



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE ANANINDEUA
FACULDADE DE ENGENHARIA DE MATERIAIS

NATAN GABRIEL DA SILVA NUNES

**DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE FILMES BIODEGRADÁVEIS DE
AMIDO DE ARIÁ (*GOEPPERTIA ALLOUIA*): influência do teor de glicerol nas
propriedades mecânicas de tração, morfológicas e suscetibilidade a água**

ANANINDEUA

2026

NATAN GABRIEL DA SILVA NUNES

**DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE FILMES BIODEGRADÁVEIS DE
AMIDO DE ARIÁ (*GOEPPERTIA ALLOUIA*): influência do teor de glicerol nas
propriedades mecânicas de tração, morfológicas e suscetibilidade a água**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado à Faculdade de Engenharia de Materiais, do Campus Universitário de Ananindeua, da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção de grau de Bacharel em Engenharia de Materiais, pela Universidade Federal do Pará.

Orientador(a): Prof. Dr. Marcos Vinicius da Silva Paula

ANANINDEUA

2026

NATAN GABRIEL DA SILVA NUNES

DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE FILMES BIODEGRADÁVEIS DE AMIDO DE ARIÁ (*GOEPPERTIA ALLOUIA*): influência do teor de glicerol nas propriedades mecânicas de tração, morfológicas e suscetibilidade a água

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado à Faculdade de Engenharia de Materiais, do Campus Universitário de Ananindeua, da Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção de grau de Bacharel em Engenharia de Materiais, pela Universidade Federal do Pará.

Orientador(a): Prof. Dr. Marcos Vinicius da Silva Paula

Data da aprovação: 26/02/2026

Conceito: E

Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente



MARCOS VINICIUS DA SILVA PAULA
Data: 10/03/2026 12:58:04-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Orientador (a)

Prof. Dr. Marcos Vinicius da Silva Paula - UFPA

Documento assinado digitalmente



EDINALDO JOSE DE SOUSA CUNHA
Data: 06/03/2026 15:32:07-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Examinador(a) interno

Prof. Dr. Edinaldo José de Sousa Cunha – UFPA

Documento assinado digitalmente



ROSEANE DE LIMA SILVA
Data: 06/03/2026 14:29:05-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Examinador(a) interno

Prof. Dra. Roseane de Lima Silva – UFPA

Documento assinado digitalmente



DEIBSON SILVA DA COSTA
Data: 06/03/2026 13:02:49-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Examinador(a) interno

Prof. Dr. Deibson Silva da Costa – UFPA

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Sheila Janaína Lima da Silva e Reginaldo Pinheiro Nunes, e as minhas tias, Edna Vilhena Lima, Edilene Vilhena Lima e Elma Vilhena Lima, por todo o apoio e dedicação investidos em minha trajetória. A prioridade dada à minha educação e ao esforço por sempre buscarem boas instituições de ensino desde a infância, o que foi o alicerce fundamental para que eu pudesse chegar a este momento e concluir este trabalho de conclusão de curso.

À minha tia Shirlene Edna Lima da Silva de Assis, a minha prima Alexandra da Silva de Assis e ao meu irmão Nilson Humberto da Silva Nunes, pelo companheirismo e carinho. Aos meus avós, Jacirema Pinheiro Nunes e José Humberto Nunes (*in memoriam*), pelo carinho.

Agradeço também, de maneira especial, à minha tia Edilene Vilhena Lima. Seus conselhos e as aulas ministradas durante o meu desenvolvimento, foram determinantes não apenas para minha formação acadêmica, mas para a construção do meu caráter.

Agradeço à minha namorada, Thayssa de Souza Santiago, por seu carinho, atenção, amizade e pelos conselhos em momentos difíceis. Aos meus colegas de turma, pelo companheirismo durante o período de graduação. Ao meu orientador, Marcos Vinicius da Silva Paula, pelos ensinamentos, oportunidades e paciência durante boa parte da minha graduação.

Aos integrantes do Laboratório de Polímeros (Labpol), pelo auxílio nas pesquisas e atividades realizadas. Em especial, a Gilberto Sergio da Silva Ramos Júnior, por compartilhar suas experiências vividas no laboratório. Aos meus amigos do ensino médio, pela longa amizade e pelos momentos engraçados durante as reuniões.

RESUMO

Com o crescimento industrial e populacional, o uso de polímeros derivados de fontes fósseis tem se tornado cada vez mais constante, intensificando as consequências do descarte inadequado desses materiais no meio ambiente. Sendo assim, pesquisadores buscam fontes alternativas, como polímeros biodegradáveis, para amenizar os danos causados por polímeros sintéticos. Diante disso, emerge o amido de ariá (*Goepertia allouia*), uma Planta Alimentícia Não Convencional (PANC) da região amazônica. Portanto, este trabalho teve como objetivo produzir e caracterizar filmes biodegradáveis de amido de ariá. Os filmes foram fabricados pelo método de *casting*, utilizando 2 g de amido, água destilada e glicerol como plastificante nas concentrações de 25, 30, 35, 40 e 45% (em relação à massa do amido). As amostras foram caracterizadas quanto às propriedades físico-químicas, de barreira, biodegradabilidade, morfologia (MEV), grupos funcionais (FTIR), cristalinidade (DRX) e propriedades mecânicas. Os filmes apresentaram superfícies lisas, homogêneas e sem a presença de rachaduras. Verificou-se que o aumento do teor de glicerol elevou a solubilidade de 27,6% para 38,06% e a umidade de 17,8% para 28,33%. Enquanto, o grau de intumescimento variou conforme o tempo de imersão e a concentração de plastificante. As análises de FTIR e DRX indicaram que não houve alteração química significativa na matriz, confirmando a cristalinidade tipo C para o amido. Nos ensaios mecânicos, notou-se que o aumento da concentração de glicerol (de 25% para 45%) promoveu a redução da resistência à tração de 3,81 MPa para 0,91 MPa, bem como a diminuição do alongamento na ruptura, que variou de 68,51% para 27,16%. Por fim, os filmes degradaram-se totalmente em 16 dias em solo. Conclui-se que o amido de ariá apresentou características viáveis para o desenvolvimento de filmes poliméricos biodegradáveis.

Palavras-chave: PANC; biopolímeros; casting; plastificante.

ABSTRACT

With industrial and population growth, the use of polymers derived from fossil sources has become increasingly constant, intensifying the consequences of the improper disposal of these materials in the environment. Thus, researchers seek alternative sources, such as biodegradable polymers, to mitigate the damage caused by synthetic polymers. In this context, ariá starch (*Goepertia allouia*) emerges, a Non-Conventional Food Plant (PANC) from the Amazon region. Therefore, this work aimed to produce and characterize biodegradable films made from ariá starch. The films were manufactured by the casting method, using 2 g of starch, distilled water, and glycerol as a plasticizer at concentrations of 25, 30, 35, 40, and 45% (relative to the starch mass). The samples were characterized regarding their physicochemical, barrier, and biodegradability properties, morphology (SEM), functional groups (FTIR), crystallinity (XRD), and mechanical properties. The films exhibited smooth, homogeneous surfaces without the presence of cracks. It was found that the increase in glycerol content raised the solubility from 27.6% to 38.06% and the moisture from 17.8% to 28.33%. Meanwhile, the degree of swelling varied according to the immersion time and the plasticizer concentration. FTIR and XRD analyses indicated that there was no significant chemical alteration in the matrix, confirming type C crystallinity for the starch. In the mechanical tests, it was noted that the increase in glycerol concentration (from 25% to 45%) promoted a reduction in tensile strength from 3.81 MPa to 0.91 MPa, as well as a decrease in elongation at break, which varied from 68.51% to 27.16%. Finally, the films degraded completely in 16 days in soil. It is concluded that ariá starch presented viable characteristics for the development of biodegradable polymeric films.

Keywords: PANC; biopolymers; casting; plasticizer.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Classificação dos polímeros biodegradáveis.....	15
Figura 2 - Amilose e amilopectina.....	16
Figura 3 - Gelatinização em várias espécies de amido.....	18
Figura 4 - Planta ariá (<i>Goeppertia allouia</i>).....	19
Figura 5 - Desenho ariá.....	19
Figura 6 - Molécula de glicerol.....	22
Figura 7 - Obtenção do glicerol.....	22
Figura 8 - Tubérculos de ariá (<i>Goeppertia allouia</i>).....	23
Figura 9 - Fluxograma de extração do amido de ariá.....	24
Figura 10 - Fabricação dos filmes pelo método de casting.....	25
Figura 11 – Aspectos visuais dos filmes a) TPS 25; b)TPS 30; c) TPS 35; d) TPS 40; e) TPS 45.....	29
Figura 12 - Percentual de intumescimento.....	31
Figura 13 - Percentual de umidade.....	32
Figura 14 - Solubilidade em água.....	34
Figura 15 - Degradação em solo.....	35
Figura 16 - Morfologia do amido de ariá.....	36
Figura 17 - Morfologia dos filmes.....	36
Figura 18 – FTIR a) amido nativo de ariá; b) amostras TPS 25, c) amostras TPS 30; d) amostras TPS 35; e) amostras TPS 40; f) amostras TPS 45.....	38
Figura 19 - DRX do amido.....	39
Figura 20 – DRX dos filmes.....	40
Figura 21 - Modulo de Young.....	41
Figura 22 - Resistência a tração.....	41
Figura 23 - Alongamento até a ruptura.....	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição mineral do aríá.....	20
Tabela 2 - Composição química amido de aríá	21
Tabela 3 - Composição dos biofilmes.....	24
Tabela 4 - Espessura e Transparência	30

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1.....	25
Equação 2.....	26
Equação 3.....	26

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIPLAST	Associação Brasileira da Indústria do Plástico
DRX	Difração de Raios-X
FTIR	Fourier Transform Infrared Spectroscopy
LabPol	Laboratório de Polímeros
MEV	Microscopia Eletrônica de Varredura
ONU	Organização das Nações Unidas
PANC	Planta Alimentícia Não Convencional
PCL	Policaprolactona
PEG	Polietilenoglicol
PGA	Poli(Ácido Glicólico)
PLA	Poli(Ácido Láctico)
TPS	Thermoplastic Starches
WWF	World Wildlife Fund

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Objetivo	13
1.1.1 Objetivos específicos	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 Polímeros	14
2.2 Polímeros biodegradáveis e Biopolímeros	15
2.3 Amido	16
2.4 Gelatinização	17
2.5 Ariá (<i>Goeppertia Allouia</i>)	18
2.6 Amido não convencional de ariá	20
2.7 Plastificantes	21
2.8 Glicerol	21
3 MATERIAIS E MÉTODOS	23
3.1 Materiais	23
3.2 Extração do amido	23
3.3 Fabricação dos filmes	24
3.4 Caracterização dos filmes	25
3.4.1 Espessura	25
3.4.2 Transparência	25
3.4.3 Intumescimento	26
3.4.4 Umidade	26
3.4.5 Solubilidade.....	26
3.4.6 Degradação em solo	27
3.4.7 Microscopia Eletrônica de Varredura	27
3.4.8 Espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier	27
3.4.9 Difração de Raios X.....	27

3.4.10 Ensaio mecânico de tração	28
3.4.11 Análise estatística	28
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
4.1 Aspecto visual.....	29
4.2 Espessura e Transparência.....	29
4.3 Intumescimento	30
4.4 Umidade	31
4.5 Solubilidade.....	33
4.6 Degradação de solo.....	34
4.7 Microscopia Eletrônica de Varredura	35
4.8 Espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier	37
4.9 Difração de Raios-X	38
4.10 Teste Mecânico	40
5 CONCLUSÃO	44
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	45
REFERÊNCIAS	46

1 INTRODUÇÃO

Devido ao grande desenvolvimento industrial e crescimento populacional nos últimos anos, o uso de materiais poliméricos vem se intensificando, estando presente em diversas aplicações domésticas e industriais, por conta das suas boas propriedades, como a flexibilidade, elasticidade e baixa temperatura de processamento, entre outras. Em contrapartida, o uso desses materiais gera resíduos plásticos relacionados ao descarte inadequado, de acordo com a ONU, cerca de 20 milhões de toneladas de plásticos acabam em oceanos, rios e lagos. E esses resíduos acabam causando contaminação e morte de vários animais que consomem esses produtos por se assemelharem com alimentos que fazem parte de sua dieta (Alves; Ribeiro; Ricci, 2011; Oliveira *et al.*, 2022; Silva; Rabelo, 2017a)

Além disso, a maioria dos materiais plásticos provenientes de fontes fósseis não renováveis, podem demorar centenas de anos para se degradar por conta de sua alta massa molar e hidrofobicidade que retardam a ação dos microrganismos (Franchetti; Marconato, 2006). Como solução, surge a reciclagem ou reutilização. A reciclagem é a modificação dos resíduos sólidos, alterando as suas propriedades físicas e físico-químicas, enquanto a reutilização é o processo de aproveitamento de resíduos sem alteração de suas propriedades (NETO *et al.*, 2015).

Em 2024, o Brasil foi responsável por gerar cerca de 4,82 milhões de toneladas de resíduos plásticos, e apenas 1,55 milhão de toneladas foram para a indústria recicladora (Abiplast - Associação Brasileira da Indústria do Plástico, 2025). Apesar deste aumento na reciclagem no Brasil, esses valores restantes de resíduos plásticos podem trazer muitos prejuízos para o meio ambiente, e os valores de produção e poluição de resíduos plásticos só aumentam.

De acordo com Tekman *et al.* (2022), espera-se que a produção de plástico dobre até 2040 e que a poluição plástica no oceano triplique. Já no cenário nacional, segundo a WWF, o Brasil é o maior produtor e poluidor de plástico da América Latina, produzindo cerca de 500 bilhões de itens plásticos, no qual 87% são embalagens. Devido a esses valores, há uma preocupação mundial para substituir os polímeros sintéticos por polímeros biodegradáveis.

Em meio a esta problemática, surgem os biopolímeros, que são polímeros de fontes naturais (polissacarídeos e/ou oligossacarídeos) que, diferentes dos polímeros sintéticos derivados do petróleo, são biodegradáveis e com estruturas mais complexas e peso molecular relativamente elevado (Conde, Luís Miguel Dos Santos, 2011; Farias

et al., 2016). Entre os biopolímeros mais utilizados estão o amido, a celulose e a quitosana (Edo *et al.*, 2025), onde frequentemente os amidos são utilizados para a fabricação de embalagens de alimentos.

O amido, particularmente, é um polímero semicristalino formado por moléculas de glicose, é uma das mais abundantes fontes de carboidratos, que pode ser encontrado em plantas na forma de grânulos. Esses grânulos são compostos por dois polissacarídeos: a amilose e a amilopectina, onde suas proporções variam de acordo com a origem vegetal (Corradini *et al.*, 2007). As principais fontes comerciais do amido podem ser batata, milho, trigo e beterraba, entre outros (Azevêdo; Sá; Fungaro, 2018; Mali; Grossmann; Yamashita, 2010), no entanto, estudos de fontes alternativas de amidos têm despertado o interesse científico.

