



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CAMPUS INHUMAS
LICENCIATURA EM QUÍMICA

WELLINGTON JOHNATAN DA SILVA

BIOPLÁSTICOS: síntese e caracterização de plástico biodegradável à base de amido extraído
do córtex da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz)

INHUMAS

2025

WELLINGTON JOHNATAN DA SILVA

BIOPLÁSTICOS: síntese e caracterização de plástico biodegradável à base de amido extraído do córtex da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz)

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Licenciatura em Química, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - câmpus Inhumas/IFG como requisito parcial à obtenção do título de Licenciada em Química.

Orientadora: Profª. Dra. Elisangela Cardoso de Lima Borges.

Coorientador: Prof. Dr. Fernando Pereira de Sá.

INHUMAS

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Silva, Wellington Johnatan da

S586 Bioplásticos: síntese e caracterização de plástico biodegradável à base de amido extraído do córtex da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) [Manuscrito]. / Wellington Johnatan da Silva – Inhumas: IFG, 2025.

72 f.

Inclui bibliografia.

Orientadora: Profa. Dra. Elisângela Cardoso de Lima Borges.

Coorientador: Prof. Dr. Fernando Pereira de Sá.

Trabalho de Conclusão de Curso em Licenciatura em Química – IFG/Câmpus Inhumas, 2025.

1. Biopolímeros biodegradáveis. 2. Materiais de embalagem sustentável. 3. Amido extraído de *Manihot esculenta*. 4. Borges, Elisângela Cardoso de Lima (orientadora). 5. Sá, Fernando Pereira de (coorientador) I. Título.

CDD 668.4236

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária
Larissa Stefane Rodrigues de Lima - CRB/1-3424
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Câmpus Inhumas – Biblioteca Atena



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Wellington Johnantan da Silva

Matrícula: 20201030020174

Título do Trabalho: BIOPLÁSTICOS: síntese e caracterização de plástico biodegradável à base de amido extraído do córtex da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz)

Autorização - Marque uma das opções

1. ☒ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
2. ☐ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
3. ☐ Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

- ☐ O documento está sujeito a registro de patente.
☐ O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
☐ Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Inhumas, 21/05/2025.

Local Data

Wellington Johnantan da Silva

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS INHUMAS

Folha de Aprovação

WELLINGTON JOHNATAN DA SILVA

BIOPLÁSTICOS: síntese e caracterização de plástico biodegradável à base de amido extraído do córtex da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz)

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Licenciatura em Química, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás - câmpus Inhumas/IFG como requisito para obtenção do título de Licenciado em Química, sob orientação da Prof^a.Dra. Elisangela Cardoso de Lima Borges.

Aprovado em: 06/05/2025

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Elisangela Cardoso de Lima Borges
(orientadora - IFG/campus Inhumas)

Prof. Dr. Fernando Pereira de Sá
(co-orientador - IFG/campus Inhumas)

Prof. Dr. Julio Cesar Colivet Briceno
(Membro externo - UFG)

Dra. Maria Carolina de Almeida
(Membro interno - IFG/campus Inhumas)

Documento assinado eletronicamente por:

- **Fernando Pereira de Sa**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 19/05/2025 16:51:50.
- **Maria Carolina de Almeida**, TECNICO DE LABORATORIO AREA, em 19/05/2025 15:05:30.
- **Julio Cesar Colivet Briceno**, Julio Cesar Colivet Briceno - Professor Substituto EBT - Ifg - Câmpus Inhumas (10870883000497), em 19/05/2025 14:22:45.
- **Elisangela Cardoso de Lima Borges**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 19/05/2025 14:13:23.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 19/05/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 650808

Código de Autenticação: 25b126de4f



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Av. Universitária, S/Nº, S/N, Vale das Goiabeiras, INHUMAS / GO, CEP 75402-556
(62) 3514-9543 (ramal: 9543)

A Deus
Aos meus pais, Lázara e Salvador
À minha Família e meus Amigos

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, que em muitos momentos me guiou por caminhos tortos e incertos e inúmeras vezes abriu portas com as quais nunca sonhei.

A minha família, meus pais e irmãos, que sempre foram minhas raízes, a minha base e motivação. Em especial a minha mãe, que mesmo com pouco estudo, sempre reconheceu a importância da educação, e desde criança sempre me incentivou para que eu pudesse chegar até aqui. Obrigado pelo apoio e incentivo.

A minha orientadora, professora Dr^a Elisângela, que me aceitou como seu pesquisador durante todo o curso e que se tornou uma segunda mãe para mim. Alguém com quem aprendi verdadeiras lições, que carregarei por toda a vida.

A todos os meus colegas e amigos, que tornaram essa longa e árdua caminhada, algo mais simples, leve e divertido.

Ao corpo docente do IFG campus Inhumas pelo empenho, dedicação e principalmente por todas as lições.

*“Então disse-lhe Jesus:
“Levanta-te, toma teu leito e anda.”*
João 5:8-10

RESUMO

A utilização de plásticos oriundos do petróleo tem como resultante dois grandes dilemas: estes dependem de uma fonte de matéria não renovável, e portanto finita, e o segundo se deve ao fato que estes são constituídos por polímeros resistentes à degradação natural e geram sérios impactos ambientais. Diante desse cenário, os chamados bioplásticos, apresentam-se como uma alternativa promissora, visto que estes possuem propriedades semelhantes aos plásticos convencionais e de maneira concomitante, são menos danosos à natureza e apresentam vantagens socioeconômicas. Nesse sentido, sob a ótica da sustentabilidade, o trabalho de conclusão de curso em questão teve por objetivo realizar a síntese de um bioplástico de base biológica e biodegradável, e avaliar seu potencial para aplicações no revestimento de frutas e prolongar o tempo de prateleira. O bioplástico foi elaborado por meio da técnica de *casting*, que consiste no preparo de uma solução filmogênica para formar o biomaterial de interesse. A matéria-prima utilizada na síntese foi o córtex da mandioca (*Manihot Esculenta* Crantz), da qual extraiu-se o amido por meio de processos mecânicos. O plastificante e o solvente empregados foram o glicerol comercial e água destilada, respectivamente. A qualidade do bioplástico foi avaliada por meio das seguintes propriedades: espessura, opacidade, solubilidade, umidade e biodegradação em solo. Para verificar o potencial do produto final no setor de embalagens, realizou-se teste por imersão de tomates cereja (*Solanum lycopersicum* var. cerasiforme), e o seu amadurecimento foi monitorado por meio da variação de SST disponível na polpa. A técnica empregada e os materiais utilizados demonstraram eficiência para a produção de bioplásticos com características semelhantes a outros resultados descritos na literatura. Os valores para espessura, opacidade, solubilidade e umidade foram iguais a 0,24 mm ($\pm 0,11$); 2,29 ($\pm 0,04$); 29 % ($\pm 0,029$) e 8,99 % ($\pm 1,20$), respectivamente. No teste de biodegradação em solo constatou-se redução no tamanho das amostras e proliferação de fungos na superfície do material, revelando a capacidade do material em sofrer biodegradação. A avaliação do material como embalagem demonstrou sua ineficiência para retardar o amadurecimento de tomates cortados, pois favoreceu o crescimento de fungos, enquanto para frutos inteiros apresentou-se promissor, contudo, testes mais aprofundados são necessários. O presente estudo comprovou a viabilidade no aproveitamento do córtex da mandioca como fonte de amido para produção de materiais de base biológica e biodegradáveis com propriedades semelhantes a pesquisas anteriores, com potencial para aplicação no setor de embalagens. Conclui-se ainda que os métodos empregados estão alinhados aos princípios da química verde, de modo a contribuir para uma sociedade mais sustentável.

Palavras-Chave: Córtex de mandioca. Glicerol. *Casting*. Revestimento. Tomate Cereja.

ABSTRACT

The use of plastics derived from petroleum results in two major dilemmas: they depend on a non-renewable and therefore finite source of material, and the second is due to the fact that they are made up of polymers that are resistant to natural degradation and generate serious environmental impacts. In this scenario, the so-called bioplastics are presented as a promising alternative, since they have properties similar to conventional plastics and, at the same time, are less harmful to nature and present socioeconomic advantages. In this sense, from the perspective of sustainability, the final project in question aimed to synthesize a bio-based and biodegradable bioplastic and evaluate its potential for applications in coating fruits and extending shelf life. The bioplastic was produced using the casting technique, which consists of preparing a film-forming solution to form the biomaterial of interest. The raw material used in the synthesis was the cassava cortex (*Manihot Esculenta* Crantz), from which the starch was extracted through mechanical processes. The plasticizer and solvent used were commercial glycerol and distilled water, respectively. The quality of the bioplastic was evaluated through the following properties: thickness, opacity, solubility, moisture and biodegradation in soil. To verify the potential of the final product in the packaging sector, an immersion test was performed on cherry tomatoes (*Solanum lycopersicum* var. cerasiforme), and their ripening was monitored by means of the variation of TSS available in the pulp. The technique employed and the materials used demonstrated efficiency for the production of bioplastics with characteristics similar to other results described in the literature. The values for thickness, opacity, solubility and moisture were equal to 0.24 mm (± 0.11); 2.29 (± 0.04); 29% (± 0.029) and 8.99% (± 1.20), respectively. The biodegradation test in soil showed a reduction in the size of the samples and proliferation of fungi on the surface of the material, revealing the capacity of the material to undergo biodegradation. The evaluation of the material as packaging demonstrated its inefficiency in delaying the ripening of cut tomatoes, as it favored the growth of fungi, while for whole fruits it showed promise; however, more in-depth tests are necessary. The present study demonstrated the viability of using cassava bark as a source of starch for the production of biobased and biodegradable materials with properties similar to previous research, with potential for application in the packaging sector. It is also concluded that the methods employed are aligned with the principles of green chemistry, in order to contribute to a more sustainable society.

Keywords: Cassava cortex. Glycerol. Casting. Coating. Cherry tomato.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1- Representação esquemática de como se formam os microplásticos de origem secundária.....	23
Figura 3.2 - Fotografia de microplástico retirado de creme dental.....	24
Figura 3.3 Esquema dos plásticos com base de sua origem e nível de decomposição.....	25
Figura 4.1 - Imagem dos “recipientes” utilizados para disposição da SF, para secagem.....	36
Figura 4.2- Esquema do monitoramento do tomate sem e com imersão na solução filmogênica.....	37
Figura 4.3- Esquema do posicionamento do biofilme dentro da cubeta de quartzo e no espectrofotômetro.....	39
Figura 5.1 - Amido do córtex da mandioca seco.....	42
Figura 5.2- Fotografia do bioplástico sintetizado, logo após o período de secagem em estufa...	43
Figura 5.3 - Registros fotográficos das replicatas do bioplástico levadas ao teste de degradação em solo.....	46
Figura 5.4 - Fotografia dos tomates-cereja logo após a imersão falta a foto com o dia zero! para vermos o que mudou desde o primeiro dia.....	48
Figura 5.5- Tomates-cereja em D3, é possível notar o crescimento de leveduras nos frutos teste cortados.....	49
Figura 5.6 - Película de bioplástico sendo removida do tomate cereja.....	51

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

SF	Solução filmogênica
MP	Microplásticos
OP	Opacidade
PE	Polietileno
PEb	Ponto de ebulição
PET	Tereftalato de polietileno
pH	Potencial hidrogeniônico
PHA	Polihidroxialcanoato)
PLA	Ácido polilático
PP	Polipropileno
PS	Poliestireno
PVC	Policloreto de vinila
SST	Sólidos solúveis totais
Tg	Temperatura de transição vítrea

Sumário

1. INTRODUÇÃO.....	15
2. Objetivos.....	18
2.1 Geral.....	18
2.2 Específico.....	18
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	19
3.1 Polímeros e plásticos.....	19
3.2 Os plásticos e o meio ambiente.....	22
3.2.1 Microplásticos.....	22
3.3 Bioplásticos.....	24
3.3.1 Os bioplásticos e suas limitações.....	27
3.4 Processos de produção e formulação dos bioplásticos.....	29
3.5 Bioplásticos à base de amido.....	30
3.5.1 Amido e resíduos de mandioca.....	32
4. METODOLOGIA.....	34
4.1 Materiais.....	34
4.2 Métodos.....	34
4.2.1 Limpeza de materiais e processamento da matéria prima.....	34
4.2.2 Extração do amido.....	34
4.2.3 Síntese dos filmes.....	35
4.2.4 Imersão do tomate-cereja (<i>Solanum lycopersicum</i> var. <i>cerasiforme</i>).....	36
4.3 Caracterização física e química.....	38
4.3.1 Biodegradação em solo.....	38
4.3.2 Espessura.....	38
4.3.3 Opacidade.....	38
4.3.4 Solubilidade em água.....	39
4.3.5 Umidade.....	40
5. RESULTADOS.....	41
5.1 Resumo das propriedades dos materiais produzidos.....	41
5.2 Caracterização do amido.....	41
5.2.1 Aspectos visuais.....	41
5.2.2 Umidade do amido.....	42
5.3 Caracterização do bioplástico.....	42
5.3.1 Aspectos visuais.....	42
5.3.2 Avaliação da espessura.....	43
5.3.3 Análise da opacidade (OP).....	44
5.3.4 Solubilidade em água.....	44
5.3.5 Teor de umidade.....	45
5.3.6 Biodegradação em solo.....	46
5.4 Aplicação dos bioplásticos como embalagem.....	48
5.5. Avaliação da película de bioplástico formada na superfície dos frutos.....	51
6. CONCLUSÃO.....	53
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55

Apêndice A - Testes iniciais.....	70
Apêndice B - Óleo residual como plastificante.....	73
Apêndice C - Ensaio de aplicação dos bioplásticos por imersão de acerolas, como possível embalagem.....	74

1. INTRODUÇÃO

Os plásticos possuem estrutura química composta por polímeros, que são moléculas de origem natural ou sintética, que por sua vez, são constituídas por partes menores (monômeros) unidas em cadeia, por meio de ligações covalentes. Em detrimento de sua composição, os polímeros apresentam determinadas características, como: resistência a impactos, pouca condutividade termoelétrica e são muito flexíveis (Assis; Santos, 2020). Por meio da incorporação de aditivos a determinados polímeros, visando acentuar as suas propriedades, obtém-se os plásticos. Tais características, químicas e físicas, permitem que os plásticos se apresentem de formas diversas, podendo ser rígidos ou maleáveis com alta durabilidade ou propícios à combustão (Palmeira, 2018).

Suas características, associadas a seu baixo custo de produção, justificam sua vasta aplicação nos mais diversos setores, como roupas, embalagens, automobilístico e construção civil. Contudo, alguns dos aspectos que tornam os plásticos essenciais à sociedade moderna, são os mesmos que os transformam em um sério problema (Assis; Santos, 2020; Martins, 2020; Thomé, 2023).

Os plásticos convencionais são compostos por polímeros sintéticos oriundos do petróleo (Assis; Santos, 2020) e sua durabilidade ao ambiente (até 400 anos para desaparecer por completo), associada a sua produção em massa e a má gestão de seus resíduos, fazem dele um material persistente na natureza, tornando-o um risco a diversos ecossistemas, capaz de causar distúrbios até mesmo em regiões remotas (Thomé, 2023; Teles, 2020).

Em média, um plástico convencional se degrada apenas 0,25% em um ano, estando em ambiente protegido. Se exposto a condições de decomposição, como fotodegradação, degradação oxidativa, termodegradação e degradação química, o processo se acelera um pouco mais, [...] e quando a ação finalmente começa, o material se transforma em microplástico (Eco Brasil, 2024).

Em 2022, a produção mundial de plásticos ultrapassou 400 milhões de toneladas (Plastics Europe, 2023), sendo que desse montante produzido cerca de 9% foi reciclado no mundo; no Brasil esses números atingem apenas 1,9% (Farinha, 2024). Assim, aproximadamente 74 milhões de toneladas de resíduos plásticos mal geridos são produzidos todos os anos, números que tendem a atingir 122 milhões de toneladas por ano até 2050 (Jones, 2024). Em um estudo publicado pela Nature (2024) mostra que no processo de produção de plásticos, cerca de 24 GT de dióxido de carbono foram produzidos em 2019, comprometendo a eficiência natural do sequestro de carbono e o agravamento do efeito

estufa. Ademais, atualmente cerca de 170 trilhões de fragmentos plásticos encontram-se nos oceanos, afetando de forma negativa a vida marinha (Jornal Nacional, 2023).

Ao atingirem o meio ambiente, esses materiais, principalmente em escala micro, afetam o solo e a água, e integram-se à cadeia alimentar de diversos seres vivos prejudicando e inviabilizando alguns processos vitais como reprodução, respiração e alimentação, podendo levar indivíduos à morte (BBC, 2023; Martins, 2020; Nascimento, *et al.* 2022). Não obstante, oferecem riscos à saúde de seres humanos pois também se tornaram contaminantes presentes na alimentação humana (BBC, 2023). Ademais, a poluição plástica afeta ainda atividades econômicas, como pesca e turismo das quais estima-se que em 2018, tal fato tenha gerado um déficit de 6 a 19 bilhões de dólares em todo o mundo (Henrique; Aguiar, 2023).

Mediante o cenário descrito surge a seguinte questão: “É viável a formulação de materiais, de fonte renovável, que possuam características e propriedades químicas e físicas semelhantes aos plásticos convencionais, mas que ao mesmo tempo sejam menos nocivos ao meio ambiente e a sociedade, desde o seu processo de produção até o descarte?” Sob essa ótica a sociedade moderna busca por novos materiais com as mesmas propriedades e aplicações, mas que provoquem menos danos à natureza (Loureiro, 2021).

Nesse sentido os bioplásticos destacam-se como possíveis substitutos aos plásticos convencionais, em função de sua composição e suas características (Silva; Brinques; Gurak, 2020). O termo bioplástico refere-se a uma gama de materiais plásticos de fonte parcial ou totalmente renovável e que podem ou não ser biodegradáveis. Suas propriedades permitem organizá-los em três grupos de acordo com sua origem e sua biodegradabilidade: biodegradável de fonte renovável; biodegradável de origem fóssil e não biodegradável de fonte renovável (Bio-Plastics Europe, 2024).

Segundo a *European bioplastics* (2024), existem várias fontes de matéria prima para produção de bioplásticos, as mais comuns são plantas ricas em carboidratos ou em óleos. Contudo, tais recursos, na grande maioria das vezes, são empregados na alimentação, e sua utilização no setor de plásticos pode intensificar outros problemas como a fome. Além disso, o processo de produção desses recursos também gera problemas ambientais, como desmatamento, consumo de água, e uso de agrotóxicos. Segundo a mesma fonte, é necessário desenvolver metodologias sustentáveis e minimizar o gasto de tais recursos. Uma proposta que atende a essa demanda é o emprego de matérias primas de segunda geração (subprodutos não comestíveis, como cascas e outros resíduos orgânicos) e de terceira geração (algas, cascas de camarões e resíduos não agrícolas).

Diante dos dados expostos, o presente Trabalho de Conclusão de Curso tem como objetivo desenvolver uma formulação de bioplástico biodegradável de fonte renovável para aplicação direta no revestimento de vegetais. A hipótese levantada é que o recobrimento plástico trará benefícios aos consumidores, pois atenuará o tempo de vida ou de prateleira do vegetal, poderá evitar contaminações com o ambiente e, ao ser descartado sofrerá processo rápido de decomposição de forma natural.

Para a formulação do bioplástico, utilizou-se o polímero de amido, cuja escolha baseou-se no fato desta macromolécula ser de fácil obtenção, renovável, e propícia a biodegradação (Vasconcelos, 2022). O mesmo foi extraído do córtex da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), um subproduto alimentício bastante produzido no Brasil, rico em amido e que se destaca nas pesquisas recentes sobre bioplásticos (Câmara, 2022). Para a avaliação das características dos produtos finais foram realizadas análises químicas e físicas.

2. Objetivos

2.1 Geral

Sintetizar um bioplástico de base biológica e biodegradável a partir da contra-casca de mandioca (*Manihot esculenta Crantz*) e avaliar seu potencial para aplicações em revestimento de frutos.

