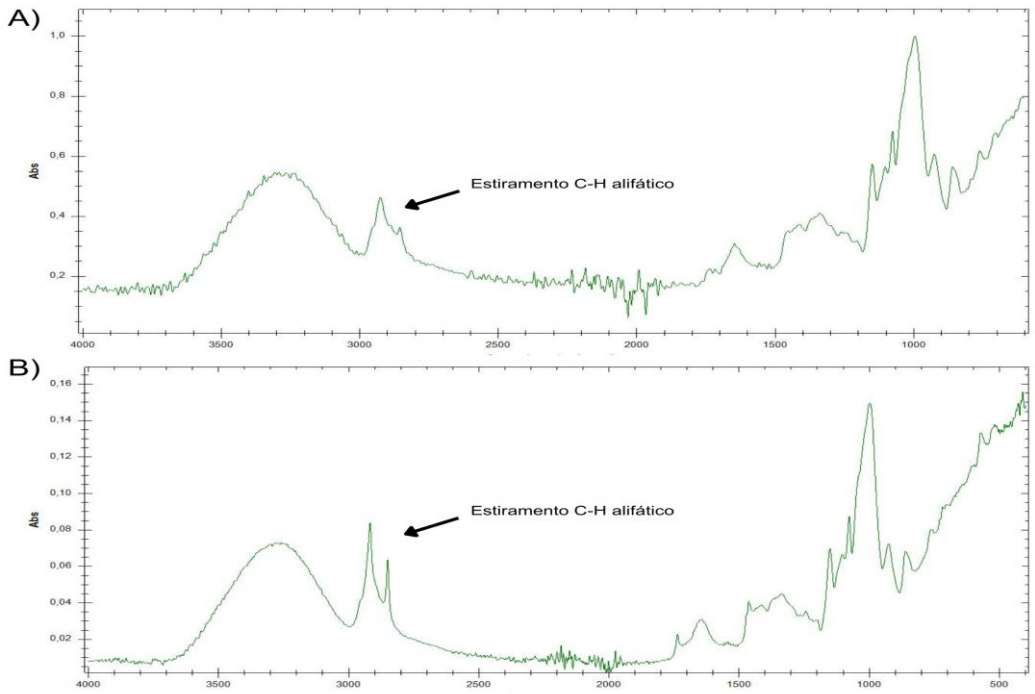
A técnica de FTIR é amplamente utilizada para identificar substâncias químicas e determinar a estrutura molecular de uma amostra por meio do reconhecimento de seus grupos funcionais. Diversos estudos voltados ao desenvolvimento de bioplásticos realizam essa caracterização a fim de averiguar a afinidade entre as moléculas propostas. Silva e colaboradores (2025), por exemplo, desenvolveram um plástico biodegradável a partir de casca de ovo e fécula de araruta, utilizando a técnica para verificar a interação do carbonato de cálcio da casca com a matriz polimérica. Da mesma forma, Chowdhury *et al.* (2022) empregaram o FTIR na caracterização de um bioplástico formulado com sementes de frutas vermelhas, sementes de tamarindo e raiz de alcaçuz.

No presente estudo, os espectros de FTIR dos biofilmes à base de amido de milho, glicerina e borra de café, com e sem a incorporação de cera de abelha, estão apresentados nas figuras 2A e 2B. Ambos os materiais exibiram o comportamento espectral característico de

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

matrizes amiláceas plastificadas. A banda larga e intensa na região de 3300 cm^{-1} é atribuída ao estiramento de grupos hidroxila (-OH) envolvidos em redes de ligações de hidrogênio, os quais estão presentes no amido, na glicerina e nos compostos hidrofílicos da borra de café. A incorporação da cera de abelha promoveu alterações químicas nítidas na estrutura do biofilme. Observou-se um aumento expressivo na intensidade e na resolução das bandas em 2917 cm^{-1} e 2849 cm^{-1}, correspondentes aos estiramentos assimétricos e simétricos de grupos alifáticos C-H (CH2 e CH3). Esse perfil decorre das longas cadeias hidrocarbonadas que constituem os ésteres e os ácidos graxos livres da cera. Por fim, a manutenção do pico intenso em 1000 cm^{-1} (estiramento C-O-C do amido) em ambos os filmes sugere que a cera de abelha atuou como um agente modificador de superfície ou fase dispersa, sem romper a integridade macromolecular da blenda base de amido e glicerina.