Com isso, o amido de ariá emerge como alternativa para um possível uso em embalagens de alimentos. O ariá é uma planta semiperene da família Marantaceae, que é muito utilizado como fonte de alimento por comunidades ribeirinhas e indígenas, e apresenta uma quantidade de amido favorável para aplicação em biofilmes com boas propriedades.

1.1 Objetivo

Avaliar a influência do teor de plastificante nas propriedades mecânicas, estruturais e susceptibilidade a água de filmes de amido de ariá.

1.1.1 Objetivos específicos

- Avaliar as propriedades físicas e químicas, como umidade, intumescimento, solubilidade, degradação em solo e comportamento mecânico;
- Caracterizar os grupos funcionais presentes no amido e nos biofilmes;
- Analisar a estrutura cristalina e a morfologia dos materiais.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Polímeros

Um polímero é uma macromolécula composta por muitas unidades repetitivas em suas estruturas chamadas monômeros, que são unidas por ligações covalentes. Conforme sua origem, podem ser classificados como naturais ou sintéticos, e também a depender do tipo de monômero, do número de cadeia e do tipo de ligação covalente os polímeros podem ser divididos em plásticos, fibras e borrachas (Canevarolo Jr, 2002; Cortizo; Oberti; Peruzzo, 2023).

Os plásticos são polímeros com adição de diversos aditivos e cargas para formar materiais plásticos ou rígidos após o processamento, as fibras são filamentos delgados e macios com 100 vezes o comprimento do diâmetro, já os elastômeros são materiais altamente elásticos com deformação reversível. Em relação a suas características, os polímeros podem ser classificados em termoplásticos (podem ser moldados quando aquecido) ou termorrígidos (após aquecimento, tornam-se insolúveis não podendo ser moldados) (Bastos, 2007; Lu, 2023).

Os polímeros estão presentes na vida humana há milhares de anos, e umas das aplicações mais antigas dos polímeros são a roupas que eram fabricadas por pelos de animais (fibra)(Lu, 2023), mas a industrialização e a desenvolvimento de pesquisas fez com que materiais antes fabricados com polímeros naturais fossem substituídos por polímeros sintéticos de fontes fosseis.

Os polímeros sintéticos estão presentes em diversas aplicações do dia a dia como em produtos têxteis, materiais de embalagens, na construção, na medicina, entre outros (Satchanska; Davidova; Petrov, 2024). Esses materiais se destacam por propriedades como resistência a corrosão, flexibilidade, elasticidade e transparência. Substituindo materiais tipo couro, madeira, papel, vidro e metais(Silva; Rabelo, 2017).

Em contrapartida o uso desses polímeros pode trazer algumas consequências como: o uso de fontes não renováveis (petróleo) que é a principal fonte para se obter a matéria prima do polímero, a poluição ambiental causada pelos resíduos industriais após o uso e a fabricação, podem comprometer a formas de vida. Os polímeros sintéticos, derivados do petróleo, apresentam longos períodos para se degradar, com alguns podendo levar centenas de anos para se decompor (Sette *et al.*, 2024; Silva; Rabelo, 2017).

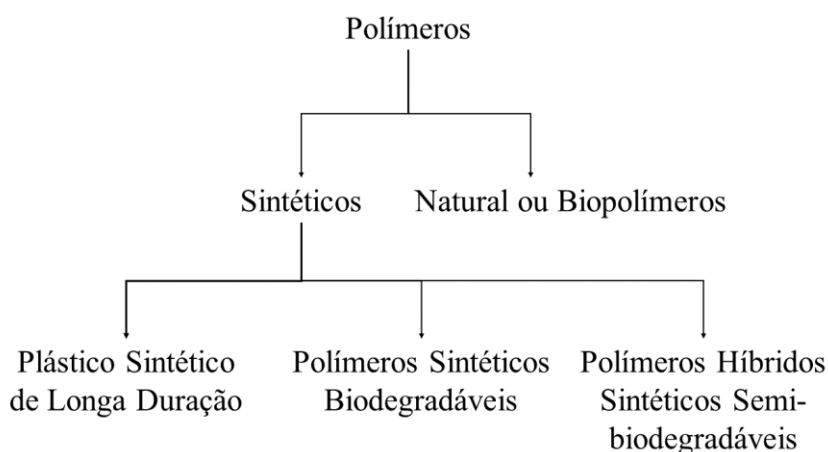
Devido a isto muitos pesquisadores tem buscado fontes para substituição dos polímeros convencionais, e umas da alternativa para diminuição dos prejuízos causados pelos usos dos polímeros convencionais, são os polímeros biodegradáveis.

2.2 Polímeros biodegradáveis e Biopolímeros

Diferentemente dos polímeros sintético não biodegradáveis que podem persistir por centenas de anos, materiais poliméricos biodegradáveis se degradam em menos tempo, com propriedades próximas, esses são degradados por microrganismos como bactérias, fungos e algas, sendo consumido em semanas ou meses, dependendo das condições do meio, transformando-se também em substâncias simples e geralmente não tóxicas, como água, biomassa, CO₂ e CH₄ (Araújo *et al.*, 2021; Kim *et al.*, 2023).

Segundo Mukherjee *et al.* (2023) os polímeros biodegradáveis podem ser classificados como: polímeros biodegradáveis naturais (polissacarídeos e proteínas), sintéticos (ésteres, amidas, éteres, uretanos), e biopolímeros sintéticos (ou sistemas híbridos), como mostra a figura 1.

Figura 1 - Classificação dos polímeros sintéticos.



Fonte: Mukherjee *et al.*, 2023.

Os polímeros biodegradáveis sintéticos são obtidos de fontes fósseis, petróleo, ou da mistura entre biomassa e petróleo, os polímeros sintéticos biodegradáveis mais utilizados são o poli(ácido glicólico) (PGA), o poli(ácido láctico) (PLA) e seus copolímeros poli(lactídeo-co-glicolídeo), polianidrido, poli(fumarato de

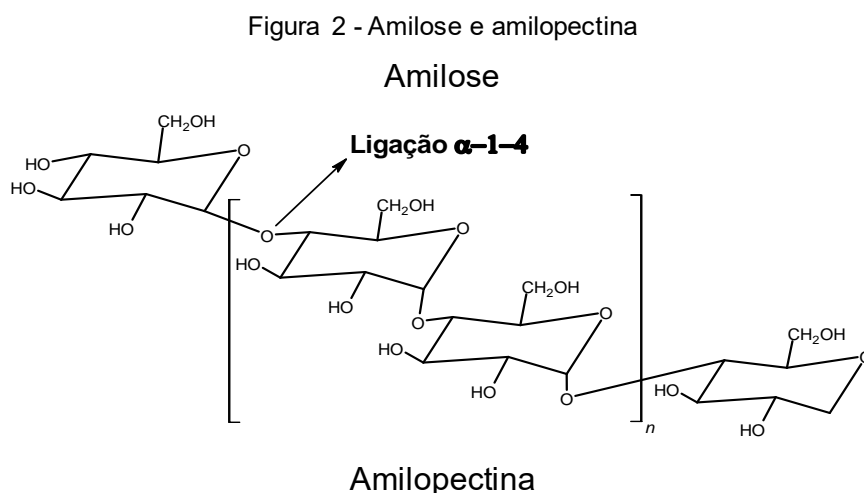
propileno), policaprolactona (PCL), polietilenoglicol (PEG) e poliuretano (Kundurü; Basu; Domb, 2016).

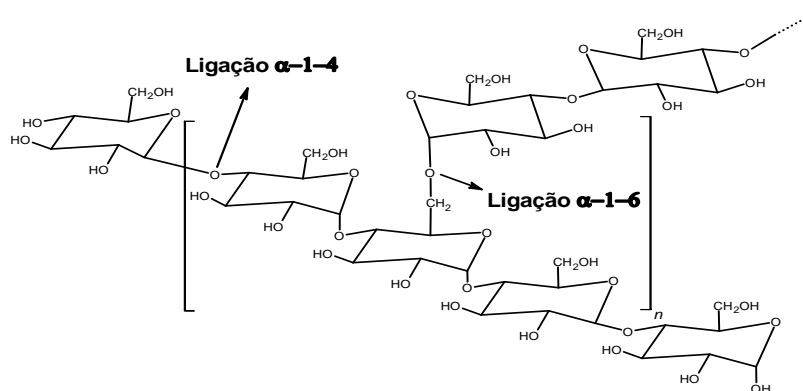
Por outro lado, os biopolímeros, são polissacarídeos produzidos a partir de recursos renováveis, seja por ação de microrganismos, plantas e animais. Esses conseguem ser produzidos através da síntese química utilizando açúcares, óleos, amido e gordura. Podem ser classificados de acordo com a fonte de obtenção, ou seja, biopolímeros de origem vegetal, animal e microbiana.(Justino *et al.*, 2022).

2.3 Amido

O amido é um polímero natural, que é considerado umas das principais fontes de energia para os seres humanos e animais. É possível ser obtido de várias fontes vegetais como raízes, cereais, tubérculos, frutas e legumes, mas comercialmente a principal fontes dos amidos são de raízes e tubérculos. Pode ser encontrado em forma de grânulos semicristalino em plantas como mandioca, milho, batata, arroz e trigo. (Feroldi; Brione; Araujo, [S.d.]; Mali; Grossmann; Yamashita, 2010).

Os grânulos são constituídos por duas unidades de polissacarídeos: a amilose e a amilopectina onde suas proporções variam de acordo com sua origem vegetal. E ambos apresentam cadeias de D-glicose com ligações α -1,4 e α -1,6-glicosídicas nas ramificações. No entanto a amilose é majoritariamente linear, as a moléculas de amilose ramificadas possuem poucas ramificações, mas com cadeias longas. Já amilopectina apresenta muitas ramificações com cadeias curtas como mostra a figura 2. (Bertoft, 2017; Corradini *et al.*, 2005).





Fonte: adaptado de Mota *et al.*, [S.d.].

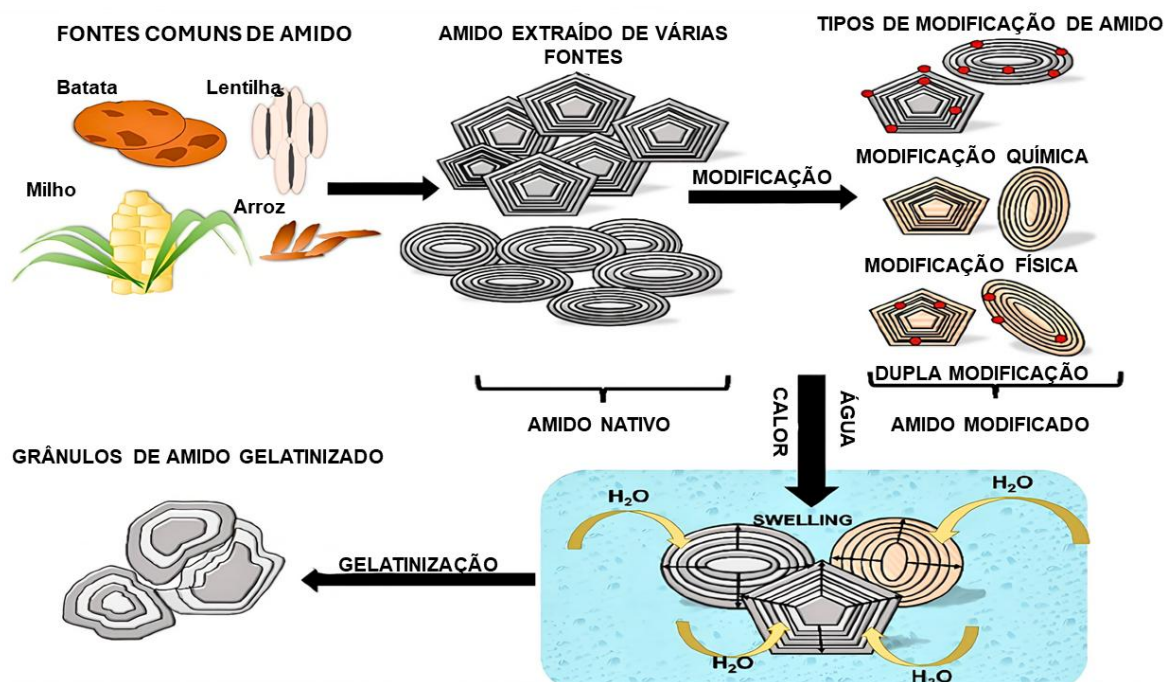
Os amidos são classificados de duas formas: o amido nativo, que é extraído diretamente da planta, e o amidos modificados, que sofrem modificações químicas para atingir propriedades específicas (Pilla Barroso, 2017). Grandes partes dos amidos apresentam cerca de 20-30% de amilose e 70-80% de amilopectina, dependendo de sua origem. Além disso, os amidos nativos podem ser classificados pelas suas diferenças no difratograma de raio x: amidos do tipo A são amidos de cereais, amidos do tipo B são amidos de tubérculos, já os amidos do tipo C, são os de vargens, que é uma mistura dos amidos do tipo A e B (Corradini *et al.*, 2005; Parker; Ring, 2001; Silva, 2011).

Para que os amidos se transformem em um material termoplástico a estrutura semicristalina precisa ser destruída, dando origem a uma matriz essencialmente amorfa e esse fenômeno é chamado de gelatinização (Mali; Grossmann; Yamashita, 2010).

2.4 Gelatinização

O processo de gelatinização ocorre quando o amido é aquecido em excesso de água, promovendo o rompimento das ligações intermoleculares e a perda da ordem molecular. Esse fenômeno resulta no inchamento irreversível dos grânulos e na perda de sua estrutura cristalina, do caráter birrefringente e simultaneamente à solubilização do amido como mostra a figura 3 (Chakraborty *et al.*, 2022; Donmez *et al.*, 2021).

Figura 3 - Gelatinização em várias espécies de amido



Fonte: Chakraborty *et al.*, 2022.

Durante o aquecimento, a água penetra nas regiões amorfas e transmite forças disruptivas para as regiões cristalinas, processo facilitado pela fragilidade das ligações de hidrogênio nas zonas amorfas (Denardin; Silva, 2009; Donmez *et al.*, 2021). Embora a gelatinização ocorra geralmente na faixa de 60 a 80 °C, os amidos podem ser modificados para alterar suas propriedades físicas e químicas, afetando diretamente seus parâmetros de transição.