2.2 Específico

1. Extrair o amido a partir do córtex da mandioca (polissacarídeo de amido) por moagem e sedimentação;
2. Determinar a melhor proporção entre solvente (água), plastificante (glicerol comercial) e o polímero (amido);
3. Sintetizar o bioplástico utilizando o amido proveniente do córtex da mandioca e o glicerol comercial.
4. Caracterizar o amido extraído em relação umidade;
5. Caracterizar os biofilmes em relação a: biodegradação em solo; espessura, opacidade, solubilidade em água, umidade;
6. Avaliar a qualidade do biofilme com relação ao seu efeito na preservação em frutos de tomate cereja (*Solanum lycopersicum* var. cerasiforme), aplicado pela técnica de imersão.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Polímeros e plásticos

“Todo plástico é um polímero, mas nem todo polímero é um plástico” (França *et al.*, 2022, p. 277). Polímeros são compostos formados por várias moléculas unidas covalentemente formando cadeias, ou seja são constituídos por várias unidades, designadas “meros”, que se repetem. Existem diversas classes de polímeros organizados de acordo com suas propriedades mecânicas, e o plástico faz parte de uma dessas classes além dos elastômeros, resinas e fibras (Furlanetto, 2021).

1- Plásticos: São polímeros geralmente usados em processos de moldagem e fabricação. Dependendo da classe (termoestáveis, termoplásticos e elastômeros), esses materiais podem ser rígidos ou flexíveis.

- Exemplos: PVC, Polietileno, Poliestireno.

2- Borracha ou Elastômeros: São polímeros com alta elasticidade, ou seja, podem ser esticados e retornam à sua forma original quando a força é removida.

- Exemplos: Borracha natural, Polibutadieno.

3- Fibra: São polímeros com uma estrutura longa e orientada que pode ser trançada ou entrelaçada para formar tecidos ou fios. Eles são geralmente mais fortes e têm uma alta resistência à tração.

- Exemplos: Nylon, Poliéster, Kevlar.

4- Resinas: São polímeros que podem ser líquidos ou semi-líquidos à temperatura ambiente e são frequentemente usados em moldagem ou como adesivos.

- Exemplos: Epóxi, Resina fenólica.

Os polímeros podem ainda ser classificados de acordo com sua origem, sua forma de obtenção e sua capacidade em sofrer biodegradação (Furlanetto, 2021). Em relação a origem dos polímeros (Duarte *et al.*, 2021) eles podem ser:

1- Polímeros Naturais: são extraídos de fontes biológicas naturais e renováveis oriundos de recursos contínuos, ou seja, inesgotáveis por serem capazes de se renovar em um curto período. Exemplos incluem:

- celulose: encontrada em plantas.
- proteínas: como o colágeno e a queratina.
- borracha natural: extraída da seiva de algumas plantas, como o seringueiro.
- ácido nucleico: como o DNA e RNA.

2- Polímeros Sintéticos: São os polímeros criados artificialmente, geralmente a partir de derivados de petróleo ou gás natural. Exemplos incluem:

- polietileno (PE), polipropileno (PP), poliestireno (PS), policloreto de vinila (PVC).
- Nylon, poliéster, policarbonato.

3- Polímeros Semissintéticos: São polímeros derivados de fontes naturais, mas modificados quimicamente para melhorar suas propriedades. Exemplos incluem:

- celofane (feito a partir da celulose).
- bakelite (feito a partir de produtos naturais, como fenóis e formaldeído).

Quanto às suas propriedades de degradação (França *et al.*, 2022; Furlanetto, 2021), os polímeros podem ser:

1- Polímeros Biodegradáveis: degradam-se naturalmente por ação de microorganismos ou reações químicas.

- Exemplo: PLA, PHA, amido modificado.

2- Polímeros Não Biodegradáveis: não se degradam facilmente no ambiente e persistem por longos períodos.

- Exemplo: Polietileno (PE), Polipropileno (PP), Poliestireno (PS), PVC.

3- Polímeros Degradáveis: degradam-se por ação de fatores físicos ou químicos (como luz ou oxidação), mas não por microorganismos.

- Exemplo: Polietileno fotodegradável, Polímeros oxodegradáveis.

Independentemente do polímero ser natural ou sintético, a propriedade de decomposição necessita ser avaliada pela estrutura química da cadeia polimérica para determinar se o mesmo é ou não passível de sofrer (bio)degradação, uma vez que características como estrutura química, morfologia e massa molar impactam diretamente nessa propriedade (Leão; Vitali, 2021). Assim, a capacidade de um polímero sofrer biodegradação relaciona-se com a composição e independe de sua origem.

A utilização de materiais poliméricos não é algo novo, existem registros de seu emprego em atividade humanas desde a antiguidade (Gorni, 2003). Um dos exemplos mais antigos de polímeros naturais utilizados diretamente pelos seres humanos vem da resina de árvores, que data de cerca de 200.000 anos, e foi usada como adesivo em ferramentas de pedra. Essa resina é um tipo de polímero natural que se solidifica com o tempo e foi uma das primeiras substâncias orgânicas poliméricas a serem usadas em ferramentas primitivas (Goldberg *et al.*, 2009).

Claramente, nesse período eram utilizados apenas polímeros de origem natural, uma vez que a produção de polímeros de origem sintética requer o emprego de técnicas

sofisticadas que passou a ser realizada após a segunda metade do século XIX; ou seja, o desenvolvimento industrial permitiu a utilização do petróleo como fonte de produção de polímeros sintéticos (Leão; Vitale, 2021).

Em relação à produção de plástico petroquímico em escala global, a China lidera esse mercado como o maior produtor de plástico do mundo, seguida pela União Europeia e NAFTA (Estados Unidos, Canadá e México). Por sua vez, o Brasil destaca-se como o maior produtor de plástico da América Latina e ocupa o quarto lugar como maior produtor de plásticos do mundo (Godoi; Montanha; Espíndola, 2024; Nhabanga, 2023).

Atualmente, os polímeros da classe dos plásticos são empregados em larga escala na indústria e no comércio, estando presentes nos mais diversos setores e em diversas atividades humanas. Uma vasta variedade de utensílios é produzida utilizando-se plásticos petroquímicos e como consequência a essa utilização, em larga escala, surgiram diversas problemáticas ambientais, como poluição, esgotamento de recursos e produção em massa de lixo (Reis *et al.*, 2023).

Visando lidar com tais problemáticas, a indústria e a sociedade engajaram-se na busca por novos materiais com características semelhantes aos plásticos mas menos nocivos ao meio ambiente. Nesse contexto, surgiram os bioplásticos, que em grande maioria, possuem em sua composição polímeros de origem biológica [elaborado a partir de bactérias, o primeiro bioplástico foi desenvolvido na década de 1920 pelo engenheiro agrônomo francês Maurice Lemoigne (Loureiro, 2021)]. Estes materiais foram desenvolvidos como uma maneira sustentável de atender a demanda dos plásticos convencionais (Dias, 2023).

Em síntese, é possível diferenciar os diversos plásticos com base em suas matérias-primas e os impactos que estes causam ao meio ambiente. Ao passo que os plásticos convencionais são oriundos de recursos não renováveis com um tempo de degradação maior do que 400 anos; os bioplásticos podem ser desenvolvidos a partir de recursos renováveis, cujo tempo de biodegradação pode ser reduzido em até 180 dias. O processo de degradação dos plásticos convencionais libera para a atmosfera o gás carbônico que esteve retido nas bacias de petróleo. Em contrapartida, os bioplásticos, geralmente, possuem em seu ciclo de vida a retenção de dióxido de carbono (European Bioplastics, 2016).

3.2 Os plásticos e o meio ambiente

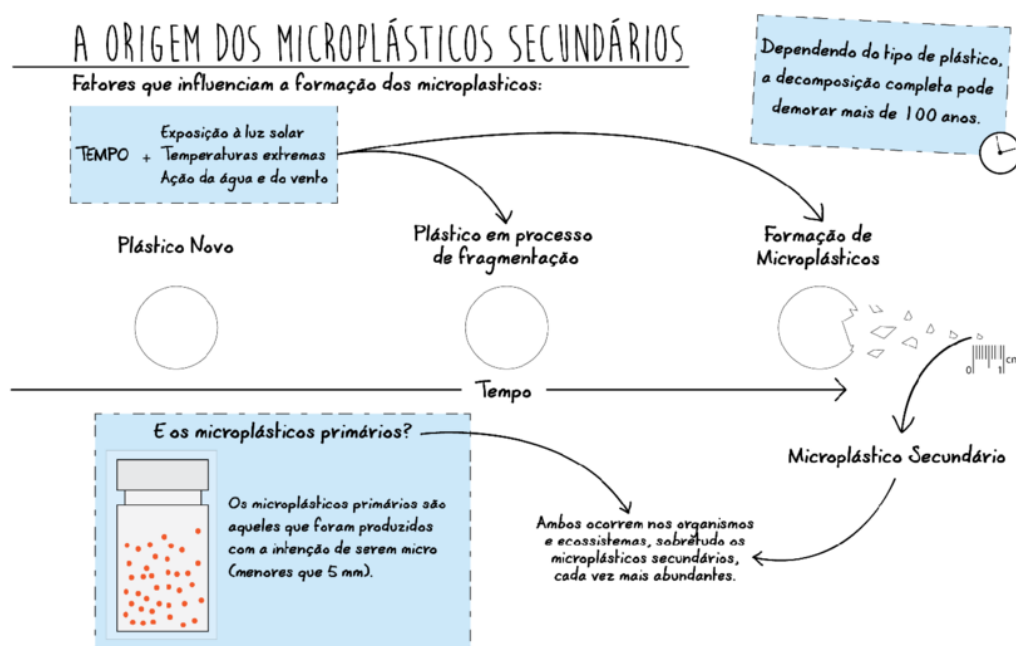
3.2.1 Microplásticos

No ano de 1970 houve os primeiros registros acerca de pequenos resíduos plásticos encontrados em ambientes aquáticos (Loureiro, 2021). O pesquisador Richard Thompson, em 2004, foi o primeiro a utilizar o termo microplásticos (MP) para se referir a esses pequenos detritos, sendo que o termo em questão é empregado pela comunidade científica até os dias atuais.

Os MP podem ser definidos como partículas sólidas e plásticas (sintéticas) cujo diâmetro é inferior a 0,5 mm (Carvalho *et al.*, 2022), possuem composições variáveis, mas que têm em sua estrutura fundamentalmente polímeros e aditivos, podendo ainda conter certos tipos de impurezas agregadas.

Segundo Carvalho *et al.* (2022), tais resíduos sintéticos podem ser formados de maneira proposital ou não. No primeiro caso, são fabricados em microescala para posterior aplicação em produtos específicos, como por exemplo esfoliantes. Por sua vez, na segunda condição, sua origem pode ser dita não intencional, pois estes são resultantes da utilização e, posterior fragmentação de materiais plásticos maiores (FIGURA 3.1). Portanto, os MP são classificados de acordo com o processo que os deu origem, em dois grupos: os microplásticos primários e os secundários (Montagner *et al.*, 2021).

Figura 3.1- Representação esquemática de como se formam os microplásticos de origem secundária



Fonte: Silva; Melo, 2023.

Os MP primários correspondem aos materiais fabricados com tamanho máximo de até 5 mm (Montagner *et al.*, 2021). Podem apresentar-se em microescala, e geralmente são utilizados em cosméticos, e nas indústrias farmacêutica, química e de plásticos. De acordo com Carvalheiro *et al.* (2022), são liberados no meio ambiente por meio da degradação de materiais que os contêm em sua composição, principalmente de roupas sintéticas e da deterioração de pneus o equivalente entre 15% e 31% dos microplásticos presentes em ambientes marinhos.

Por sua vez, os MP secundários são provenientes de materiais sintetizados em escalas maiores, mas que devido ao descarte inapropriado são depositados no meio ambiente e submetidos a fatores como raios UV, mudanças de temperatura, umidade, processos mecânicos, e biológicos. A ação de tais agentes condiciona o rompimento das ligações químicas que mantêm as moléculas que os constituem unidas, o que leva a fragmentação dos mesmos em partículas menores que 5 mm e de baixo peso molecular (Amaral, 2021; Carvalheiro *et al.*, 2022; Pappis; Kapusta; Ojeda, 2021). Essa classe de microplásticos pode chegar a representar cerca de 69% a 81% dos microplásticos presentes nos oceanos (Carvalheiro *et al.*, 2022). A Figura 3.2 mostra a quantidade de microplástico extraído do creme dental.

Figura 3.2 - Fotografia de microplástico retirado de creme dental



Fonte: Malavolta, 2017.

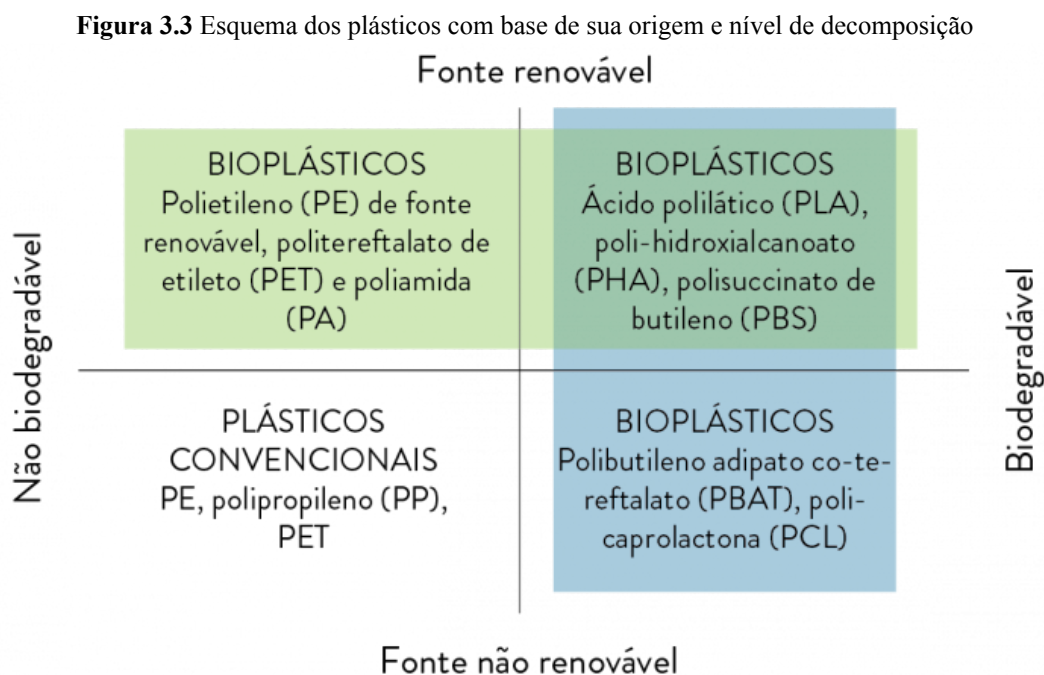
Em função de seu tamanho relativamente pequeno, os MP são disseminados no meio ambiente com extrema facilidade e, portanto, são considerados poluentes em escala global (Carvalheiro *et al.*, 2022).

Sua presença representa um potencial risco à vida haja visto que podem reter e transportar uma série de poluentes e patógenos, podendo ainda liberar toxinas oriundas dos

aditivos que os compõem (Silva; Melo, 2023). Segundo a mesma fonte, os MP podem ser consumidos por diversas espécies de seres vivos causando o comprometimento do sistema digestivo levando indivíduos à morte, provocar alterações na fertilidade, mudanças hormonais e danificar a estrutura do DNA. Ademais, estes caracterizam-se como um sério risco à saúde humana, uma vez que em função de seu caráter bioacumulativo, pesquisas constatarem a presença desses fragmentos em intestinos humanos e até mesmo em placentas.

3.3 Bioplásticos

O grupo dos bioplásticos é composto pelos plásticos de origem biológica, denominados *biobased*, e pelos plásticos biodegradáveis (Mei, 2016). O primeiro grupo se refere aos materiais plásticos que possuem em sua composição carbono oriundo de fontes renováveis, mesmo que estes não sejam biodegradáveis, embora seja possível reciclá-los. Por sua vez, o segundo grupo, refere-se aos materiais produzidos com matéria de fonte renovável ou não mas, que podem ser consumidos por microrganismos em seus processos vitais, ou seja, são passíveis de sofrer biodegradação (European Bioplastics, 2016). A Figura 3.3 apresenta um esquema separando os diferentes tipos de plástico em suas categorias, com destaque em cor para os mais sustentáveis.



Fonte: Ugreen, 2024.

Os bioplásticos apresentam diversas aplicações como: produção de embalagens, podem ser empregados em serviços alimentícios, na agricultura e horticultura, produção de

eletrodomésticos e bens de consumo, brinquedos, aplicações médicas e no setor automotivo, sendo que o setor embalagens representa 53% do consumo de bioplásticos no mundo (*European Bioplastics*, 2016; Freire *et al.*, 2022). No Quadro 1 lista-se outros estudos que buscaram a aplicação de polímeros à base de matéria orgânica para confeccionar utensílios.

Quadro 3.1 - Exemplos de aplicações do bioplástico

Autor (a)/ ano	Matéria prima	Produto confeccionado
MENDES <i>et al.</i> , 2022	Pectina e morango	Canudo comestível
LOPES, 2022	Amido de milho	Mexedores de café
COSTA, 2022	Látex e celulose de taboa e camalote	Material polimérico
SANTOS-FILHO, 2022	Resíduos de laranja	Filmes antioxidante
DIAS; REIS; SANTOS, 2021	Pytaia	Filme antioxidante
SASAKI, 2021	Celulose bacteriana	Revestimento plástico para morangos
ROCHA; FABRI, 2021	Bambu	Curativos dérmicos
VASCONCELOS; PIOLA; MELO, 2021	Bagaço de cana de açúcar	Recipiente multifuncional
SILVA <i>et al.</i> , 2021	Amido e gel de Aloe Vera	Canudo biodegradável
REBELATO; SIQUEIRA, 2020	Resíduos de arroz	Embalagens de descarte rápido e filmes
ROMEIRA, 2019	Amido residual de batata frita	Embalagem ativa
LIMA, 2019	Casca de maracujá	Biofilmes
PAULINO <i>et al.</i> , 2019	Amido e celulose de café	Biofilmes capazes de liberar antimicrobianos
LEBER, 2018	Amido de batata, mandioca e milho	Revestimentos para embalagens (PET)

Fonte: Próprio Autor, 2025.

Segundo Nascimento; Santos; Silva, (2022) bioplásticos são, em muitos casos, sintetizados a base de biopolímeros produzidos em processos metabólicos, que ocorrem durante o ciclo de vida de seres vivos, sendo que esses processos fixam CO₂ da atmosfera. Nesse sentido, a produção de bioplásticos oferece ainda uma alternativa que reduz a emissão de gases do efeito estufa. Sproesser *et al.* (2024), reforça esta vantagem, ao inferir que os biopolímeros, durante todo do seu período de vida, apresentam-se como um recurso benéfico em relação à captura de carbono.

Segundo Franco (2019), os bioplásticos têm o potencial semelhante aos plásticos convencionais, todavia oferecem menores danos à natureza. Dessa forma, configuram-se como uma possibilidade de otimizar a utilização de materiais plásticos, desde o processo de fabricação até seu descarte. Ademais, Barbato (2021), destaca que plásticos de base biológica encontram-se amplamente inseridos no contexto da economia circular, dado que os biopolímeros biodegradáveis possuem componentes que podem ser transformados e absorvidos por microorganismos e devolvidos à natureza na forma de biomassa. Com relação, aqueles que não são biodegradáveis é possível realizar sua reciclagem, gerando assim, reaproveitamento e regeneração, minimizando perdas e danos, como proposto pela economia circular.

As vantagens dos bioplásticos não se limitam apenas aos benefícios sustentáveis, pois estes apresentam também benefícios socioeconômicos. Isso se deve ao fato que a

produção de bioplásticos pode influenciar na geração de emprego e renda. Ao comparar sua produção com o processo empregado para produzir outros recursos sustentáveis como o biogás, bioetanol e o biodiesel, a síntese de bioplásticos possui maior potencial na criação de empregos, graças à sua cadeia de produção ser mais complexa quando comparada com a dos demais (Amorim, 2019).

Outrossim, os bioplásticos oferecem ainda uma alternativa de redução na dependência de recursos fósseis (Machado, 2025). Contudo, a produção de bioplásticos em escala mundial ainda é relativamente inferior à produção de plásticos convencionais. Atualmente, aproximadamente 2 milhões de toneladas de bioplásticos foram produzidos no mundo, e, quando comparado ao montante de plásticos não-biodegradáveis produzidos mundialmente, esses números não representam 1% do valor total de plástico utilizado (Silva; Sena; Ghest, 2024).

