



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS



**SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE FILME BIODEGRÁVEL ORIUNDO DE  
AMIDO DE ARIÁ (*Goepertia Allowia*) MODIFICADO FISICAMENTE**

MARIA GABRIELE MEIRELLIS DOS SANTOS

Manaus-AM

2023

MARIA GABRIELE MEIRELLIS DOS SANTOS

**SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE FILME BIODEGRÁVEL ORIUNDO DE  
AMIDO DE ARIÁ (*Goepertia allouia*) MODIFICADO FISICAMENTE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia de Materiais, da Universidade Federal do Amazonas, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Materiais.

Orientador: Virginia Mansanares Giacon

Manaus-AM

2023

## Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

S237s Santos, Maria Gabriele Meirellis dos  
Síntese e caracterização de filme biodegradável oriundo de amido de ariá (*Goeppertia allouia*) modificado fisicamente / Maria Gabriele Meirellis dos Santos . 2023  
69 f.: il. color; 31 cm.

Orientadora: Virginia Mansanares Giacon  
TCC de Graduação (Engenharia de Materiais) - Universidade Federal do Amazonas.

1. Biofilmes. 2. Amido. 3. Ultrassom. 4. *Goeppertia allouia*. I. Giacon, Virginia Mansanares. II. Universidade Federal do Amazonas III. Título

**SÍNTESE E CARACTERIZAÇÃO DE FILME BIODEGRÁVEL ORIUNDO DE  
AMIDO DE ARIÁ (*Goepertia allouia*) MODIFICADO FISICAMENTE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Materiais da Universidade Federal do Amazonas (UFAM) como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Materiais

Este trabalho foi defendido e aprovado pela banca em 06/03/2023.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Virginia Giacon - UFAM  
Orientadora

---

Prof. Dr. Carlos Vitor Lamarão - UFAM  
Avaliadora

---

Prof. MSc MSc. Camila da Costa Pinto - IFAM

## **Dedicatória**

*Dedico à minha família, em especial à  
estrela no céu chamada João Lúcio.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente minha família, em especial ao meu pai João Avelino dos Santos e a minha irmã Janderlice Meirellis, que sempre foram meu porto seguro.

Agradeço aos meus amigos que estão comigo mesmo antes de adentrar o mundo acadêmico Luan Fellipe e Evellin Repolho. Aos amigos que vida me deu em especial Mayra e Robert.

Agradeço à Universidade Federal do Amazonas (UFAM) e ao curso de Engenharia de Materiais, por todas as oportunidades e ao incentivo pela pesquisa ao longo da graduação e as amizades que esse mundo me proporcionou. Dentre essas amizades, minha gratidão especial vai para Ana Paula, Letícia Alves, Hannah Litaiff, Matheus, Yves, Larissa Medeiros, Mayara Rashna e Juliana Silva, que sempre me deram forças para continuar nos momentos mais turbulentos dessa jornada.

Agradeço aos meus antigos orientadores de PIBIC, José Carlos Calado e Pedro Campelo pela confiança e pelo aprendizado. A minha querida orientadora, Virgínia Giacon, por todo acolhimento, compreensão, oportunidade, carinho, amizade, sabedoria e ensinamentos.

Agradeço todo acolhimento, compreensão e paciência aos amigos do Laboratório de Materiais Compósitos da Amazônia (LaMAC), em especial à Gabriel Messias, Claudia Muniz e Gabrielle Machado.

Agradeço ao Laboratório de Polímeros Nanoestruturados (NANOPOL), pelo o suporte e em especial aos meus amigos Ronald Zico e Ana Luísa.

E uma menção especial as indústrias do Chocolate e do Café, que sempre me manterão de pé e com energia para enfrentar essa jornada.

Obrigada a todos que me ajudaram nessa caminhada.

## RESUMO

A poluição ocasionada pelo acúmulo de resíduos plásticos tornou-se um agravante devido ao gerenciamento inadequado dos aproximadamente 12 bilhões de toneladas de resíduos plásticos previstos para serem transferidos ou descartados no meio ambiente até o ano de 2050. Uma alternativa para esta problemática é produção de bioplásticos a partir de fontes naturais como amido por seu caráter biodegradável e baixo custo econômico. O amido de ariá vem sendo alvo de pesquisa recentemente na Universidade Federal do Amazonas. Porém o amido nativo geralmente apresenta baixas propriedades. Para melhorar propriedades do amido utiliza-se a modificação física de amido, pelo baixo custo, tempo e por ser considerada uma técnica verde. Portanto, o presente trabalho teve como objetivo verificar a possibilidade da criação de biofilmes à base de amido modificado via ultrassom e comparar com filmes à base de amido nativo. O amido foi modificado por 30 minutos e 60 minutos pela técnica de Ultrassom e caracterizado pela técnica de Microscópica Eletrônica de Varredura (MEV) para investigar a modificação nos grânulos, pela análise térmica de Termogravimetria e Calorimetria Diferencial Explotatória (TG/DSC), a estrutura do amido foi realizada pela técnica de Difração de Raio – X (DRX) e para verificação de dos grupos funcionais foi utilizada a Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR). O estudo verificou que foi possível a obtenção de filme à base de amido ariá nativo e modificado, os filmes foram caracterizados por (MEV), Umidade, Espessura e solubilidade. Foi possível verificar que o filme modificado por ultrassom a 30 minutos apresentou melhor homogeneidade, maior transparência. Os filmes à base amido de ariá apresentaram baixa solubilidade e alta umidade. Além disso os filmes apresentaram espessura abaixo de 1 milímetro.

**Palavra Chaves:** Biofilmes, Amido, Ultrassom, (*Goeppertia allouia*)

## ABSTRACT

The pollution caused by the accumulation of plastic waste has become an aggravating factor due to inadequate management of the approximately 12 billion tons of plastic waste expected to be transferred or disposed of in the environment by the year 2050. An alternative to this problem is the production of bioplastics from natural sources such as starch because of its biodegradable character and low economic cost. Ariá starch has been the target of research recently at the Federal University of Amazonas. However, native starch generally has low properties. To improve starch properties, physical modification of starch is used, for the low cost, time and because it is considered a green technique.

Therefore, the present work aimed to verify the possibility of creating biofilms based on modified starch via ultrasound and compare with films based on native starch. The starch was modified for 30 minutes and 60 minutes by ultrasound technique and characterized by the Technique of Microscopic Scanning Electronics (SEM) to investigate the modification in the granules, by thermal analysis of Thermogravimetry and Explotatory Differential Calorimetry (TG/DSC), the starch structure was performed by the Ray Diffraction - X (XRD) technique and fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) was used to verify the functional groups. The study verified that it was possible to obtain film based on native ariá starch and modified, the films were characterized by (SEM), Moisture, Thickness and solubility. It was possible to verify that the film modified by ultrasound at 30 minutes presented better homogeneity, greater transparency. The films based on ariá starch showed low solubility and high humidity. In addition, the films presented thickness below 1 mm.

**Keywords:** Biofilms, Starch, Ultrasound, (*Goepertia allouia*)



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1: Estrutura química da Amilose .....</b>	<b>24</b>
<b>Figura 2: Estrutura química da Amilopectina .....</b>	<b>24</b>
<b>Figura 3: Representação do processo de Gelatinização. ....</b>	<b>26</b>
<b>Figura 4: Ariá (<i>Goeppertia allouia</i> (Aubl.) Borchs. &amp; S. Suárez).....</b>	<b>31</b>
<b>Figura 5: Representação esquemática do processo de obtenção dip coating filmes.....</b>	<b>35</b>
<b>Figura 6: Processo de spin- coating .....</b>	<b>36</b>
<b>Figura 7: Representação esquemática do processo de obtenção de filme por casting .....</b>	<b>37</b>
<b>Figura 8: Etapas da Extração do Amido: (a) ariá após colheita e (b) higienização do ariá .....</b>	<b>39</b>
<b>Figura 9: Extração do Leite de Amido .....</b>	<b>39</b>
<b>Figura 10: Modificação US do amido de ariá .....</b>	<b>40</b>
<b>Figura 11: Etapas da produção do filme a base de amido de ariá .....</b>	<b>42</b>
<b>Figura 12: Teste de umidade.....</b>	<b>43</b>
<b>Figura 13: Filme de amido: (a) e (b) filmes nativos; (c) e (d) filmes US 30; (d) e (e) filmes US60 .....</b>	<b>48</b>
<b>Figura 14: Difração de Raio-X do amido .....</b>	<b>50</b>
<b>Figura 15: Morfologia do Amido Nativo e modificado .....</b>	<b>51</b>
<b>Figura 16: MEV filmes à base de amido nativo e modificado .....</b>	<b>52</b>
<b>Figura 17: Análise de Termogravimetria: (a) Curva de TG; (b) Curva de DTG .....</b>	<b>54</b>
<b>Figura 18: Curvas DSC do amido.....</b>	<b>56</b>
<b>Figura 19: Gráfico de FTIR do amido nativo e modificado .....</b>	<b>57</b>
<b>Figura 20: Gráfico de FTIR dos filmes de amido nativo e modificado.....</b>	<b>58</b>

## LISTA DE EQUAÇÃO

<b>Equação 1: Índice De Solubildade.....</b>	<b>44</b>
--	-----------

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1: Composição Química do Ariá .....</b>	<b>32</b>
<b>Tabela 2: Composição mineral do Ariá (<i>Goeppertia allouia</i> (Aubl.) Borchs. &amp; S. Suárez) correspondente a 100 g .....</b>	<b>33</b>
<b>Tabela 3: Formulação dos Filmes de Ariá .....</b>	<b>40</b>
<b>Tabela 4: Dados de umidade amido e filme .....</b>	<b>49</b>
<b>Tabela 5: índice de Solubilidade Filmes .....</b>	<b>49</b>
<b>Tabela 6: Espessura dos filmes .....</b>	<b>53</b>