2.5 Ariá (*Goeppertia Allouia*)

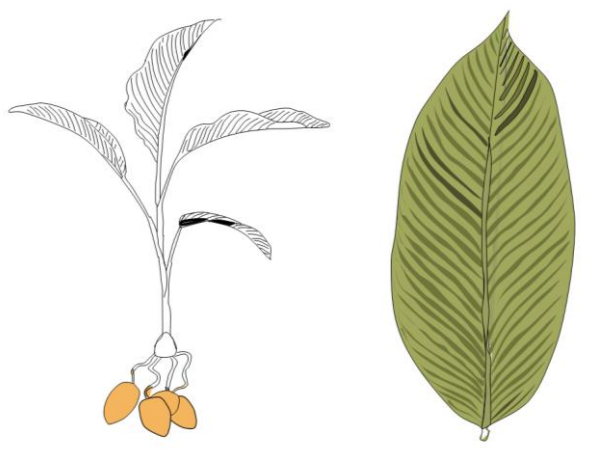
O ariá, que popularmente é conhecido como ariá, leren, variá e cocurito, é uma espécie semiperene que pertence à família Marantaceae, sendo encontrada desde as Antilhas até o norte da América do Sul. Apresenta-se bem adaptada à região tropical, necessitando de altas temperaturas e umidade (Bueno; Weigel, 1981; Varejão; Ribeiro; Bueno, 1988).

A planta apresenta folhas largo-elípticas, marcadas por nervuras paralelas de 30 a 50 cm de comprimento (Figuras 4 e 5). Em condições favoráveis, o ariá pode atingir até 150 cm de altura. Seu cultivo demora cerca de 6 a 9 meses, sendo uma espécie que não apresenta sementes, e sua forma de propagação é através dos rizomas localizados na base da planta (Figura 5) (Kinupp; Lorenzi, 2014; Pereira, 2023).

Figura 4 - Planta ariá (*Goeppertia allouia*)

Fonte: Paisagismo Brasil, 2016.

Figura 5 - Desenho ariá



Fonte: Autor, 2026.

O ariá (*Goeppertia allouia*) é muito consumido por comunidades indígenas e ribeirinhas da região amazônica, pois apresenta raízes tuberosas subterrâneas onde estão armazenados cerca de 13 a 15% de amido, 1,5 a 2% de conteúdo proteico e 6% de aminoácidos. Os tubérculos apresentam formas ovoides e cilíndricas, podendo atingir de 5 a 15 cm de comprimento (Barros *et al.*, 2021; Marques *et al.*, 2013).

(Marques *et al.*, 2019), ao analisarem 20 clones diferentes de ariá, encontraram uma composição média de umidade (81,65 a 88,03%), proteína (0,53 a 1,07%), lipídios (0,53 a 1,07%), teor de cinzas (0,65 a 1,12%) e carboidratos (10,06 a 15,58%). Já pesquisas realizadas por (Varejão; Ribeiro; Bueno, 1988)) mostraram a composição mineral do ariá (Tabela 1).

Tabela 1 - Composição mineral do ariá

Parte da Planta	%				
	N	P	K	Ca	Mg
Folha	2,3	0,96	5,95	0,52	0,63
Rizoma	0,2	0,07	1,08	0,25	0,16
Raiz	0,9	0,35	4,89	0,55	0,3
Tubérculo	1,13	0,25	2,98	0,04	0,12

Fonte: Varejão; Ribeiro; Bueno, 1988.

2.6 Amido não convencional de ariá

Com o crescimento das pesquisas relacionadas a polímeros biodegradáveis, têm-se buscado novas fontes amiláceas para a fabricação desses materiais. Nesse contexto, surgem os amidos provenientes de Plantas Alimentícias Não Convencionais (PANCs) que são espécies pouco utilizadas ou que apresentam baixa ou nenhuma exploração comercial. Atualmente, diversos estudos focam em várias fontes não convencionais de amido, no qual apresentam propriedades promissoras para a produção de filmes e revestimentos (Alves *et al.*, 2024; Junior, 2022).

O ariá (*Goeppertia allouia*), portanto, se enquadra na categoria de PANC, uma vez que não é comercializado em larga escala e seus tubérculos são de difícil acesso, além de ser uma planta que não produz fruto.

Embora existam poucos estudos sobre seu amido, alguns autores reportaram características importantes, como propriedades probióticas (Teixeira *et al.*, 2016) e potencial para a fabricação de biofilmes (Gutiérrez *et al.*, 2018; Santos, 2023). (Carvalho *et al.*, 2021b)), ao analisarem o amido de ariá, encontraram uma composição centesimal de proteínas (0,026%), cinzas (0,37%), umidade (7,02%) e lipídios (0,028%), além de analisar sua composição química a partir das cinzas, na tabela 2.

Tabela 2 - Composição química amido de arará

Composição das cinzas	P	Cl	K	Ca	Fe	Ag	Sn
Concentração %	5,329	1,035	31,19	28,438	0,822	32,398	0,787

Fonte: Carvalho *et al.*, 2021b.

Adicionalmente, (Barros *et al.*, 2021)) observaram um teor de amilose de aproximadamente 39%, valor considerado elevado quando comparado aos amidos de mandioca (17,19%), batata-doce (27,15%) e araruta (19,66%) relatados por (Melo, 2019).

2.7 Plastificantes

Filmes produzidos exclusivamente com amido e água destilada são pouco flexíveis, quebradiços e apresentam baixa maquinabilidade (Shimazu; Mali; Grossmann, 2007). Por essa razão, é necessária a adição de plastificantes, que são substâncias adicionadas aos polímeros para melhorar a flexibilidade, a processabilidade e o comportamento mecânico. Os plastificantes são materiais de baixa massa molecular que penetram nos grânulos de amido e reduzem as ligações de hidrogênio sob condições de alta temperatura, pressão e estresse de cisalhamento, aumentando, assim, a mobilidade das cadeias e a flexibilidade do material (BRASKEM, 2025; Vieira *et al.*, 2011).

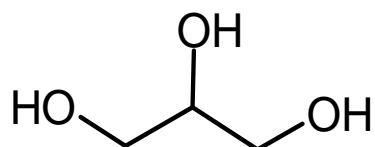
Os plastificantes mais utilizados em matrizes de amido são os polióis, como glicerol, sorbitol e polietilenoglicol (Cazón *et al.*, 2017). Esses componentes apresentam alta compatibilidade com biopolímeros. Os benefícios do uso desses plastificante incluem a melhora na alongação, suavidade, solvência e lubrificação superficial, além da diminuição da viscosidade e do aumento da estabilidade térmica (Hazrol *et al.*, 2021). Dentre esses, o glicerol destaca-se como o plastificante mais utilizado para a fabricação de biofilmes de amido.

2.8 Glicerol

O glicerol é um subproduto da produção de biodiesel que tem ganhado destaque em razão do aumento da demanda por esse biocombustível. Quimicamente, o glicerol é um triol de cadeia curta denominado 1,2,3-propanotriol (Figura 6). Sua estrutura molecular apresenta três grupos hidroxila, os quais conferem ao composto

propriedades higroscópicas e facilitam sua solubilidade em água e em outros solventes orgânicos polares (Beatriz; Araújo; Lima, 2011; Carvalho; Pinto, 2023).

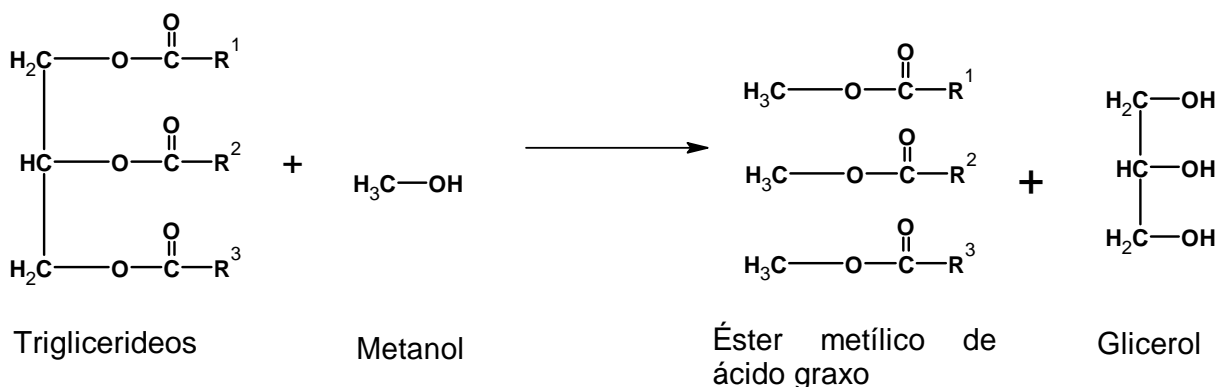
Figura 6 - Molécula de glicerol



Fonte: Autor, 2026.

Convencionalmente, o glicerol é obtido por meio da transesterificação de óleos vegetais como mostra a Figura 7. Processo no qual os triglicerídeos reagem com um álcool para produzir ésteres alquílicos (biodiesel), liberando quantidades significativas de glicerol. Fisicamente, ele se apresenta como um líquido incolor, inodoro, viscoso e de sabor adocicado (Beatriz; Araújo; Lima, 2011; Ben; Samsudin; Yhaya, 2022).

Figura 7 - Obtenção do glicerol



Fonte: Ben; Samsudin; Yhaya, 2022.

Comercialmente, o composto é conhecido como glicerina. No entanto, de acordo com (Ribeiro *et al.*, 2025)), existe uma distinção terminológica relevante: enquanto o termo "glicerol" define o composto químico puro (> 99%), a "glicerina" refere-se ao insumo industrial purificado que admite uma pequena margem de impurezas, mantendo uma concentração mínima de 95% de glicerol.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Materiais

O amido de ariá foi extraído a partir dos tubérculos de ariá (*Goeppertia allouia*), fornecidos pela comunidade quilombola Pimenteira, localizada em Santa Luzia do Pará. Como plastificantes, foram utilizados água destilada e glicerol com pureza 99% (Êxodo científica).

Figura 8 - Tubérculos de ariá (*Goeppertia allouia*)

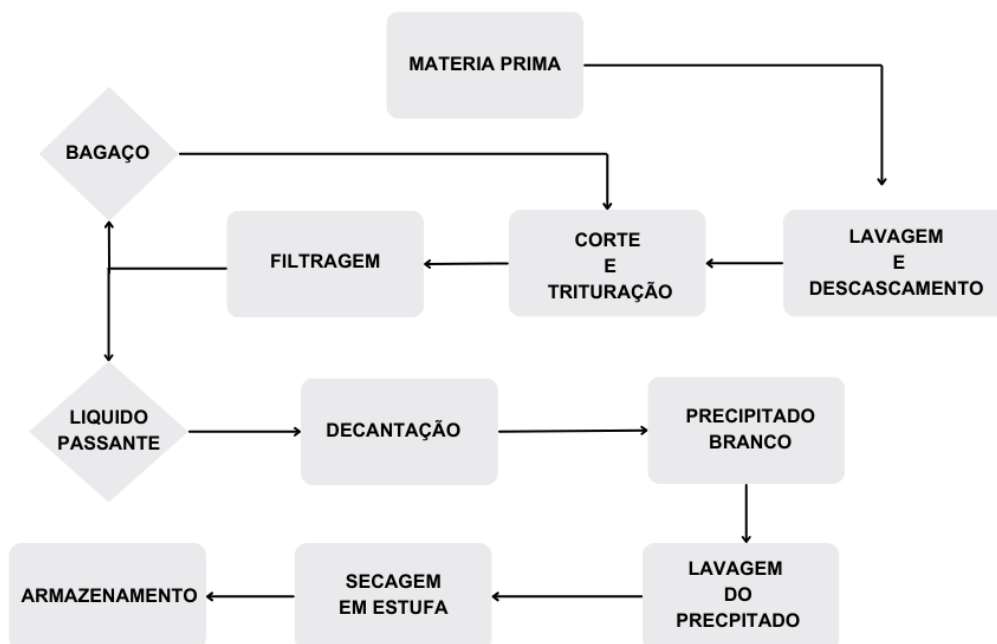


Fonte: Autor, 2026.

3.2 Extração do amido

A extração do amido baseou-se na metodologia utilizada por Silva, (2011) para amido de pinhão, com algumas adaptações, como mostra o fluxograma da Figura 9, na qual, inicialmente foram realizados a lavagem e o descascamento manual dos tubérculos. Em seguida, foram cortados e triturados em um liquidificador doméstico por 3 minutos. Após isso, a suspensão obtida foi filtrada em sacos de pano, e o líquido passante foi transferido para que fosse feita a decantação em um béquer por 30 minutos, resultando em um precipitado branco. Esse precipitado foi lavado por três vezes, e o material não passante (bagaço), retido na filtragem, foi triturado novamente para extração de mais amido. O amido obtido foi seco em estufa a 45 °C por 24 horas, peneirado e armazenado em recipiente adequado até sua utilização na produção dos filmes.

Figura 9 - Fluxograma de extração do amido de aríá



Fonte: Autor, 2026.

3.3 Fabricação dos filmes

O processo de produção dos filmes de amido de aríá foi realizado seguindo a técnica de *casting*, na qual foi preparada uma solução filmogênica contendo 2 gramas de amido, plastificante (glicerol) e 80 ml de água destilada, variando somente o teor de glicerol como mostra a Tabela 3, o percentual de plastificante variou em relação a massa de amido, essas concentrações foram escolhidas após a realização de alguns testes com percentuais menores, que não apresentaram bons resultados.

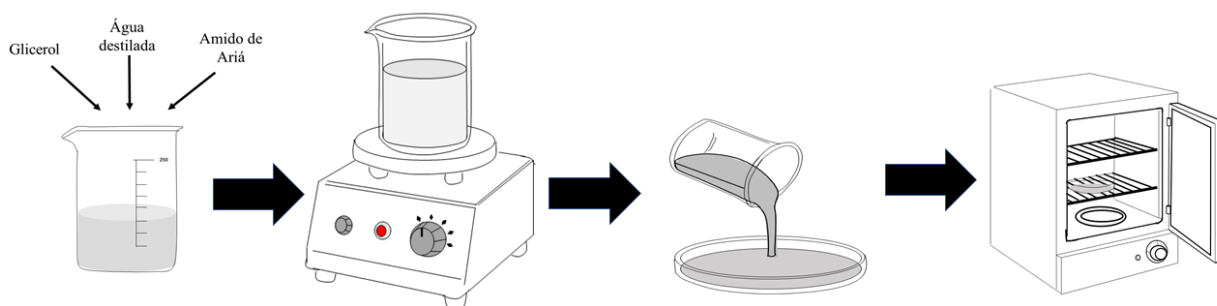
Tabela 3 - Composição dos biofilmes.

Amostra	Amido (g)	Água destilada (mL)	Glicerol (mL)
TPS 25%	2,0	80	0,50
TPS 30%	2,0	80	0,60
TPS 35%	2,0	80	0,70
TPS 40%	2,0	80	0,80
TPS 45%	2,0	80	0,90

Fonte: Autor, 2026.