3.3.1 Os bioplásticos e sua limitações

Os bioplásticos possuem propriedades que os tornam potenciais substitutos aos plásticos convencionais, de modo a reduzir os impactos ambientais. No entanto, estes possuem algumas limitações que inviabilizam a sua utilização em larga escala, sendo as principais o alto custo de produção, finalidade, aplicabilidade e formas de descarte apropriado (Chandra; Kumar; Mahapatra, 2025; Schaulet; Ribeiro; Jacques, 2024).

Segundo Firmino; Figueiredo; Espanha (2024), o custo de produção desses materiais é aproximadamente 20 % mais caro, quando comparado aos plásticos convencionais. Isso se deve principalmente a dois fatores: o valor relacionado às matérias-primas utilizadas em sua produção e ao fato de esse setor possuir tecnologias menos avançadas, em relação à indústria de plásticos sintéticos. No Brasil, o principal fator que dificulta a adesão ao bioplástico, é a concorrência com alimentos, dado que para o mercado a exportação de insumos agrícolas é mais viável que realizar seu processamento para síntese de outros materiais, o que contribui para elevar o preço dos bioplásticos (Caldas; Santana; Reis, 2024).

Em relação a suas características químicas e físicas, as principais limitações associadas aos bioplásticos referem-se a sua alta hidrofiliabilidade, propriedades mecânicas precárias e baixa resistência térmica (Kulitch, 2023; Lima, 2024). Tais características dificultam sua aplicação em determinados setores, como por exemplo, na produção de embalagens. Dessa forma, é possível perceber que os bioplásticos, ainda não poderão

substituir os plásticos convencionais em sua totalidade (Kiss; Kolling, 2018). O Quadro 3.2 traz as principais limitações dos bioplásticos, relacionando-as com biopolímeros empregados em sua produção.

Quadro 3.2 - Biopolímeros usados na síntese de bioplásticos e as principais restrições dos materiais formados

Biopolímero	Limitações
Amido	Hidrofilicidade elevada; baixa resistência mecânica; barreiras de gás ineficientes; elevado custo de produção, em comparação aos polímeros sintéticos; necessidade de operação em uma faixa de pH específico; aplicações limitadas.
Lignocelulose	Baixa resistência mecânica; barreiras de gás ineficientes; elevado custo de produção, em comparação aos plásticos convencionais.
Alginato	Formação de materiais frágeis, altamente hidrofílicos, sensíveis a umidade
Quitosana	Sensibilidade extrema à umidade; propriedades mecânicas ruins.
Carragenina	Elevada fragilidade e permeabilidade a água; necessidade da utilização de aditivos.
Poli-hidroxialcanoatos	Alto custo de produção; propriedades mecânicas frágeis; processo de produção relativamente complexo
Queratina	Sensível a umidade e baixa resistência mecânica
Colágeno	Baixa resistência mecânica
Pectina	Pouca resistência a tração e altamente permeável ao vapor de água
Agár	Maior propensão a contaminações; propriedades físicas ruins e dificuldade de produção em grande quantidade.

Fonte: Adaptado de Chandra, Kumar, Mahapatra, 2025.

Outro dificuldade em relação à produção de bioplásticos é a necessidade de garantir que estes sejam efetivamente mais sustentáveis que os plásticos convencionais (Lima, 2023). Sellmer *et al.* (2024) destaca que apesar dos benefícios proporcionados por esses materiais, existem na literatura poucos dados experimentais acerca do seu processo de degradação, e portanto é necessário conhecer melhor tal processo a fim de se determinar ao certo o tempo que tais materiais levam para se decompor, quais fatores afetam esse processo e se este produz algum dano ao meio ambiente, como por exemplo, liberação de CO₂.

Nesse sentido, Kiss; Kolling, (2018) salientam que é necessário a compreensão acerca do descarte desses materiais, se os mesmos devem ser descartados juntamente com plásticos sintéticos ou em meio a resíduos orgânicos. Os autores destacam ainda que em relação aos plásticos convencionais, o grande problema não reside em sua utilização, mas sim

em seu descarte inapropriado e caso esse cenário se repita para esses materiais, não há garantias na redução dos danos ambientais.

3.4 Processos de produção e formulação dos bioplásticos

Segundo Aleli (2023), em geral a síntese de filmes plásticos a partir de polissacarídeos é realizada de duas formas: por meio de processos secos e úmidos. Os métodos úmidos consistem na solubilização dos componentes em um solvente de interesse, dando origem a uma mistura chamada solução filmogênica (SF) ou dispersão filmogênica (Silva; Sena; Ghesti, 2024; Santos, 2022), que após a secagem dá origem ao filme plástico (Sarmiento; Figueiroa; Orjuela, 2021). As principais técnicas utilizadas nesse tipo de procedimento são o *Casting* e o *Spin Coating*. Por outro lado, em processos secos, realiza-se o tratamento térmico da SF, produzida com menor quantidade de solvente, sendo que os métodos mais comuns são de extrusão, moldagem por compressão e por injeção.

O método mais utilizado no setor industrial, é a extrusão termoplástica, devido a sua eficiência (Lima, 2024; Gomes, 2022). Por sua vez, a mais comum em escala laboratorial é o método de *casting*, em função de ser uma metodologia de simples operação que não utiliza materiais e equipamentos de alta complexidade ou elevado custo (Aleli, 2023; Florentino, 2022).

A produção de bioplásticos a base de amido, pela metodologia de *casting*, acontece devido à gelatinização do polímero, onde a amilopectina e a amilose, separam-se quando em solução, e durante a desidratação da SF se reestruturam formando a matriz que resulta no filme (Lima, 2024). Contudo, esse método possui algumas limitações, pois os filmes demandam considerável tempo para secar e controlar sua espessura é considerado relativamente difícil (Pavani *et al.*, 2023; Robassini *et al.*, 2022).

Segundo Galdeano (2007), independente do processo empregado na produção, a conversão da solução filmogênica no biofilme é condicionada por interações moleculares. De acordo com Sousa (2024) bioplásticos possuem em sua formulação três elementos principais: um agente formador de filme (polímero), solvente e plastificante. A força de coesão de um filme influencia diretamente em suas características, como resistência mecânica e aos efeitos da água e está diretamente ligada à estrutura química do polímero utilizado, à natureza do solvente, ao emprego de aditivos e as condições de síntese do material (Galdeano, 2007).

Os polímeros empregados na produção de bioplásticos podem ser naturais ou sintéticos, desde que o segundo grupo seja biodegradável (Lima; Galvão; Moraes, 2023). Os

polissacarídeos destacam-se nesse setor em função de existirem em abundância na natureza, possuírem boa estabilidade química e física, baixo custo de produção e serem facilmente consumidos por microorganismos (Holanda, 2022). Ademais, esses biopolímeros possuem glicose em sua composição, o que os torna bastante hidrofílicos, e aumenta a plasticidade do material obtido a partir deles (Koike; Vieira; Santos, 2024). Segundo, Franchetti; Marconato, (2006), os polissacarídeos mais comuns no mercado são celulose e amido, seguidos por carboidratos mais complexos, como quitosana, quitina e xantana.

O plastificante tem a função de interagir com as moléculas do polímero de modo a reduzir a interação de suas moléculas umas com as outras, promovendo maior mobilidade entre as cadeias poliméricas e reduzindo a rigidez do filme formado (Pereira, 2020; Santos, 2015). Usualmente são utilizadas substâncias não voláteis, com elevado ponto de ebulição (PEb), baixo peso molecular e não tóxicas. Além disso, eles reduzem a temperatura de transição vítrea (Tg - a temperatura em questão representa o momento em que os polímeros passam de sua forma rígida para um estado borrachoso com mobilidade molecular mais elevada) (Feroldi *et al.*, 2024; Ortiz, 2013). Nesse sentido, o plastificante aumenta a flexibilidade e a maleabilidade do filme e sua redução/ausência provoca rigidez (Moreira *et al.*, 2022).

Segundo (Feroldi *et al.*, 2024), em relação aos bioplásticos produzidos à base de amido, os principais plastificantes utilizados são a água e o glicerol. Contudo, de acordo com González (2023), apesar de a água ser um bom plastificante natural, ela possui ponto de ebulição (PE) relativamente baixo evaporando com facilidade. Isso resultaria em um produto quebradiço e frágil, nesse sentido a água é mais utilizada como solvente (Poloni, 2021) sendo o glicerol a alternativa mais promissora como plastificante. Assim, o glicerol se destaca em função de suas propriedades como elevado PEb, hidrofiliçidade, é um composto não tóxico, e promove o emborrachamento do material (Fernandes, *et al.*, 2019; Moro, 2013).

3.5 Bioplásticos à base de amido

O amido é um polissacarídeo, formado por cadeias de glicose e produzido naturalmente pelas plantas como forma de armazenamento de energia. Após a celulose, é o biopolímero mais abundante na natureza e representa a maior fonte de carboidratos para seres humanos. Ele é produzido em regiões celulares denominadas amiloplastos, na forma de uma estrutura semicristalina, denominada grânulo (Bohnenberger, 2021; Farias, 2022). Suas

propriedades morfológicas e sua composição variam em função de sua origem botânica e das condições do meio em que a planta que o sintetizou desenvolveu-se (Kotekewis, 2025).

Esse material é composto basicamente por amilose e amilopectina (Jesus Neta, 2021). Ambas possuem em sua composição moléculas de glicose que interagem entre si por meio de ligações glicosídicas, sendo a amilose formada por cadeias lineares, enquanto a amilopectina é constituída por cadeias ramificadas (Donati, 2022). Geralmente, a amilopectina encontra-se em maior quantidade, em detrimento de suas moléculas serem maiores, podendo variar entre 75 a 80 %, de acordo com o tipo de amido (Franco, 2022). O amido está presente em uma grande variedade de vegetais, existindo em maior quantidade em cereais, leguminosas, tubérculos e frutas (Silva *et al.*, 2025).

Por volta de 1970, o amido começou a ser utilizado como componente em plásticos sintéticos capazes de sofrer biofragmentação, e não biodegradáveis, posteriormente, em 1990, passou a ser empregado na produção de materiais termoplásticos biodegradáveis como componente principal (Jesus, 2024). A utilização do amido como base para produção de filmes plásticos é possível em função das propriedades químicas, físicas e funcionais da amilose para sofrer gelatinização, processo irreversível que ocorre na presença de água e aumento de temperatura, onde o amido granular é convertido em material viscoelástico devido a quebra de suas ligações de hidrogênio (Foregatti, 2023).

Além disso, o amido é o biopolímero com maior potencial para produção de bioplásticos biodegradáveis, em detrimento de possuir baixo custo, ser acessível, abundante e não oferece risco de toxicidade, sendo o milho a principal fonte em todo o mundo, seguido pela batata doce e pela mandioca (Matheus *et al.*, 2023; Luchese; Pavoni; Tessaro, 2021). Ademais, Gamage (2024) destaca que bioplásticos produzidos a base de amido possuem algumas vantagens, pois são biodegradáveis, sustentáveis, possuem boa elasticidade, transparência, estabilidade e constituem eficientes barreiras ao oxigênio, podendo ser aplicados em diversos setores como a produção de embalagens. Segundo Veras (2022), embalagens a base de amido possuem potencial para prolongar o tempo de prateleira de alguns alimentos.

No entanto, vale a pena ressaltar que esses biomateriais possuem algumas desvantagens, como por exemplo propriedades físicas e mecânicas ruins e elevada hidrofilicidade (Alves, 2025). Contudo, tais propriedades podem ser melhoradas por meio da utilização de plastificantes como o glicerol, pela incorporação de outros materiais que possuem compostos ativos e funcionais com potencial para melhorar suas características, e

também por meio da modificação química do amido (Lagos *et al.*, 2015; Oluwasina *et al.*, 2019; Colivet *et al.*, 2022).

3.5.1 Amido e resíduos de mandioca

Dentre as diversas fontes disponíveis para extração do amido, destaca-se a mandioca (Arrieta *et al.*, 2011). Segundo Pelissari (2009), a mandioca é um dos principais produtos agrícolas utilizado em todo o mundo com produção global que pode ultrapassar 160 milhões de toneladas por ano, sendo o Brasil o maior produtor de mandioca do continente americano. De acordo com Polo *et al.* (2024), em 2022 a produção nacional chegou a 18,2 mil toneladas.

O amido de mandioca é amplamente utilizado pela indústria alimentícia na produção de alimentos diversos, sendo empregado ainda em outros setores, no preparo de vários outros bens de consumo como por exemplo papel, colas, espumas, cerveja orgânica e rações (Santos, 2021; Simões, 2015). A principal forma de comercializar seu amido é na forma de farinha.

O amido proveniente da mandioca é valorizado em função de suas propriedades como, por exemplo, sua clareza, temperatura de gelatinização reduzida e formação de gel relativamente estável (Costa 2018). Além disso, de acordo com Wadaugsorn (2022) o amido obtido a partir dessa raiz possui grande potencial para produção de bioplásticos biodegradáveis e segundo Melo *et al.* 2025, pode atuar como condutor de agentes antioxidantes e antimicrobianos, tendo grande potencial para elaboração de embalagens ativas.

O processamento industrial da raiz consiste na produção da farinha e a obtenção do amido, que também pode ser denominada fécula (Simões, 2015). Estes processos, assim como a maioria dos métodos industriais, produzem diversos resíduos sólidos e líquidos, dentre eles cascas, bagaços e a água da lavagem da mandioca processada (Locatelli, 2021). Muitas vezes, esses subprodutos são simplesmente lançados ao meio ambiente sem qualquer tratamento, o que pode resultar em impactos negativos à natureza em virtude de sua decomposição (Silva, 2021).

Adicionalmente, esses resíduos sólidos possuem em sua composição consideráveis teores de amido e fibras alimentares de excelente qualidade. Dessa forma, diversas pesquisas têm procurado formas alternativas de destino adequado a esses materiais promovendo sua reutilização na produção de outros bens de consumo como rações para animais e também na produção de bioplásticos (Rodrigues, 2024; Vilhalva *et al.*, 2011; Zhang *et al.* 2024). Nesse sentido, o aproveitamento destes resíduos no setor de bioplásticos representa uma forma mais

sustentável de destiná-los e uma maneira para obtenção de matéria prima alternativa às fontes alimentares.

4. METODOLOGIA

4.1 Materiais

- O amido utilizado foi extraído da contra-casca (córtex) de mandioca (*Manihot Esculenta Crantz*), obtida em mercados da cidade de Inhumas/GO.
- O glicerol (UNIPHAR 100%; 1,26 g/cm³) foi adquirido em comércio local.
- As soluções de NaOH (Neon, 97%) e HCl (Êxodo, 37%) foram preparadas a partir de reagentes P.A.
- A água clorada foi obtida a partir da diluição do hipoclorito de sódio comercial (água sanitária - Qboa, 2,0-2,5 % de cloro ativo) em água de torneira.

4.2 Métodos

4.2.1 Limpeza de materiais e processamento da matéria prima

Todas as vidrarias e materiais foram submetidos ao processo de desinfecção com água clorada (Dósea *et al.*, 2010). A solução de desinfecção foi preparada a partir da diluição de 100 ml de água sanitária para cada 10 L de água potável. Os utensílios foram imersos na solução por aproximadamente 15 minutos, enquanto bancadas e demais materiais tiveram as superfícies limpas com uso da solução para desinfecção e enxugadas com papel toalha. As mandiocas foram lavadas com escova em água corrente, a parte marrom foi raspada e descartada. Em seguida foram deixadas submersas em água potável, para facilitar a remoção de seus córtex, por uma hora. Após a remoção, o córtex extraído foi imerso em água clorada, por aproximadamente 15 minutos para, diminuir a probabilidade do surgimento de fungos e bactérias contaminantes (SENAR, 2018; Modesto Júnior; Alves, 2014).

4.2.2 Extração do amido

A extração de amido baseou-se na metodologia proposta por Vecchio e Silva (2020) com pequenas adaptações. Inicialmente, a matéria-prima foi triturada em liquidificador com água de torneira suficiente para cobri-las. A suspensão foi peneirada, em peneira aço inox (malha 60) e o resíduo retido na peneira lavado com água de torneira até a água de lavagem ficar translúcida. O filtrado (parte líquida) foi recolhido em um béquer para a sedimentação do amido (o resíduo da peneira foi descartado).

Após cerca de 5 horas de repouso, evidenciou-se a sedimentação do amido. A parte líquida foi descartada e o amido retido no fundo dos recipientes foi coletado em placas de petri e levado à estufa com circulação de ar (BIOPAR/S480AT) para secagem por aproximadamente 24 horas a temperatura de 40 °C. Após esse período o amido foi transferido para saco plástico, utilizado para armazenar alimentos, e reservado para a síntese dos filmes.

4.2.3 Síntese dos filmes

Para a obtenção do bioplástico utilizou-se como plastificante o glicerol comercial, o polímero empregado foi o amido extraído do córtex da mandioca e, como solvente, a água destilada. A proporção de reagentes utilizada foi estabelecida seguindo o método proposto por Azevedo, Almeida e Santos (2017) que elaboraram filmes com diferentes tipos de polissacarídeos, utilizando a proporção 1 ml:2,5 g:25 ml entre plastificante:amido:solvente.

O método empregado na síntese dos filmes foi a técnica *Casting*, que consiste em solubilizar o amido em um solvente para a formação de uma mistura designada solução filmogênica (SF) ou dispersão filmogênica. Posteriormente, a SF é depositada sob uma superfície e desidratada para a evaporação do solvente que resulta na formação do filme plástico (Morais *et al.*, 2022).

Inicialmente, pesou-se cerca de 5 g de amido seco em balança analítica (SHIMADZU, ATY-224), acrescentou-se 50 mL de água destilada, e cerca de 6 ml de solução de ácido clorídrico 0,1 mol/L. A mistura foi levada à chapa de aquecimento (SOLAB, SL-140D) na temperatura inicial de 70 °C para a completa dissolução do amido. Em seguida, adicionou-se cerca de 2 mL do plastificante (glicerina comercial), a temperatura da chapa elevada gradativamente para 100 °C, e a dispersão monitorada com auxílio de um termômetro (INCOTERM, líquido vermelho), para que a mesma se mantivesse entre 58-70 °C até a ocorrência da gelatinização do amido de mandioca, ou seja, a formação da solução filmogênica. Esta solução filmogênica foi submetida a constante agitação manual e a gelatinização ocorreu de maneira lenta e gradual por completo a 66-70 °C, quando a mistura atingiu textura gelatinosa, com menor adesão às paredes do recipiente, e sua coloração alterou de branca para incolor.

Nessa etapa o pH foi aferido com o uso de um papel indicador de pH (Macherey-Nagen) e neutralizado com pequenas adições de uma solução de NaOH 0,1 mol/L (aproximadamente 6 mL). Conforme o pH foi sendo neutralizado a mistura assumiu uma tonalidade amarronzada. Após o ajuste do pH a solução filmogênica foi levada ao banho de

ultrassom (UNIQUE/USC, 1400A) a 50 °C por 20 minutos para remoção de possíveis bolhas (Santos, 2022).

Após o banho de ultrassom, a SF foi espalhada em superfícies planas de vidro. A quantidade de espalhamento foi determinada conforme os ensaios experimentais de Silva, Brinques e Gurak (2020) que espalharam 0,43 g de SF a cada cm² de área para a formação do filme; neste trabalho espalhou-se 0,95 g de SF por cm², ainda quente, sobre uma superfície lisa de vidro refratário delimitada por camadas de fita crepe (FIGURA 4.1a). Com o objetivo de verificar a adesão do bioplástico em diferentes superfícies, outra SF foi preparada e disposta sobre a parte externa de uma tampa de plástico de poliestireno com área de 44,18 cm² e altura de 0,7 cm (FIGURA 4.1b).

Figura 4.1 - Imagem dos “recipientes” utilizados para disposição da SF, para secagem.



Fonte: Próprio autor (2025).

Após serem espalhadas na superfície das placas, as soluções foram levadas à estufa com circulação de ar (BIOPAR/S480AT) para secagem a temperatura de 35 °C, por 72 horas (Vecchio; Silva, 2020). Após esse período os biofilmes foram retirados das placas e armazenados em sacos plásticos, utilizados para guardar alimentos, a fim de evitar contaminações durante o período de caracterização.

Testes iniciais foram realizados para extração do amido e síntese dos filmes (Apêndices A e B), utilizando outra proporção de reagentes e variando o tipo de plastificante. Contudo os resultados obtidos foram insatisfatórios e encontram-se dispostos como complemento ao trabalho.