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

$\mu\text{m}$  – Micrômetro

US- Ultrassom

DRX- Difração de Raio-X

G - Gramatura

P – Peso do Filme

A = área

g- Gramas

DSC – Calorimetria Diferencial Exploratória

TG - Termogravimetria

MEV - Microscopia Eletrônica De Varredura

US 30 – Amido Modificado por ultrassom à 30 minutos

US 60 – Amido Modificado por ultrassom à 60 minutos

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>17</b>
<b>3</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>18</b>
3.1	OBJETIVO GERAL .....	18
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	18
<b>4</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>19</b>
4.1	PLÁSTICOS.....	19
4.2	EMBALAGENS PLÁSTICAS.....	20
4.3	BIOPLÁSTICOS .....	21
4.4	AMIDO.....	23
4.4.1	Filmes de Amido.....	27
4.4.2	Amido Modificado .....	28
	4.2.2.1 Modificação Física por Ultrassom.....	29
4.5	ARIÁ .....	31
4.5.1	Amido de Ariá .....	33
4.6	MÉTODOS DE PREPARAÇÃO DE FILMES DE AMIDO.....	34
4.6.1	Casting.....	36
<b>5</b>	<b>METODOLOGIA.....</b>	<b>38</b>
5.1	MATERIAIS .....	38
5.2	MÉTODOS.....	38
5.2.1	Obtenção do amido .....	38
5.2.2	Modificação do Amido .....	39
5.3	OBTENÇÃO DO FILME.....	40
5.3.1	Formulação do Filme .....	40
5.3.2	Filmes à base de amido nativo .....	41
5.3.3	Obtenção dos Filmes Modificados .....	42
5.4	CARACTERIZAÇÕES .....	43
5.4.1	Espessura .....	43
5.4.2	Teor de Umidade .....	43
5.4.3	Solubilidade .....	44
5.4.4	Difração de Raios-X (DRX).....	44
5.4.5	Microscopia Eletrônica de Varredura.....	45

5.4.6	Solubilidade em Água .....	45
5.4.7	Análise Térmica.....	46
5.4.8	Espectroscopia do Infravermelho por Transformada de Fourier.....	46
5.4.9	Análise Estatística.....	46
<b>6</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>47</b>
6.1	OBTENÇÃO DO FILME .....	47
6.2	ESPESSURA .....	49
6.3	TEOR DE UMIDADE.....	49
6.4	DIFRAÇÃO DE RAIOS-X (drx) .....	50
6.5	MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA.....	51
6.6	SOLUBILIDADE .....	53
6.7	ANÁLISES TÉRMICAS.....	54
6.7.1	Termogravimetria (TG) .....	54
6.7.2	Calorimetria Diferencial Exploratória (DSC).....	55
6.8	ESPECTROSCOPIA DO INFRAVERMELHO POR TRANSFORMADA DE FOURIER.....	56
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>59</b>
<b>8</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>60</b>
	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>61</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O problema da poluição ambiental global está se tornando cada vez mais grave, levando as pessoas a uma consciência mais vital. A poluição ocasionada pelo acúmulo de resíduos plásticos tornou-se um agravante devido ao gerenciamento inadequado dos aproximadamente 12 bilhões de toneladas de resíduos plásticos previstos para serem transferidos ou descartados no meio ambiente até o ano de 2050 (UDAYAKUMAR et al., 2021). A produção do plástico começou em 1950 com 1,5 milhão de toneladas e passou para mais de 367 até no ano de 2020 (STATISTA,2021). No ano de 2019, a produção global de plástico alcançou cerca de 368 milhões de toneladas. De acordo com relatório anual Atlas Plástico, foram produzidos em 2020 mais de 11 milhões de toneladas de plástico, sendo o Brasil considerado o 4º maior produtor de lixo do mundo. Pela alta produção e aplicação dos plásticos, tem-se uma grande quantidade de geração de resíduos sólidos que representam 85% dos resíduos descartados em rios e mares (ONU, 2021), o que ocasiona perigos ambientais. A poluição plástica dos ambientes marinhos é reconhecida como uma ameaça em escala global com efeitos adversos que vão do nível molecular ao desempenho fisiológico e à saúde do organismo, além da perda de serviços ecossistêmicos (AVIO et al., 2017).

O desenvolvimento de novos materiais ecologicamente corretos tornou-se um importante nicho indústria. A engenharia de materiais, além de desenvolver produtos mais eficientes e mais baratos, também verifica a possibilidade de desenvolvimento de materiais ecologicamente sustentáveis a partir de resíduos e subprodutos agroindustriais. Estes resíduos podem ser uma alternativa viável no desenvolvimento de filmes biodegradáveis, os quais podem ser aplicados na fabricação de embalagens alimentícias. Dentre as matérias-primas as quais podem ser utilizadas, nas últimas décadas, há um crescimento em pesquisas utilizando amido como base para produção desses biomateriais.

O amido é um polímero natural, biodegradável, abundante, biocompatível, de baixo custo e atóxico, formado por polissacarídeos. Este polissacarídeo é um dos mais importantes e abundantes disponíveis na natureza. O amido é o principal carboidrato de reserva para as plantas e uma fonte considerável de nutrição dos seres humanos e animais. São acumulados nas plantas devido aos resíduos de glicose formados durante a fotossíntese, podendo ser encontrado no milho, trigo, mandioca, cevada, arroz, inhame, batata e aveia (CARVALHO et al., 2021). Os amidos apresentam diversas aplicações industriais, como papel, têxteis, materiais de

construção, produtos farmacêuticos e químicos. A sua versatilidade é proporcionada pelas suas características naturais como inchamento, gelatinização, viscosidade, agente espessante e ligante, formação de filme, biodegradabilidade e hidrofiliçidade (JANSEN, 2001).

Além das aplicações tradicionais a partir da década de 70, o amido vem sendo pesquisado para utilização em filmes poliméricos biodegradáveis. O amido vem se destacando como biopolímero para uso em embalagens, devido suas vantagens, como a alta taxa de degradação e vantagem econômica (ZHOU, 2015). São divididos de acordo com a proveniência da fonte, seja convencional como milho, trigo, mandioca, arroz, inhame, batata., ou não-convencional, como amidos extraídos de tubérculos e raízes como semente urucum, bambu, Maori Potato e *Caryota urens*. (BARROS et al, 2021).

Dentre essas fontes não-convencionais, tem-se o ariá (*Goepertia allouia* (Aubl.) Borchs. & S. Suárez). Esta é uma planta nativa da região Amazônica, cuja folhagem é densa e suas raízes são tuberosas, parecidas com as das batatas, pois possui altos níveis de aminoácidos essenciais em sua composição. Além da Região Amazônica, é característica de países tropicais da América como Porto Rico, Índias Ocidentais, Jamaica, Santa Lúcia, bem como a região do Caribe. Apesar das pequenas quantidades de pesquisa na literatura, alguns pesquisadores da Universidade Federal do Amazonas vêm desenvolvendo pesquisas promissoras com o amido de ariá (CARVALHO et al., 2021 & BARROS et al., 2021).

Por outro lado, o amido nativo apresenta limitações inerentes que podem ser superadas por sua modificação por meio de método químico, enzimático, físico ou uma combinação deles (MOLAVI et al., 2018). Existem estudos relatando o efeito dessas modificações nas propriedades do amido para atender aplicações específicas, tais como para aplicação em filmes biodegradáveis. Os métodos físicos ganharam ampla aceitação por seu baixo custo, segurança e características eficazes, sendo uma alternativa verde (não requer reagentes químicos) para melhorar a aplicabilidade do amido, alcançando propriedades específicas aprimoradas para tipos específicos de aplicações (FONSECA et al., 2021).

Devido algumas propriedades dos amidos nativos, as modificações em amidos vêm amplamente sendo estudada. Um dos fatores em relação a limitação do amido quanto utilizado em filmes devido seu caráter hidrofílico (COLMAN et al., 2016).

Diante do exposto, o presente trabalho teve como objetivo realizar a produção e caracterização de filmes biodegradáveis a partir do amido de ariá modificado fisicamente.



avaliar o efeito da modificação via ultrassom durante 30 minutos (US30) e 60 minutos (US60) nas propriedades dos grânulos de amido, bem como comparar o desempenho de filmes produzidos com amido nativo e modificado, a partir das caracterizações de MEV, TG/DSC, DRX, FTIR e análise de suas propriedades físicas, a fim de atestar a viabilidade do processo de modificação do amido.

## 2 JUSTIFICATIVA

Todos os problemas causados pelo uso de plásticos, seja pelo acúmulo de resíduos da natureza, que gera poluição e danos a *habitats* marinhos, bem como a preocupação com o esgotamento de fontes de matérias-primas não-renováveis, leva a comunidade científica à busca por soluções eficazes que sejam ecologicamente viáveis. Nesse sentido, o incentivo do uso de matéria-prima natural tem sido motivado.

Alinhando com o tema proposto por esse presente trabalho, o uso de amido (matéria-prima obtida de fonte vegetal) para produção de filmes biodegradáveis agrega positivamente na busca por novos materiais de caráter sustentável e com boas propriedades, especialmente pelo fato de o amido ser um material de baixo custo e de ampla disponibilidade. Delimitando para o caso desse presente trabalho, visa-se também a possibilidade de agregar valor a uma fonte de amido pouco convencional, mas que possui potencial de uso: o *ária* (*Goepertia Allouia*).

Por fim, entende-se que o amido nativo possui algumas limitações em aplicações em compósitos poliméricos e buscar formas de solucionar essas desvantagens também é uma preocupação da comunidade científica. Com isso, o estudo do efeito da modificação do amido por ultrassom pode agregar positivamente com resultados relevantes acerca do desempenho do amido tratado para produção de biocompósitos.

### 3 OBJETIVOS

#### 3.1 OBJETIVO GERAL

Produzir e caracterizar biofilmes à base de amido do ariá (*Goepertia Allowia*) na forma nativa e modificada via ultrassom, a fim de verificar se o tratamento exerceu influência nas propriedades dos grânulos e do filme.

#### 3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Modificação do amido de ariá por pelo método físico de Ultrassom por 30 minutos e 60 minutos;
- Síntese do biofilme a partir de amido de ariá nativo e modificado;
- Avaliar a morfologia (via MEV) e a estrutura (via DRX) dos grânulos de amido do ária na forma nativa e modificada via ultrassom;
- Caracterizar termicamente grânulos de amido do ária na forma nativa e modificada via ultrassom, a fim de verificar se a modificação pode gerar influência na temperatura das etapas do processamento dos biofilmes
- Analisar as propriedades estruturais (via FTRIR), do amido nativo e modificado e dos biofilmes.
- Comparar as propriedades físicas de espessura, umidade e solubilidade dos biofilmes à base de amido do ariá (*Goepertia Allowia*) na forma nativa e modificada via ultrassom, a fim de verificar se esse tratamento exerceu influência nas propriedades.