Figura 2. Espectros de FTIR dos biofilmes sintetizados. A) Espectro do biofilme com amido de milho,glicerina e borra de café (Grupo Controle); B) Espectro do biofilme com amido de milho,glicerina, borra de café e cera de abelha (Grupo Experimental).



Nota: Observar as bandas de estiramento alifático (C-H). Eixo X representa o número de ondas (medidos em cm-1) e o eixo Y representa a absorbância (Abs).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

3.3. Ensaio de inchamento (*swelling*) em água

A capacidade de absorção de água e intumescimento dos biofilmes foi avaliada através do teste estatístico de variância bidirecional (ANOVA *Two-Way)*, considerando os fatores: tipo de bioplástico (com e sem cera de abelha) e o tempo de imersão (15, 30 e 60 minutos). Os resultados indicaram que ambos os fatores influenciaram de forma independente e estatisticamente significativa o grau de intumescimento do material. A incorporação da cera de abelha exerceu um efeito pronunciado na redução da hidrofilicidade do bioplástico ($p < 0,001$). O biofilme composto apenas por amido, glicerina e borra de café exibiu um intumescimento médio global de 61,23%, enquanto a inclusão da cera reduziu essa propriedade para 52,10%. Esse decréscimo está diretamente associado à natureza hidrofóbica da cera de abelha, cujas cadeias alifáticas longas, previamente identificadas e discutidas no espectro de FTIR foram capazes de atuar como barreiras físicas à difusão de água, mitigando a expansão da rede polimérica amilácea. A necessidade da inserção de um agente hidrofóbico eficaz (como a cera de abelha) para controlar o *swelling* inicial é validada pela microestrutura que a borra gera no material. Conforme pontuado por Masssijaya *et al.* (2023), a agregação natural da borra de café tende a formar caminhos porosos e rugosidades na superfície do amido termoplástico que aumentam a permeabilidade à umidade, o que justifica a adição de barreiras lipídicas para manter a integridade física da embalagem agrícola durante as regas e o manuseio inicial.

Em relação ao tempo de imersão, o teste de comparações múltiplas de *Tukey* apontou que o grau de intumescimento permaneceu estável entre os tempos de 15 min (54,98%) e 30 min (53,67%), sem diferença estatisticamente relevante. Contudo, uma elevação significativa na absorção hídrica foi observada após 60 min (61,34%, $p \leq 0,05$), sugerindo que períodos prolongados favorecem a saturação progressiva dos sítios ativos de hidroxila do amido e da glicerina. Por fim, a interação entre tempo de imersão e grupo não se mostrou estatisticamente significativa ($p = 0,567$) , indicando que a cera de abelha desempenha uma função protetora constante e paralela ao longo de todo o intervalo temporal avaliado.