4.2.4 Imersão do tomate-cereja (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*)

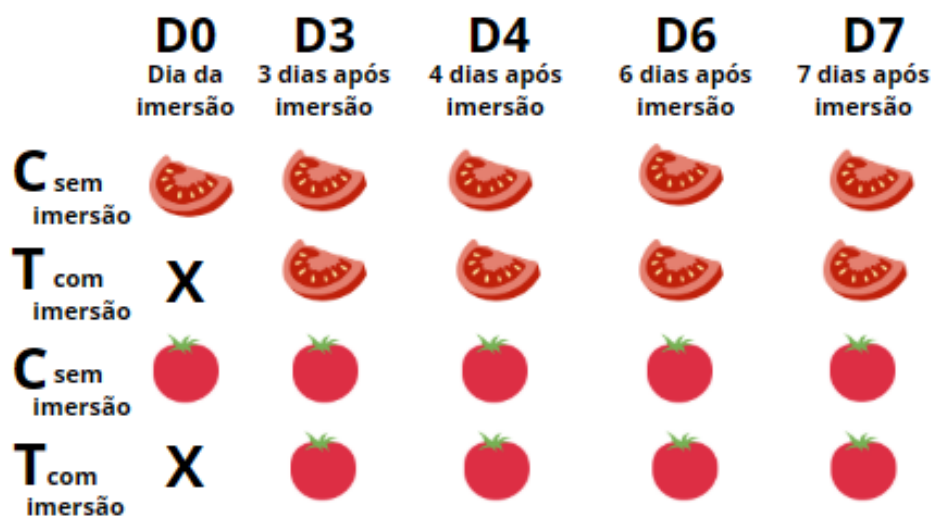
Seguindo a metodologia proposta por Romeira (2019) com algumas adaptações realizou-se o teste para avaliar as potencialidades dos bioplásticos sintetizados (biofilme)

como alternativa de revestimentos para frutas. Na indústria de alimentos são utilizados revestimentos que possam ser aplicados por meio de métodos diversos como a pulverização, imersão ou aplicação de filme. Dentre essas formas de aplicação destaca-se o método de imersão, por ser considerado de simples execução e com vasta aplicação na indústria. Esse método é realizado por meio da imersão do vegetal na solução filmogênea, o excesso é escoado e, podem ser secos em estufa ou naturalmente.

No teste em questão foram utilizados tomates-cereja no estágio inicial de maturação. Os frutos foram obtidos em mercado local, lavados com água e sabão, higienizados com água clorada, enxaguados com água de torneira e secos com papel toalha.

Para a condução do ensaio, foram organizados dois grupos, designados controle (C - tomate-cereja sem imersão na solução filmogênica) e teste (T - tomate-cereja com imersão na solução filmogênica), sendo cada grupo composto por 24 metades do fruto e 24 frutos inteiros, formando assim o período de 07 dias, em triplicata, para a observação visual (cor, leveduras) e medição química (teor de açúcar), conforme o detalhamento na Figura 4.2.

Figura 4.2- Esquema do monitoramento do tomate sem e com imersão na solução filmogênica



Fonte: Próprio autor (2025).

Após a imersão dos frutos na solução filmogênica, estes foram dispostos em recipientes de vidro refratário, emparelhados conforme o esquema da Figura 4.2 e deixados à temperatura ambiente e em contato com o ar. O monitoramento foi realizado por registros fotográficos diários e medição do teor de açúcares (principalmente glicose e frutose) através da polpa do fruto não filtrada (Refratômetro analógico AKSP - RHB0-90, faixa de 0 a 90% Brix).

Esse procedimento também foi realizado utilizando-se acerola (Apêndices A e C). Porém, para a realização de novos estudos e em detrimento da estação não ser de produtividade das acerolas, substituiu-se para tomates cereja.

4.3 Caracterização física e química

4.3.1 Biodegradação em solo

O teste de degradação natural dos biofilmes em solo foi realizado segundo os métodos propostos por Naves (2023) e Moreira *et al.* (2022) com algumas adaptações: O solo utilizado foi preparado utilizando-se 60,5 kg de terra oriunda de solo destinado à agricultura. O mesmo foi disposto em recipiente de vidro e mantido em condições ambientais (exposição ao sol e chuvas) e recebeu porções diárias de água de torneira, sempre que se apresentava seco a fim de manter a umidade no sistema. Posteriormente, foram feitos recortes do bioplástico com tamanhos de 5 x 5 cm, e enterrados a uma profundidade de 10 cm. As amostras foram retiradas do solo nos dias 5 e 15, para acompanhamento do processo de desintegração, e limpas com pincel para remoção de terra em excesso. O monitoramento foi realizado por meio de fotografias para inspeção visual. Os ensaios foram realizados em triplicata de amostra.

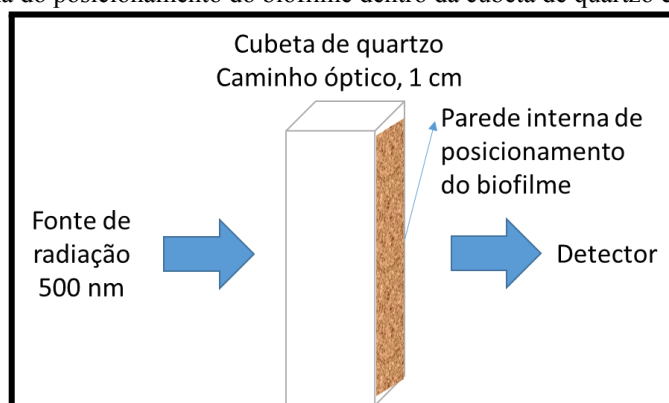
4.3.2 Espessura

A análise de espessura seguiu a metodologia aplicada por Santos (2023): com um micrômetro (KINGTOOLS, 0-25mm, precisão 0,01 mm) mediu-se a espessura em 5 pontos diferentes de cada biofilme. Os ensaios foram conduzidos em triplicata de amostra e leitura. O resultado final foi determinado pela média dos valores encontrados.

4.3.3 Opacidade

Seguindo os métodos propostos por Rocha *et al.* (2014) e Silva; Brinques; Gurak (2020) determinou-se a opacidade como segue: calçar luvas látex para cortar a amostra; a amostra do biofilme foi cortada de forma retangular com as mesmas dimensões de uma cubeta de quartzo, ajustada na sua parede interna (FIGURA 4.3) e posicionada de maneira perpendicular à luz emitida pelo espectrofotômetro (Bel - UV-M51, feixe único) no comprimento de onda a 500 nm. Os ensaios foram realizados em triplicata de leitura e como branco usou-se a cubeta vazia.

Figura 4.3- Esquema do posicionamento do biofilme dentro da cubeta de quartzo e no espectrofotômetro



Fonte: Próprio autor (2025).

O cálculo para determinar a opacidade dos filmes está expresso na Equação 3.2.

$$Opacidade = \frac{A_{500}}{T} \quad (Eq. 3.2)$$

Onde:

A_{500} = valor da absorção a 500 nm

T = espessura do filme em mm

4.3.4 Solubilidade em água

A solubilidade dos biofilmes em água foi determinada de acordo com o método proposto por Santos (2023), com algumas alterações: primeiramente, a massa seca inicial foi determinada, para isso as amostras foram recortadas em formas quadradas com áreas de aproximadamente 2 cm² e pesadas; posteriormente, secas até a obtenção de massa constante na estufa (BIOPAR, S480AT) a 105 °C com circulação de ar por 48 horas. Em seguida, foram imersas em 30 ml de água destilada e levado a um agitador rotacional (Gehaka, AM-20) a 100 rpm por 24 h/25 °C. Por fim, foi determinada a massa final, para isso as amostras foram secas em uma balança de infravermelho (SHIMADZU, MOC63u), na qual foi determinada a sua umidade. Por meio do percentual de umidade das amostras, calculou-se sua massa final. Os ensaios foram realizados em triplicata de amostra. O cálculo para determinar a solubilidade do material produzido em água está expresso na Equação 3.3:

$$S (\%) = \frac{mi(g) - mf(g)}{mi(g)} \quad (Eq. 3.3.)$$

Onde:

S (%) = Porcentual da solubilidade

mi = massa inicial, em g

mf = massa final, em g

4.3.5 Umidade

O teor de umidade foi determinado segundo método proposto por Moreira *et al.* (2022): em uma balança de infravermelho (SHIMADZU, MOC63u), ajustada para temperatura máxima de 120 °C, adicionou-se uma massa mínima de 0,5 g de amostra. Repetiu-se o experimento em triplicata das amostras. O procedimento foi o mesmo para o amido e para o biofilme.

5. RESULTADOS

5.1 Resumo das propriedades dos materiais produzidos

A etapa de caracterização é indispensável ao processo de produção de materiais, uma vez que permite compreender suas características e propriedades para o desenvolvimento de novos materiais com atributos específicos. Além disso, a caracterização é fundamental para o controle de qualidade, uma vez que condiciona fiscalizar se os materiais empregados na produção de objetos realmente cumprem a função esperada. Outro fator que atribui importância a essa etapa, é o fato de que é cada vez mais indispensável compreender como os produtos interagem com o meio ambiente, de modo a desenvolver materiais que tragam menos danos à natureza, ao longo de toda sua cadeia produtiva. No caso dos bioplásticos, eles podem apresentar em sua composição diversos tipos de polímeros, a depender de sua formulação, o que torna necessário o emprego de diversas técnicas, para caracterizá-los (Santos, 2024).

Nesse sentido, a Tabela 5.1, resume todas as análises e caracterizações realizadas nos materiais produzidos. As mesmas serão discutidas nos itens seguintes.

Tabela 5.1 - Resumo dos resultados obtidos em cada parâmetro avaliado			
Propriedades	Amido	Bioplástico	Película formada no tomate
Umidade (% H ₂ O)	13,18 ±0,55	8,99 ± 1,20	13,64 ± 2,21
Espessura (mm)	-	0,24 ± 0,11	0,032 ± 0,011
Opacidade	-	2,29 ± 0,04	10,94 ± 0,094
Solubilidade em água (%)	-	29 ± 0,029	-

Fonte: Próprio autor, 2025.

5.2 Caracterização do amido

5.2.1 Aspectos visuais

O amido extraído do córtex da mandioca apresentou aspecto visual granular alto, e coloração branca ligeiramente marrom e textura leve (FIGURA 5.1).

Figura 5.1 - Amido do córtex da mandioca seco



Fonte: próprio autor, 2025.

5.2.2 Umidade do amido

O amido quando obtido através da matéria-prima, sem passar por processos de modificação, é denominado amido nativo (Aplevicz; Demiate, 2007). Nesse sentido, aproximadamente 30 dias após a extração e mantido em saco plástico, o amido nativo extraído do córtex de mandioca apresentou umidade igual a 13,18 % e dentro do limite estabelecido pela Resolução-RDC nº 711, de 1º de julho de 2022 que diz “[...] sobre os requisitos sanitários dos amidos, biscoitos, cereais integrais e processados, farelos, farinhas, massas alimentícias e pães determina o limite máximo de umidade para amido de mandioca é igual a 18 %.”

Nesse sentido, é possível concluir que o polímero obtido apresenta teor de umidade dentro dos padrões até para amidos empregados na alimentação humana. Isso demonstra a viabilidade do processo de extração e a eficiência do método de secagem, para obtenção de material de possível armazenado.

5.3 Caracterização do bioplástico

5.3.1 Aspectos visuais

Os bioplásticos foram retirados das placas de secagem com auxílio de luvas de plástico. No processo de soltura dos biomateriais das placas de secagem, aqueles dispostos em placas de vidro apresentaram maior resistência em soltar dos recipientes em relação àqueles dispostos em materiais plásticos. O fato em questão, sugere (ou evidencia) que os bioplásticos produzidos possuem maior adesão a superfícies vítreas do que em superfícies plásticas.

O bioplástico sintetizado (FIGURA 5.2) apresenta como características gerais aspecto pouco uniforme, com algumas bolhas de ar dispersas, o que indica que o banho de ultrassom não foi suficiente para a remoção completa das bolhas do material final, dentro da metodologia empregada. É possível notar ainda a presença de diversas partículas de resíduos do córtex ao longo de sua extensão. Para reduzir esse efeito, recomenda-se que no processo de extração do amido este seja submetido a um processo de lavagem, em papel filtro para remoção da maioria de tais sujidades.

Figura 5.2- Fotografia do bioplástico sintetizado, logo após o período de secagem em estufa



Fonte: Próprio autor, 2025.

Ademais, o material apresentou coloração marrom, assim como a solução filmogênica após a neutralização do pH. Acredita-se que isso se deve a presença de carotenoides oriundos do córtex que apresentava tal coloração, uma vez que a mandioca pode ser considerada uma fonte promissora desses pigmentos (Oliveira *et al.*, 2015).

5.3.2 Avaliação da espessura

A espessura é uma propriedade física essencial dos bioplásticos (Jayalath; Samaraweera; Samarasinghe, 2024) diretamente influenciada pelo processo de produção e por sua composição. Nesse sentido, seu estudo é importante, pois por meio dele é possível avaliar a distribuição e uniformidade de seu espalhamento sobre uma superfície lisa, conferindo sua

rigidez ou flexibilidade. Tais aspectos afetam diretamente sua resistência, estabilidade e também suas propriedades como barreira (Silva; Brinques; Gurak, 2020).

O filme sintetizado apresentou espessura média igual a 0,24 mm. Tais resultados estão alinhados com outros trabalhos encontrados na literatura. Aplicando a técnica de *casting*, Wanderley; Silva (2022), produziram filmes utilizando subprodutos de mandioca e cana de açúcar com espessuras que variaram entre 0,23 e 0,36 mm. Por sua vez, Jayalath; Samaraweera; Samarasinghe (2024), empregando a mesma técnica obtiveram filmes processados a base de amido de milho e mandioca com espessuras iguais a 0,2433 mm e 0,2600 mm, respectivamente.

Outrossim, os resultados encontrados demonstram a eficiência da metodologia empregada no espalhamento da solução filmogênica para maior controle da espessura do produto final.

5.3.3 Análise da opacidade (OP)

Essa propriedade está sujeita a determinados fatores como a proporção entre o plastificante, o pH da solução filmogênea (Silva; Brinques; Gurak, 2020), morfologia e massa molar dos componentes (Sá, 2020), origem do amido e da espessura do material (Santana *et al.*, 2018).

O biomaterial em questão apresentou opacidade média igual a 2,29. O valor encontrado é semelhante a outros relatos encontrados na literatura, como por exemplo: Rocha *et al.* (2014) produziu filmes biodegradáveis de mandioca e proteína de soja cuja opacidade variou entre 2,16 a 4,88; Poloni (2021), elaborou filmes de farinha de linhaça com valores de OP entre 1,97 e 2,453; Guimarães (2024) sintetizou embalagens ativas à base de amido eterificado com OP igual a 2,12. Segundo Nunes (2023), filmes bioplásticos de amido possuem menor opacidade e maior transparência.

5.3.4 Solubilidade em água

O biofilme apresentou percentual de solubilidade em água igual a 29 %. Valores semelhantes foram encontrados em trabalhos anteriores, por exemplo, utilizando amido de mandioca, glicerol como plastificante e aplicando a técnica *casting*, Costa (2018) produziu filmes com solubilidade igual a 30,36 %. Com os mesmos métodos e materiais, mas variando o percentual de plastificante, Tavares *et al.* (2024) elaborou bioplásticos com valores de solubilidade em águas que variaram entre 15,2318 e 38,1636 %. Por sua vez, utilizando amido

de mandioca e gelatina, Padilha (2019), produziu filmes biodegradáveis com valores de solubilidade entre 28,98% até 33,33%, o que segundo o autor indica que os filmes têm baixos níveis de solubilidade.

De acordo com Castro (2022), essa é uma propriedade de extrema importância para embalagens sintetizadas com amido. Ela indica como o material irá se comportar quando em meio aquoso, sendo que quanto maior for seu percentual de solubilidade menos resistente a água será e menor tende a ser o tempo de prateleira, a menos que medidas adicionais sejam tomadas (como uso de revestimentos impermeabilizantes ou combinação com outros materiais barreira). Essa característica é influenciada diretamente pela natureza do plastificante e do polímero utilizados, bem como por suas proporções (Santana *et al.*, 2018; Schmidt *et al.*, 2019). Nesse sentido, em função da natureza hidrofílica tanto do amido, quanto do glicerol, a proporção utilizada destes, pode atuar sobre a solubilidade dos filmes.

A literatura relata uma proporção de 2 ml de glicerol para cada 2,5 g de amido. A proporção utilizada foi de 1 ml:2,5g, plastificante:polímero. Acredita-se que essa redução na proporção de plastificante tenha contribuído para o baixo valor de solubilidade do material.

5.3.5 Teor de umidade

A umidade influencia diretamente na estrutura, resistência e até na sua deterioração (Moreira *et al.*, 2022). Destaca-se que filmes com baixa umidade são de difícil remoção das placas de secagem sendo propícios a danos mecânicos e quando aplicados na produção de embalagens seu teor de umidade não deve ultrapassar 10%.

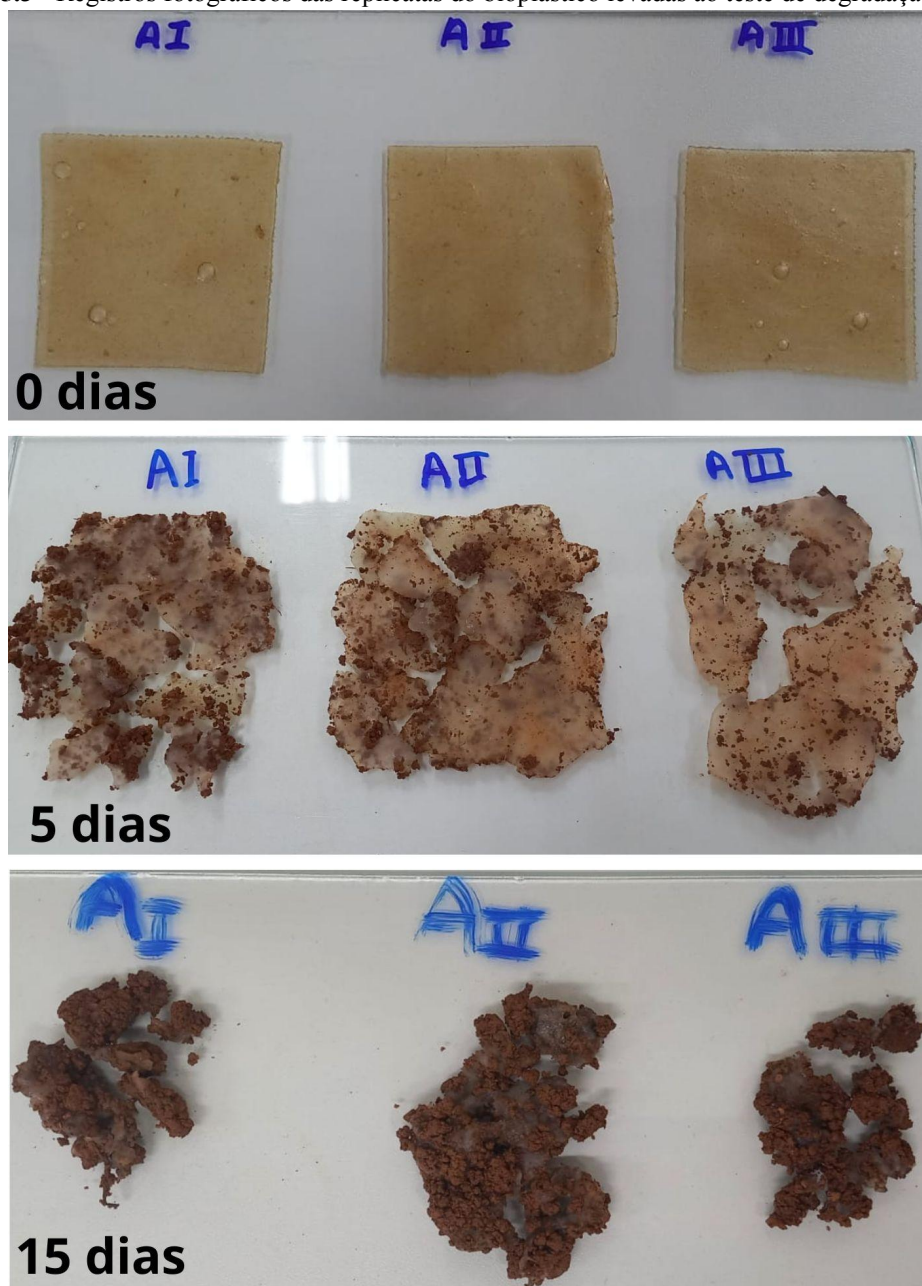
O biofilme apresentou nível de umidade igual a 8,99 %. Nolasco (2023) sintetizou filmes utilizando resíduos de casca de batata com valores de umidade variando de 8,59% à 23,57%; Castillo *et al.* (2023), produziu filmes com amido de mandioca com umidade entre 10,5 e 11,8; Wanderley; Silva (2023), sintetizaram biofilmes a base de amido de mandioca com incorporação de resíduos de cana de açúcar, cujos valores de umidade se mantiveram entre 7,76% e 9,75%.