## 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 4.1 PLÁSTICOS

Os polímeros desempenham um papel importante na sociedade, devido sua ampla utilização em diversas áreas, como em embalagens, materiais de construção, indústria automobilística, aeronáutica, entre outros (ABOU-ZEID; MÜLLER & DECKWER, 2001). Estes apresentam um ótimo desempenho em diversas aplicações. Uma das maiores vantagens do uso de materiais poliméricos são suas propriedades de ductilidade e flexibilidade, o que permite que sejam conformados mesmo em geometrias complexas (CALLISTER, 2020). Assim, esses materiais podem ser produzidos em grande escala e com vantagem econômica.

Os polímeros podem ser divididos em borrachas, plásticos e fibras. As principais matérias-primas que podem ser utilizadas como base para fabricação de polímeros são: Matérias-primas naturais, petróleo e hulha ou carvão mineral. O plástico é um polímero sintético ou semissintético que pode ser moldado em qualquer forma, à base de petróleo. O primeiro plástico fabricado foi a baquelite, o qual surgiu há cerca de 100 anos, sendo produzido por Leo Baekeland (1863-1944) em 1912 (CANEVAROLO, 2002).

Até 1950, houve crescimento lento na taxa de produção de plástico. Posteriormente, houve um grande aumento na produção plástica (GEYER, 2017). No ano de 2019, a produção global de plástico alcançou cerca de 368 milhões de toneladas. Já no ano de 2020, houve uma queda de 0,3% na produção de plásticos, sendo registrada em cerca de 367 milhões de toneladas, por conta da pandemia de COVID-19 (JADAUN et al. 2022).

A produção de plásticos advém principalmente da engenharia petroquímica, a qual depende fortemente de recursos petrolíferos não renováveis. Portanto, a produção excessiva de plástico não apenas afeta gravemente o meio ambiente, mas também acelera o esgotamento dos recursos petrolíferos (DEVADAS, 2021).

A poluição de ambientes marinhos por conta do descarte indevido de plásticos é reconhecida como uma ameaça em escala global com efeitos adversos, que vão do nível

molecular ao desempenho fisiológico e à saúde do organismo, além da perda de serviços ecossistêmicos (AVIO et al., 2017).

Apesar da queda na produção deste material ter tido uma queda brusca a nível global, a pandemia intensificou o problema de descarte, tendo em vista o aumento de consumo de embalagens por delivery. Conforme o relatório anual do Atlas Plástico do ano 2021, informou que foram produzidos, em 2020, mais de 11 milhões de toneladas de plástico, sendo o Brasil considerado o 4º maior produtor de lixo do mundo. Por conta da alta demanda de produção e aplicação dos plásticos, tem-se uma grande quantidade de resíduos sólidos gerados, os quais representam 85% dos resíduos descartados em rios e mares (ONU, 2021). O consumo de plástico descartável no setor de delivery aumentou 46%, sendo um dos principais gerador de poluição plástico (OCEANA, 2022).

#### 4.2 EMBALAGENS PLÁSTICAS

O aumento no consumo de embalagens plásticas tem se intensificado por conta de sua ampla gama de aplicações. As embalagens plásticas têm uma vida útil curta, o que gera uma grande quantidade de resíduos. O consumo de alimentos embalados aumentou substancialmente por conta da Pandemia Covid-19. Com uma taxa de crescimento anual de 5%, o mercado mundial de alimentos embalados foi avaliado em US \$ 1,9 trilhão em 2020 (KUMAR, 2021).

Uma das vantagens desse tipo de material é que ela fornece informações aos consumidores sobre o conteúdo, o prazo de validade e as condições de armazenamento do produto (JADAUN et al., 2022). As embalagens de alimentos também mantêm a segurança alimentar, melhoram a vida útil dos alimentos e evitam o desperdício e a perda de alimentos (SINGH, 2017)

Apesar dos benefícios, existem preocupações quanto ao impacto ambiental das embalagens de alimentos ao longo do seu ciclo de vida. Isso se deve por conta de sua principal matéria-prima, pois acaba gerando esgotamento dos recursos naturais e emite gases de efeito estufa adicionais para a atmosfera (HOPEWELL et al., 2009).

O processo de fabricação de embalagens usa muita água e energia e, como resultado, gera inúmeros resíduos nocivos ao meio ambiente (DESHWAL et al., 2019). Além disso, a indústria de gerenciamento de resíduos de embalagens existente carece de circularidade, pois a maioria das embalagens de alimentos é projetada para uso único e descartada após um curto período (GEUEKE et al., 2018). Nas últimas seis décadas, a produção global anual de plástico aumentou acentuadamente de 2 milhões de toneladas em 1950 para 381 milhões de toneladas em 2015. As embalagens dominam o uso de plásticos primários, representando quase 40% do uso de plástico (GEYER et al., 2017).

A maioria dos materiais de embalagem plástica é descartada no mesmo ano em que são produzidos (GEYER et al., 2017). A vida útil deste material é curta e, juntamente com o grande volume de material de embalagem e a baixa reciclagem dos plásticos na maioria das regiões do mundo, cria um problema significativo de resíduos sólidos. Isso ocorre porque, no Brasil, se tem uma grande defasagem na gestão de resíduos, que são indevidamente descartadas em ecossistemas aquáticos. Devido à falta de conscientização ambiental, o brasileiro não faz coleta seletiva em sua residência, o que gera uma grande quantidade de resíduos de sólidos em aterros e lixões (DE OLIVEIRA, 2020).

Nesse sentido, uma solução para os problemas gerados pelas embalagens plásticas é o incentivo à produção de bioembalagens.

### 4.3 BIOPLÁSTICOS

Segundo (NIAOUNAKIS, 2015), um polímero biodegradável pode ser produzido por sistemas biológicos, como microrganismos, plantas e animais. A biodegradação é um termo usado para descrever o processo de decomposição de um material pela natureza. O processo de biodegradação pode ser conduzido por interações químicas, físicas e biológicas. A taxa de biodegradação está relacionada com as características do polímero e o local no corpo onde será exposto (GHANBARZADEH, 2015).

Segundo o (CANAVAROLO, 2002) os polímeros naturais são aqueles sintetizados pela natureza, como borracha, carboidratos, proteínas entre outros. Os polímeros de origem natural

são chamados de biopolímeros pela sua capacidade de biodegradação (MOTTA, 2006). Os biopolímeros são categorizados em relação às suas estruturas químicas (OLATUNJI, 2016).

O polímero biodegradável quando provém de base biológica e é biodegradável ou apresenta ambas as propriedades. Os filmes biodegradáveis podem ser produzidos por sistemas biológicos (microrganismos, plantas e animais) ou sintetizados quimicamente a partir de materiais (por exemplo, milho, açúcar, amido, etc) (NIAOUNAKIS, 2015).

Atualmente, os bioplásticos são produzidos a uma escala de 4 Milhões de Toneladas por ano e espera-se que desempenhem um papel significativo na economia circular para atingir os objetivos de desenvolvimento sustentável, como evitar o uso de combustíveis fósseis, apresentar novas abordagens de degradação ou reciclagem e diminuir os produtos químicos tóxicos nos estágios de fabricação (CHIA et al., 2020, KARAN et al., 2019).

As vantagens ambientais de embalagens produzidas a partir dos bioplásticos são o ciclo de vida, reciclabilidade, efeito climático, ecotoxicidade. Espera-se que a demanda por bioplásticos seja de 7,5 milhões de toneladas em 2026. O setor está crescendo progressivamente e, teoricamente, todos os produtos plásticos descartáveis, como talheres e embalagens, devem ser substituídos por bioplásticos. (BIOPLASTICS, 2022)

Apesar do aumento de e materiais biodegradáveis, eles representam menos de 1% das 320 milhões de toneladas de plástico produzidas na Europa todos os anos (LEONG, 2019). O uso de biopolímeros aumentou 161% de 2016 a 2021 (IBRAHIM et al., 2021). Isso se deve à demanda para reduzir a dependência de combustíveis de petróleo e aumentar a conscientização sobre os efeitos ambientais, além do constante avanço da indústria de plástico de base biológica e da inovação de novos materiais com boas propriedades.

De acordo com os dados obtidos, os principais bioplásticos utilizados para a fabricação na indústria de bioplásticos são PHA, à base de amido e ácido polilático (PLA). (BIOPLASTICS & UPDATE, 2020). Esses polímeros representam aproximadamente 58% da capacidade global de fabricação de bioplásticos.

Os bioplásticos podem ser utilizados para substituir alguns plásticos tradicionais ou sintéticos e seus respectivos usos. De acordo com os números de mercado mais recentes fornecidos pelo site *Europen Bioplastics* em 2021, espera-se, até 2025, a produção global de

bioplásticos aumente de 2,11 milhões de toneladas para mais de 2,87 milhões (BIOPLASTICS & UPDATE, 2020). Embora a indústria global de plásticos biodegradáveis represente apenas 1% do mercado total de bioplásticos, este material tem o potencial de se desenvolver rapidamente nos próximos cinco anos (DEVADAS, 2021)

Vários polímeros naturais estão sendo usados como matérias-primas para a produção de materiais biodegradáveis, como proteínas (proteína de soro de leite, proteína de soja), polissacarídeos (quitosana, celulose, amido) e lipídios (cera de abelha, ácido láurico) (CAZÓN,2017). Dentre estes, os materiais biodegradáveis à base de amido são amplamente estudados e aplicados. Isso ocorre porque o amido é naturalmente abundante, de baixo custo, não tóxico, renovável, biocompatível e pode formar filmes. Além disso, a estrutura polihidroxi do amido facilita a modulação de sua estrutura e propriedades funcionais usando métodos químicos ou enzimáticos. (CAZÓN,2017)

#### 4.4 AMIDO

Os amidos são compostos por polissacarídeos que são polímeros naturais de carboidratos, formados pela união de inúmeros monossacarídeos. Este polissacarídeo é um dos mais importantes e abundantes disponíveis na natureza e atua como um carboidrato de reserva nas espécies vegetais (WHISTLER, 2012). Este também representa aproximadamente 75% da dieta humana mundial (DAMODARAN, 2007).

O amido possui grânulos semicristalinos, e os tamanhos destes podem variar de 2 a 100  $\mu\text{m}$  (Ele é composto por estruturas cristalinas, amorfas e semicristalinas. As formas e os tamanhos dos grânulos são característicos da espécie de planta. Os amidos consistem em dois tipos de polímeros de glicose: a amilose, que essencialmente linear, e amilopectina, que é altamente ramificada (CAMPBELL-PLATT, 2012).