3.4. Análise da morfologia por estereomicroscopia óptica

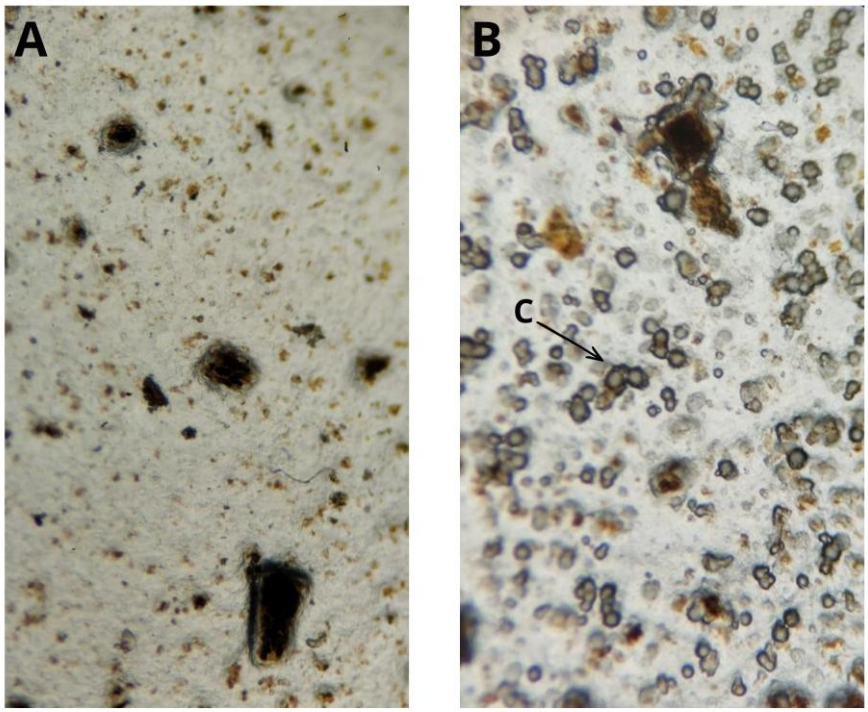
As características da estrutura morfológica dos filmes biodegradáveis são fatores que devem ser estudados durante a confecção deste material. Podendo revelar características superficiais entre as amostras, destacando a presença de grânulos ou rachaduras (Silva *et al*,2025). A análise da morfologia do grupo controle (sem cera de abelha), demonstrou uma matriz contínua, homogênea e translúcida. Observou-se alguns aglomerados escuros de geometria irregular, dispersos de forma aleatória, que são as partículas da borra de café (Figura 03.A).

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

A Figura 03.B apresenta a micrografia óptica do biofilme de amido contendo cera de abelha, com aumento de 40x. A análise revela uma morfologia heterogênea e complexa, com várias fases distintas que confirmam a incorporação dos aditivos na matriz polimérica. O fundo contínuo e predominantemente claro corresponde à matriz plastificada de amido e glicerina. No entanto, sua aparência não é perfeitamente lisa ou amorfa; ela exibe uma textura granulada residual e ligeiramente turva, o que sugere uma plastificação parcial e a presença de traços insolúveis dispersos, possivelmente frações de amido não gelatinizadas ou traços finos de polímeros insolúveis da borra de café. O recurso mais proeminente é a alta densidade de estruturas ovóides e esféricas de cor escura, variando em tamanho de aproximadamente 5 µm a mais de 30 µm de diâmetro. Estas estruturas são atribuídas à cera de abelha. A sua forma globular indica que a cera foi fundida durante o processamento e, após o resfriamento, formou fases dispersas que se segregam da matriz de amido hidrofílico, um fenômeno comum em misturas imiscíveis de polímeros com diferentes polaridades. A distribuição dessas partículas parece ser aleatória, mas cobre uma grande parte do campo de visão. É possível observar alguns aglomerados irregulares opacos de cor marrom (por exemplo, na parte central superior da imagem). Essas estruturas são interpretadas como remanescentes macroscópicos do material estrutural da borra de café. Sua cor escura e forma irregular contrastam fortemente com os glóbulos de cera mais regulares, e representam fragmentos de tecidos vegetais que não se dissolveram na matriz. A presença de múltiplos tipos de partículas dispersas sugere uma interação de barreira física. A segregação clara da cera de abelha em glóbulos dispersos deve aumentar significativamente a hidrofobicidade do biofilme, criando um caminho tortuoso para as moléculas de água. No entanto, a heterogeneidade da matriz e os grandes aglomerados de borra de café podem criar pontos de concentração de tensão, afetando a resistência mecânica e a transparência do material.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Figura 3. A) Estereomicrografias óptica (40x) do biofilme de amido com borra de café, sem cera de abelha. Fundo claro indicando uma matriz de amido plastificada e os aglomerados marrons irregulares representam uma parte da borra de café aglomerada. B) Estereomicrografia óptica (40x) do biofilme de amido modificado com cera de abelha e borra de café. É visível a distribuição de glóbulos de cera de abelha (C) e grandes fragmentos de borra de café (aglomerados marrons irregulares) em uma matriz de amido plastificado (fundo claro)