Nesse sentido é possível perceber que a formulação utilizada neste trabalho, resulta na formação de um produto final com bons teores de umidade. Essa propriedade em específico demonstra o potencial do bioplástico para aplicação no setor de embalagens.

5.3.6 Biodegradação em solo

Os resultados referentes à biodegradabilidade do bioplástico em solo consideram as mudanças morfológicas visuais sofridas pelo material em detrimento da exposição ao solo. A Figura 5.3 expressa o monitoramento de tais alterações ocorridas no período de 15 dias após a inserção das amostras (triplicata) no solo, comparando-as com o registro antes do início do teste (0 dias).

Figura 5.3 - Registros fotográficos das replicatas do bioplástico levadas ao teste de degradação em solo



Fonte: Próprio autor, 2025.

Após 5 dias expostas a ação do solo, é possível perceber que ocorreram mudanças consideráveis na aparência dos materiais. Em todas as replicatas constatou-se mudanças na coloração, absorção considerável de umidade e diversas rupturas em sua estrutura. Apresentaram-se frágeis ao manuseio, que mesmo sendo realizado com auxílio de uma pinça provocou a fragmentação do material em partes menores. Além disso, as amostras apresentaram forte adesão às partículas do solo, sendo muito difícil a remoção dessas da superfície dos materiais. Logo após a análise, as amostras foram enterradas sob as mesmas condições iniciais.

A inspeção visual realizada após 15 dias revelou que os materiais apresentaram estágio de decomposição já avançado, caracterizado pelo aspecto gelatinoso, de difícil manuseio e pela incorporação ao solo formando uma espécie de mistura bioplástico-solo, tornando impossível sua separação na maior parte da região do material. Muitos dos fragmentos, de menor dimensão formados no dia 5 haviam se decomposto por inteiro. A maioria dos fragmentos apresentaram manchas amarelas e esverdeadas, revelando a proliferação de fungos. Além disso, constatou-se a diminuição considerável do tamanho das amostras.

De acordo com Meite *et al.* (2024), decomposição de filmes plásticos ocorre em dois estágios, tendo início com a fragmentação dos materiais (observado após 5 dias em contato com o solo, neste estudo) formando micropartículas e a digestão destes fragmentos por microrganismos (fenômeno constatado após 15 dias enterrado). Alguns fatores, como o clima, ambiente e o tamanho do plástico influenciam no tempo de biodegradação dos materiais.

Em seus trabalhos, Zoungranan (2020) e Moreira *et al.* (2022), constataram experimentalmente que bioplásticos produzidos à base de mandioca sofrem biodegradação relativamente mais rápido que aqueles produzidos com amido de milho, quando expostos em solo. Por sua vez, utilizando amido de mandioca, Wahyuningtiyas; Suryanto (2017), produziram filmes com diferentes proporções de glicerol, e constataram que em apenas 9 dias após serem enterrados algumas formulações (com maior teor de plastificante) foram biodegradadas por completo.

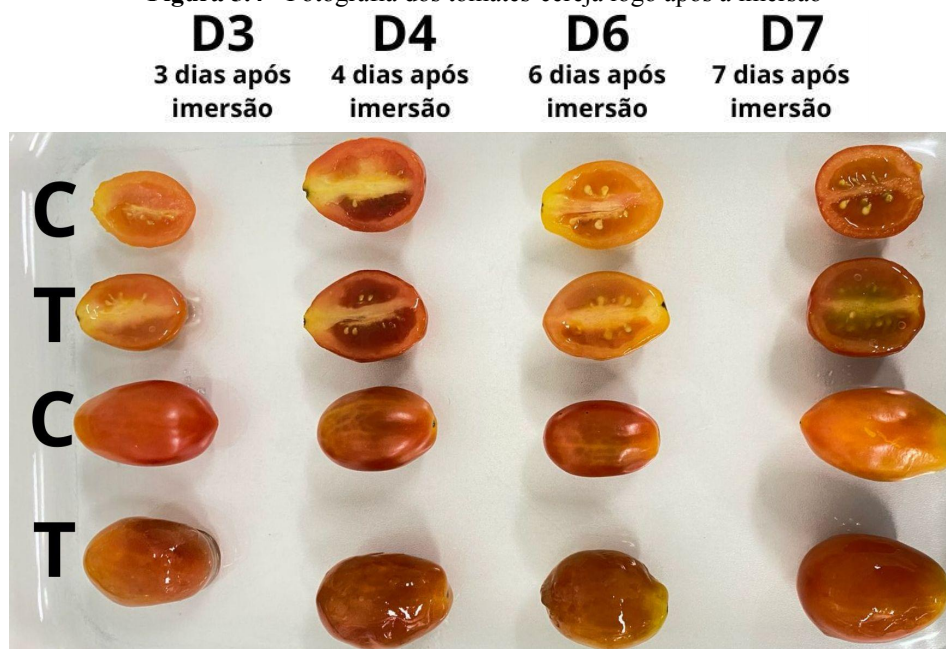
Segundo Bonfim (2019), a diminuição no tamanho das amostras, em relação ao seu estado inicial, demonstra que o bioplástico é consumido pelos microrganismos presentes no solo, de modo que seus componentes são convertidos em estruturas mais simples, como por exemplo minerais, CO_2 e H_2O . Os fenômenos acima descritos permitem concluir que o bioplástico sintetizado pode de fato sofrer biodegradação. Contudo, estudos mais

aprofundados são necessários acerca desse processo, principalmente análises para avaliar se a decomposição do material oferece algum risco de contaminação química.

5.4 Aplicação dos bioplásticos como embalagem

Após a imersão dos tomates, estes foram deixados em repouso por 72 horas, para permitir a secagem da camada de bioplástico que cobriu a superfície dos frutos (designada “película” ou ‘revestimento’, após esse período). A Figura 5.4 mostra os grupos controle e teste no dia em que os frutos passaram pelo processo de imersão.

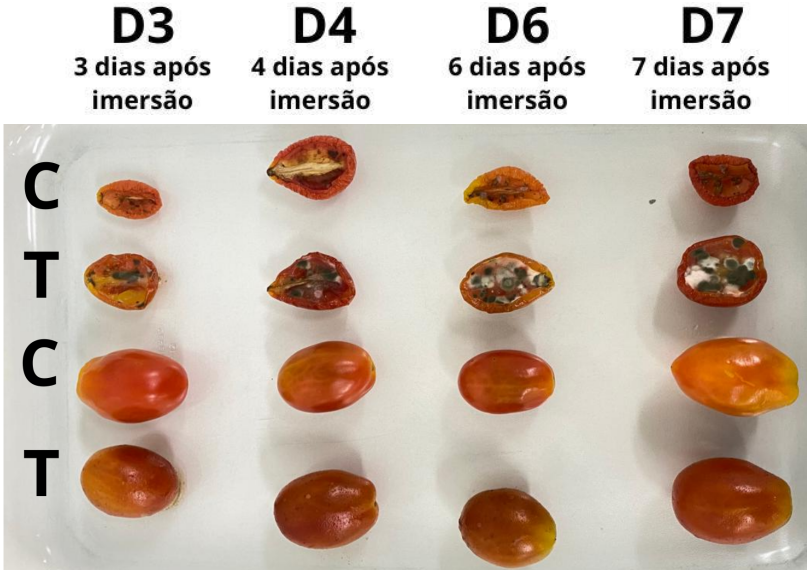
Figura 5.4 - Fotografia dos tomates-cereja logo após a imersão



Fonte: Próprio autor, 2025.

No dia 03 da avaliação do amadurecimento dos frutos, constatou-se o crescimento acelerado de fungos na superfície do grupo teste cortado. Como é possível perceber na Figura 5.5, o mesmo evento não ocorreu para o grupo controle cortado, que sofreu apenas desidratação. Tais fenômenos foram observados em todas as replicatas, e demonstram a ineficiência do bioplástico produzido, como uma alternativa de embalagem bioativa para frutos cortados, quando aplicado pela técnica de imersão.

Figura 5.5- Tomates-cereja em D3, é possível notar o crescimento de leveduras nos frutos teste cortados



Fonte: Próprio autor, 2023.

O biofilme deveria proteger, mas sem propriedades antimicrobianas e controle de umidade, ele pode acabar sendo um ambiente perfeito para fungos. Por isso, muitas pesquisas (Cesca, 2024; Filho Menezes, 2025; Koteckewis, 2021) combinam o amido com substâncias antifúngicas para tornar o biofilme mais eficaz na produção de embalagens que interagem com alimentos.

Nesse sentido, para evitar a contaminação de equipamentos e das demais amostras de tomate não-cortado, o teste para avaliar a variação de sólidos solúveis totais (SST - unidade °Brix) ao longo do processo de amadurecimento com os tomates cortados foi retirado, tendo seguimento apenas para os frutos inteiros. Em relação a avaliação visual, a variação na coloração dos frutos entre os dias 0-7 foi praticamente imperceptível pelas fotografias, portanto, a avaliação dos frutos foi realizada apenas pelo monitoramento de SST.

Os SST são um parâmetro que corresponde à concentração de sólidos dissolvidos no fruto, sendo que aproximadamente 65% de sua composição são açúcares, sendo os mais abundantes glicose e frutose (Bissacotti; Londero; Costabeber, 2021) e que influencia diretamente no sabor dos frutos. Os valores obtidos nos referidos testes, encontram-se dispostos na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 - Avaliação do teor de SST (°Brix) em tomates -cereja ao longo de uma semana

Dia	Amostra		Comparação	Frequência	
	Teste	Controle	Teste t^*	Teste	Controle
0	—	4,03 ± 0,11	-	-	-

3°	2,80 ±0,55	2,50 ± 0,52	$s_{\text{agrupado}} = 0,535$ $t_{\text{calculado}} = 0,686$	-	-
4°	4,40 ±0,75	4,32 ± 0,85	$s_{\text{agrupado}} = 0,802$ $t_{\text{calculado}} = 0,122$	-1,60**	-1,82
6°	4,26 ±0,45	4,68 ± 0,28	$s_{\text{agrupado}} = 0,375$ $t_{\text{calculado}} = 1,373$	+0,14***	-0,36
7°	2,84 ±1,00	3,03 ± 0,52	$s_{\text{agrupado}} = 0,797$ $t_{\text{calculado}} = 0,292$	+1,42	+1,65

* t_{tabelado} igual a 2,776 a 95% de significância; **sinal negativo significa produção de açúcares; ***sinal positivo significa consumo do próprio açúcar produzido - senescência.

Fonte: Próprio autor, 2025.

O teor de sólidos solúveis totais aumentou até o 4° dia de monitoramento para ambos os grupos (teste e controle). Este resultado era esperado, uma vez que, segundo Menezes *et al.* (2017), o aumento na concentração de SST na polpa dos frutos ocorre em função do processo de maturação, que concentra os açúcares nesta região, ou seja, o teor de SST aumenta de acordo com o amadurecimento dos frutos.

Por sua vez, o tomate com biofilme apresentou um decaimento de SST mais pronunciado a partir do 6° dia, diferentemente do grupo controle, que ocorreu a partir do 7° dia, indicando para ambos a perda de qualidade dos frutos. A redução dos açúcares na polpa representa seu próprio consumo na forma de substrato energético ocasionando a perda de sabor e iniciando o processo de senescência (Menezes *et al.* 2017). Ademais em tomates destinados ao processamento industrial o teor de sólidos solúveis totais deve ser de aproximadamente 4,50 °Brix (Hauth *et al.*, 2017) e de acordo com Silva (2024), os tomates que apresentam bom índice de qualidade possuem SST superior a 3 °Brix.

Relacionando os resultados SST entre os dois grupos - teste e controle - é possível perceber, que houve pequena variação dos valores, que pela análise de comparação estatística por teste t para “medidas repetidas” determinou-se que não há diferença estatística entre os grupos. Fatores como variações iniciais entre frutos, ambiente de armazenamento ou uniformidade do biofilme podem ter influenciado os resultados de forma negativa ao resultado esperado para o grupo teste - produzir menor teor de SST ao longo do tempo.

Mesmo porém que a análise dos teores de sólidos solúveis totais (SST) ao longo do período de armazenamento tenha revelado que, embora não tenha havido diferença estatística significativa entre os grupos com e sem revestimento de biofilme, a frequência e a magnitude das variações sugerem um efeito positivo do biofilme na conservação dos tomates. Até o 4° dia de monitoramento, os frutos com biofilme apresentaram um aumento mais sutil na

frequência calculada, o que pode indicar uma menor taxa de metabolismo e degradação. No 6º dia, os tomates revestidos apresentaram uma frequência maior para o consumo próprio dos açúcares produzidos, iniciando o processo de apodrecimento.

Tais resultados indicam que, mesmo na ausência de significância estatística, há uma tendência prática que merece investigação em estudos com maior tempo de armazenamento e amostragens mais robustas.

5.5. Avaliação da película de bioplástico formada na superfície dos frutos

Durante o monitoramento dos frutos de tomate com e sem biofilme, as películas removidas no 6º dia foram cuidadosamente manuseadas e submetidas à caracterização, com o objetivo de compará-las a algumas das propriedades previamente avaliadas no bioplástico sintetizado. A Figura 5.6 ilustra o momento da remoção da película do fruto.

Figura 5.6 - Película de bioplástico sendo removida do tomate cereja.



Fonte: Próprio autor, 2025.

As películas foram analisadas pelos seguintes parâmetros: espessura, opacidade e umidade. As análises foram realizadas em triplicata de amostra e leitura, segundo os mesmos procedimentos e metodologias empregados para os bioplásticos. Os resultados de cada análise

foram calculados por meio da média das leituras. Os valores encontrados estão dispostos na Tabela 5.3.

Tabela 5.3 - Resultados das análises realizadas na película do tomate.

Espessura (mm)	Opacidade	Umidade (% H₂O)
0,032 ± 0,011	10,94 ± 0,096	13,64 ± 2,21

Fonte: Próprio autor, 2025.

Ao comparar as propriedades da película e do bioplástico (referenciada na Tabela 5.1) evidenciou-se a diminuição considerável da espessura da película em relação ao biomaterial sintetizado. Por sua vez, houve aumento considerável na opacidade e no teor de umidade da película. A diferença de umidade pode ser explicada pelo método de secagem, pois o filme foi seco em estufa enquanto a película do tomate foi seca à temperatura ambiente, o que pode ter ocasionado maior retenção de umidade. Em relação a espessura, a diminuição se deve à quantidade de SF sobre a superfície do tomate, que foi bem menor do que a quantidade de espalhamento do filme. Por sua vez, a opacidade é influenciada pela espessura, a variação da espessura pode ter ocasionado esse aumento na opacidade.

6. CONCLUSÃO

O método de síntese do biofilme a partir do amido extraído do córtex da mandioca apresentou parâmetros de qualidade satisfatórios como, espessura, opacidade, solubilidade em água, umidade e biodegradação no solo; todos compatíveis com os dados encontrados na literatura acadêmica. Esses resultados demonstram a eficiência do método aplicado na elaboração do biofilme, evidenciando não apenas sua viabilidade técnica, mas também seu potencial para aplicações sustentáveis, especialmente na substituição de materiais plásticos convencionais.

Além da eficácia comprovada, o processo também destaca-se por estar fundamentado em diversos princípios da Química Verde. A extração do amido do córtex da mandioca demonstra a aplicação do princípio 7, ao utilizar uma matéria-prima natural e renovável. O reaproveitamento do biopolímero está alinhado aos princípios 1 e 10, pois promove a prevenção da geração de resíduos e favorece o uso de substâncias biodegradáveis. O fato de o processo ser de baixo custo e não consumir grande quantidade de reagentes e energia envolve os princípios 3, 5 e 6, ao priorizar métodos mais seguros, com menor uso de substâncias auxiliares e com maior eficiência energética. Por fim, a ausência de resíduos nocivos ao meio ambiente reforça novamente o princípio 1, de prevenir a poluição na fonte, antes que ela seja gerada.

Com relação ao teste de aplicabilidade dos bioplásticos como possível embalagem para prolongar o tempo de vida útil dos frutos de tomate cereja, os materiais se mostram ineficientes para frutos com danos na parte externa (cortados), pois favoreceram o desenvolvimento de fungos nos frutos. Para frutos inteiros, em contrapartida, eles demonstraram certo potencial em retardar o processo de amadurecimento. Contudo, vale ressaltar a necessidade de estudos mais aprofundados acerca de suas aplicações como embalagem, incluindo outras formas de aplicação, além da imersão.

Destaca-se ainda a importância de estudos acerca de outras propriedades do material, como termogravimetria, resistência, tração, entre outros testes, com a finalidade de avaliar as potencialidades e fragilidades do material. Ademais, poderão ser realizados testes futuros sobre a aplicações para o material, como por exemplo, Zhang *et al.* (2024), sugeriu a utilização de amido do córtex da mandioca como base para produção de materiais de uso único.

Por fim, o objetivo central desta pesquisa foi alcançado, uma vez que, foi possível produzir um material de base biológica e com características biodegradáveis, utilizando-se o amido proveniente do córtex da mandioca e o glicerol comercial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALELI, Erica Oliveira Da Silva. **Bioplásticos de hidroxipropil metilcelulose obtidos por um método inovador:** casting centrífugo. Orientador: Dr. Lizandro Manzato. 2023. 101 f. Dissertação (Mestrado) - Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2023.

ALVES, João Marcelo de Lima. **Desenvolvimento de nanocompósitos biodegradáveis de carragena e amido reforçados com nanocristais de celulose para embalagens de alimentos.** Orientador: Dr. Daniel Pasquini. 2025. 84 f. Dissertação (Mestrado) - Mestrado em química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2025.

AMARAL, Sônia Silva Gurgel do. **Caracterização de microplásticos nas praias de Jurujuba e Camboinhas.** Orientador: Roberto Meigikos dos Anjos. 2021. 50f. TCC (Graduação) - Curso de física, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2021.

AMORIM, Daniel Penido Lima. Bioplásticos: benefícios sustentáveis e ascensão da produção. **Revista Metropolitana de Sustentabilidade**, São Paulo, v.9, n.1, p. 98-112, Jan./Abr., 2019.

ANDRADE, Keyse Santos. **Projeto, construção e avaliação da performance de um secador solar híbrido para a secagem de entrecasca de mandioca.** Orientador: Dr. Manoel Marcelo do Prado. 2024. 137 f. Dissertação (Mestrado) – Mestrado em Engenharia Química, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2024.

ARRIETA, Álvaro *et al.* Electrically Conductive Bioplastics from Cassava Starch. **J. Braz. Chem. Soc.**, Colombia, v. 22, n. 6, p. 1170-1176, jun. 2011.

ASSIS, Marcos Wilson Vicente de; SANTOS, Taidés Tavares dos. Propriedades químicas, problemas ambientais e reciclagem de plástico: uma revisão de literatura. **Jornal interdisciplinar de biociências**, Pará, v.5, n.1, p.31-37, out. 2020.

AZEVEDO, Alexandre Reis.; ALMEIDA, Victor Miranda; SANTOS, Suzana Arleno Souza. Síntese de bioplásticos feitos com polímeros naturais: uma alternativa para a gestão ambiental. **Conhecimento & Diversidade**, Niterói, v. 9, n. 19, p. 59–70, out./dez. 2017.

APLEVICZ, Krischina Singer; DEMIATE, Ivo Mottin. Caracterização de amidos de mandioca nativos e modificados e utilização em produtos panificados. **Ciência. Tecnol. Aliment.**, Campinas, v. 27, n.3, p. 478-484, jul./set. 2007.

BARBATO, Andrey Gustavo. **Os Desafios na Difusão de Inovações Tecnológicas:** o caso dos bioplásticos . Orientador: Dr. João Batista Pamplona. 2021. 90 f. Dissertação (Mestrado) -Mestrado em Economia Política, Pontifícia Universidade Católica, São Paulo, 2021.