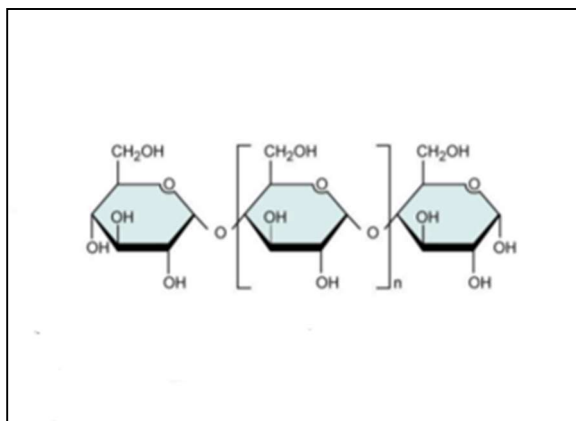
A quantidade de amilopectina e amilose indica a morfologia e estrutura do amido. As cadeias de amilopectina ramificadas possuem partes cristalinas e regiões amorfas, já a região semicristalina é formado por cadeias lineares e ramificadas. Os grânulos de amido são



geralmente insolúveis em água, solubilizando-se fracamente em água fria (DA ROSA ZAVAREZE & DIAS, 2011).

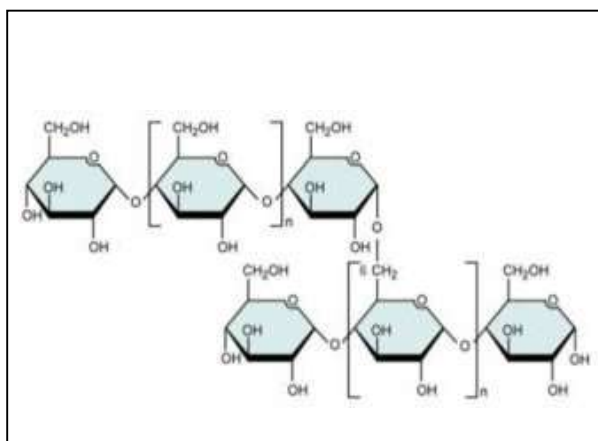
A figura mostra a estrutura química da amilose, apresenta uma cadeia linear de  $\alpha$ -D-glicopirranose ligada por  $\alpha$  (1 $\rightarrow$ 4), a qual constitui em torno de 20 a 25% dos amidos. Já a amilopectina possui cadeia ramificada aleatoriamente ligadas por  $\alpha$  (1 $\rightarrow$ 6). As cadeias ramificadas da amilopectina possuem de 20 a 25 unidades (COULTATE, 2002).

**Figura 1: Estrutura química da Amilose**



Fonte: ORTEGA CAHUI, 2019)

**Figura 2: Estrutura química da Amilopectina**



Fonte: (ORTEGA CAHUI, 2019)

A Figura 2 representa a estrutura da amilopectina é uma macromolécula com maior número de ramificações. Sua forma da cadeia é responsável pelas propriedades da estrutura cristalina do amido e a quantidade de amilopectina presente no grânulo está entre 70-80 % (THARANATHAN, 2005).

A amilopectina é uma molécula maior que a amilose, e possui uma estrutura complexa e pode ser descrita por três tipos de cadeias: Tipo A (cadeias lineares com ligações  $\alpha$ -(1→4)); Tipo B (apresentam ligações  $\alpha$ -(1→4) e  $\alpha$ -(1→6)); Tipo C (que contém ligações  $\alpha$ -(1→4) e  $\alpha$ -(1→6) mais um grupo redutor). As cadeias tipo A formam conglomerados cristalinos, já as cadeias tipo B ramificadas possuem regiões amorfas (ELIASSON, 2004).

Os amidos apresentam tipos de grânulos e em diversos formatos, esferas, elipsoides, túbulos irregulares, e diferentes tamanhos, variando entre 0,1 a 200  $\mu$ m. Os tipos de grânulos podem variar de acordo com espécie da planta (PÉREZ, 2010). A estrutura dos amidos é classificada em três tipos: Tipo A, que são amidos encontrados em cereais; Tipo B, encontrado em tubérculos; Tipo C, encontrado em vagens e é uma mistura de A e B (HIZUKURI, 1983).

A estrutura do amido pode ser dividida em dois constituintes principais: uma porção desordenada formada por ramos de hélices e fragmentos moleculares e um componente semicristalino altamente organizado de curto alcance distribuída em uma conformação helicoidal. Juntos, os componentes se entrelaçam para formar lamela amorfa e cristalina alternando, levando à formação de um grânulo de amido (SREENIVASULU et al., 2004).

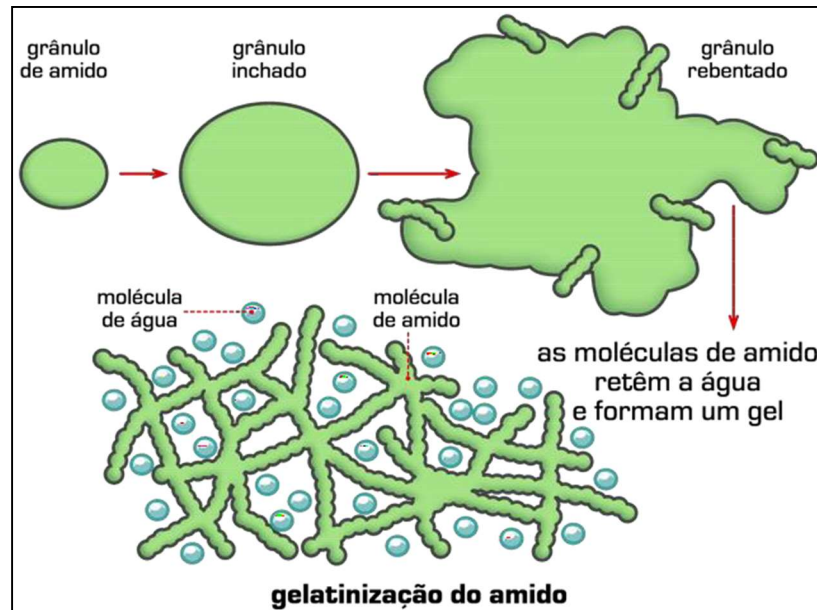
A fração semicristalina pode existir em três polimorfos diferentes: tipo A, encontrado em cereais, tipo B (comum a tubérculos, caules e frutas) e tipo C, geralmente encontrado em feijões. (DA COSTA PINTO, 2022).

Os grânulos de amido são compostos de moléculas de amilose e/ou amilopectina dispostas de modo radial. E podem apresentar regiões cristalinas e não cristalinas em camadas alternadas. As regiões ramificações agrupadas de amilopectina apresentam-se como duplas hélices empacotadas e formam uma quantidade pequena de lamela cristalina (DAMODARAN, 2007).

As moléculas de amido podem sofrer transformações físicas de grande utilidade para indústria. São chamados de processos de gelatinização e a retrogradação. A gelatinização consiste na dilatação dos grânulos em água aquecida e aumento do volume (DE MACEDO,

2015) como pode ser observado na Figura 3. Isso ocorre porque os amidos são insolúveis e água, mas aquecidos com a presença de água, eles sofrem o processo em que há destruição da organização molecular no grânulo e rearranjando a sua estrutura cristalina (YEH, 1996).

**Figura 3: Representação do processo de Gelatinização.**



Fonte: (DE MACEDO, 2015)

Após a gelatinização, quando uma solução de amido é resfriada a uma temperatura suficientemente baixa, as moléculas de amido se reorganizam, as ligações de hidrogênio se reformam e as estruturas ordenadas são restabelecidas. Ao mesmo tempo, a viscosidade da suspensão de amido aumenta e o gel se forma (LIU et al., 2021). Este processo é conhecido como retrogradação do amido.

A estrutura e as propriedades do amido estão intimamente relacionadas com a formação e as propriedades dos materiais biodegradáveis à base de amido. A produção mundial de amido é predominantemente baseada em quatro matérias-primas: milho, trigo, mandioca e batata, com mais de 75% do amido proveniente do milho. No Brasil, a extração de amido em escala industrial é realizada exclusivamente com mandioca e milho. Estima-se que o mercado global de amido atinja 156,3 milhões de toneladas métricas até 2025.

Os materiais à base de amido têm um grande potencial como materiais de embalagem de alimentos biodegradáveis que reduzirão a poluição ambiental. O desempenho funcional dos materiais biodegradáveis à base de amido pode ser ampliado ou melhorado pela adição de outros biopolímeros, aditivos ou modificação dos amidos, bem como pelo uso de novas técnicas de preparação. No entanto, a produção econômica em larga escala de materiais biodegradáveis à base de amido de alto desempenho continua a ser um desafio. (DEVADAS,2021).

#### 4.4.1 Filmes de Amido

O amido está presente em cereais, raízes, tubérculos, frutas e legumes. Devido à sua biocompatibilidade, biodegradabilidade e disponibilidade. Tem sido amplamente utilizado na produção de filmes comestíveis e revestimentos para embalagens de alimentos. O amido de milho, por exemplo, é considerado a alternativa bioplástica mais consolidada para essa aplicação (AZEVEDO, 2019).

Melhorias consideráveis nas propriedades dos filmes de amido foram relatadas com a produção de compósitos, misturas, obtenção de filmes ativos e/ou inteligentes usando aditivos e também por modificações químicas e físicas (REALINI,2014).

O uso do amido de mandioca para a produção de bioplásticos tem sido estudado extensivamente. Os materiais de embalagem à base de amido apresentam alguns benefícios notáveis: biodegradabilidade, fonte renovável (produção sustentável), boa capacidade de barreira e elasticidade de oxigênio, bem como transparência, odor e sabor adequados; apresentam também uma taxa de retrogradação mais baixa em comparação com outros tipos de embalagens, resultando em materiais mais estáveis ao longo do tempo (YUVARAJ, 2021).

Nos filmes poliméricos à base de amido, a fonte desse amido influencia as propriedades mecânicas, solubilização e até na aparência. O grau de cristalinidade pode ser o resultado da organização estrutural das cadeias de amilose e amilopectina, que dependem da fonte do amido e do tipo de extração. Dependendo do grau de cristalização do amido filmes podem ser tornar mais rígidos e quebradiços, levando ao seu envelhecimento (MALI, 2010).