Para a preparação da solução filmogênica foram misturados o amido, o glicerol e água destilada em um béquer de 250 ml e aquecido em uma chapa com agitação magnética a uma temperatura de aproximadamente 150 °C ou até que a solução atingisse uma temperatura interna de 85 °C, em seguida essa solução filmogênica foi derramada em uma placa de Petri com um diâmetro de 14 cm. E após isso o material foi levado a uma estufa com circulação de ar à 45 °C por cerca de 24h ou até que estivessem completamente solidos como mostra a Figura 10.

Figura 10 - Fabricação dos filmes pelo método de casting



Fonte: Autor, 2026.

3.4 Caracterização dos filmes

3.4.1 Espessura

As espessuras dos filmes foram determinadas de acordo com a norma (ASTM D6988), na qual as espessuras foram medidas em 6 pontos diferentes, através de um micrometro digital com resolução de 0,001 mm.

3.4.2 Transparência

A transparência foi calculada a partir da metodologia de Filipini; Romani; Martins (2020), onde foram retiradas 3 amostras de cada filme com dimensões de 4 x 1 cm que foram colocadas em uma cubeta de quartzo e medidas a uma transmitância de 600 nm, utilizando um espectrofotômetro de absorção UV-visível da marca SHIMADZU modelo UV 1800. Para determinar a transparência foi utilizada a equação 1. Onde T é transmitância a 600 nm, e x é a espessura em (mm).

$$\text{Transparência} = \frac{\log T}{x} \quad (2)$$

3.4.3 Intumescimento

Para medir o grau de intumescimento dos filmes, 6 amostras medindo 2 x 2 cm foram cortadas para cada período dos testes. Para a realização do teste, utilizou-se o método gravimétrico com auxílio de uma balança analítica de precisão de 0,0001 g. Inicialmente as amostras foram pesadas (M_i) e após isso foram imersas em 50 ml de água destilada em temperatura ambiente, por períodos de 1, 2, 3, 4, 5, 24 horas e 15 dias. Após cada período, o excesso de água foi eliminado utilizando papel-filtro e a massa das amostras foi registrada (M_f). Os cálculos de intumescimento foram realizados de acordo com a Equação (2).

$$\text{Grau de intumescimento (\%)} = \frac{M_i - M_f}{M_f} * 100 \quad (2)$$

3.4.4 Umidade

A umidade foi determinada utilizando o método gravimétrico, no qual foram cortadas 6 amostras de cada percentual em tamanhos de 20 x 20 mm . As amostras foram pesadas (M_i) em uma balança analítica com precisão de 0,0001 g, e colocadas em um becker de 100 mL. Em seguida, foi levado a uma estufa com circulação de ar onde permaneceu por 24 horas a uma temperatura de 100°C. Após esse período, as 6 amostras foram novamente pesadas (M_f), e os valores foram anotados para realização do cálculo da umidade de acordo com a Equação 3.

$$U(\%) = \frac{M_i - M_f}{M_i} * 100 \quad (3)$$

3.4.5 Solubilidade

Para o ensaio de solubilidade consistiu em cortar 6 amostras em tamanhos de 15 x 40 mm, que foram colocados em uma estufa por circulação de ar a 100 °C por 24 horas, para garantir que os filmes estivessem secos, em seguida as amostras desidratadas foram imersas em 50 mL de água destilada em uma temperatura ambiente por 24h. Após este período as amostras foram novamente colocadas na estufa a uma temperatura de 105 °C durante 24 horas, os resultados foram anotados e calculados através da Equação (4).

$$S = \frac{M_i - M_f}{M_i} * 100 \quad (4)$$

Em que M_i é a massa inicial antes de ser levada à estufa, e M_f é a massa após a imersão em água e secagem em estufa.

3.4.6 Degradação em solo

Utilizaram-se 3 amostras de cada percentual de filmes, medindo 25 x 25 mm, onde cada uma delas foi enterrada em uma terra comercial (adquirida em um comércio local) a uma profundidade de 100 mm, em períodos de 0, 2, 5, 7, 10, 14 e 16 dias, e após cada período de realização do teste, as amostras foram desenterradas, retirando o excesso de terra, e os resultados foram analisados através das imagens obtidas no teste.

3.4.7 Microscopia Eletrônica de Varredura

Para analisar a morfologia da superfície dos biofilmes e do amido, foi realizada a microscopia eletrônica de varredura no Museu Paraense Emílio Goeldi. Nessa etapa, as amostras foram fixadas em um porta-amostras (*stub*) e metalizadas com uma fina camada de ouro no metalizador EMITECH, modelo K550. As imagens foram obtidas por meio do microscópio eletrônico de varredura TESCAN, modelo Mira3, operando na voltagem de 5 kV.

3.4.8 Espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier

Para confirmar os grupos funcionais presentes nos filmes e no amido, utilizou-se o método de Reflectância Total Atenuada (ATR), em espectrofotômetro Bruker, modelo VERTEX, a uma resolução de 8cm^{-1} , na faixa de número de ondas de 4000cm^{-1} a 400cm^{-1} , com 100 varreduras, que foi realizado no Laboratório de Espectroscopia Vibracional e Altas Pressões (LEVAP) na Universidade Federal do Pará.

3.4.9 Difração de Raios X

A análise da estrutura cristalina dos filmes e do amido, foi realizada por meio da técnica de Difração de Raios X (DRX). As medidas foram executadas em um

difratômetro da marca Rigaku, modelo Smartlab, operado utilizando um ânodo de cobre Cu (Ka - 1,54056 Å). Os parâmetros de operação foram configurados com uma tensão de 40 kV e uma corrente de 50 mA. A coleta de dados foi realizada no intervalo angular 2θ , entre 5° e 60° , em uma velocidade de varredura de $0,02^\circ \text{ min}^{-1}$.

3.4.10 Ensaio mecânico de tração

As propriedades mecânicas de tração dos biofilmes foram determinadas no Laboratório de Biossoluções e Bioplásticos da Amazônia (LABA/UFPa), utilizando a norma ASTM D882-18. Os ensaios foram realizados por meio da Máquina Universal de Ensaio Portátil (Biopdi), equipada com uma célula de carga de 50 kgf. Para a execução dos ensaios, 6 corpos de prova foram dimensionados com 75 mm de comprimento e 25 mm de largura. Durante os ensaios, a distância inicial entre as garras foi de 45 mm, operando-se com uma velocidade de separação de 20 mm/min. Por meio das curvas de tensão-deformação obtidas, foram calculados os parâmetros de resistência à tração (MPa), alongamento na ruptura (%) e o módulo de Young (MPa).

3.4.11 Análise estatística

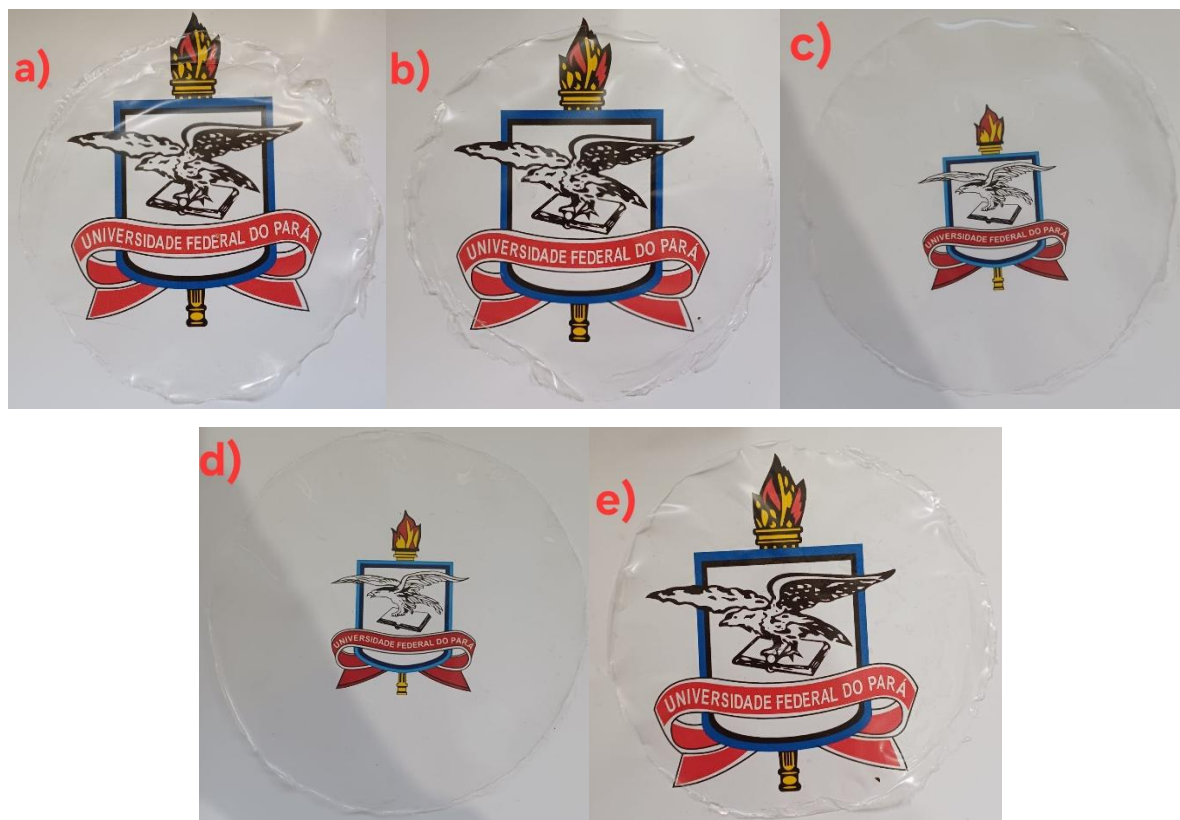
Os resultados, expressos como média desvio padrão, foram submetidos à Análise de Variância (ANOVA) para verificar a existência de diferenças significativas entre as médias dos tratamentos. As médias foram comparadas entre si pelo teste de amplitude múltipla de Duncan, com nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$). Todas as análises estatísticas e o processamento dos dados foram realizados utilizando o software *Statistica* (versão 12, StatSoft).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Aspecto visual

Os filmes apresentaram uma superfície lisa e homogênea, sem a presença de oleosidade, e mostraram também boa transparência. Entre os filmes, não houve diferença visual, sendo difícil a identificação caso não estivessem rotulados. Os filmes com 30, 35, 40 e 45% de glicerol apresentaram boa flexibilidade e facilidade ao serem removidos das placas de Petri após a secagem. Já em relação ao filme de 25%, este apresentou dificuldade em ser destacado da placa, isso pode estar relacionado ao teor de glicerol, visto que testes realizados anteriormente com percentuais menores, como 10 e 20%, apresentaram essa mesma característica quebradiça.

Figura 11 – Aspectos visuais dos filmes a) TPS 25; b) TPS 30; c) TPS 35; d) TPS 40; e) TPS 45



Fonte: Autor, 2026

4.2 Espessura e Transparência

Ao realizar os testes de espessura nos filmes foi encontrada uma média que variou de 0,094 a 0,148 mm, onde o menor valor encontrado foi na amostra TPS 25 (menor percentual de glicerol) e maior valor foi a amostra TPS 45 (maior percentual de glicerol), mostrando a influência do glicerol nas amostras. Ao realizar a análise

estatística de Duncan, com significância de 5%, ficou evidente que somente a amostra TPS 45, apresentou uma diferença significativa, valores semelhantes foram relatados por Sousa Rosas *et al.* (2023)

A transparência dos filmes são um fator determinante para as embalagens de alimentos, já que esta propriedade pode proteger o alimento da exposição a luz e a deterioração causada pela radiação UV (Singh *et al.*, 2022).

Para os filmes de amido de arizônia a transparência variou de 1,86 a 2,47 nm mm⁻¹, e também por meio da análise estatística de Duncan, foi notado que não houve variação significativa ao aumentar o teor de glicerol nos filmes como mostra a tabela 4, um comportamento próximo ao encontrado por Benitez *et al.* (2024) onde o aumento de glicerol não afetou as transparências dos filmes.

Tabela 4 - Espessura e Transparência

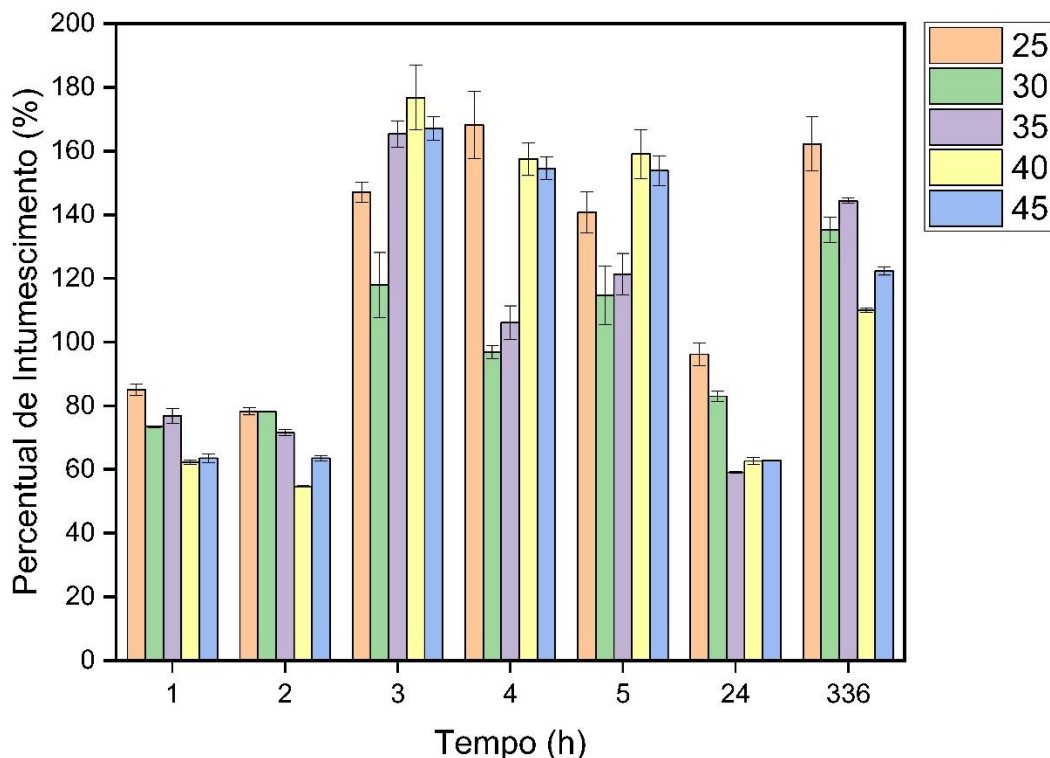
Amostra	Espessura (mm)	Transparência (Abs600 nm mm ⁻¹)
TPS 25	0,094 ^a ± 0,011	2,47 ^a ± 0,64
TPS 30	0,106 ^{ab} ± 0,026	2,60 ^a ± 1,16
TPS 35	0,121 ^{ab} ± 0,011	1,89 ^a ± 0,41
TPS 40	0,107 ^{ab} ± 0,016	2,74 ^a ± 0,72
TPS 45	0,148 ^b ± 0,070	1,86 ^a ± 0,43

Fonte: Autor, 2026.