BBC. **Por que você provavelmente está comendo plástico.** Disponível em: <https://encurtador.com.br/bwnwP>. Acesso em: 28 jul. 2024.

BIO-PLASTICS EUROPE. **What are "Bio-plastics"?** Disponível em: <https://bioplasticseurope.eu/about>. Acesso em: 15 jun. 2024.

BISSACOTTI, Anelise Pigatto; LONDERO, Patrícia Medianeira Grigoletto; COSTABEBER, Ijoni Hilda. Tomate: botânica, produção, composição nutricional e

benefícios à saúde. **Cadernos de Ciência & Tecnologia** -EMBRAPA, Brasília, v. 38, n. 2, p. 1-9, ago. 2021.

BOHNENBERGER, Nayara Taíne. **Caracterização das matérias-primas e avaliação, através de simulação, das propriedades mecânicas de compósitos à base de amido termoplástico e fibras de sisal**. Orientador: Dr^a. Daiane Romanzini. 2021. 50 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Instituto Federal do Rio Grande do Sul, Feliz, 2021.

BOMFIM, Katiane Araújo. **Elaboração e caracterização de filmes biodegradáveis a partir do amido do arroz vermelho**. Orientadora: Dra. Plúvia Oliveira Galdino. 2019. 42 f. TCC (Monografia) - Graduação em engenharia de alimentos, Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, 2019.

BRASIL. Resolução, n. 711 de julho 2022. Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos. **Diário Oficial da União**, Brasília, 2022. Disponível em: <https://encurtador.com.br/tay7e>. Acesso em: 6 mar. 2025.

CALDAS, Nicolas Martins; SANTANA, Rebeka Pereira; REIS, Sofia Soares Reis. **Construção Ecosustentável: Impactos De Materiais Biodegradáveis Na Construção Civil**. Orientador: Lucas Andrade da Silva Bianchini. 2024. 38 f. TCC (técnico) - Técnico em Edificações, Escola Técnica Estadual - Etec Itaquera II, São Paulo, 2024.

CÂMARA, Pâmella Fronza. **Obtenção e caracterização de biocompósitos formulados com fécula da casca e da entrecasca de mandioca (*manihot esculenta crantz*) e galactomananas de alfarroba (*ceratonia siliqua l.*) e reforçados com nanofibras de material lignocelulósico**. Orientador: Dr. Leandro Soares de Oliveira. 2022. 204 f. Tese (Doutorado) - Doutorado em ciência de alimentos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2022.

CARVALHEIRO, Alexandre Luis. *et al.* Microplásticos: conceito, impactos ambientais e principais métodos de extração. p. 25, 12 dez. 2022.

CARVALHO, Tereza Cristina Melo de Brito. Apenas 9% do plástico global é reciclado; no Brasil, a porcentagem é ainda menor. **Jornal da USP**, São Paulo, 1^a edição, mar. 2024. Disponível em: <https://jornal.usp.br/?p=730589>. Acesso em 06 jun. 2024.

CASTILLO, Lia Ethel Velasquez *et al.* Cassava Starch Films Containing Quinoa Starch Nanocrystals: Physical and Surface Properties. **Foods**, Duque de Caxias, v. 12, n. 3, p. 1-18, jan. 2023.

CASTRO, Abraham Calderón. Effect of the storage relative humidity on the physicochemical properties of corn starch edible films obtained by a combination of extrusion process and casting technique. **Revista Mexicana de Ingeniería Química**, Sinaloa, v. 21, n. 3, p. 1-11, out. 2022.

CESCA, Rafaela Silva. **Produção, caracterização e potencial industrial do aditivo natural *hyssopus officianalis l.* no desenvolvimento de membranas biodegradáveis**. Orientador:

Dr. William Renzo Cortez-Vega. 2024. 122 f. Tese (Doutorado) - Doutorado em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2024.

COLIVET, Júlio *et al.* Characterization of Films Produced with Cross-Linked Cassava Starch and Emulsions of Watermelon Seed Oils. **Foods**, São Paulo, v. 11, n. 23, out./dez. 2022.

CHANDRA, Dilip Kumar; KUMAR, Awanish; MAHAPATRA, Chinmaya. Advanced nano-enhanced bioplastics for smart food packaging: Enhancing functionalities and sustainability. **Elsevier**, Chhattisgarh, v. 10, n. 1, p. 1-31, mar. 2025.

COSTA, João Pedro farinha Nunes. **Bioplásticos compostáveis na Economia Circular**. Orientador: Dr. Paulo Parra. 2018. 204 f. Dissertação (Mestrado)- Mestrado em Design de Equipamento, Universidade De Lisboa, Lisboa, 2018.

COSTA, Selma Rodrigues. BIOPLÁSTICO OBTIDO DE BLENDA DE CELULOSE E LÁTEX Orientador: Dr. Adilson Beatriz. 2022. 31 f. Dissertação (mestrado)- Mestrado em Biotecnologia, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Campo Grande, 2022.

COSTA, Tamara Lorena Eufrazio. **Desenvolvimento e caracterização de filmes e blendas poliméricas de quitosana, pectina e fécula de mandioca para revestimento em frutos**. Orientador: Dr. Francisco Klebson Gomes Dos Santos. 2018.75 f. Dissertação (mestrado) - Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2018.

DIAS, Yasmim Stephanie de Souza. **Bioplásticos: desafios e aplicações**. Orientador (a): Profa. Dr^a. Débora Machado de O. Medina. 2023. 50 f. TCC (graduação) - Curso de engenharia Ambiental, Universidade Federal do Rio Grande, Natal, 2023.

DONATI, Nicolay. **Desenvolvimento de compósitos biodegradáveis à base de amido de mandioca e cinza da casca de arroz revestidos com os polímeros biodegradáveis PLA e PBAT**. Orientadora: Isabel Cristina Tessaro. 2022. 141 f. Dissertação (Mestrado) – Mestrado em engenharia química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022.

DÓSEA, Raquel Resende, *et al.* Qualidade microbiológica na obtenção de farinha e fécula de mandioca em unidades tradicionais e modelo. **Ciência Rural**, Aracaju, v. 40, n. 2, p. 441-446, fev. 2010.

Duarte, Joyce de Almeida Filho *et al.* A evolução dos polímeros na indústria automobilística. **Revista Mythos**, Tocantins, v. 15, n. 1, p. 118–130, jun. 2021.

ECO BRASIL BIOPOLÍMEROS. **Você sabe a diferença entre o plástico convencional, oxibiodegradável, biodegradável e compostável**. Ecobiopolímeros, 19 jul. 2023. Disponível em: <https://encurtador.com.br/WI0oC>. Acesso em: 07 dez. 2024.

FARINHA, Luanna de Freitas. **Proposta de plano de reciclagem do isopor em São Carlos através da utilização do d-limoneno como estratégia para economia circular**. Orientador: Dr. André Bernardo. 2024. 64 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2024.

FARIAS, Amanda Vasconcelos. **Caracterização das propriedades do amido da crueira de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) isolado por diferentes métodos de extração.**

Orientador: Dr. Lizandro Manzato. 2022. 84 f. Dissertação (Mestrado) - Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Amazonas, Manaus (AM), 2022.

FERNANDES, Cícera Romana *et al.* Produção de bioplástico a partir da utilização de polímeros naturais. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 7., 2019. **Anais** [...]. Montes Claros - MG: Faculdade Santo Agostinho - FASA, 2019. p. 1-14.

FEROLDI, Ana Clara *et al.* **Bioplástico proveniente do amido.** Orientadora: Larissa Fontana. 2024. 24f. TCC (Graduação) - Curso Técnico em Química, ETEC Prefeito Alberto Feres, Araras, 2024.

FILHO MENEZES, Antonio Carlos Pereira de. Produção e caracterização de embalagens biodegradáveis ativas e inteligentes com óleo de *hymenaea stigonocarpa*, *h. courbaril*, *annona crassiflora* e extrato de *syzygium cumini*. Orientador: Dr. Frederico Antônio Loureiro Soares. 2025. 98 f. Tese (Doutorado) - Doutorado em ciências agrárias - Agronomia, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, Rio Verde, 2025.

FIRMINO, Anna Júlia Gregghi; FIGUEIREDO, Geovana de Camargo; ESPANHA, Thamires Vitória. **Cascanudo: bioplástico por meio da casca da banana.** Orientadores: Reginaldo Gregghi Inácio e Thais Paterlini. 2024. 34 f. TCC (técnico) - Curso Técnico em Química, Etec Francisco Garcia, Mococa, 2024.

FOREGATTI, Anielli Da Silva. **Obtenção e caracterização de filmes biodegradáveis de amido de mandioca utilizando solvente eutético profundo natural.** Orientadora: Dr^a Mirela Vanin dos Santos Lima. 2023. 30 f. TCC (Graduação) - Curso de Alimentos, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2023.

FLORENTINO, Gabrielle Ingrid Bizerra. **Incorporação da pectina do maracujá-amarelo (*passiflora edulis flavicarpa*) em filmes biodegradáveis a base de proteínas do subproduto de peixes.** Orientador: Dr. Fábio Anderson Pereira da Silva. 2022. 89 f. Dissertação (mestrado) - Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2022.

FRANCHETTI, Sandra Mara Martins; MARCONATO, José Carlos. Polímeros biodegradáveis – Uma solução parcial para diminuir a quantidade dos resíduos plásticos. **Química Nova**, Rio Claro, v. 29, n. 4. p. 811-817, jun. 2024.

FRANCO, Danilo Yoshio Yatabe Franco. **Transição sociotécnica dos plásticos sob a ótica do desenvolvimento dos bioplásticos.** Orientador: Fábio de Almeida Oroski. 2019. 199 f. Dissertação (Mestrado)- Mestrado Ciências, Universidade Federal Do Rio De Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

FRANCO, Rafael Augusto. **Aplicação de filmes de amido termoplástico (TPS) como substrato de liberação controlada de fertilizantes NPK.** Orientadora: Dr^a. Marystela Ferreira. 2022. 53 f. TCC (Graduação)- Curso de Licenciatura em Química, Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba , 2022.

FRANÇA, Débora *et al.* As faces do plástico: uma proposta de aula sobre sustentabilidade. **Química Nova na Escola**, São Paulo, v. 43, n. 3, p. 277-286. ago. 2022.

FREIRE, Estevão *et al.* Cenários Prospectivos para a Produção de derivados de Moringa oleifera: Uma Abordagem Sistêmica. **Revista Virtual Química**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 3, p. 529-536, abr./mai. 2022.

FURLANETTO, Guilherme Dall'agnol. **Influência da fibra de vidro nas propriedades mecânicas de um polímero com adição de grafeno**. Orientador: Me. Eng. Joel Vicente Ciapparini. 2021. 83 f. TCC (Graduação) - Curso de engenharia mecânica, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2021.

GALDEANO, Melicia Cintia. **Filmes e laminados biodegradáveis de amido de aveia com diferentes plastificantes, produzidos por casting e extrusão**. Orientadora: Dr^a Maria Victoria Eiran Grossmann. 2007. 170 f. Tese (doutorado) - Doutorado em ciência de alimentos, Universidade Federal de Londrina, Londrina, 2007.

GAMAGE, Ashoka *et al.* Polysaccharide-Based Bioplastics: n.Eco-Friendly and Sustainable Solutions for Packaging. **Journal of composites science**, Sri Lanka, v. 8, n. 10, p. 1-30, ago/out. 2024.

GODOI, Cintia Neves; Otávio Cascaes, MONTANHA; ESPÍNDOLA, Carlos José. O setor produtivo de bioplásticos no brasil: cenários, possibilidades e desafios. *In*: SEMINÁRIO NACIONAL DE GEOGRAFIA ECONÔMICA E SOCIAL, 5., 2024. **Anais [...]**. Foz do Iguaçu: UNILA, 2024. p. 166-187.

GOLDBERG, Paul *et al.* Camadas, lareiras e manutenção do sítio na Idade da Pedra Média da caverna de Sibudu, KwaZulu-Natal, África do Sul. **Archaeological and Anthropological Sciences**, v. 1, p. 95-122, 2009.

GOMES, Maria Letícia De Sousa. **Filmes biodegradáveis de mandioca (manihot esculenta crantz): uma revisão**. Orientador: Dr. Carlos Victor Lamarão Pereira. 2022. 33 f. TCC (graduação) - Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2022.

GONZÁLEZ, Carlos Mauricio Otálora *et al.* Effect of plasticizer composition on the properties of injection molded cassava starch-based bioplastics. **Food Packaging and Shelf Life**, Buenos Aires, v. 40, n. 1, p. 101-118, dez. 2023.

GORNI, Antonio Augusto (org.) **A evolução dos materiais poliméricos ao longo do tempo**. São Paulo: Revista Plástico Industrial. 2003.

GUIMARÃES, Maria Clara. **Desenvolvimento de embalagem ativa à base de amidos modificados e óleo essencial de tomilho (*t. vulgaris*) encapsulado**. Orientadora: Dr^a. Nathália Ramos de Melo. 2024. 126 f. Tese (Doutorado) - Doutorado em Ciência e Tecnologia, Universidade Federal Rural Do Rio De Janeiro, Seropédica, 2024.

HAUTH, Michele *et al.* Qualidade de tomates para processamento industrial. *In*: JORNADA CIENTÍFICA DA EMBRAPA AGROSSILVIPASTORIL, 5., 2016, Mato Grosso. **Anais [...]** Sinop, MT: Embrapa, 2017. p. 101-104.

HENRIQUE, Jullyana da Silva; AGUIAR, Edísio Alves de Júnior. A importância da metrologia na economia circular. **Metrologia** **2023**, p.1-7. 2023.

HOLANDA, Nadson Naelyson Alves de. **Influência da adição de cera de abelha e tween80 na solubilidade de filmes de ágar**. Orientador: Ricardo Henrique de Lima Leite. 2022. 10 f. TCC (graduação) - Curso de bacharelado em ciência e tecnologia, Universidade Federal Rural Do Semiárido, Mossoró, 2022.

JAYALATH, Uvim Thavisha; SAMARAWEEERA, Himali; SAMARASINGHE, Amal. Development and characterization of gelatin-starch bioplastics: A comparative study of cassava, corn, and rice-based alternatives. **Sustainable Chemistry for the Environment**, Canadá, v. 9, n. 4. p. 1-10. ago./dec. 2024.

JESUS, Maria Fernanda Ferreira. **Desenvolvimento de filmes biodegradáveis utilizando amido de feijão-caupi e poli (álcool vinílico)**. Orientadora: Maria Aparecida Mauro. 2024. 39 f. Dissertação (Mestrado) - Mestrado em Alimentos, Nutrição e Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, São José do Rio Preto, 2024.

JESUS NETA, Palmira *et al.* Composição do amido de diferentes clones de mandioca. *In*: Jornada Científica – Embrapa Mandioca e Fruticultura, 15., 2021, Bahia. **Anais [...]**. BA: Embrapa, 2021. p. 74.

JONES, Nicola. Plastic pollution: three numbers that support a crackdown. **Nature**, abr. 2024. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/d41586-024-01117-1>. Acesso em 06 jun. 2024.

JORNAL NACIONAL. Oceanos têm mais de 170 trilhões de pedaços de plástico, diz estudo internacional. Disponível em: <https://encurtador.com.br/kFYBp>. Acesso em: 06 jun. 2024.

KISS, Marcos Roberto; KOLLING, Gabrielle. A falsa metáfora dos plásticos biodegradáveis e verdes. **InterfaceHS – Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade**, São Paulo, v. 13, n. 1, p. 54-59, jun. 2018.

KOIKE, Amelie Sayumi Real; VIEIRA, Iago Cordeiro; SANTOS, Lorena Rosa dos. **Alternativa a fabricação do plástico convencional: produção de biopolímeros a partir da Solanum tuberosum**. Orientadores: Bianca Furlan Danelon e Rafael Souza. 2024. 52 f. TCC (Graduação) - Curso Técnico em Meio Ambiente, Centro Estadual De Educação Tecnológica Paula Souza, Piracicaba, 2024.

KOTEKEWIS, Helen. **Blendas biodegradáveis de amido/pva aditivadas com lignina e ácido málico para aplicação em embalagens sustentáveis**. Orientadora: Dr^a. Ruth Marlene Campomanes Santana. 2025. 142 f. Dissertação (Mestrado) - Mestrado em engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2025.

KOTEKEWIS, Helen. **Filmes biodegradáveis de amido com aditivos para redução da hidrofilicidade**. Orientadora: Dr^a. Ruth Marlene Campomanes Santana. 2021. 71 f. TCC

(Graduação) - Curso de engenharia de materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2021.

KULITCH, Alessandro. Estudo histórico da sustentabilidade dos polímeros naturais em suas aplicações humanas e industriais. **Conhecimento Interativo**, São José dos Pinhais, v. 17, n. 1, p. 22-31, jan./jun. 2023.

LAGOS, Jeannine Bonilla *et al.* Mechanical properties of cassava starch films as affected by different plasticizers and different relative humidity conditions. **International Journal of Food Studies**, São Paulo, v. 4, n. 1, p. 116-125, abr. 2015.

LEÃO, Mayra Gabriela Peres; VITALE, Nicole Araujo. **Estudo de substituição alternativa de polímeros petroquímicos**. Orientador: Rogério Aparecido Machado. 2021. 25 f. TCC (Graduação) - Curso de Química, Universidade Presbiteriana Mackenzie, São Paulo, 2021.

LEBER, Ana Silvia Machado Lettry. **Aplicação e avaliação de revestimento à base de biopolímeros em embalagens de poli (etileno tereftalato) (pet) para alimentos**. Orientador: Dr. Carlos Alberto Rodrigues Anjos. 2018. 163 f. Tese (Doutorado)- Doutorado em Tecnologia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2018.

LIMA, Amanda Cristina de. **Otimização de aditivo termoplástico à base de amido: avaliação de propriedades físicas e mecânicas**. 2024. 68f. Dissertação (mestrado) - Mestrado em Inovações Tecnológicas, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2024.

LIMA, Marcio Silva; GALVÃO, Elisângela Lopes; MORAIS, Lidianne Alves de. Levantamento sobre os insumos mais pesquisados no Brasil para síntese de bioplásticos. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA, 4., 2023. **Anais [...]** Diamantina: Even3, 2023. p. 1-6.

LIMA, Marcio Silva. **Estudo sobre os insumos mais utilizados para síntese de bioplásticos no Brasil**. Orientadora: Elisângela Lopes Galvão. 2023. 23 f. TCC (Graduação) - Curso de bacharel em ciência e tecnologia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Angicos, 2023.

LIMA, Maria de Moraes. Filmes biodegradáveis para embalagens de alimentos: avanços rumo à plena sustentabilidade. **Revista Tópicos**, Rio de Janeiro, v. 2, n. 10, p. 1-18, jun. 2024.

LIMA, Rodrigo Tanajura Freire Meira. **Extração da pectina do maracujá amarelo (*passiflora edulis f. flavicarpa*) para incorporação em biofilmes**. Orientadora: Dr^a. Iredé Angela Lucini Dalmolin. 2019. 46 f. TCC (Graduação)- Curso de Engenharia Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, 2019.

LOCATELLI, Eduarda. **Utilização da casca de aipim como adsorvente natural para remoção de corantes têxteis**. Orientadora: Aline Resmini Melo. 2021. 24 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Centro Universitário UniSATC, Criciúma, 2021.

LOPES, Taynara Priscila Castro de Paula. **Desenvolvimento de mexedores de café de plástico biodegradável a partir do amido de milho**. Orientadora: Dr^a. Kátia Nicolau Matsui. 2022. 67 f. TCC (Graduação)- Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2022.

LOUREIRO, Amanda Oriani. **Bioplásticos e plásticos biodegradáveis**: revisão bibliográfica dos principais materiais e seus impactos ambientais. Orientador: Dr^a. Vadila Giovana Guerra Bettega. 2021. 59 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2021.

LUCHESE, Claudia Leites; PAVONI, Julia Menegotto Frick; TESSARO, Isabel Cristina. Influence of the incorporation form of waste from the production of orange juice in the properties of cassava starch-based films. **Food Hydrocolloids**, Rio Grande do Sul, v. 117, n. 1, p. 106730, ago. 2021

MACHADO, Gabriella Eldereti. Produção de bioplásticos e alternativas sustentáveis para o futuro: um projeto de ensino médio com foco em criatividade e sustentabilidade. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE ONTOPSICOLOGIA E DESENVOLVIMENTO HUMANO, 6., 2024, Rio Grande do Sul. **Anais [...]** Rio Grande do Sul: Open Journal Systems, 2025. p. 1095- 1097.