#### 4.4.2 Amido Modificado

As propriedades físico-químicas dos amidos nativos não são, em muitos casos, ideais para processamento adicional e esforços são necessários para adaptá-los para uso industrial específico (KAUR, 2022). Os grânulos de amido nativo são insolúveis em água, em grande parte inertes e, em grande parte, resistentes à hidrólise enzimática. Eles também tendem a ser bastante retrógrados em relação às mudanças no pH, temperatura e forças de corte (BERSKI, 2011).

Além de possuir outras limitações como por exemplo, insolubilidade em água, baixa viscosidade, alta tendência a retrogradarão, baixa estabilidade, altas temperaturas de gelatinização, melhoramento no perfil de pasta, géis mais translúcidos. (RINCÓN-AGUIRRE et al., 2018). Logo, os amidos muitas vezes têm que ser modificados para melhorar propriedades.

A modificação pode ocorrer antes do isolamento do amido das plantas, na modificação da planta durante o metabolismo do amido e modificações após a purificação do material vegetal. Em geral, a modificação durante o processo de isolamento também é possível. A primeira situação mencionada pode ser alcançada pela reprodução e biologia molecular, enquanto nos outros casos as modificações incluem métodos físicos, químicos e enzimáticos/biotecnológicos, ou mesmo combinações destes (APRIYANTO, 2022).

Para melhorar as propriedades e usos dos amidos, além da modificação individual é possível a modificação combinada foi introduzida a fim de otimizar a funcionalidade dos amidos modificados isolados. A combinação de modificações, podem diminuir significativamente a digestibilidade do amido devido a rearranjos nos grânulos de amido. (COLUSSI et al., 2020).

O tipo de modificação e quantidade necessárias depende da fonte inicial de amido. Em geral, plantas mais altas formam dois tipos de amido, assimilatório (ou transitório) e banco (ou armazenamento) amido. O amido assimilatório é sintetizado em tecidos autotróficos e iretamente ligado à fotossíntese e, assim, a síntese e a degradação seguem o ritmo diurno. O acúmulo e a degradação do amido reservam ocorrem geralmente apenas uma vez, em tecidos e órgãos específicos, como sementes ou raízes e está indiretamente ligado à fotossíntese, os dois

tipos diferem em quantidade por planta, forma, tamanho, metabolismo e propriedades bioquímicas. (MACNEILL, 2017).

Os métodos físicos ganharam ampla aceitação por suas características de baixo custo, segurança e eficácia, sendo uma alternativa verde (não precisando de reagentes químicos) para melhorar a aplicabilidade do amido, alcançando propriedades específicas aprimoradas para tipos específicos de aplicações (PUNIA, 2020).

As modificações físicas podem ocorrer por pré- gelatinização, calor e umidade (HMT), annealing, ultrassom (US), plasma a frio, irradiação gama e congelamento e descongelamento. O amido modificado por meio físico pode ser classificado em duas grandes categorias, a primeira é a modificação física com a destruição da estrutura granular (processos como a pré-gelatinização) e a segunda é a modificação física sem a destruição da estrutura granular (tratamento hidrotérmico) (ARIJAJE, 2014). As modificações físicas podem envolver alterações na estrutura granular, modificando assim seu comportamento de gelatinização, inchaço e comportamento de solubilidade. Esses processos são comumente implementados ao modificar amido (ALCÁZAR-ALAY, 2015).

#### 4.4.2.1 Modificação Física via Ultrassom (US)

O ultrassom (US) é o nome dado às ondas sonoras com frequências superiores a aqueles aos quais o ouvido humano pode responder, ou seja, acima de 16 kHz (LORIMER, 1987). E pode ser classificado em três faixas de frequência; e ultrassom diagnóstico (1-10 MHz), de alta frequência (100 kHz-1 MHz) e ultrassom de energia (16-100 kHz), (PATIST, 2008).

O US é um tratamento físico amplamente utilizado na indústria alimentícia em processos de separação, extração, filtração, modificação e homogeneização. É considerado uma técnica verde, pois não é necessário usar solvente químicos. Além disso, o produto apresenta alta pureza. (CHEMAT et al., 2011).

Os efeitos do tratamento da sonicação causam cavitação acústica que é a formação e o colapso de bolhas em líquido irradiados pelo calor e pressão apenas em pouco tempo. Durante

o tratamento a energia do ultrassom é transferida através de um processo de cavitação que se refere à formação das cavidades com gás ou vapor à medida que a pressão diminui e o rápido colapso das microbolhas ocorre devido à diferença de pressão (RHA et al, 2013.).

Na sonoquímica ocorrem cavitação de bolhas, e crescem até absorverem energia suficiente para implodir e assim liberando energia calorífica e pressão em intervalos de tempo muito pequenos (MIZUKOSHI et al., 1999).

O US pode ocorrer por meio de banhos ultrassônicos ou sonicação por ponteira. É utilizado para modificação das propriedades físico-químicas e funcionais do amido, que tem muitas vantagens em termos de maior seletividade e qualidade, menos uso químico e curta duração de processamento (TAO & SUN, 2015.).

Os efeitos dos ultrassons nos grânulos de amido dependem de muitos fatores como: poder de sônica e frequência, temperatura e tempo do tratamento, concentração de amilose e amilopectina, e origem botânica do amido (ZUO et al., 2009). Os parâmetros de ultrassom resultam na influência do tratamento no comportamento das propriedades morfológicas, cristalinidade, físico-químicas, térmicas e teor de amilose (ZHU, 2015).

Segundo LUO et al. (2008), que utilizou US em amidos de milho de diferentes teores de amilose, os grânulos dos amidos em regiões amorfas foram modificados e propriedades e físico-químicas como: poder de inchaço, solubilidade ou propriedades de pastagem, apresentaram mudanças. Já Sujka e Jamroz em 2013 aplicaram ultrassom em três tipos de amido variando a fonte botânica, os parâmetros utilizados foram 30 min a 20 °C com frequência de 20 KHz e potência de 170 W. Entre os resultados mais expressivos obtidos, estão que o ultrassom foi capaz de causar um aumento da solubilidade e do poder de inchamento dos grânulos, além de reduzir a viscosidade de pasta, para amidos de arroz, milho e trigo.

Em 2015, Pinto et al modificou o amido e apresentou mudanças na estrutura cristalina, no aumento do inchamento, rupturas viscosidade, solubilidade. Já Flores-Silva et al. (2017), resultou na obtenção de grânulos menores atividade enzimática e aumento da cristalinidade.

LIU et al. (2018) quando utilizou o ultrassom alcançou índices de consideráveis entre amilose e os lipídeos, aumento da cristalinidade aparente. THOMAZ et al (2018) e MARTINS et al (2020) usaram a ultrassom para modificarem o amido de taro e conseguiram o aumento da cristalinidade e viscosidade.

Portanto, o ultrassom pode ser utilizado na modificação de amidos melhorando a dispersibilidade do amido para produção de biofilmes, (ZHU, 2015).

#### 4.5 ARIÁ

O ariá é um tubérculo nativo da Amazônia cultivados por povos indígenas e ribeirinhos (MARTIN, 1976). É uma planta da família Marantaceae, e é conhecida também pelos nomes variá, lerén, cocurito e tupinambur. Encontrada amplamente desde as Antilhas até diferentes partes da América do Sul. Apresenta-se bem adaptado às condições tropicais, necessitando de altas temperaturas e umidade, solos com elevada quantidade de matéria orgânica (BUENO, 1983).

O ariá possui raízes fibrosas, sua altura pode chegar até 1,5m de altura, seu tamanho pode variar de 2 a 4 cm de diâmetro e 5 a 15 cm de comprimento. Pode apresentar formas cilíndricas e/ou oval. Na ponta de algumas raízes é caracterizado pelo acúmulo de amido (CARDOSO, 1997 & BARROS et al (2021) conseguiu cultivar raízes de até 18 cm (figura 4).

**Figura 4:**Ariá (*Goeppertia allouia* (Aubl.) Borchs. & S. Suárez



**Fonte:** (BARROS et al, 2021)



Existe aminoácidos contido nas raízes, é uma que apresenta diversidade alimentar, e é uma planta multiuso (CARDOSO, 1997). MARTIN & CABANILLAS (1976) estudaram a composição química do ariá (tabela 1) e verificam que apresenta baixo teor protéico, porém com apresenta grande quantidade dos principais aminoácidos: lisina e metionina. MARX & MAIA (1983) verificaram a quantidade ácido ascórbico presente em ariá e encontrou 2,8 mg. VAREJÃO et al (1988) estudou a composição mineral no tubérculo, folhas e raízes e verificou que possuem valores diferentes (tabela 2). SEHO (2019) verificou que ariá apresenta em 1,02% de proteínas, 0,11% lipídeos e 13,35 de carboidratos

**Tabela 1: Composição Química do Ariá**

Composição	Quantidade
Água	88,0 g
Proteínas	0,5 g
Carboidratos	9,0 g
Fósforo	34,0 mg
Tiamina	0,04 mg
Niacina	0,04 mg
Valor energético	40,0 cal
Ácidos graxos	0,8 g
Fibras	0,8 g
Cálcio	15,0 mg
Ferro	3,1 mg
Riboflavina	0,03 mg
Ácido ascórbico	4,0 mg
Amido	15 %
Proteínas	6, 6 %

**Fonte: CARDOSO, 1997**

**Tabela 2: Composição mineral do Ariá (*Goepertia allouia* (Aubl.) Borchs. & S. Suárez) correspondente a 100 g**

PARTE DA PLANTA	K	Ca	Mg
Folha	0,39	4,42	3,65
Rizoma	0,18	0,80	1,25
Raíz	0,18	1,64	3,00
Tubérculo	0,23	28,25	9,40

Fonte: (Adaptado de VAREJÃO, 1988.)

#### 4.5.1 Amido de Ariá

A Universidade Federal do Amazonas (UFAM), se mostrou percussora na pesquisa e desenvolvimento de amido de Ariá. Trabalhos recentes mostram o potencial da utilização do para obtenção de amido.

Barros et al (2021) verificou o potencial de aplicação do amido nativo e comparou suas características físico-químicas e estruturais em relação a outros amidos comerciais de batata, milho e mandioca. Os resultados mostraram que as propriedades do amido de ariá apresentaram perfil intermediário em relação aos amidos comerciais de batata e milho que podem ser atribuídos ao maior teor de amilose e cristal tipo-C, influenciando as diferentes propriedades físico-químicas e em relação aos outros amidos, o ariá apresentou maior viscosidade de colagem, menor capacidade de retenção de água, maior dureza e opacidade do gel após o resfriamento.