4.3 Intumescimento

O ensaio de intumescimento é uma propriedade essencial para avaliar o comportamento de filmes poliméricos quando submetidos à imersão em meio aquoso. Observou-se que os filmes não apresentaram um aumento significativo em sua massa nos períodos iniciais de 1 h e 2 h, seguidos por um aumento entre os intervalos de 3 h, 4 h e 5 h. Após 24 h verificou-se uma estabilização com a redução no percentual de intumescimento. Entretanto, ao atingir 336 h, a maioria das amostras exibiu seus valores máximos de inchamento, com exceção das amostras TPS 40 e 45, como mostra a Figura 12.

Figura 12 - Percentual de intumescimento



Fonte: Autor, 2026.

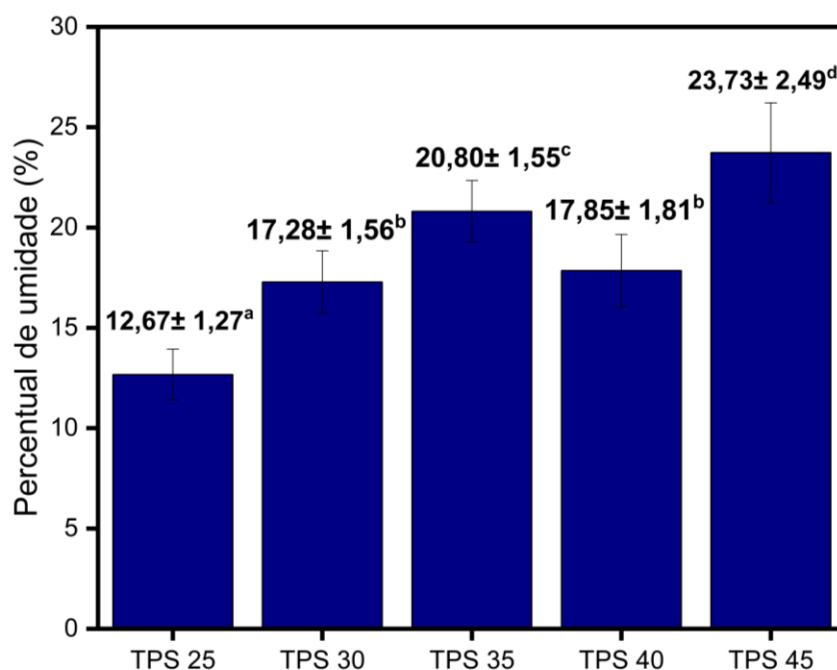
O filme com menor teor de glicerol (TPS 25) apresentou os maiores índices de intumescimento nos períodos de 1, 2, 4, 24 e 336 h. Em contrapartida, as amostras com maiores concentrações de plastificante (TPS 40 e 45) demonstraram menores valores de inchamento nos intervalos de 1, 2, 24 e 336h. Portanto, é evidente, que o aumento no teor de plastificante reduziu o grau de intumescimento dos filmes. Esse comportamento pode ser atribuído à natureza menos hidrofílica do plastificante em comparação ao amido (Mohammed *et al.*, 2022), e também com as fortes interações entre glicerol e o amido, impossibilitando as ligações entre a molécula de água com o plastificante ou amido (Tarique; Sapuan; Khalina, 2021a), efeito que se intensifica com o aumento da concentração de glicerol.

Este perfil fica próximo ao comportamento encontrado por outros pesquisadores (Jakobek *et al.*, 2024; Sirbu *et al.*, 2024), que também relataram uma redução no percentual de intumescimento proporcional ao aumento do teor de plastificantes em matrizes semelhantes.

4.4 Umidade

O percentual de umidade presente nos biofilmes pode influenciar diretamente a qualidade dos alimentos embalados (Ben; Samsudin; Yhaya, 2022). Portanto, a umidade é um fator importante a ser estudado nas embalagens de alimentos. E a umidade dos biofilmes variou de 12,67 a 23,73%, mostrando um alto valor de umidade para os filmes com o maior percentual de glicerol, como pode ser observado na figura 13.

Figura 13 - Percentual de umidade



Fonte: Autor, 2026.

Esses resultados mostraram que o percentual de umidade foi fortemente influenciado pela teor de glicerol nos filmes, onde esse mesmo comportamento foi observado por Ilvis et al. (2024), que observaram também, um aumento da umidade ao aumentar o teor de glicerol, no estudo do autor, ele utilizou 4 variantes de batatas equatorianas para fabricar os filmes, e todas apresentaram este mesmo comportamento. Um comportamento também reportado por Bidari et al. (2023) ao fabricar filmes de amido de taro (*Colocasia esculenta*).

Isso pode ter ocorrido pois o glicerol tem grupos hidroxilas, que apresentam fortes atrações por moléculas de água, fazendo com que o filme retenha água e forme ligações de hidrogênio na sua estrutura (Tarique; Sapuan; Khalina, 2021b).

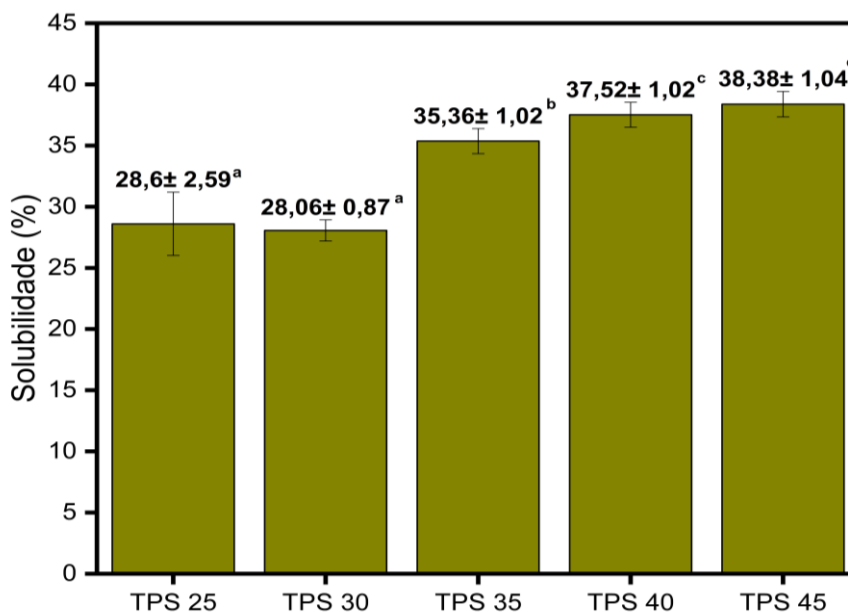
Os valores encontrados para os filmes de amido de ariá foram próximos aos encontrados por Otero-Herrera et al. (2025) para amidos de batata-doce, que apresentaram uma umidade de 12,2% a 24,1% com percentual de glicerol de 0,8% a 1,2%, respectivamente.

4.5 Solubilidade

Segundo Silva, (2011), a solubilidade é um fator importante que pode determinar a aplicabilidade das embalagens de alimentos, pois segundo o mesmo autor, valores de solubilidade baixos podem não ser adequados para alimentos que entram em contato com a água e precisam ser solubilizados. Mas, podem atuar como proteção para alimentos com alta atividade de água.

Nesse estudo, os valores de solubilidade encontrados variam de 28,06% a 38,38%, ficando próximos aos resultados obtidos por Nolasco (2023) em filmes utilizando 30% de glicerol e a casca de batata inglesa, do qual o valor variou entre 27% e 28% de solubilidade nos filmes. E esse mesmo valor foi encontrado para a amostra TPS 30, que apresentou uma média de 28,06% de solubilidade. Em contrapartida, Ballesteros-Mártinez; Pérez-Cervera; Andrade-Pizarro (2020), ao trabalharem com 20% e 10% de glicerol e amido de batata doce, observaram valores menores (23,21% e 27,47%), sugerindo que o teor de glicerol também influencia diretamente na solubilidade. Essa relação é confirmada pela Figura 14, que mostra um aumento na solubilidade conforme se eleva a porcentagem de glicerol nos filmes.

Figura 14 – Percentual de solubilidade



Fonte: Autor, 2026

4.6 Degradação de solo

















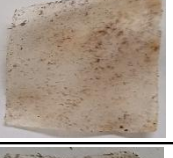
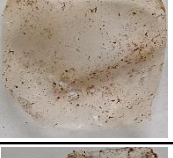




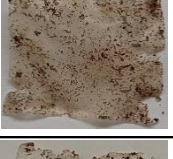
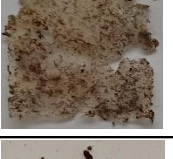
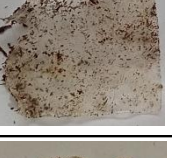
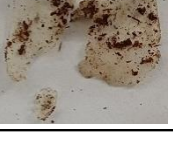


A Figura 15 mostra a mudança gradual nos filmes durante os dias avaliados. Onde, de zero a 5 dias, não houve uma degradação perceptível, apenas um enrugamento dos filmes devido a umidade do solo. Entretanto, a partir de 7 dias, a amostra TPS 25 mostrou uma degradação nas laterais, e todos os filmes apresentaram fragilidade, tornando difícil realizar a limpeza superficial dos filmes.

Ainda no período de 7 dias, foi perceptível também a presença de manchas amareladas nas amostras TPS 30, TPS 35, TPS 40 e TPS 45. Essa é uma característica comum em amidos e celulose, que pode indicar o crescimento microbiano devido aos altos teores de componentes orgânicos (Qasim, 2019).

Ao décimo dia, todos os filmes mostraram fragilidade e uma degradação perceptível nas laterais. Já ao décimo quarto dia, as amostras com menores percentuais de glicerol (TPS 25 e TPS 30) se degradaram por completo. Enquanto isso, as amostras TPS 35, TPS 40 e TPS 45, foram encontrados apenas pequenos fragmentos. Esse comportamento de degradação que pode estar ligado diretamente à solubilidade dos filmes, já que, segundo Carissimi; Flôres; Rech (2018), a solubilização torna os elementos dos filmes disponíveis para os microrganismos. E

por último, ao décimo sexto dia, não foi possível encontrar nenhuma amostra, ou seja, todos os filmes se degradaram por completo.

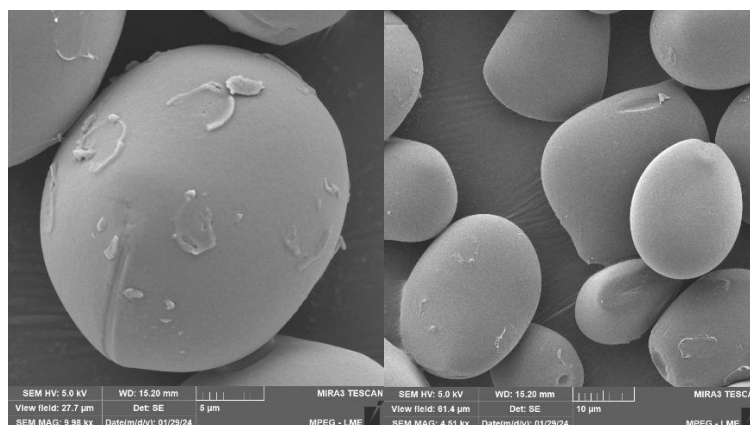
Figura 15 - Degradação em solo

	TPS 25	TPS 30	TPS 35	TPS 40	TPS 45
0 dias					
2 dias					
5 dias					
7 dias					
10 dias					
14 dias	Degradou por completo	Degradou por completo			
16 dias	Degradou por completo	Degradou por completo	Degradou por completo	Degradou por completo	Degradou por completo

Fonte: Autor, 2026.

4.7 Microscopia Eletrônica de Varredura

Figura 16 - Morfologia do amido de aríá.

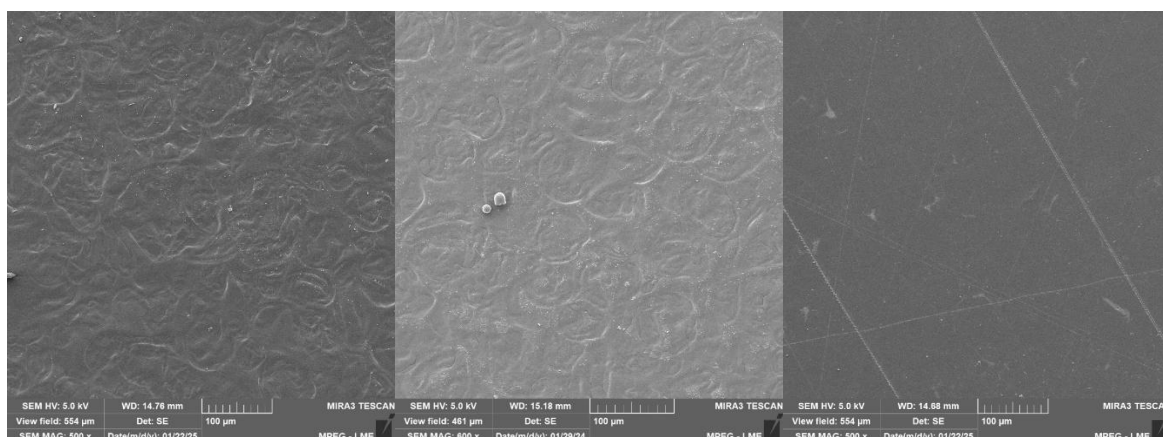


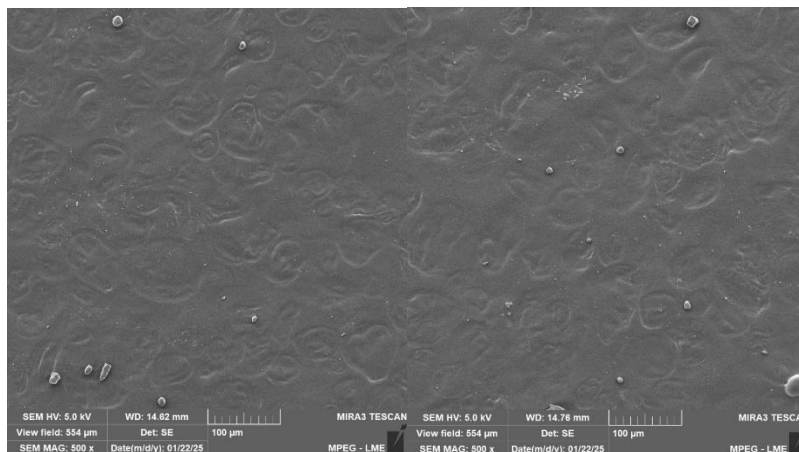
Fonte: Autor, 2026.