MALAVOLTA, João. Projeto analisa poluição por microplástico em praia do litoral paulista. **Envolverde**, São Paulo, p. 1-15. Fev. 2017. Disponível em: <https://encurtador.com.br/TxaFs>. Acesso em: 01 dez. 2024.

MARGARIDO, Sabrina Sondre de Oliveira, *et al.* Prospecção de bactérias produtoras de plásticos biodegradáveis na região sudoeste da amazônia. *IN*: PRATA, Erival Gonçalves (org.). **Biologia: ensino, pesquisa e extensão - uma abordagem do conhecimento científico nas diferentes esferas do saber**. Guarujá: Científica, 2021. p. 178-187.

MARTINS, Marta Filipa Santos. **Poluição por plástico A crise ambiental e as políticas europeias e nacionais**. Orientador: Dr. José Eduardo Ventura. 2020. 123 f. Dissertação (Mestrado) - Mestrado em Gestão do Território, Área de Especialização em Ambiente e Recursos Naturais. Universidade nova de Lisboa, Lisboa, 2020.

MATHEUS, Julia Rabelo Vaz *et al.* Cassava starch films for food packaging: Trends over the last decade and future research. **International Journal of Biological Macromolecules**, Rio de Janeiro, v. 225, n. 1, p. 658-672, jan. 2023.

MEI, Lucia H. Innocentini (org.). **Bioplásticos: biodegradáveis e biobased**. São Paulo: Editora Unicamp. 2016.

MÉITÉ, Namory, *et al.* Ageing, optical and life-cycle analysis of clay-reinforced cassava starch biocomposites. **Elsevier**, Costa do Marfim, v. 11, n. 1, p.1-8, jul./out. 2024.

MELO, Silvana Neves *et al.* Biodegradable films made from cassava starch: an analysis of sustainable innovations. **Revista Aracê**, São José dos Pinhais, v.7, n.1, p.4355-4372, 2025.

MENDES, Fernanda Miranda. **Produção e Caracterização de Bioplásticos a partir de Amido de Batata**. Orientador: Dr. Antonio Aprigio da Silva Curvelo. 2009. 198 f. Dissertação (mestrado)- Mestrado em química, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

MENDES, Larissa Rocha. *et al.* **Produção de canudos biodegradáveis comestíveis a base de pectina e morango**. Orientadora: 9 f. TCC (nível técnico)-Curso Técnico em Química. Escola Técnica Estadual Irmã Agostina, São Paulo, 2022.

MENEZES, Keren Railka Paiva *et al.* Influência dos revestimentos comestíveis na preservação da qualidade pós-colheita de tomate de mesa. **Colloquium Agrariae**, Pará, v. 13, n.3, p.14-28, set./dez. 2017.

MODESTO JÚNIOR, Moisés de Souza (ed.); ALVES, Raimundo Nonato Brabo (ed.). **Cultura da mandioca**. Belém: EMBRAPA, 2014.

MONTAGNER, Cassiana *et al.* Microplásticos: ocorrência ambiental e desafios analíticos. **Química Nova**, Campinas, v. 44, n. 10, p. 1328–1352, dez. 2021.

MORAIS, Laura Oliveira. *et al.* Produção de bioplástico a partir da casca de banana-prata (musa acuminata) desenvolvimento de exemplar interdisciplinar. *In*: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA E ENSINO DE CIÊNCIAS, 5., 2020, Campina Grande. **Anais [...]** Campo Grande: Realize Editora, 2022. p. 1-11.

MOREIRA, Caroline *et al.* Desenvolvimento e caracterização de compósitos bioplásticos à base de amido de milho com diferentes materiais de reforço. **Research, Society and Development**, v.11, n. 13, p. 1-20, set./out. 2022.

MORO, Thaísa de Menezes Alves *et al.* Efeito plastificante do glicerol nas propriedades físicas de bioplásticos de amidos e maracujá. *In*: WORKSHOP DE NANOTECNOLOGIA APLICADA AO AGRONEGÓCIO, 7., 2013, São Carlos. **Anais [...]** São Carlos: EMBRAPA Instrumentação, 2013. p. 146-149.

NASCIMENTO, Gabriel *et al.* **Prevalência e Tipos de Plásticos em Albatrozes e Petréis (Aves: Procellariiformes): Recorte Espacial da Costa Sudeste e Sul do Brasil, de 2015 a 2019**. **Biodiversidade Brasileira**, Santa Catarina, v.12, n.1, p. 1-12, jan. 2022.

NASCIMENTO, Ketilley Raira de Farias; SANTOS, Maria Rosilane Rodrigues dos; SILVA, José Atalvanio da. Sacolas Biodegradáveis: Sustentabilidade e Ascensão da Produção. **Diversitas Journal**, Arapiraca, v. 7, n. 1, p. 171-189. jan./abr. 2022.

NATURE. A bio-based solution to quickly eliminate single-use plastics altogether. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/d42473-023-00368-2>. Acesso em: 06 jun. 2024.

NAVES, Huéberton Barbosa. **Desenvolvimento de novos filmes comestíveis contendo resíduo de camu-camu e bioplástico**. Orientadora: Márcia Regina de Moura Aouada. 2023. 84 f. Dissertação (Mestrado) - Mestrado em Ciência dos Materiais, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2023.

NOLASCO, Marcos Vinícius Flores Miranda. **Desenvolvimento e avaliação de filmes a partir de resíduo integral de cascas de batata (*Solanum tuberosum* L.)**. Orientador: Dr. Carlos Alberto Rodrigues Anjos. 2023. 100 f. Dissertação (mestrado) - Mestrado em Tecnologia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2023.

NHABANGA, Hercínia De Kátia. **Aplicação do Software OpenLCA na Avaliação do Ciclo de Vida de Embalagens e Recipientes Plásticos na empresa Topack Moçambique**.

Orientador: Dr. João Chidamoio. 2023. 70 f. TCC (Graduação) - Curso de engenharia do ambiente, Universidade Eduardo Mondlane, Maputo, 2023.

NUNES, Ronison Inocência. **Bioplástico à base de fécula de mandioca e látex de mangabeira**: obtenção, caracterização e aplicação como revestimento na conservação de mangabas. Orientador: Dr. Ricardo Henrique de Lima Leite. 2023. 103 f. Dissertação (mestrado) - Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2023.

OLIVEIRA, Luciana Alves. Teores de carotenoides totais e compostos cianogênicos em híbridos de mandioca. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE MANDIOCA, 16., 2015, Foz do Iguaçu. **Anais [...]** São Carlos: Even3, 2015. p. 1- 4.

OLUWASINA, Olugbenga *et al.* Influence of oxidized starch on physicochemical, thermal properties, and atomic force micrographs of cassava starch bioplastic film. **International Journal of Biological Macromolecules**, Akure, v. 135, n. 1, p. 282-293, ago. 2019.

ORTIZ, Juan Antonio Ruano. **Desenvolvimento e caracterização de bioplásticos de amidos por extrusão termoplástica e termoprensagem**. Orientador: Carlos Wanderlei Piler Carvalho. 2013. 198 f. Tese (Doutorado) - Doutorado em Ciências, Universidade Federal Rural Do Rio De Janeiro, Seropédica, 2013.

PADILHA, Amanda Cristina. **Produção de embalagem biodegradável a base de amido de mandioca e gelatina para aplicação em produtos alimentícios**. Orientadora: Dr.^a Ana Paula Romio. 2019. 65 f. TCC (graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, 2019.

PALMEIRA, Ennio Marques. **Geossintéticos em geotecnia e meio ambiente**. 1. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2018. *E-book*. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 25 abr. 2024.

PAPPIS, Thatiane; KAPUSTA, Caterina; OJEDA, Telmo. Metodologia de extração de microplásticos associados a sedimentos de ambientes de água doce. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Porto Alegre, v. 26, n. 4, p. 749-756, mai./ago. 2021.

PLASTICS EUROPE. **Chemical recycling**. Disponível em: <https://encurtador.com.br/sJnWR>. Acesso em: 15 jun. 2024.

PELISSARI, Franciele Maria. **Produção e caracterização de filmes de amido de mandioca, quitosana e glicerol com incorporação de óleo essencial de orégano**. Orientadora: Dr.^a Maria Victória Eiras Grossmann. 2009. 123 f. Dissertação (Mestrado) - Mestrado em ciência de alimentos, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2009.

PEREIRA, Amanda Dambrós. **Potencial da gordura do leite e da gordura do leite totalmente hidrogenada como plastificante na formação de filmes proteicos**. Orientadora: Dr.^a. Ana Paula Badan Ribeiro. 2020. 75 f. Dissertação (Mestrado) - Mestrado em Tecnologia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2020.

PLASTICS EUROPE. **Plastics – the fast Facts 2023**. Disponível em: <https://encurtador.com.br/QHrLK>. Acesso em: 15 jun. 2024.

PAVANI, Caren *et al.* Modismo ou não, é uma solução: desenvolvimento de saco de plantio de mudas (balaíno) a partir de resíduos alimentares como proposta de ensino. **Revista Bea**, v.18, n. 1 p. 1-18, ago. 2023.

POLONI, Carine Aparecida; SANTOS, Priscilla Pereira. Desenvolvimento de filmes biodegradáveis de amido de mandioca. *In*: JORNADA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO, 9., Erechim. **Anais [...]**. Erechim, RS: JEPEX, 2020. p.1-1.

POLO, Aldino Normelio Brun *et al.* Previsão da produção de mandioca: um estudo de caso utilizando arima e neuralprophet. **Tekhne e Logos**, Botucatu, v. 15, n. 2, p. 31-41, abr. 2024.

REBELATO, Camila, Glienke; SIQUEIRA, Gabriel do Rosário. **Obtenção de amido termoplástico a partir de resíduo de arroz da região oeste do rio grande do sul**. Orientadora: Dr^a. Djalma Dias da Silveira. 2020. 118 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2020.

REIS, Deyvid F.; DIAS, Welyson A.; SANTOS, Geormenny R. Estudo da partição de compostos antioxidantes de pitaya utilizando sistema de duas fases aquosas (sdfa) para formulação de biofilme. *In*: FARIA, Lênio J. G.; ANDRADE, Elisangela L. **Engenharia de produtos naturais: planejamento, experimentação, obtenção de produtos e purificação**. 1. ed. Guarujá: Científica Digital, 2021. p.403-416. Disponível em: <https://downloads.editoracientifica.com.br/books/978-65-5360-026-3.pdf>.

REIS, Guilherme Octávio Mendes. Investigação da presença de micro plásticos em moluscos de cultivo de Santa Catarina. *In*: Seminário de Ensino, Pesquisa, Extensão e Inovação do IFSC, 9., 2023, Santa Catarina. **Anais [...]** Santa Catarina: Galoá, 2023. p. 1-3.

ROBASSINI, Amanda Martins. **Bioplástico como potencial indicador de pH**. Orientador: Armando Zanone. 2022. 74 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Instituto Mauá De Tecnologia, São Caetano do Sul, 2022.

ROCHA, Geisa Oliveira. Filmes Compostos Biodegradáveis a Base de Amido de Mandioca e Proteína de Soja. **EMBRAPA**, Guaratiba, v. 24, n. 5, p. 587-595, 2014.

ROCHA, Mariana, S.; FABBRI, Vitória, D. **Desenvolvimento de biofilme polimérico biodegradável de amido de bambu para curativos dérmicos**. Orientadora: Dr.^a Juliana. 2021. 87 f. TCC (Graduação)- Curso de Engenharia Química, Instituto Mauá De Tecnologia, São Caetano do Sul, 2021.

RODRIGUES, Thais Jaciane Araujo. **Otimização da extração de pectina do córtex da raiz da mandioca e sua aplicação no desenvolvimento de embalagens para alimentos**. Orientadora: Dr^a. Ana Paula Trindade Rocha. 2024. 123 f. Tese (Doutorado) - Doutorado em Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2024.

ROMEIRA, Karoline Mansano. **Desenvolvimento e caracterização de bioplástico obtido a partir do amido residual proveniente da industrialização de batata frita**. Orientador: Dr. Rondinelli Donizetti Herculano. 2019. 70 f. Dissertação (mestrado)- Mestrado em Engenharia

De Biomateriais E Bioprocessos, Universidade Estadual Paulista "Júlio De Mesquita Filho", Araraquara, 2019.

SÁ, Nádia Maria dos Santos Matos. **Utilização da fibra poda do cajueiro como fonte de lignina e nanocristais de celulose para incorporação em filmes de celulose bacteriana**. Orientador: Morsyleide de Freitas Rosa. 2020. 114 f. Tese (Doutorado) - Doutorado em Engenharia Química, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2020.

SANTANA, Renata Ferreira. Characterization of starch-based bioplastics from jackfruit seed plasticized with glycerol. **J Food Sci Technol**, Vitória da Conquista, v. 55, n. 1, p. 278–286. nov./dez. 2018.

SANTOS, Fernanda Leal. **Estudo comparativo entre espumas termoplásticas à base de amido de mandioca doce e azedo**. Orientadora: Prof. Dr^a. Ruth Marlene Campomanes Santana. 2021. 57 f. TCC (Graduação) - Curso de engenharia de materiais, Universidade Federal Do Rio Grande Do Sul, Rio Grande do Sul, 2021.

SANTOS, F. M.; MENDES, N. Furlan. Purificação do óleo de fritura utilizando biomassas como adsorventes para posterior produção de biocombustíveis. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA EM INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 3., 2015, São Paulo. Anais [...] São Paulo: Blucher, 2015. p. 326-331.

SANTOS, Letícia Bueno. **Bioplásticos produzidos a partir de subprodutos de processamento de laranja**. Orientadora: Dr^a Henriette Monteiro Cordeiro de Azeredo. 2022. 70 f. Dissertação (mestrado)- Mestrado em Ciência dos Alimentos, Universidade Estadual Paulista "Júlio De Mesquita Filho", Araraquara, 2022.

SANTOS, Josiel Ferreira. **Desenvolvimento e caracterização de bioplásticos de fécula de mandioca com extrato alcoólico de vismia guianensis**. Orientador: Gabriel Adolfo Cabrera Pasca. 2024. 62 f. Dissertação (mestrado) - Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Pará, Ananindeua, 2024.

SANTOS, Maria Gabriele Meirellis. **Síntese e caracterização de filme biodegradável oriundo de amido de ariá (goeppertia allouia) modificado fisicamente**. Orientador: Virginia Mansanares Giacon. 2023. 71 f. TCC (graduação) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2023.

SANTOS, Thaíse Da Silva. **Filme biodegradável à base de quitosana e amido de resíduo agroindustrial para a conservação de fruta minimamente processada**. Orientador: Dr^a. Luciana Cristina Lins de Aquino Santana. 2024. 78 f. Dissertação (Mestrado) - Mestrado em biotecnologia, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, 2024.

SANTOS, Taline Amorim. **Desenvolvimento e caracterização de bioplásticos a base de amido de jaca com incorporação de lisozima**. Orientadora: Renata Cristina Ferreira Bonomo. 2015. 65 f. Dissertação (Mestrado) - Mestrado em Engenharia de alimentos, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetininga, 2015.

SARMIENTO, Camilo Andrés Higuera; FIGUEROA, Nicolas Rodriguez; ORJUELA, Kelly Johanna Zuluaga. **Bioplásticos a partir de la semilla de aguacate**. Orientadora: Liliana Meza. 2021. 65 f. Relatório de estágio (graduação) - curso de engenharia, Universidade Ean, Bogotá, 2021.

SASAKI, Josana Carla da Silva. **Celulose bacteriana e pectina: uma blenda polimérica para a conservação de morangos**. Orientador: Dr. Álvaro Baptista Neto. 2021. 31 f. Dissertação (mestrado)- Mestrado em Engenharia de Biomateriais e Bioprocessos, Universidade Estadual Paulista "Júlio De Mesquita Filho", Araraquara, 2021.

SELLMER, Andréa Juliana *et al.* **Estudo da degradação de bioplásticos**. Orientadora: Aline Alves Ramos. 2024. 12 f. Trabalho de conclusão de curso (Técnico) - Curso técnico em química, Escola Técnica Estadual ETEC Irmã Agostina, São Paulo, 2024.

SENAR - Serviço Nacional de Aprendizagem Rural. **Agroindústria: produção de derivados da mandioca**. Brasília, 2018.

SCHAULET, Nicolas de Souza; RIBEIRO, Vinicius Gadis; JACQUES, Jocelise. Panorama histórico do uso de plásticos convencionais e biodegradáveis. *In: ENCONTRO DE SUSTENTABILIDADE EM PROJETO*, 13., 2024, Belo Horizonte. Anais [...] Belo Horizonte: UFMG, 2024, p. 1048-1057.

SCHMIDT, Vivian Consuelo Reolon. Effect of the degree of acetylation, plasticizer concentration and relative humidity on cassava starch films properties. **Food Sci. Technol**, Campinas, v. 39, n.2, p. 491-499, abr/jun. 2019.

SILVA, Daniela Andreska. **Estratégias de irrigação deficitária e uso de condicionador de solo na produção de tomate cereja em ambiente protegido**. Orientador: Dr. Alexsandro Oliveira da Silva. 2024. 132 f. Dissertação (mestrado) - Mestrado em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2024.

SILVA, Eduardo Antonio Ramos; MELO, Mauro Júnior. Caixas didáticas para popularização científica dos microplásticos e impacto nos organismos e ecossistemas aquáticos. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, Recife, v. 8, n. 4, p. 272-284, set./nov. 2023.

SILVA, José Djavan. **Uso do efluente gerado na produção de farinha de mandioca como agente quelante na síntese de nanopós de óxido de zinco**. Orientador: Dr. Willians Lopes de Almeida. 2021. 15 f. TCC (Especialização) - Especialização em Gestão ambiental de municípios, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Campus Princesa Isabel, 2021.

SILVA, Leonardo de Araujo. *et al.* Protótipo de canudo biodegradável à base de amido e gel de Aloe vera: caracterização e análise da integridade. *In: VERRUCK, Silvani. Avanços em ciência e tecnologia de alimentos*. 4. ed. Guarujá: Científica Digital, 2021. p.403-416. Disponível em: <https://downloads.editoracientifica.com.br/books/978-65-87196-95-4.pdf>.

SILVA, Maria Luiza Tonetto; BRINQUES, Graziela Bruschi.; GURAK, Poliana Deyse. Desenvolvimento e caracterização de bioplásticos de amido de milho contendo farinha de subproduto de broto. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v. 23, n. 1, p. 1-13, 2020.

SILVA, Shekinah Mendes *et al.* Extração alcalina e caracterização físico-química e funcional de amido de babaçu. **Revista Brasileira Multidisciplinar**, Araraquara, v. 28, n. 1, p. 32-41, mar./mai. 2025.

SILVA, Sandy Chaves; SENA, Milenna Milhomem; GHESTI, Grace Ferreira. Bioplásticos Comestíveis Ativos: Prospecção Tecnológica e Estado da Arte. **Revista Virtual Química**, Brasília, v. 16, n. 6, p. 852-865, mar./jul. 2024.

SILVA, Victor Cesar Carneiro. *et al.* Estudo das fontes de poluição por microplásticos recorrentes na Baía de Guanabara. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, Rio de Janeiro, v. 20, n. 5, p. 1-15, fev./mar. 2023.

SILVA, Sandy Chaves.; SENA, Milenna Milhomem.; GHESTIA, Grace Ferreira. Bioplásticos Comestíveis Ativos: Prospecção Tecnológica e Estado da Arte. **Revista virtual de química**, Brasília, v. 16, n. 6, p. 852-865, jul. 2024.

SIMÕES, Diego do Carmo. **Aproveitamento de amido de mandioca para aplicações industriais: caso bioplásticos**. Orientador: Bernardo Dias Ribeiro. 2015. 106 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

SOUSA, Maria Jânia de Queiroga. **Síntese de bioplásticos a partir do amido de batata inglesa: uma proposta de experimento para o ensino de química**. Orientador: Dr. Lech Walesa Oliveira Soares. 2024. 52 f. TCC (graduação) - curso de Licenciatura em Química, Instituto Federal da Paraíba, Sousa, 2024.

SPROESSER, Giovanna Rui *et al.* Logística reversa e sustentabilidade de embalagens na indústria cosmética: um caminho para o futuro. **Revista de Gestão e Secretariado**, José dos Pinhais, v. 15, n. 11, p. 01-20, 2024.