Carvalho et al (2021) modificou o amido por plasma a frio para a avaliar a influência da modificação nas propriedades físico-químicas e estruturais do amido. A modificação reduziu os níveis de amilose, além de oxidar superficialmente os grânulos de amido, produzindo novos grupos de carbonila/carboxila e reduzindo os valores de pH. Em relação à estrutura molecular, a técnica de plasma frio atuou de diferentes formas na estrutura amorfa e cristalina dos amidos.

Os resultados mostraram que o processamento de plasma frio atuou tanto na quebra quanto na interligação das cadeias de amido, produzindo ingredientes interessantes para a indústria alimentícia.

(DA COSTA PINTO et al., 2022) estudou a difração de raio X (DRX) em amido modificados induzido por radiação-gama do amido. Verificou-se que altas doses de  $\gamma$ -radiação causam uma redução na capacidade de retenção de água intrínseca do amido de Ariá. Isso permite que os grânulos inchados quebrem rapidamente sob as forças da tesoura, resultando em baixa viscosidade do gel. E com aplicação de  $\gamma$ -radiação, observou-se um aumento gradual do componente amorfo e uma redução considerável nos tamanhos médios de cristalitos. A redução dos níveis de amilose, o aumento dos grupos carboxila/carbonila e a redução do pH causado pela irradiação mostram que o mecanismo de degradação dos semicristais ocorreu através da oxidação, e sugerem que as moléculas de açúcar de baixo peso contribuem para a porção amorfa do amido Ariá.

Portanto ainda não se sabe qual a implicação da modificação de amido de ariá em aplicação de biofilmes.

#### 4.6 MÉTODOS DE PREPARAÇÃO DE FILMES DE AMIDO

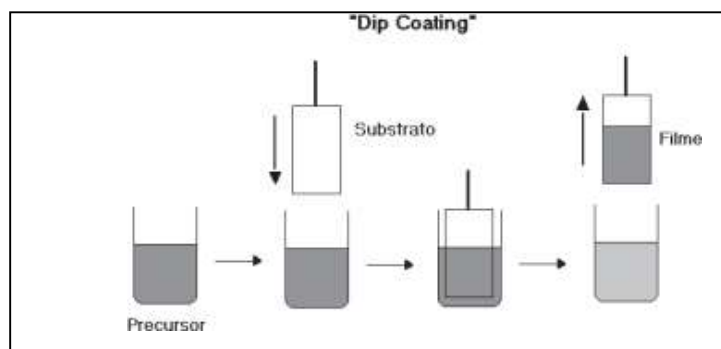
O processamento de filmes à base de amido envolve alguns fatores químicos e físicos podem envolver múltiplas. As técnicas de compressão e sopro podem levar a alguma degradação da estrutura molecular dos filmes e as condições da fabricação do filme afetam o produto final (ALTSKÄR, 2008). Portanto, as técnicas mais utilizadas para preparação de filme são: extrusão, *casting*, *dip-coating* e *spi-coating*.

Processo de Extrusão: O polímero em pó é colocado no funil onde é fundido e passa por uma matriz aquecida bombeado para dentro da matriz por e o material sai pela abertura na forma de um balão (COSTA, 2009). Os filmes produzidos por extrusão são utilizados em embalagens de alimentos perecíveis, produtos de limpeza. No entanto, a extrusão de materiais à base de amido é muito mais complexa do que a dos plásticos

convencionais devido à existência de várias transições durante o processamento, como gelatinização, derretimento, decomposição e recristalização (ORTIZ, 2010).

*Dip- Coating*: É a técnica de revestimento de mergulho para a preparação de filmes finos, consiste em vários passos consecutivos (NASSAR, 2003). Na primeira etapa, o substrato deve ser imerso em uma solução que contenha material de revestimento com velocidade constante. Depois de permanecer dentro da solução por algum tempo, o substrato com fina camada de material é puxado para cima, em uma velocidade constante. Após a drenagem do excesso de líquido do suporte, o solvente evapora do líquido, formando a fina camada (Figura 5). As propriedades do filme e a espessura do filme dependem de uma série de parâmetros, tais como: tempo de imersão, velocidade de retirada, número de ciclos de mergulho, composição da solução, concentração e temperatura, umidade ambiental, etc. (NIKOLIC, 2019).

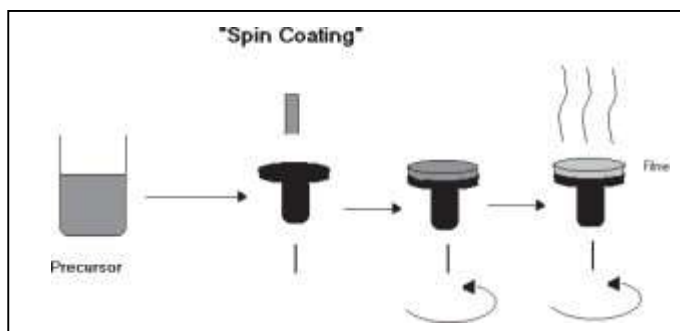
**Figura 5: Representação esquemática do processo de obtenção *dip coating* para filmes.**



**Fonte: (NASSAR,2003)**

*Spin-Coating*: É técnica onde se deposita gotas da solução em inicial em um substrato que possua movimento de rotação (Figura 6). A evaporação dos solventes mais voláteis no momento da deposição permite acelerar os processos de hidrólise e condensação iniciados com o contato com a umidade do ambiente (NASSAR, 2003). O controle da espessura do filme a ser obtido depende da concentração da solução polimérica (JESUS, 2009).

Figura 6: Processo de *spin-coating*



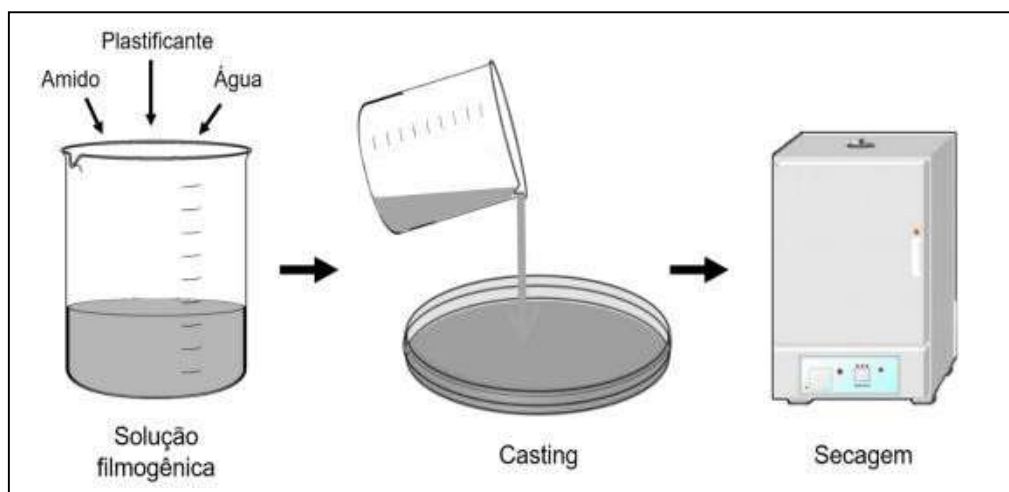
Fonte: (NASSAR, 2003)

#### 4.6.1 Casting

Um dos métodos mais fáceis e econômicos é *casting*. O método consiste na evaporação do solvente na solução polimérica, a aplicação desta solução filmogênica sobre um suporte (geralmente uma placa petri). Para a formação do filme é necessário que a macromolécula do polímero possua a capacidade de formar uma matriz contínua e coesa (KROCHTA, 2017). O amido quando é gelatinizado possui capacidade de formar filmes, permitindo desta forma a formação de uma matriz polimérica homogênea e amorfa (GENNADIOS, 1990). Após a gelatinização dos grânulos a amilose e a amilopectina se dispersam na solução aquosa e, durante a secagem, se reorganizam, formando uma matriz contínua (MALI et al., 2010). A espessura do filme vai depender da concentração da solução filmogênica. A figura 7 mostra o processo de casting.

OCHOA-YEPES (2019), comparou os processos de obtenção de filme via extrusão/termo-compressão, fundição e *casting* nas propriedades físico-químicas dos filmes de amido de mandioca e verificou que o método de casting apresentou maior flexibilidade dos filmes.

**Figura 7: Representação esquemática do processo de obtenção de filme por *casting***



**Fonte: (NASSAR, 2003)**

## 5 METODOLOGIA

### 5.1 MATERIAIS

Os materiais utilizados para obtenção de amido foram tubérculo de ariá, solução hipoclorito 200ppm, faca inox e centrífuga Juicer Philips. Para obtenção dos filmes foram utilizados, Glicerol Dinâmica, amido de ariá e água destilada.

### 5.2 MÉTODOS

#### 5.2.1 Obtenção do amido

A preparação de amostra foi adaptada de (BARROS *et al.*, 2021). Os tubérculos de ariá (*Goepertia allouia*) foram coletados na Unidade Educativa de Produção de Agricultura, no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas (IFAM) - Campus Manaus - Zona Leste localizado no município de Manaus-AM. Os tubérculos foram encaminhados para o Laboratório de Polímeros Nanoestruturados (NANOPOL), localizado no departamento de física, na Universidade Federal do Amazonas (UFAM). Onde foram lavados com água e higienizados e sanitizados com solução hipoclorito 200 ppm durante 15 minutos. Após a sanitização, os tubérculos foram cortados manualmente com facas inox. Para extração do leite de amido, os tubérculos cortados foram colocados em uma centrífuga modelo Juicer Philips Walita Ri1854, para separação do leite de amido e do resíduo. O resíduo gerado foi reprocessado.

**Figura 8: Etapas da Extração do Amido: (a) ariá após colheita e (b) higienização do ariá**



Fonte: (autora)

Figura 9: Extração do Leite de Amido



Fonte: (autora)

## 5.2.2 Modificação do Amido

A modificação física do amido ocorreu por Ultrassom (US). Foram realizadas pelo método previamente descrito (FALSAFI et al., 2019) com algumas modificações. A amostra



preparada ficou em uma suspensão a 10 % de amido (m/v) em água destilada e submetido ao equipamento de ultrassom de ponteira, com frequência fixa de 20 kHz e amplitude de vibração fixa de 50%. E o sonotrodo a 1,5 cm de profundidade. A sonicação ocorreu com os tempos: 30 min e 60 min. Após a sonicação, a solução ficou mantida em banho de gelo para que a temperatura se mantenha no padrão para todos os tratamentos de sonicação.