4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo demonstrou que bioplásticos à base de amido de milho incorporados com subprodutos naturais, como a borra de café e cera de abelha apresentam potencial como embalagem agrícola sustentável para o armazenamento de mudas e plantas. A análise microestrutural confirmou a dispersão eficaz das partículas de borra de café na matriz polimérica de amido e glicerina, formando pontos de barreira física. Além disso, análises de FTIR demonstraram que a adição da cera de abelha e da borra de café ocorreu por meio de interações

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

físicas e ligações de hidrogênio, sem alterar quimicamente a estrutura fundamental do amido. Do ponto de vista funcional, a incorporação de cera de abelha mostrou-se uma estratégia altamente promissora para contornar a limitação hidrofílica inerente ao amido. No ensaio de inchamento (*swelling*), a cera atuou de forma significativa como agente hidrofóbico nos tempos iniciais de 15 e 30 minutos, reduzindo a absorção imediata de água e estendendo a vida útil estrutural do material na presença de umidade. Essa mesma propriedade de barreira refletiu-se diretamente no comportamento de degradação. O teste de biodegradação por enterramento em composto orgânico demonstrou que o material preserva o caráter ecológico essencial, mantendo a perda contínua de massa ao longo de 28 dias.

No entanto, o grupo modificado com cera demonstrou uma degradação significativamente mais controlada e lenta, sobretudo na primeira quinzena de ensaio, conferindo maior estabilidade temporal ao compósito. Para aplicação em sacos de mudas, essa degradação é promissora, pois garante que o recipiente mantenha sua integridade estrutural durante as etapas iniciais de manejo, fixação e transporte da muda, decompondo-se de maneira gradual e segura após o plantio definitivo no solo.

Assim, o bioplástico formulado consolida-se como uma alternativa viável aos polímeros de matriz fóssil, alinhando-se aos princípios da economia circular por meio da valorização de resíduos agroindustriais (borra de café) e subprodutos naturais (cera de abelha). Como limitações e perspectivas para trabalhos futuros, destaca-se a necessidade de investigação das propriedades mecânicas de tração e ruptura do filme, uma vez que a heterogeneidade e os aglomerados observados em microscopia podem atuar como concentradores de tensão.

Além disso, o ensaio de biodegradação foi conduzido em triplicata experimental (n = 3) para cada período de avaliação, delineamento empregado em estudos laboratoriais preliminares de caracterização de biomateriais. Considerando que o método de biodegradação por enterramento é destrutivo, cada corpo de prova pôde ser avaliado apenas uma única vez, exigindo amostras independentes para cada tempo experimental (7, 14, 21 e 28 dias). Embora esse delineamento tenha permitido detectar diferenças estatisticamente significativas entre os grupos, estudos futuros com maior número de réplicas poderão aumentar o poder estatístico e reduzir a influência da variabilidade inerente ao processo de biodegradação. Adicionalmente, a realização de testes práticos diretamente com o cultivo de mudas (*in vivo*), para monitorar a resposta do material à rotina de irrigação e avaliar os potenciais efeitos bioativos (antimicrobianos e antioxidantes) da borra de café e da cera de abelha no desenvolvimento radicular das plantas deve ser realizado.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

Financiamento

Este trabalho foi realizado com o apoio do IFRS, Edital PROPPI 18/2024 - Fomento Interno para Projetos de Pesquisa e Inovação 2025.

Declaração de uso de Inteligência Artificial

Durante o processo de redação deste manuscrito, as ferramentas de Inteligência Artificial Chat GPT e Gemini AI foram utilizadas de forma restrita e assistida. As ferramentas foram empregadas para a revisão ortográfica e correção gramatical dos tópicos em língua portuguesa,buscando o aprimoramento da clareza e fluidez textual. O Chat GPT foi utilizado especificamente para auxiliar no processo de tradução e refinamento estilístico dos resumos em língua estrangeira *(Abstract e Resumen).* Os autores realizaram a revisão crítica de todas as modificações sugeridas pelas plataformas e assumem total e integral responsabilidade pelo conteúdo final e pelas ideias expressas neste artigo.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15448-2: embalagens plásticas degradáveis e/ou de fontes renováveis – Parte 2: biodegradação e compostagem – Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

ASTM INTERNATIONAL. **ASTM D570-98(2018)**: Standard test method for water absorption of plastics. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2018. Disponível em: https://www.astm.org/. Acesso em: 1 jul. 2026.