TELES, João José da Silva. **Sustentabilidade e Economia Circular: O desafio do plástico**. Orientadora: Dra. Maria do Céu Colaço Santos e Dr. Pedro Filipe Simões. 2020. 123 f. Relatório de Estágio (Graduação) - Curso de Direito. Universidade de Coimbra, Coimbra, 2020.

THOMÉ, Beatriz Corrêa de Deus. **Plásticos em ecossistemas costeiros e análise da co-gaseificação como alternativa para mitigação de seu impacto ambiental**. Orientadores: Dra. Simone Jaqueline Cardoso e Dr. Paulo Sérgio Duque. 2023. 192 f. Dissertação (Mestrado) - Tecnologias de Valorização Ambiental e Produção de Energia. Instituto Politécnico de Portalegre. Porto Alegre, 2023.

TAVARES, Alan Vinícius Wanderley, *et al.* Obtenção e caracterização de filmes biodegradáveis a base de fécula de batata e glicerol utilizando planejamento Box-Behnken. **Revista observatorio de la economía latinoamericana**, Curitiba, v. 22, n.11, p. 01-24. 2024.

UGREEN. **Solução para o Plástico: O Potencial do Bioplástico**. Disponível em: <https://www.ugreen.com.br/bioplastico-e-a-solucao-para-o-problema-do-plastico/>. Acesso em: 07 dez. 2024.

VASCONCELOS, Caio Rafael Siqueira; PIOLA, Eduardo Henrique Tozatti; MELO JUNIOR, Tadeu Artur. Produção de recipiente biodegradável multifuncional, usando bagaço de cana-de-açúcar como alternativa sustentável. **EduFatec: educação, tecnologia e gestão**, Franca, v.1, n.4, p.63-76, jan./jul. 2021.

VASCONCELOS, Leticia Torres. **Avaliação de compostos polimerizantes em bioplásticos à base de polissacarídeos da biomassa**. Orientador: Dr. Michel Brienzo. 2022. 67 f. TCC

(Graduação) - Curso de engenharia ambiental, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Rio Claro, 2022.

VERAS, July Maendra Lopes. **Produção e caracterização de filmes biodegradáveis de amido de batata-doce com diferentes concentrações de nanopartículas de óxido de zinco.** Orientador: Prof. Dr^a. Geovana Rocha Plácido. 2022. 40 f. TCC (Graduação) - Curso de engenharia de alimentos, Instituto Federal Goiano, Rio Verde, 2022.

VILHALVA, Divina Aparecida Anunciação *et al.* Aproveitamento da farinha de casca de mandioca na elaboração de pão de forma. **Rev Inst Adolfo Lutz**, São Paulo, v. 70, n.4, p. 514-521, set./dez. 2011.

WAHYUNINGTIYA, Nanang Eko; SURYANTO, Heru. Analysis of Biodegradation of Bioplastics Made of Cassava Starch. **Journal of Mechanical Engineering Science and Technology**, Malang, v. 1, n. 1, p. 40-54, jun./jul. 2017.

WADAUGSORN, Kiattichai *et al.* Plasticized hydroxypropyl cassava starch blended PBAT for improved clarity blown films: Morphology and properties. **Industrial Crops and Products**, Bangkok, v. 176, n. 1, p. 114311, fev. 2022.

WANDERLEY, Maria Eulália Felix; BENEDETTI, Silvia. Desenvolvimento de bioplástico a partir da fécula de mandioca e do bagaço da cana-de-açúcar. *In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA*, 14., 2022, . **Anais [...]** Jaú: UEMS, 2022. p.1-2.

ZHANG, Yi *et al.* Bioplastic films from cassava peels: Enzymatic transformation and film properties. **Industrial Crops and Products**, Pennsylvania, v. 2013, n. 1, p. 1-20, jul. 2024.

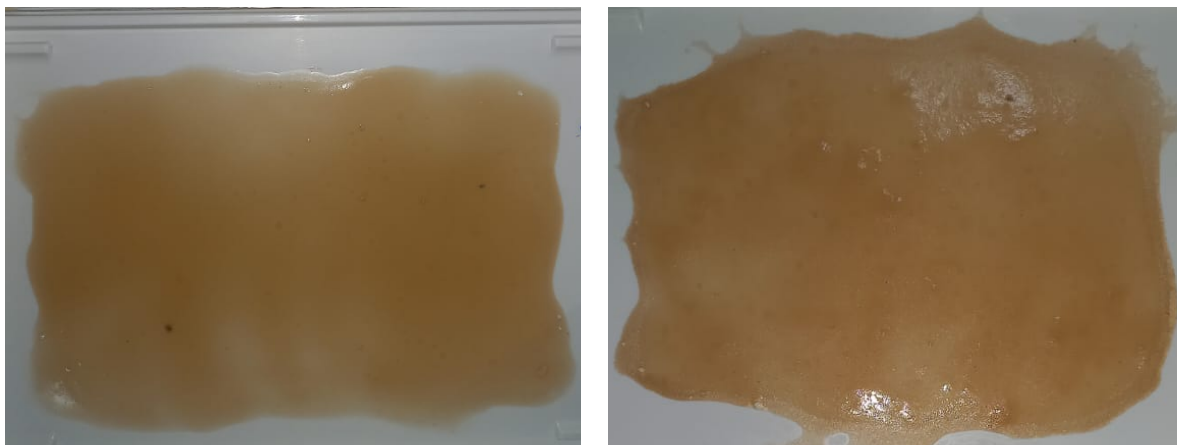
ZOUNGRANAN, Yacouba. Influence of natural factors on the biodegradation of simple and composite bioplastics based on cassava starch and corn starch. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, Abidjan, v. 8, n. 5, p. 1-10, mai./ago. 2020.

Apêndice A - Testes iniciais

Foram realizados testes iniciais para extração do amido e síntese dos filmes, seguindo as metodologias dos itens 4.2.2 e 4.2.3, respectivamente, com as seguintes diferenças: a proporção plastificante:amido:solvente, foi de 2 ml;2,5 g:50 ml; variou-se o dispersante utilizado, produzindo formulações com óleo residual e glicerol; e não foram adotadas práticas de sanitização.

Os bioplásticos sintetizados apresentaram características visuais e táteis diferentes entre os dois dispersantes, glicerina e óleo de soja (FIGURA A1). Ambos os bioplásticos apresentaram coloração rosada.

Figura A1- Fotografia dos bioplásticos de amido do córtex da mandioca. No lado esquerdo encontra-se a formulação com glicerol e do lado direito a formulação com óleo de soja



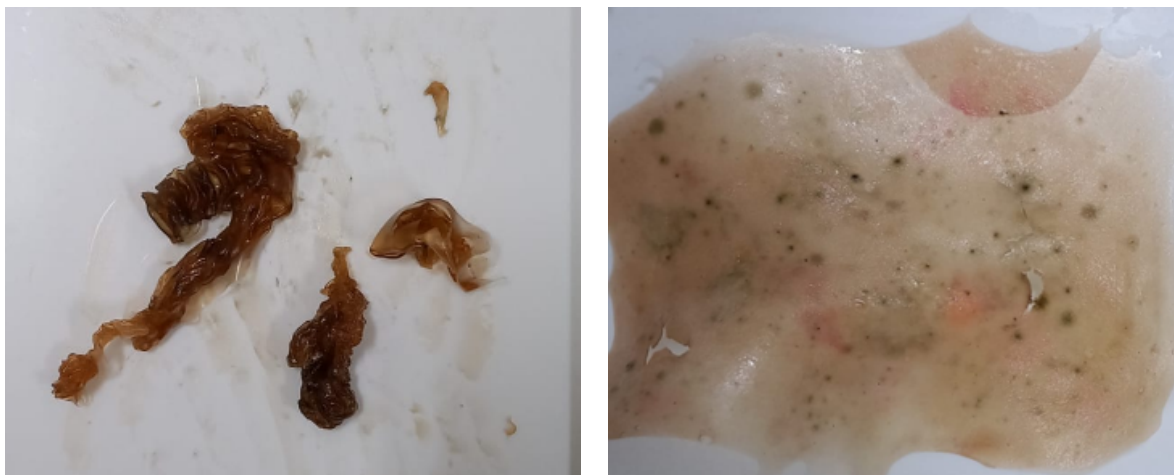
Fonte: Próprio autor, 2025.

Com relação a variação dos dispersantes, o bioplástico que teve a glicerina como dispersante apresentou textura bastante maleável, semelhante ao silicone, sua coloração apresentou tonalidade levemente mais clara e assumiu translúcido quando comparado ao formulado com óleo de soja. Por sua vez, o filme que teve o óleo de soja como dispersante apresentou aspecto mais opaco e coloração mais intensa, sua textura apresentou-se mais rígida e quebradiça, semelhante ao polipropileno, e apresentou gotículas residuais de óleo em sua superfície.

Aproximadamente três dias após a produção, todas as formulações de biofilme apresentaram o crescimento de fungos, o que indica que os mesmos podem ter sido contaminados. Na Figura A2 é possível notar a proliferação de fungos na formulação com óleo pela caracterização de manchas pretas, esverdeadas e avermelhadas espalhadas na superfície do mesmo. A formulação com glicerina, por sua vez, formou uma espécie de grumos ao ser

desgrudado da placa de petri (apresentou uma maleabilidade ao estiramento), inviabilizando a visualização dessas manchas, contudo, ainda sim notou-se a mudança de sua cor em relação ao seu estado inicial, atribuindo-se à formação dessas manchas

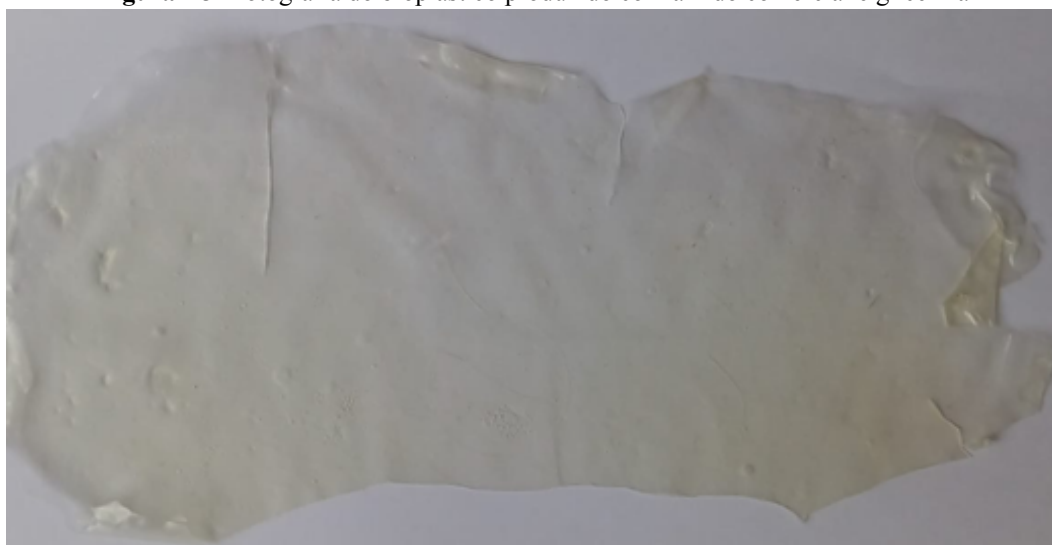
Figura A2- Fotografia dos bioplásticos com proliferação de fungos após 7 dias de sua síntese. No lado esquerdo encontra-se a formulação com glicerol e do lado direito a formulação com óleo de soja



Fonte: Próprio autor, 2025.

A fim de verificar se a contaminação ocorreu no processo de extração do amido, realizou-se a mesma formulação com glicerol utilizando-se para tal um amido de milho comercial. Observou-se que o bioplástico produzido não apresentou proliferação de fungos, nem durante o período de secagem e nem após um período de 30 dias (FIGURA A3).

Figura A3- Fotografia do bioplástico produzido com amido comercial e glicerina



Fonte: Próprio autor, 2025.

Na imagem é possível notar que não houve desenvolvimento fúngico no material, mesmo 30 dias após sua produção. Além disso, este apresentou características semelhantes a

formulação com amido da casca de mandioca como aspecto uniforme, homogêneo, relativamente translúcido e maleável; contudo não assumiu a coloração rosada e manteve uma rigidez maior à elasticidade quando comparado a formulação com amido do córtex da mandioca e glicerina.

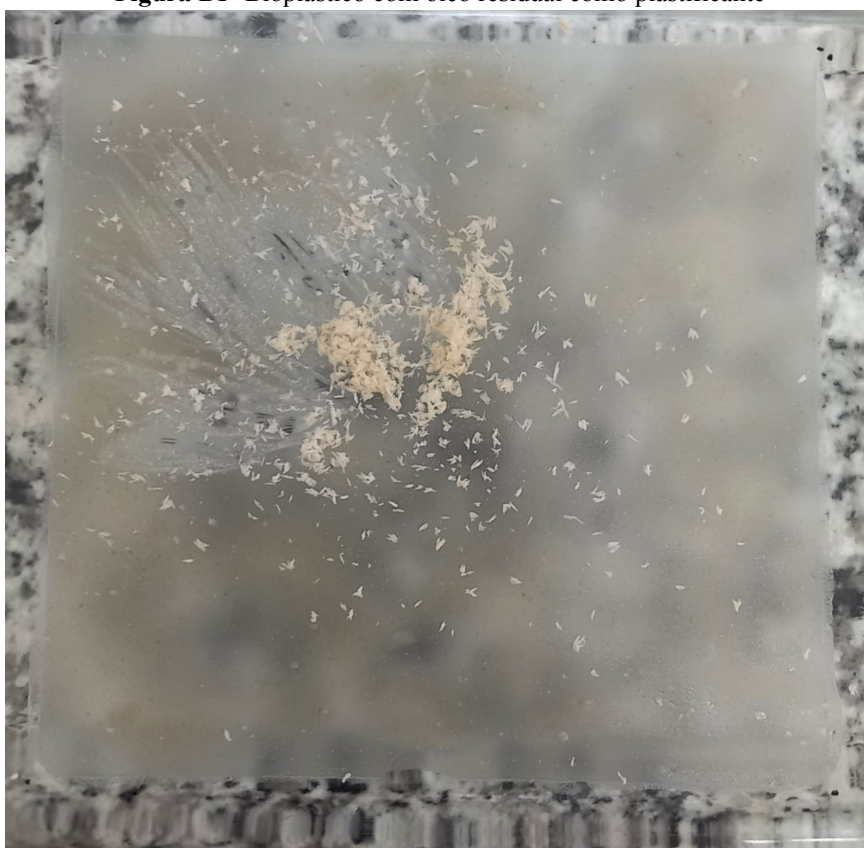
Estes resultados demonstram a grande probabilidade da fonte de contaminação dos bioplásticos ser o amido extraído no laboratório, uma vez que ao alterar o amido utilizado não foi constatado o crescimento de fungos. Nesse sentido, foi necessário repetir o procedimento tanto de extração do amido, quanto de síntese dos filmes, aplicando normas de sanitização. Devido às características dos filmes a quantidade de plastificante foi reduzida para 1 ml a cada 2,5 g de amido.

Apêndice B - Óleo residual como plastificante

Após a redução na quantidade de plastificante, os biofilmes produzidos com óleo residual não apresentaram resíduos de óleo não incorporado, ou seja, formou-se material homogêneo em relação à interação com o óleo. A quantidade de espalhamento da SF para formação desse material foi de 0,43 ml de SF para cada cm² de área.

Contudo, o material obtido após a evaporação solvente apresentou-se extremamente rígido, inviabilizando sua remoção da placa de secagem, indicando que o material é de difícil moldagem e consequentemente difícil aplicação. A Figura B1 permite visualizar que o material se apresentou tão rígido, que só foi possível removê-lo mediante raspagem, obtendo-se assim, apenas pequenos fragmentos. Nesse sentido, o material apresentou-se insatisfatório para o presente estudo, tendo seguimento apenas com a formulação a base de glicerol.

Figura B1- Bioplástico com óleo residual como plastificante

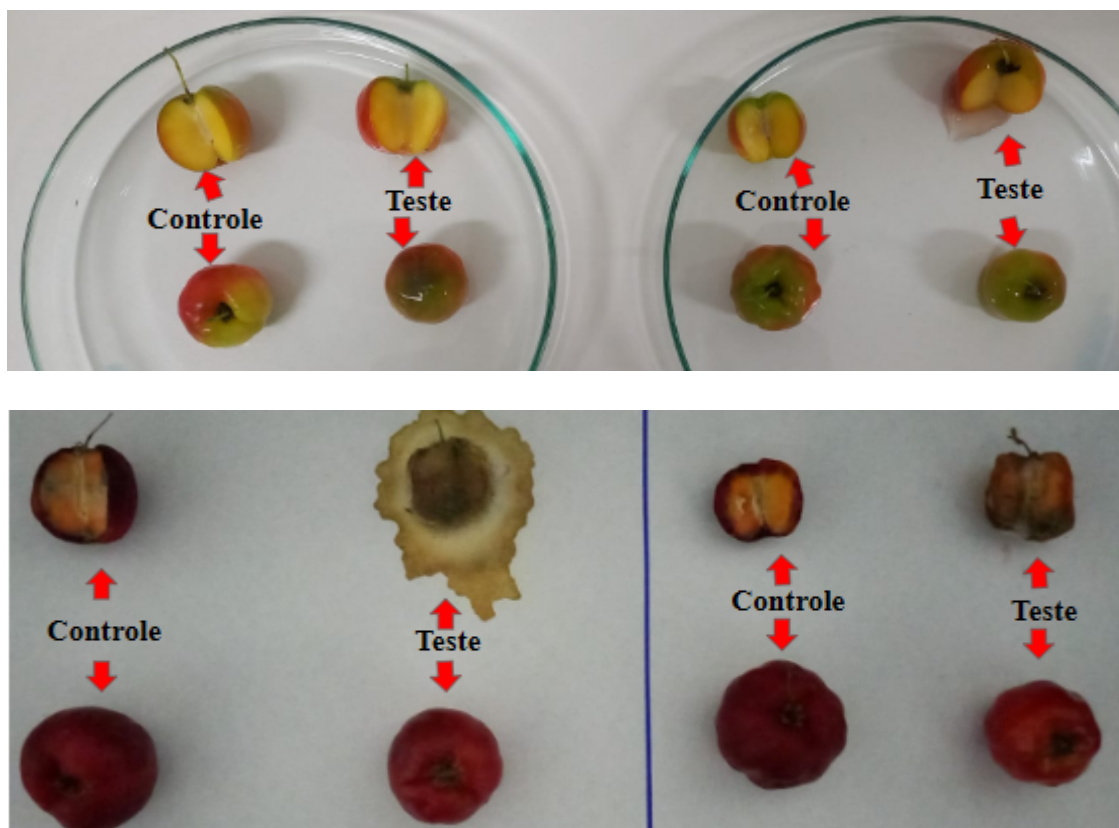


Fonte: Próprio autor, 2025.

Apêndice C - Ensaio de aplicação dos bioplásticos por imersão de acerolas, como possível embalagem

O teste da aplicabilidade dos filmes como embalagem, foi realizado sob as mesmas condições do item 4.2.4, utilizando-se acerolas, estas foram avaliadas de acordo com a mudança na coloração dos frutos. Constatou-se que ambos os filmes demonstraram uso promissor acentuando o tempo de prateleira dos frutos de acerola. A Figura C1, traz fotografias de acerolas cobertas com os filmes no dia 01 (parte superior) e no dia 07 (parte inferior). Aquelas que estão dispostas do lado esquerdo estão cobertas com o bioplástico com glicerina e aqueles do lado direito estão cobertos com bioplásticos de óleo.

Figura C1- Acerolas cobertos com bioplástico. As imagens na parte superior são do dia 01 e as imagens da parte inferior demonstram as acerolas 05 dias após a cobertura com o bioplástico



Fonte: Próprio autor, 2025.

Ao comparar as acerolas inteiras cobertas com o bioplástico com seus respectivos controles, é possível notar que ambas tiveram um processo de amadurecimento mais lento em relação ao controle. No entanto, para os frutos repartidos, notou-se que não houve influência positiva uma vez que aparentemente, aquelas que receberam a cobertura apodreceram

rapidamente. Nesse sentido percebe-se que os filmes podem ser utilizados como embalagens ativas para frutos sem danos externos.