**Figura 10: Modificação US do amido de ariá**



**Fonte: (autora)**

### 5.3 OBTENÇÃO DO FILME

#### 5.3.1 Formulação do Filme

A obtenção dos filmes foi adaptada de elaborados de acordo com Mali et al., (2004). A formulação está de acordo com a tabela 3.

**Tabela 3: Formulação dos Filmes de Ariá**

Amostra	Amido	Água destilada	Glicerol
---------	-------	----------------	----------

---

NAT	5g	140 ml	1,9 ml
US 30	5g	140 ml	1,9 ml
US 60	5g	140 ml	1,9 ml

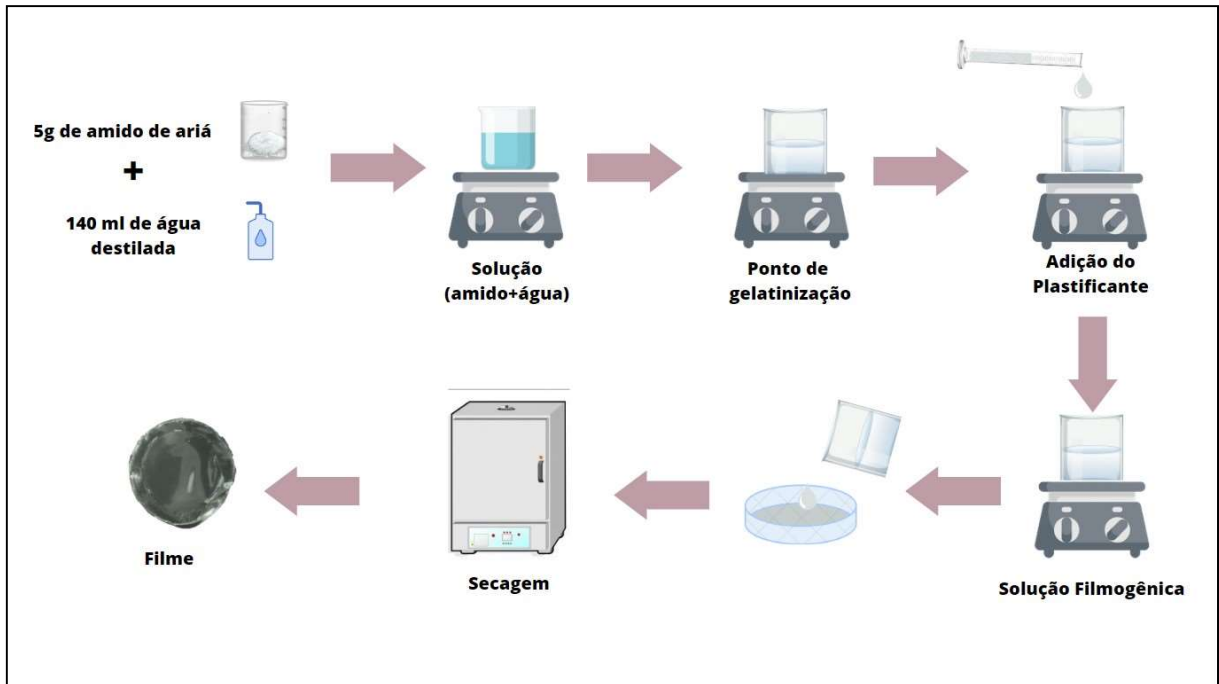
---

**Fonte: (autora)**

### 5.3.2 Filmes à base de amido nativo

Para o amido nativo foi pesado 5g e misturado com a 140 ml água destilada, após foi realizado o processo de gelatinização com ao agitador magnético, a agitação permaneceu constante com aquecimento crescente de 60°C a 90°C (ponto de gelatinização do amido de ariá). Porém a temperatura foi reduzida, para que a solução atingisse uma temperatura entre 80 °C, para adição do plastificante após atingir essa temperatura, foi adicionado à solução 1,9 ml de glicerol. Depois da adição do glicerol a solução permaneceu por mais 10 minutos em agitação constante e com a temperatura de 60 °C. Em seguida foi retirada do agitador. Em seguida, uma solução filmogênica de 15 grama foi vertida em uma placa de petri com diâmetro de 8 cm. Os filmes nas placas foram levados para estufa sem circulação de ar, por aproximadamente 24h, até ocorrer por completo a desidratação da solução, e assim formar o filme. A Figura 11 mostra o processo

**Figura 11: Etapas da produção do filme a base de amido de ariá**



Fonte: (autora)

### 5.3.3 Obtenção dos Filmes Modificados

Para os amidos modificados foi utilizado a mesma metodologia dos filmes, apenas alterando a modificação da temperatura de gelatinização. Para a amostra US30 o ponto de gelatinização ocorreu em 87° C e para amostras US60 o ponto de gelatinização ocorreu em 80°C. A temperatura de gelatinização diminuiu devido à modificação do filme.

## 5.4 CARACTERIZAÇÕES

### 5.4.1 Espessura

Para análise de espessura foi realizada de acordo com a norma ASTM (D6988– 08), com pequenas modificações. Foi utilizado um Micrômetro Externo Digital, com precisão de 0,001 mm, da marca MITUTOYO. Foram coletados dados em cinco pontos diferentes da amostra em cada amostra.

### 5.4.2 Teor de Umidade

As análises de umidade do amido e dos filmes foram realizadas pelo equipamento Analisador halogêneo de umidade modelo MB 35 da marca OHAUS, localizado no Laboratório de Materiais da Amazônia e Compósitos na Universidade Federal do Amazonas.

**Figura 12: Teste de umidade**



**Fonte: (autora)**

### 5.4.3 Solubilidade

Foi realizada a análise de solubilidade em água nos filmes. A metodologia foi adaptada de (MARTINS,2022 & GONTARD et al., 1994). As amostras foram cortadas em quadrado de área de 2cm<sup>2</sup> e pesadas, após foi realizada a secagem na estufa com circulação de ar a 105 °C por 24 h, para determinação da massa seca inicial. Em seguida foram imersas em béquer contendo 30 ml de água destilada. Os filmes secos foram colocados em um shaker a 100 rpm por 24 h a 25 °C. Em seguida, foram removidos e secos novamente nas mesmas condições iniciais de secagem para determinação da massa seca final. O Solubilidade (%) em 24h. Foi calculado pela equação 1.

$$S(\%) = \frac{(m_i - m_f)}{m_i} \times 100$$

**Equação 1**

Onde:

S(%) = Porcentual da solubilidade

m<sub>i</sub> = massa inicial

m<sub>f</sub> = massa final

### 5.4.4 Difração de Raio- X (DRX)

A caracterização por DRX foi realizada de acordo com metodologia de (BARROS et al., 2021). As análises foram realizadas no Difractômetro de raios-X da Shimadzu XRD 7000 (Maxima), com intervalo (2θ) de 0° até 100°. localizado na Central Analítica do IFAM-CMC, coordenada pela profa. Dra. Jaqueline de Araújo Bezerra localizado no IFAM no Campus Manaus Centro.

#### 5.4.5 Microscopia Eletrônica de Varredura

O ensaio de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), foi realizado no amido nativo e modificado, obtidos em um microscópio eletrônico de varredura TESCAN VEGA3 em alto vácuo, 3kV, realizado no Laboratório Temático de Microscopia Ótica e Eletrônica, do Instituto Nacional de Pesquisas Amazônicas (LTMOE/INPA). Os MEV dos grânulos de amido foram realizados de acordo com (BARROS *et al.*, 2021) e os MEV dos Biofilmes foram realizados de acordo com metodologia de (DA COSTA, 2020).

#### 5.4.6 Solubilidade em água

Foi realizada a análise de solubilidade em água nos filmes. A metodologia foi adaptada de (MARTINS,2022 & GONTARD et al., 1994). As amostras foram cortadas em quadrado de área de 2cm<sup>2</sup> e pesadas, após foi realizada a secagem na estufa com circulação de ar a 105 °C por 24 h, para determinação da massa seca inicial Em seguida foram imersas em béquer contendo 30 ml de água destilada. Os filmes secos foram colocados em um shaker a 100 rpm por 24 h a 25 °C. Em seguida, foram removidos e secos novamente nas mesmas condições iniciais de secagem para determinação da massa seca final. O Solubilidade (%) em 24h. Foi calculado pela equação 1.

$$S(\%) = \frac{(m_i - m_f)}{m_i} \times 100$$

**Equação 1**

Onde:

S(%) = Porcentual da solubilidade

m<sub>i</sub> = massa inicial

m<sub>f</sub> = massa final

#### 5.4.7 Análise Térmica

As análises térmicas foram realizadas de acordo com metodologia de (CARVALHO et al, 2021) em um equipamento SDT Q600 da Ta Instrument, localizado no laboratório de Ensaios Físico-Químicos/FT/UFAM. As amostras foram aferidas a aproximadamente 11 mg, a taxa de aquecimento foi de 10 °C/min até a temperatura final de 600 °C, com fluxo de gás N 5.0 de 30 ml/min para todas as amostras. O cadinho utilizado nos testes foi o de alumina de 90 microlitros sem tampa.

#### 5.4.8 Espectroscopia no Infravermelho por Transformado de Fourier

Análise de FTIR foram adaptadas da metodologia de (DA COSTA, 2021). As medidas foram realizadas em um equipamento de espectroscopia no infravermelho com transformadas de Fourier (Marca Shimadzu, IRTracer-100), com uma média de dezesseis varreduras em uma faixa espectral de 4000 a 600  $\text{cm}^{-1}$ , através de Reflectância Total Atenuada (ATR), cristal do ATR- seleneto de zinco (ZnSe). As amostras foram medidas pressionando-as contra um prisma de aproximadamente 1,8 mm de diâmetro posicionado horizontalmente.

#### 5.4.9 Análise Estatística

Os resultados das análises foram obtidos em triplicata. Para as análises estatísticas se farão necessárias para se obter uma significância neste trabalho.

## **6 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **6.1 OBTENÇÃO DO FILME**

Os filmes nativos e modificados US30 e US 60 apresentaram uma boa aparência. Os filmes contendo ária não apresentaram alta aderência à placa de petri após 24h em temperatura ambiente, facilitando seu desprendimento. Porém o filme modificado por US 30 foi o filme que apresentou melhor aparência e maior transparência. Isso foi confirmado na Microscopia de Eletrônica de Varredura.