BOMFIM, A. S. *et al*. Spent coffee grounds characterization and reuse in composting and soil amendment. **Waste**, v. 1, p. 2–20, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.3390/waste1010002. Acesso em: 1 jul. 2026.

BORRELLI, R. C. *et al*. Characterization of a new potential functional ingredient: coffee silverskin. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 52, n. 5, p. 1338-1343, mar. 2004. Disponível em: https://doi.org/10.1021/jf034974x. Acesso em: 1 jul. 2026.

BRASIL. Fundação Joaquim Nabuco (FUNDAJ). **Brasil é o 4º maior produtor de lixo plástico do mundo e recicla apenas 1%**. Recife: FUNDAJ, 2019. Disponível em: https://www.gov.br/fundaj/pt-br. Acesso em: 16 abr. 2026.

BRIASSOULIS, D. Analysis of the mechanical and degradation performances of optimised agricultural biodegradable films. **Polymer Degradation & Stability**, v. 92, p. 1115-1132, 2007.

CATANEO, Ciriele Boeira *et al*. Atividade antioxidante e conteúdo fenólico do resíduo agroindustrial da produção de vinho. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 29, n. 1, p. 93-102, jan./mar. 2008.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

CERRUTI, P. *et al*. Effect of a natural polyphenolic extract on the properties of a biodegradable starch-based polymer. **Polymer Degradation & Stability**, v. 96, p. 839-846, 2011.

CORNARA, L. *et al*. Therapeutic Properties of Bioactive Compounds from Different Honeybee Products. **Frontiers in Pharmacology**, v. 8, art. 412, jun. 2017. Disponível em: https://doi.org/10.3389/fphar.2017.00412. Acesso em: 1 jul. 2026.

CHOWDHURY, Mohammad Asaduzzaman; BADRUDDUZA, Md.; HOSSAIN, Nayem; RANA, Md. Masud. Development and characterization of natural sourced bioplastic synthesized from tamarind seeds, berry seeds and licorice root. **Applied Surface Science Advances**, [s. l.], v. 11, 100313, 2022. DOI: https://doi.org/10.1016/j.apsadv.2022.100313. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S266652392200085X. Acesso em: 14 jul. 2026.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). **EN 13432**: Packaging – Requirements for packaging recoverable through composting and biodegradation – Test scheme and evaluation criteria for the final acceptance of packaging. Brussels: CEN, 2000.

FEIL, H. Biodegradable plastics from vegetable raw materials. **Agro-Food-Industry Hi-Tech**, p. 25-32, 1995.

FLORIDO-MORENO, Pedro *et al*. Plasticized cellulose bioplastics with beeswax for the fabrication of multifunctional, biodegradable active food packaging. **Food Hydrocolloids**, v. 162, p. 110933, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.110933. Acesso em: 1 jul. 2026

FRANCA, Adriana S.; OLIVEIRA, Leandro S. Potential Uses of Spent Coffee Grounds in the Food Industry. **Foods**, v. 11, n. 14, p. 2064, jul. 2022. Disponível em: https://doi.org/10.3390/foods11142064. Acesso em: 1 jul. 2026. *(Nota: Dados de DOI e acesso ajustados com base nos registros do artigo).*

KASIRAJAN, S.; NGOUAJIO, M. Polyethylene and biodegradable mulches for agricultural applications: a review. *Agron. Sustain. Dev.* **32**, p. 501–529, 2012. https://doi.org/10.1007/s13593-011-0068-3

LAPA, L. S. S. *et al*. Avaliação das propriedades mecânicas de filmes biodegradáveis e sua aplicação em embalagens para acondicionamento de plantas. **ForScience**, v. 9, n. 2, e00970, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.29069/forscience.2021v9n2.e970. Acesso em: 1 jul. 2026.