Ao analisar a morfologia do amido na Figura 16, notou-se uma superfície lisa com a presença de algumas irregularidades e aglomerados de partículas, característica também relatada por Carvalho *et al.* (2021a) ao estudarem o amido de aríá nativo e com tratamento de plasma a frio. No amido de aríá foram identificados grânulos de diferentes tamanhos, com um perfil próximo ao do amido de araruta encontrado por (Nogueira; Fakhouri; De Oliveira, 2018).

Onde, os grânulos menores do amido apresentaram-se de forma oval e os grânulos maiores de forma esférica, fenômeno descrito também por Barandiaran et al. (2024) ao estudarem variantes de batatas colombianas.

Figura 17 - Morfologia dos filmes





Fonte: Autor, 2026.

Na figura 17, pode-se analisar a morfologia dos filmes em uma ampliação de 100 μm . Pelas imagens, foi possível notar uma superfície homogênea e sem a presença de rachaduras, o que pode significar uma boa aceitação do plastificante (glicerol) nos filmes (González-Torres *et al.*, 2021). Observou-se a presença de rugosidades em quase todos os filmes, morfologia próxima à encontrada por (Alimi; Workneh; Zubair, 2022) para filmes de amido de banana-falsa (*Ensete ventricosum*).

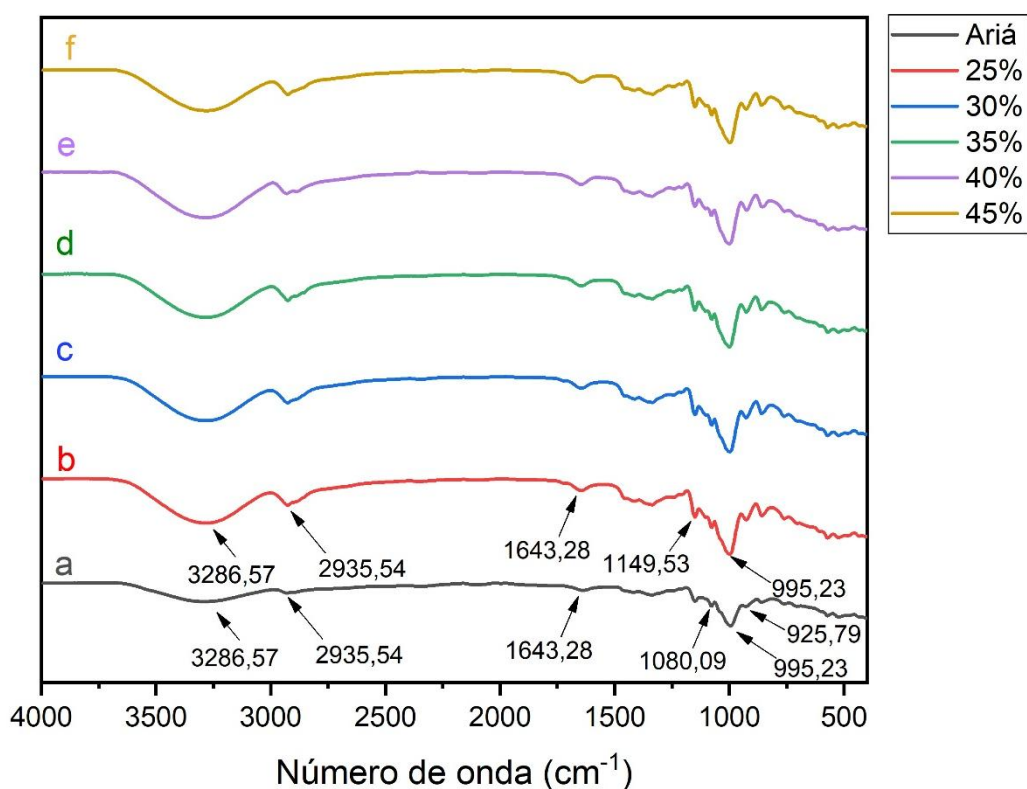
Entretanto, a microscopia do filme TPS 35 apresentou uma morfologia diferente das demais, com uma superfície lisa e sem rachaduras, mas com a presença de alguns arranhões. Estes podem ter ocorrido por ser a superfície que estava em contato com a placa de Petri, refletindo as irregularidades da placa. Este mesmo comportamento foi relatado por (Shanbhag *et al.*, 2023). Os filmes também apresentaram partículas não solubilizadas, que podem estar relacionadas à quantidade de amido utilizada na fabricação, indicando que o amido não foi totalmente solubilizado durante o processo de fabricação.

4.8 Espectroscopia de infravermelho por transformada de Fourier

Os espectros do amido de ariá (*Goeppertia allouia*) e dos biofilmes na figura 18 mostraram picos e bandas semelhantes, onde nas regiões de $3286,579\text{ cm}^{-1}$ foi identificado um estiramento O-H (Jagadeesan; Govindaraju; Mazumder, 2020), enquanto a $2935,547\text{ cm}^{-1}$ um pico característico de vibrações C-H que foi intensificado nos biofilmes devido à presença do glicerol e da cadeia carbônica do amido (Khotsaeng *et al.*, 2023). Já em relação às bandas de absorção a $1643,289\text{ cm}^{-1}$ e $995,231\text{ cm}^{-1}$, podem estar associadas respectivamente ao estiramento de O-

H e às vibrações do anel de anidroglicose (Otero-Herrera *et al.*, 2025). A respeito das bandas em $1149,53\text{ cm}^{-1}$ e $1080,09\text{ cm}^{-1}$ ocorreram devido ao agrupamento de C-O, C-O-H e ao estiramento de C-C (Malki *et al.*, 2023). A banda a $925,79\text{ cm}^{-1}$ pode estar relacionada ao estiramento C-O presente tanto no plastificante (glicerol) como nos polissacarídeos (Bhatia *et al.*, 2025).

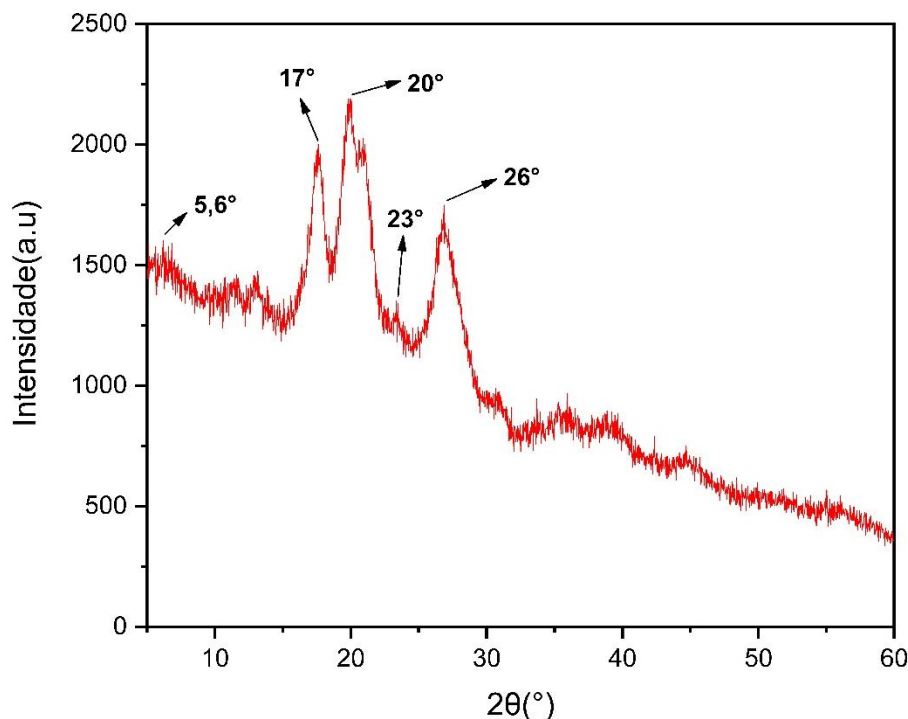
Figura 18 – FTIR a) amido nativo de ariá; b) amostras TPS 25, c) amostras TPS 30; d) amostras TPS 35; e) amostras TPS 40; f) amostras TPS 45



Fonte: Autor, 2026.

4.9 Difração de Raios-X

Figura 19 - DRX do amido

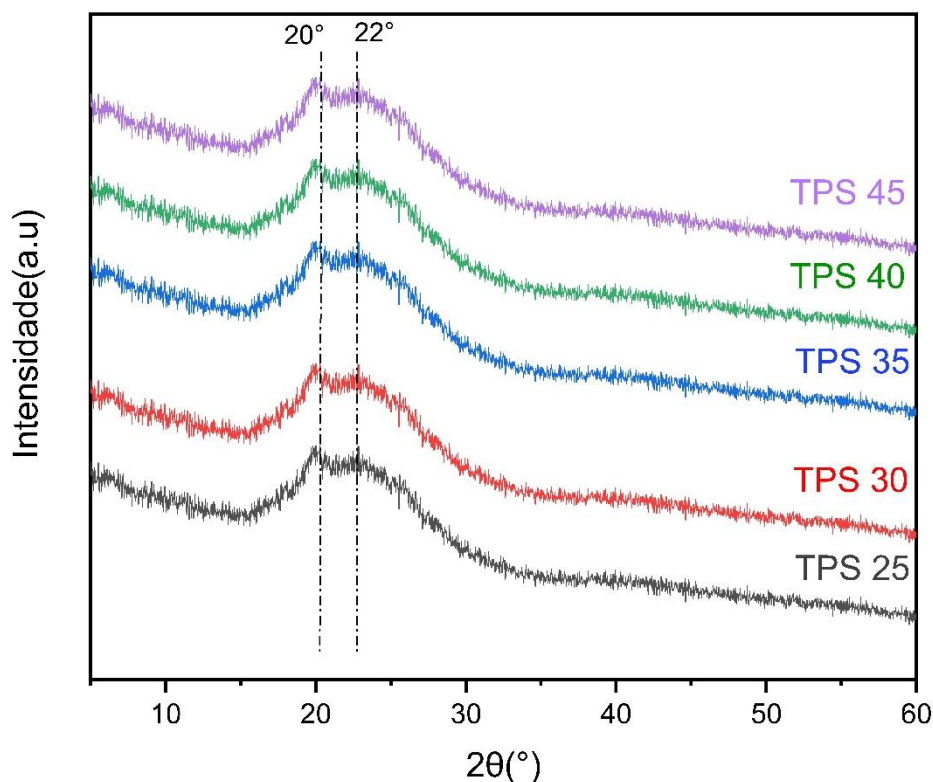


Fonte: Autor, 2026.

A Figura 19, apresenta o padrão de difração de raios X (DRX) do amido de ariá, no qual se observam picos de alta intensidade nas regiões de 17°, 20° e 26°, além de picos menos expressivos em aproximadamente 5,6° e 23°. Na literatura, picos em 17° e 23° são característicos do arranjo cristalino do tipo A (Barroso; Garcia; Mastro, 2019). Por outro lado, a presença do pico em 5,6° é uma característica distintiva de amidos de tubérculos, como a batata, conforme o encontrado em estudos de Wang *et al.* (2025) e Barandiaran *et al.* (2024) que estudaram diferentes variantes do amido de batata, assim o pico a 5,6° é um indicativo de arranjo do tipo B (Li *et al.*, 2022).

Dessa forma, evidencia-se que o amido de ariá possui um arranjo cristalino do tipo C, uma vez que sua estrutura é composta por cristais dos tipos A e B (Sun *et al.*, 2022). Tais resultados entram em concordância ao achado por Barros *et al.* (2021) em análises de difração realizadas com a mesma fonte botânica.

Figura 20 – DRX dos filmes.

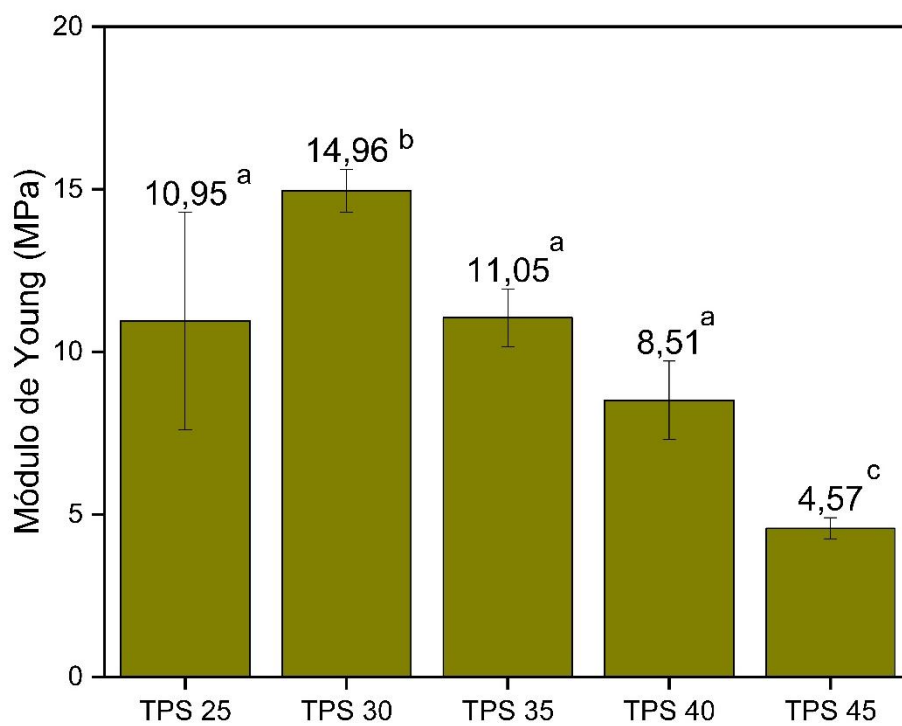


Fonte: Autor, 2026.

Na Figura 20, observam-se os padrões de difração referentes aos filmes. Nota-se que o aumento do teor de glicerol não promoveu alterações significativas nos perfis de difração dos filmes. Foi perceptível também a ausência do pico característico em 17° , ou seja, houve uma modificação no padrão de difração, que pode estar associada a plastificação do amido. Foram identificados picos intensos em 20° e 22° , os quais podem estar associados à recristalização das moléculas de amilose (Song *et al.*, 2021). Este comportamento era esperado, visto que amidos de fontes correlatas, como a batata-doce, exibem picos em regiões similares. Essa tendência também é confirmada por (Gutiérrez *et al.*, 2018), que reportaram picos análogos ao estudarem filmes de amido de aríá incorporados com resíduos da indústria vinícola.