LUCHESI, Bruno Ribeiro; MOREIRA, Francys Kley Vieira; MARCONCINI, José Manoel. Scalable production of hydrophobic starch/beeswax films by continuous solution casting. **Journal of Applied Polymer Science**, [s. l.], v. 141, n. 1, e54730, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1002/app.54730. Acesso em: 15 jul. 2026.

MALI, Suzana; GROSSMANN, Maria Victória Eiras; YAMASHITA, Fábio. Filmes de amido: produção, propriedades e potencial de utilização. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, n. 1, p. 137-156, jan./mar. 2010. Disponível em: https://www.redalyc.org/pdf/4457/445744095013.pdf. Acesso em: 15 jul. 2026.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.

MASSSIJAYA, Sri Yustikasari *et al*. Utilization of Spent Coffee Grounds as a Sustainable Resource for the Synthesis of Bioplastic Composites with Polylactic Acid, Starch, and Sucrose. **Journal of Composites Science**, [s. l.], v. 7, n. 12, p. 512, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.3390/jcs7120512. Acesso em: 15 jul. 2026.

MORILLON, V. *et al*. Factors affecting the moisture permeability of lipid-based edible films: a review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 42, n. 1, p. 67-89, jan. 2002. Disponível em: https://doi.org/10.1080/10408690290825466. Acesso em: 1 jul. 2026. *(Nota: Nome do periódico expandido e padronizado segundo as normas ABNT).*

NAGARAJ, V. *et al*. Characterization of bioplastic prepared from composites of food waste. **International Journal of Novel Research and Development**, v. 8, n. 8, p. b4-b15, ago. 2023. Disponível em: https://www.ijnrd.org/papers/IJNRD2308103.pdf. Acesso em: 1 jul. 2026.

NASCIMENTO, K. R. de F.; SANTOS, M. R. R. dos; SILVA, J. A. da. Sacolas Biodegradáveis: Sustentabilidade e ascensão da produção. ***Diversitas Journal*****,** v. 7n. 1, p. 0171–0189, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.48017/dj.v7i1.1929. Acesso em: 15 jul. 2026.

PERON, G. *et al*. The beeswax processing by-product: a potential antibacterial ingredient for food and nutraceutical applications. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 58, n. 10, p. 5549-5556, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1111/ijfs.16520. Acesso em: 1 jul. 2026.

PIÑEROS-HERNANDEZ, D. *et al*. Edible cassava starch films carrying rosemary antioxidant extracts for potential use as active food packaging. **Food Hydrocolloids**, v. 63, p. 488-495, 2017.

RIZWAN, M.; JAMAL, T.; JAMAL, A.; KOKAB, I. S. Degradation of bioplastics under the influence of several environmental conditions. **Pakistan Journal of Science**, Lahore, v. 74, n. 4, p. 340-345, Dec. 2022.

SILVA, M. L. T.; BRINQUES, G. B.; GURAK, P. D. Desenvolvimento e caracterização de bioplásticos de amido de milho contendo farinha de subproduto de broto. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 23, e2018326, 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1590/1981-6723.32618. Acesso em: 1 jul. 2026.

SILVA, Rosanny C. da *et al*. Obtenção de um plástico biodegradável à base de fécula de araruta (*Maranta arundinacea*) e casca de ovo. **Química Nova**, v. 48, n. 7, e-20250166, 2025. Disponível em: http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20250166. Acesso em: 1 jul. 2026.

SOBRAL, P. J. D. A. Influência da espessura de biofilmes feitos à base de proteínas miofibrilares sobre suas propriedades funcionais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 6, p. 1251–1259, jun. 2000.

SOUZA, Carolina O. *et al*. Mango and Acerola Pulps as Antioxidant Additives in Cassava Starch Bio-based Film. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 59, n. 6, p. 2248-2254, 2011. Disponível em: https://doi.org/10.1021/jf1040405. Acesso em: 1 jul. 2026.

ZHOU, Z. *et al*. Composition and functional properties of rice. **International Journal of Food Science & Technology**, v. 37, p. 849-868, 2002.

Este artigo é publicado em acesso aberto (Open Access) sob a licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC-BY), que permite uso, distribuição e reprodução irrestritos em qualquer meio, desde que o autor original e a fonte sejam creditados.