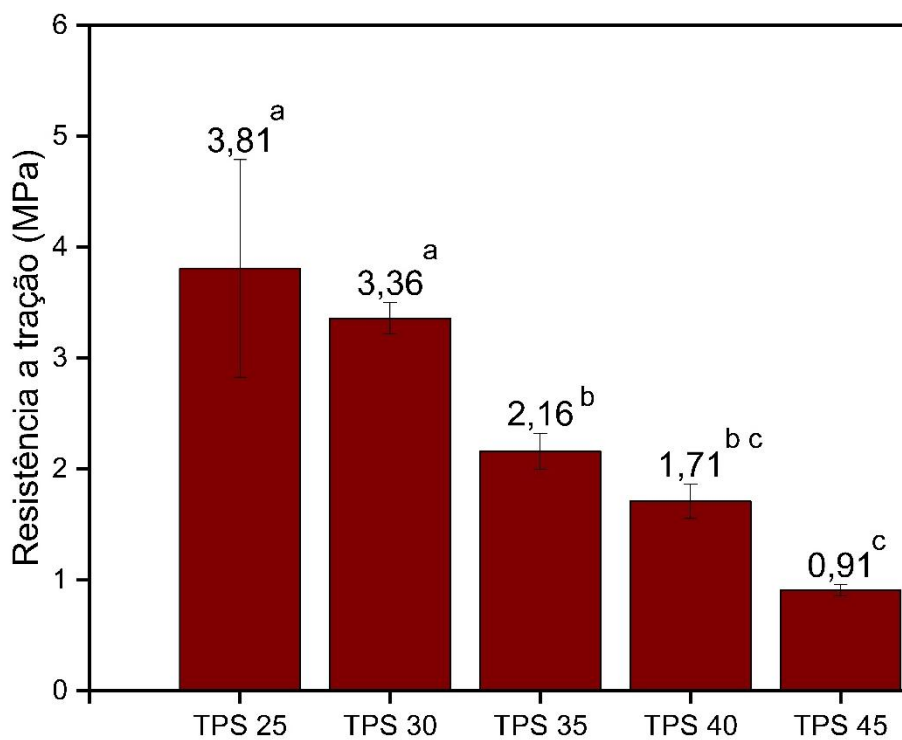
4.10 Teste Mecânico

Figura 21 - Modulo de Young



Fonte: Autor,2026

Figura 22 - Resistência a tração



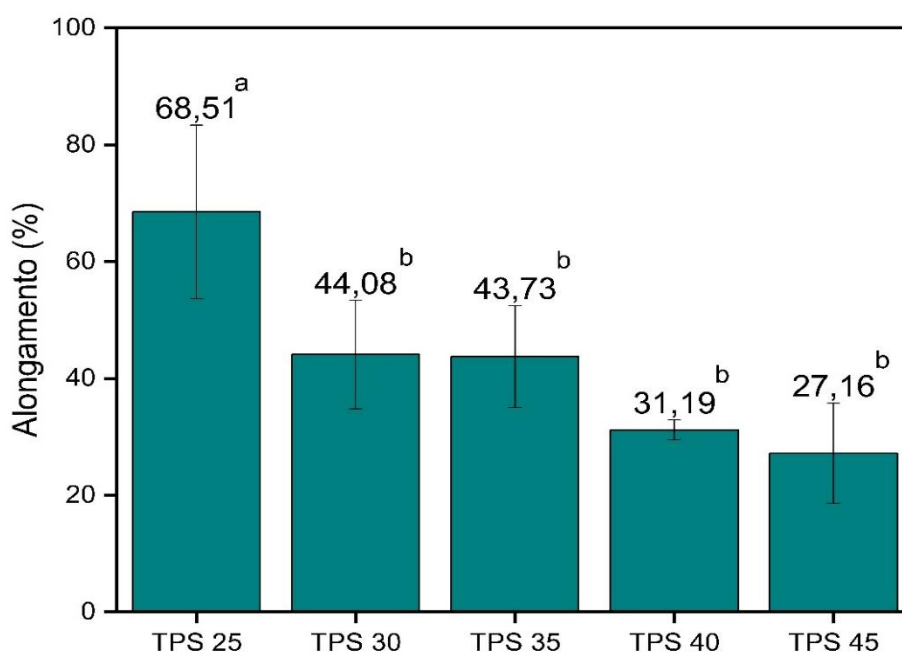
Fonte: Autor, 2026

Ao analisar os gráficos de resistência à tração (figura 21) e do Módulo de Young (figura 22), foi perceptível a influência do plastificante nas propriedades mecânicas desse material. Observou-se que, ao aumentar o teor de glicerol nas amostras, os valores de resistência à tração e o módulo diminuíram de maneira gradual. Por meio da análise estatística de Duncan com significância 5%, concluiu-se que as amostras apresentaram diferenças estatísticas significativas, comprovando a influência do plastificante.

Na resistência a tração, os filmes com menores percentuais de glicerol (TPS 25 e TPS 30) apresentaram os maiores valores (3,81 MPa e 3,36 MPa), respectivamente, não havendo diferença estatística entre eles. Enquanto isso, os resultados do módulo de Young mostraram que as amostras TPS 25, TPS 30 e TPS 35 não apresentaram diferença estatística entre si, mas ainda fica evidente a diminuição da propriedade com o aumento de plastificante.

Esses comportamentos podem ser atribuídos a presença do glicerol, que aumenta a mobilidade das cadeias poliméricas e reduz as forças intermoleculares (Jaderi *et al.*, 2023), sendo um fator comum em filmes fabricados com glicerol, conforme reportado por outros autores (Mojo-Quisani *et al.*, 2024; Ribeiro Sanches *et al.*, 2021).

Figura 23 - Alongamento até a ruptura



O alongamento até ruptura é uma propriedade muito importante a ser estudada em embalagens de alimentos, já que determina a flexibilidade e a capacidade de estiramento dos filmes, que são fatores importantes para determinar a aplicação e o tipo de alimento que pode ser embalado (Tafa; Satheesh; Abera, 2023). No entanto, ao observar o alongamento das amostras, notou-se um efeito atípico. Neste trabalho, a adição de plastificante reduziu drasticamente o alongamento dos filmes (figura 23). Este é um resultado inesperado e contrário ao comumente relatado na literatura para o uso destes plastificantes e amidos.

5 CONCLUSÃO

A fabricação dos filmes pelo método de *casting* possibilitou a obtenção de materiais poliméricos homogêneos e íntegros, aspecto que foi comprovado pelas micrografias de MEV. Os resultados de FTIR confirmaram a presença de modos vibracionais característicos do amido nos filmes produzidos com diferentes teores de glicerol, o que é indicativo da manutenção da estrutura química da matriz. Adicionalmente, os achados de DRX evidenciaram o caráter semicristalino do amido de ariá, classificando-o como um amido do tipo C.

As propriedades físico-químicas mostraram-se sensíveis ao teor de plastificante. O aumento do percentual de glicerol diminuiu o índice de intumescimento dos filmes. Em contrapartida, a elevação da concentração do plastificante aumentou a solubilidade e o teor de umidade, comportamento justificado pela natureza higroscópica do glicerol.

No comportamento mecânico, a redução da resistência à tração e do Módulo de Young confirmou o efeito de plastificação esperado. Entretanto, foi evidenciado um comportamento atípico do alongamento na ruptura, que diminuiu com a adição de plastificante. Por fim, a biodegradação total em 16 dias atestou o caráter biodegradável dos filmes.

A partir dos resultados obtidos neste estudo, conclui-se que o amido de ariá (*Goeppertia allouia*) apresenta um grande potencial para o desenvolvimento de filmes biodegradáveis, atuando como uma alternativa viável aos plásticos derivados do petróleo.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos resultados obtidos nesta pesquisa, sugere-se, primeiramente, uma reavaliação detalhada do comportamento mecânico do material, buscando compreender o que levou a redução do alongamento em determinadas concentrações de plastificante. Adicionalmente, recomenda-se investigar a incorporação de agentes de reticulação na matriz polimérica, com o objetivo de promover ligações cruzadas que possam elevar a resistência mecânica e reduzir a susceptibilidade do filme à água. Por fim, propõe-se a realização de estudos de aplicação prática, testando o desempenho desses biofilmes como embalagens reais para alimentos específicos, a fim de monitorar sua eficiência na preservação e no aumento da vida útil dos produtos.

REFERÊNCIAS

- ALIMI, Buliyaminu A.; WORKNEH, Tilahun S.; ZUBAIR, Bashir A. Microstructural and physicochemical properties of biodegradable films developed from false banana (*Ensete ventricosum*) starch. **Heliyon**, v. 8, n. 3, p. e09148, mar. 2022.
- ALVES, André A. N.; RIBEIRO, Maurício F.; RICCI, Vitor Salvucci. O USO DE SACOLAS PLÁSTICAS PELOS CLIENTES DE SUPERMERCADOS E SEU IMPACTO SOBRE A NATUREZA. **REVISTA CIÊNCIAS DO AMBIENTE ON-LINE**, v. 7, n. 1, 2011.
- ALVES, L. R. P. *et al.* FILMES ATIVOS PRODUZIDOS DE FONTES CONVENCIONAIS E NÃO CONVENCIONAIS DE AMIDO: UMA BREVE REVISÃO. *In: Árvores, Plantas e Frutos do Cerrado: aplicações e possibilidades*. 1. ed. [S.l.]: Editora Científica Digital, 2024. p. 225–239.
- ARAÚJO, Bruna Aline *et al.* A aplicação de polímeros biodegradáveis como uma alternativa sustentável. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 9, p. e49010918248–e49010918248, 31 jul. 2021.
- AZEVÊDO, Luciana; SÁ, Alessandra; FUNGARO, Denise. PROPRIEDADES DO AMIDO E SUAS APLICAÇÕES EM BIOPOLÍMEROS. **Cadernos de Prospecção**, v. 11, p. 351, 30 jun. 2018.
- BALLESTEROS-MÁRTINEZ, Lucio; PÉREZ-CERVERA, Carmen; ANDRADE-PIZARRO, Ricardo. Effect of glycerol and sorbitol concentrations on mechanical, optical, and barrier properties of sweet potato starch film. **NFS Journal**, v. 20, p. 1–9, 1 ago. 2020.
- BARANDIARAN, A. *et al.* “Development and characterization of edible films based on starch isolated from different Colombian potato varieties”. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 263, p. 130165, 1 abr. 2024.
- BARROS, Domingos Rodrigues *et al.* Ariá (*Goepertia allouia*) Brazilian Amazon tuber as a non-conventional starch source for foods. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 168, p. 187–194, 31 jan. 2021.
- BARROSO, Aline Gonçalves; GARCIA, Rafael Henrique; MASTRO, Nélida Lucia Del. X-ray diffraction pattern and relative crystallinity of irradiated arrowroot starch. **Brazilian Journal of Radiation Sciences**, v. 7, n. 2A (Suppl.), 19 fev. 2019.
- BASTOS, Valeria. Biopolímeros e polímeros de matérias-primas renováveis alternativos aos petroquímicos. **Revista do BNDES**, v. 14, p. 201–234, 1 dez. 2007.
- BEATRIZ, Adilson; ARAÚJO, Yara J. K.; LIMA, Dênis Pires de. Glicerol: um breve histórico e aplicação em sínteses estereosseletivas. **Química Nova**, v. 34, p. 306–319, 2011.
- BEN, Zhu Ying; SAMSUDIN, Hayati; YHAYA, Mohd Firdaus. Glycerol: Its properties, polymer synthesis, and applications in starch based films. **European Polymer Journal**, v. 175, p. 111377, 15 jul. 2022.

BENITEZ, José J. *et al.* Transparent, plasticized cellulose-glycerol bioplastics for food packaging applications. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 273, p. 132956, 1 jul. 2024.

BERTOFT, Eric. Understanding Starch Structure: Recent Progress. **Agronomy**, v. 7, n. 3, 24 ago. 2017.

BHATIA, Saurabh *et al.* Development and Characterization of Potato Starch–Pectin-Based Active Films Enriched With Juniper Berry Essential Oil for Food Packaging Applications. **Food Science & Nutrition**, v. 13, n. 1, p. e4688, 2025.

BIDARI, Rusta *et al.* Characterization of Biodegradable Films Made from Taro Peel (*Colocasia esculenta*) Starch. **Polymers**, v. 15, n. 2, p. 338, 9 jan. 2023.

BRASIL, Paisagismo. **ARIÁ. Paisagismo Brasil**, 22 fev. 2016. Disponível em: <<https://paisagismobrasilblog.wordpress.com/2016/02/22/aria/>>. Acesso em: 9 fev. 2026

BRASKEM. **EFEITO DOS PLASTIFICANTES NA DUREZA DOS COMPOSTOS DE PVC**. , 2025. Disponível em: <https://www.braskem.com.br/portal/principal/arquivos/html/boletm_tecnico/plastificantes.pdf>

BUENO, Carlos Roberto; WEIGEL, Peter. Brotação e desenvolvimento inicial de rizomas de Ariá (*Calathea allouia* (Aubl.) Lindl.). **Acta Amazonica**, v. 11, n. 2, p. 407–410, 1981.

CANEVAROLO JR, Sebastião V. Ciência dos polímeros. **Artiliber editora, São Paulo**, v. 24, p. 18, 2002.

CARISSIMI, Mariel; FLÔRES, Simone Hickmann; RECH, Rosane. Effect of microalgae addition on active biodegradable starch film. **Algal Research**, v. 32, p. 201–209, 1 jun. 2018.

CARVALHO, Ana Paula Miléo Guerra *et al.* Dielectric barrier atmospheric cold plasma applied to the modification of Ariá (*Goeppertia allouia*) starch: Effect of plasma generation voltage. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 182, p. 1618–1627, 1 jul. 2021a.

CARVALHO, Ana Paula Miléo Guerra De *et al.* ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICO DO AMIDO DE ÁRIA (*GOEPPERTIA ALLOUIA* (AUBL.) BORCHS. & S. SUÁREZ). *In*: VERRUCK, Silvani (Ed.). **Avanços em Ciência e Tecnologia de Alimentos - Volume 3**. 1. ed. [S.l.]: Editora Científica Digital, 2021b. p. 255–265.

CARVALHO, Gabriel Gomes de Moura; PINTO, João Vitor Kruger Velten Rodrigues. **BIODIESEL: UMA REVISÃO DE LITERATURA DO USO DO GLICEROL RESIDUAL**. 2023.

CAZÓN, Patricia *et al.* Polysaccharide-based films and coatings for food packaging: A review. **Food Hydrocolloids**, 30th anniversary special issue. v. 68, p. 136–148, 1 jul. 2017.

CHAKRABORTY, Ishita *et al.* An Insight into the Gelatinization Properties Influencing the Modified Starches Used in Food Industry: A review. **Food and Bioprocess Technology**, v. 15, n. 6, p. 1195–1223, 1 jun. 2022.

CONDE, LUÍS MIGUEL DOS SANTOS. **Polímeros naturais para aplicações biomédicas**. Tese—Portugal: Universidade do Minho, jan. 2011.

CORRADINI, Elisângela *et al.* Estudo comparativo de amidos termoplásticos derivados do milho com diferentes teores de amilose. **Polímeros**, v. 15, p. 268–273, 2005.

CORTIZO, María Susana; OBERTI, Tamara Gisela; PERUZZO, Pablo José. **Introducción a la síntesis de polímeros**. [S.l.]: Editorial de la Universidad Nacional de La Plata (EDULP), 2023.

D20 COMMITTEE. **Guide for Determination of Thickness of Plastic Film Test Specimens**. ASTM International, , [S.d.]. Disponível em: <<http://www.astm.org/cgi-bin/resolver.cgi?D6988-21>>. Acesso em: 9 fev. 2026

DENARDIN, Cristiane Casagrande; SILVA, Leila Picolli da. Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com propriedades físico-químicas. **Ciência Rural**, v. 39, p. 945–954, 2009.

DONMEZ, Dila *et al.* Characterization of starch–water interactions and their effects on two key functional properties: starch gelatinization and retrogradation. **Current Opinion in Food Science**, v. 39, p. 103–109, 1 jun. 2021.

EDO, Great Iruoghene *et al.* Evaluating the environmental impact of biopolymer-based packaging compared to conventional plastics in the food industry. **Sustainable Chemistry One World**, v. 8, p. 100145, 1 dez. 2025.

FARIAS, Silvana Silveira de *et al.* BIOPOLÍMEROS: UMA ALTERNATIVA PARA PROMOÇÃO DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. **REVISTA GEONORTE**, v. 7, n. 26, p. 61–77, 10 set. 2016.

FEROLDI, Ana Clara; BRIONE, Amanda Bonatto; ARAUJO, Eduardo Santos. **BIOPLÁSTICO PROVENIENTE DO AMIDO**. [S.d.].

FILIPINI, Gabriel da Silva; ROMANI, Viviane Patrícia; GUIMARÃES MARTINS, Vilásia. Biodegradable and active-intelligent films based on methylcellulose and jambolão (*Syzygium cumini*) skins extract for food packaging. **Food Hydrocolloids**, v. 109, p. 106139, 1 dez. 2020.

FRANCHETTI, Sandra Mara Martins; MARCONATO, José Carlos. Polímeros biodegradáveis - uma solução parcial para diminuir a quantidade dos resíduos plásticos. **Química Nova**, v. 29, p. 811–816, 2006.

GONZÁLEZ-TORRES, Berenice *et al.* Combination of Sorbitol and Glycerol, as Plasticizers, and Oxidized Starch Improves the Physicochemical Characteristics of Films for Food Preservation. **Polymers**, v. 13, n. 19, p. 3356, jan. 2021.

GUTIÉRREZ, Tomy J. *et al.* Structural properties and *in vitro* digestibility of edible and pH-sensitive films made from guinea arrowroot starch and wastes from wine manufacture. **Carbohydrate Polymers**, v. 184, p. 135–143, 15 mar. 2018.

HAZROL, M. D. *et al.* Corn Starch (*Zea mays*) Biopolymer Plastic Reaction in Combination with Sorbitol and Glycerol. **Polymers**, v. 13, n. 2, 11 jan. 2021.

ILVIS, Pablo *et al.* Nanoscopic Characterization of Starch-Based Biofilms Extracted from Ecuadorian Potato (*Solanum tuberosum*) Varieties. **Polymers**, v. 16, n. 13, p. 1873, 30 jun. 2024.

JADERI, Zeinab *et al.* Effects of glycerol and sorbitol on a novel biodegradable edible film based on *Malva sylvestris* flower gum. **Food Science & Nutrition**, v. 11, n. 2, p. 991–1000, 2023.

JAGADEESAN, Sreeshna; GOVINDARAJU, Indira; MAZUMDER, Nirmal. An Insight into the Ultrastructural and Physiochemical Characterization of Potato Starch: a Review. **American Journal of Potato Research**, v. 97, n. 5, p. 464–476, 1 out. 2020.

JAKOBEK, Lidija *et al.* Starch-based films with incorporated apple peel and chokeberry polyphenols. **MESO: Prvi hrvatski časopis o mesu**, v. 26., n. 6., p. 497–508, 7 dez. 2024.

JUNIOR, José Francisco dos Santos Silveira. **Caracterização de amidos de plantas alimentícias não convencionais (PANC's) e relação com amidos fisicamente modificados de mandioca**. Tese (Doutorado)—Santa Catarina: UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA, 2022.

JUSTINO, Heloisa de Fátima Mendes *et al.* Principais biopolímeros derivados de subprodutos alimentares: uma breve revisão. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 8, n. 7, p. 14711–01e, 2022.

KHOTSAENG, Nuanchai *et al.* Effect of Glycerol Concentrations on the Characteristics of Cellulose Films from Cattail (*Typha angustifolia* L.) Flowers. **Polymers**, v. 15, n. 23, 24 nov. 2023.

KIM, Min Soo *et al.* A Review of Biodegradable Plastics: Chemistry, Applications, Properties, and Future Research Needs. **Chemical Reviews**, 20 jul. 2023.

KINUPP, Valdely Ferreira; LORENZI, Harri. **Plantas Alimentícias Não Convencionais (PANC) no Brasil**. São Paulo: Instituto Plantarum de Estudos da Flora, 2014.

KUNDURU, Konda Reddy; BASU, Arijit; DOMB, Abraham. Biodegradable Polymers: Medical Applications. *In: [S.l.: S.n.]*. p. 1–22.

LI, Yibo *et al.* Relationships between X-ray Diffraction Peaks, Molecular Components, and Heat Properties of C-Type Starches from Different Sweet Potato Varieties. **Molecules**, v. 27, n. 11, 23 maio 2022.

LU, Jiamin. Polymer Materials in Daily Life: Classification, Applications, and Future Prospects. **E3S Web of Conferences**, v. 406, p. 01034, 2023.

MALI, Suzana; GROSSMANN, Maria Victória Eiras; YAMASHITA, Fábio. Filmes de amido: produção, propriedades e potencial de utilização. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, n. 1, p. 137, 30 abr. 2010.

MALKI, M. K. S. *et al.* Characterization of arrowroot (*Maranta arundinacea*) starch as a potential starch source for the food industry. **Heliyon**, v. 9, n. 9, 1 set. 2023.

MARQUES, Chelzea Mara Mota Cabral *et al.* Potencial agrônômico e nutricional de clones de ariá (*Calathea allouia* (Aubl.) Lindl.) avaliados em Manaus, Amazonas. **AGRICULTURA FAMILIAR NO AMAZONAS**, p. 71, 2013.

MARQUES, Chelzea Mara Mota Cabral *et al.* Caracterização física e química de clones de ariá (*Calathea allouia*) / Characterization physical and chemical of clones ariá (*Calathea allouia*). **Brazilian Applied Science Review**, v. 3, n. 5, p. 2052–2064, 8 out. 2019.

MELO, Marília Sbragia Del Bem [UNESP. Mandioca, batata-doce e araruta como matérias primas para obtenção de amidos fosfatados. 19 nov. 2019.

MOHAMMED, Abdulrahman A. B. A. *et al.* Effect of Various Plasticizers in Different Concentrations on Physical, Thermal, Mechanical, and Structural Properties of Wheat Starch-Based Films. **Polymers**, v. 15, n. 1, 22 dez. 2022.

MOJO-QUISANI, Antonieta *et al.* Development of Edible Films Based on Nostoc and Modified Native Potato Starch and Their Physical, Mechanical, Thermal, and Microscopic Characterization. **Polymers**, v. 16, n. 17, 22 ago. 2024.

MOTA, Eliane N. *et al.* PROCESSABILIDADE DE AMIDO TERMOPLÁSTICO. [S.d.].

MUKHERJEE, Chandrapaul *et al.* Recent advances in biodegradable polymers – Properties, applications and future prospects. **European Polymer Journal**, v. 192, p. 112068, 23 jun. 2023.

NETO, GERALDO CARDOSO DE OLIVEIRA *et al.* PRODUÇÃO MAIS LIMPA: ESTUDO DA VANTAGEM AMBIENTAL E ECONÔMICA NA RECICLAGEM DE POLÍMEROS. v. 40, jun. 2015.

NOGUEIRA, Gislaine Ferreira; FAKHOURI, Farayde Matta; DE OLIVEIRA, Rafael Augustus. Extraction and characterization of arrowroot (*Maranta arundinaceae* L.) starch and its application in edible films. **Carbohydrate Polymers**, v. 186, p. 64–72, 15 abr. 2018.

NOLASCO, MARCOS VINÍCIUS FLORES MIRANDA. **Desenvolvimento e avaliação de filmes a partir de resíduo integral de cascas de batata (*Solanum tuberosum* L.)**. Dissertação—Campinas: UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS, 2023.

OLIVEIRA, Tulio Cezar de Aguiar *et al.* Plásticos no meio ambiente: impacto do descarte inadequado. **Tudo é Ciência: Congresso Brasileiro de Ciências e Saberes Multidisciplinares**, n. 1, p. 1–8, 28 out. 2022.

OTERO-HERRERA, Ana *et al.* Development of edible films based on sweet potato (*Ipomoea batatas*) starch and their application in candy packaging. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 299, p. 140031, 1 abr. 2025.

PARKER, Roger; RING, S. G. Aspects of the Physical Chemistry of Starch. **Journal of Cereal Science**, v. 34, p. 1–17, 1 jul. 2001.

PEREIRA, Carlos Vítor Lamarão. Trabalho de Conclusão de Curso de graduação apresentado a Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Amazonas como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos. 2023.

PILLA BARROSO, Ismael Andrés. **Desarrollo de un material termoplástico obtenido a partir de almidón de oca (*Oxalis tuberosa*) y plastificantes**. bachelorThesis—[S.l.]: Quito, 2017., 15 fev. 2017.

QASIM, Anwar. **SOIL BURIAL DEGRADATION OF POLYPROPYLENE/ STARCH BLEND**. [S.l.: S.n.].

RECICLAGEM DE PLÁSTICOS NO BRASIL RECUPERA-SE EM 2024 E ÍNDICE PARA EMBALAGENS ATINGE 24,4% - Abiplast - Associação Brasileira da Indústria do Plástico, 18 dez. 2025. Disponível em: <<https://www.abiplast.org.br/noticias/reciclagem-de-plasticos-no-brasil-recupera-se-em-2024-e-indice-para-embalagens-atinge-244/>>. Acesso em: 16 jan. 2026

RIBEIRO, Luiz Fernando Teixeira Soares *et al.* Do resíduo ao recurso: usos potenciais do glicerol excedente da produção de biodiesel. **Caderno Pedagógico**, v. 22, n. 14, p. e22579–e22579, 30 dez. 2025.

RIBEIRO SANCHES, Marcio Augusto *et al.* Development, characterization and optimization of biopolymers films based on starch and flour from jabuticaba (*Myrciaria cauliflora*) peel. **Food Chemistry**, v. 343, p. 128430, 1 maio 2021.

SANTOS, Maria Gabriele Meirellis dos. Síntese e caracterização de filme biodegrável oriundo de amido de ariá (*Goepertia allouia*) modificado fisicamente. 3 ago. 2023.

SATCHANSKA, Galina; DAVIDOVA, Slavena; PETROV, Petar D. Natural and Synthetic Polymers for Biomedical and Environmental Applications. **Polymers**, v. 16, n. 8, p. 1159, jan. 2024.

SETTE, Soleni dos Santos Kuhn *et al.* Benefícios da produção e utilização de polímeros biodegradáveis em relação ao polímero convencionais: uma revisão de literatura. **REVISTA DELOS**, v. 17, n. 51, p. 325–342, 26 jan. 2024.

SHANBHAG, Chetana *et al.* Formulation and characterization of starch-based novel biodegradable edible films for food packaging. **Journal of Food Science and Technology**, v. 60, n. 11, p. 2858–2867, nov. 2023.

SHIMAZU, Angélica Aimoto; MALI, Suzana; GROSSMANN, Maria Victória Eiras. Efeitos plastificante e antiplastificante do glicerol e do sorbitol em filmes biodegradáveis de amido de mandioca. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 28, n. 1, p. 79–88, 30 jul. 2007.

SILVA, Everton Menezes da. Produção e caracterização de filmes biodegradáveis de amido de pinhão. 2011.

SILVA, Fernando Afonso da; RABELO, Denilson. O Uso Sustentável de Polímeros. **Revista Processos Químicos**, v. 11, n. 21, p. 9–16, 2 jan. 2017a.

SINGH, Gurvendra Pal *et al.* Effect on the Properties of Edible Starch-Based Films by the Incorporation of Additives: A Review. **Polymers**, v. 14, n. 10, 12 maio 2022.

SIRBU, Elena-Emilia *et al.* Influence of Plasticizers Concentration on Thermal, Mechanical, and Physicochemical Properties on Starch Films. **Processes**, v. 12, n. 9, 18 set. 2024.

SONG, Hong-geon *et al.* Comparative study on physicochemical properties of starch films prepared from five sweet potato (*Ipomoea batatas*) cultivars. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 189, p. 758–767, 31 out. 2021.

SOUSA ROSAS, Luzilene *et al.* Filmes de amido de mandioca reforçados com nanocelulose e adição de óleo de buriti (*Mauritia Flexuosa* L.). **Revista ION**, v. 36, n. 3, p. 53–62, dez. 2023.

SUN, Hongrui *et al.* Effects of treatment methods on the formation of resistant starch in purple sweet potato. **Food Chemistry**, v. 367, p. 130580, 15 jan. 2022.

TAFA, Kenenisa Dekeba; SATHEESH, Neela; ABERA, Worku. Mechanical properties of tef starch based edible films: Development and process optimization. **Heliyon**, v. 9, n. 2, 1 fev. 2023.

TARIQUE, J.; SAPUAN, S. M.; KHALINA, A. Effect of glycerol plasticizer loading on the physical, mechanical, thermal, and barrier properties of arrowroot (*Maranta arundinacea*) starch biopolymers. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 13900, 6 jul. 2021a.

TEIXEIRA, Lorisa Simas *et al.* Efficiency of Amazonian tubers flours in modulating gut microbiota of male rats. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 38, p. 1–6, 1 dez. 2016.

TEKMAN, Mine B. *et al.* **Impacts of plastic pollution in the oceans on marine species, biodiversity and ecosystems**. [S.l.]: Zenodo, 8 fev. 2022. Disponível em: <<https://zenodo.org/record/5898684>>. Acesso em: 15 jan. 2026.

VAREJÃO, Maria de Jesus Coutinho; RIBEIRO, Maria Nilce de Sousa; BUENO, Carlos Roberto. Composição mineral do ariá (*Calathea allouia* (Aubl.) Lindl. **Acta Amazonica**, v. 18, n. suppl 1-2, p. 477–480, 1988.

VIEIRA, Melissa Gurgel Adeodato *et al.* Natural-based plasticizers and biopolymer films: A review. **European Polymer Journal**, v. 47, n. 3, p. 254–263, 1 mar. 2011.

WANG, Ying *et al.* A study focusing on the distinct fine structure of starch in mealy and waxy potatoes. **Scientific Reports**, v. 15, n. 1, p. 13895, 22 abr. 2025.