Figura 13: Filme de amido: (a) e (b) filmes nativos; (c) e (d) filmes US 30; (d) e (e) filmes US60



Fonte: (autora)

## 6.2 ESPESSURA

No método de *casting*, a espessura é um parâmetro difícil de controlar. Porém a variação deste parâmetro depende da quantidade de amido e glicerol e com aumento no teor de sólidos presentes na matriz polimérica após o processo de secagem do filme. A solução filmogênica apresenta alta viscosidade devido ao glicerol o que dificulta o seu espalhamento na superfície, e que pode levar a formação de bolhas (MALI, 2010).

**Tabela 4: Espessura dos filmes**

Espessura (mm)	
Filme Nativo	0,17 ± 0,2
Filme US30	0,18 ± 0,4
Filme US60	0,16 ± 0,4

**Fonte: (autora)**

A espessura do filme variou de 0,16 a 0,18 mm (tabela 4), sem diferenças significantes. A baixa diferença entre as espessuras dos filmes indica que durante as fases de preparação das amostras houve um controle rigoroso. A espessura foi controlada pela quantidade de solução filmogênica. Além disso, o tratamento de ultrassom não exerceu influência nesse tipo de propriedade.

## 6.3 TEOR DE UMIDADE

A tabela 4 mostra a umidade dos filmes.

**Tabela 5: Dados de umidade amido e filme**

Amostra	Média
Filme Nat	14,06 ± 0,2

Filme US 30%	15,62 ± 0,2
Filme US 60%	15,89 ± 0,2

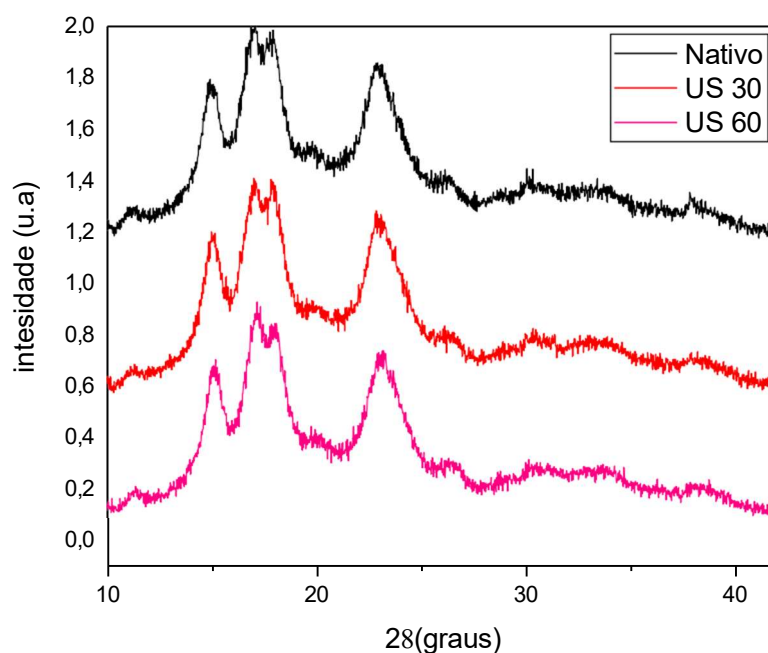
---

Fonte: (autora)

O aumento da umidade dos filmes modificados pode estar relacionado com a modificação hidrotérmica do amido por ultrassom. Além disso, a adição do plastificante pode ter influenciado significativamente no teor de umidade, devido à hidrofobicidade do glicerol. Em 2018, ALTMANN, obteve valores acima de 20% em amidos nativos.

#### 6.4 DIFRAÇÃO DE RAIO-X

Figura 14: Difração de Raio-X do amido



Fonte: (autora)

A figura 14 mostra que os amidos modificados apresentaram um padrão de difração semelhante ao amido nativo. Dependendo das condições de aplicação do ultrassom a

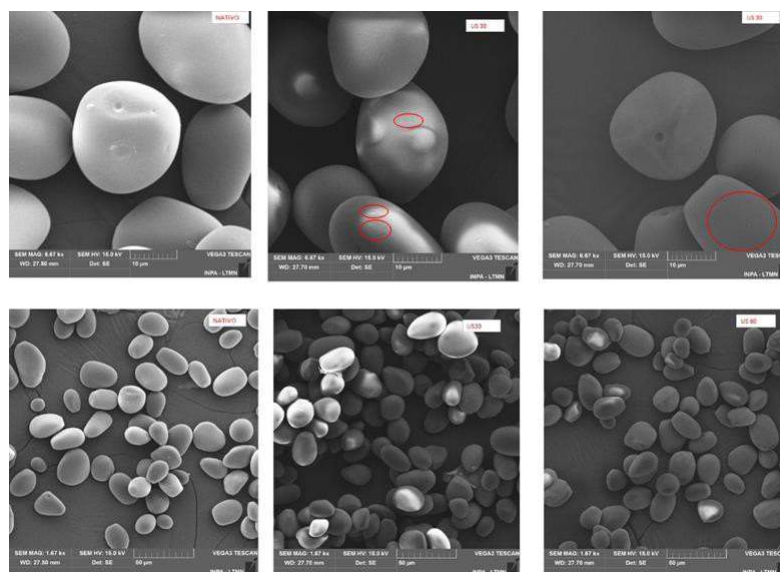
crystalinity tende a aumentar o diminuir enquanto a parte amorfa de amido pode permanecer inalterado (HUANG et al., 2007; ZHENG et al., 2013). Logo a modificação via Ultrassom pode afetar a estrutura do amido, reduzindo a fase amorfa no início do processamento. Isso foi observado nos trabalhos de (DA COSTA PINTO et al., 2022 e CARVALHO et al., 2021) nas modificações físicas por Raio Gama e aplicação de plasma.

## 6.5 MICROSCÓPIA DE ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

A Figura 15 mostra as imagens MEV das amostras de amido nativo. Os grânulos de amido nativo de ariz apresentaram morfologia oval com superfície lisa. Já as Figuras 15 e 16 mostra morfologia dos amidos modificados.

Segundo ZHU et al, 2012, modificação por ultrassom pode resultar em alterações na morfologia dos grânulos, criando trincas e poros e danificando os grânulos. Foi possível observar a formação de trincas, na modificação por US30 e US60

**Figura 15: Morfologia do Amido Nativo e modificado**



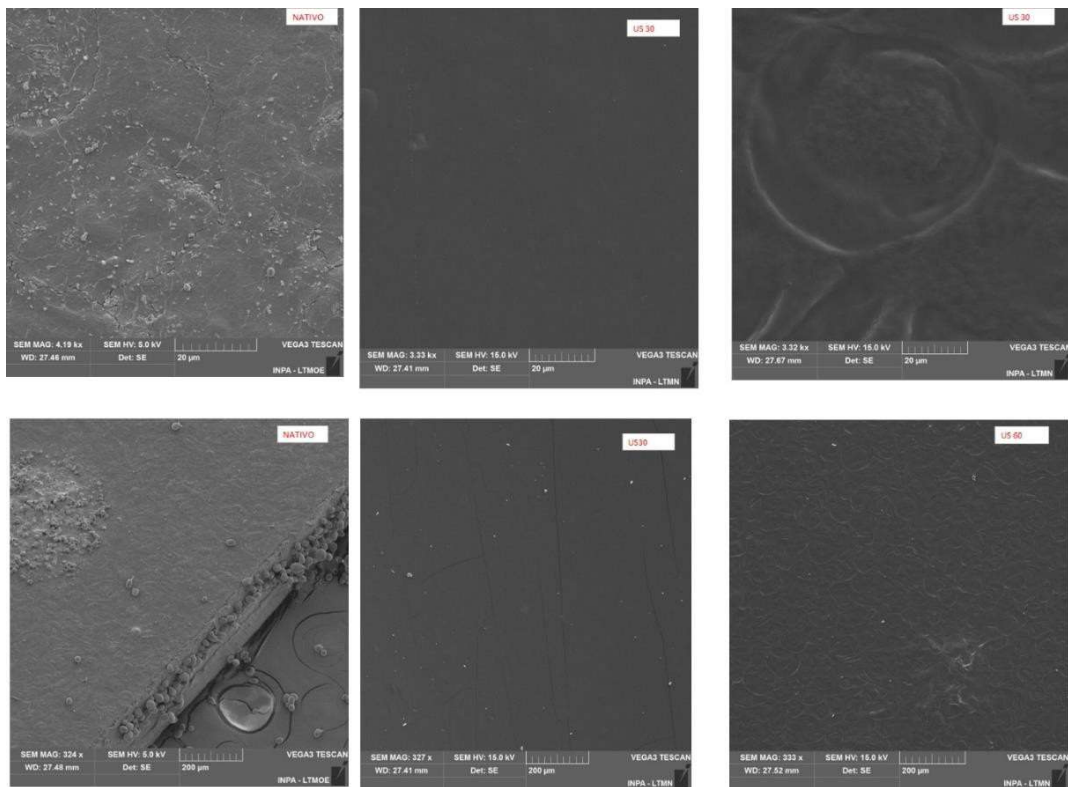
Fonte: (autora)

O efeito da modificação depende de parâmetros como a temperatura, tempo e frequência (ZUO et al., 2009), tipo e estrutura do amido (CHAN et al., 2010).

A cavitação e o colapso das bolhas durante a aplicação da modificação do ultrassom resultaram na formação de pequenas e fissuras nas amostras US30 e US60. Segundo Jambrak et al. 2010, a modificação via US pode causar aglomeração de grânulos. Foi observada uma pequena aglomeração de grânulos no amido modificado.

A superfície homogênea está relacionada à solubilização completa do amido nas soluções filmogênicas e demonstra a ausência de grânulos de amido após o processamento (DA COSTA, 2020). As imagens de MEV do filme nativo mostrou aglomeração de grânulos e a presença desses grânulos indica que não foram rompidos durante a gelatinização do amido. A microscopia do filme modificado por ultrassom a 30 minutos apresentou uma superfície lisa e homogênea indicando que a modificação melhorou os aspectos do filme. Já o filme US60, apresentou algumas rugosidades.

Figura 16: MEV filmes à base de amido nativo e modificado



Fonte: (autora)

## 6.6 SOLUBILIDADE

A análise solubilidade verificou que os filmes possuíram baixa tanto para os amidos nativos, como para os modificados U30 e US60.

Ao estudar o filme biodegradável, a solubilidade deve ser considerada. Uma baixa solubilidade do filme dificulta a degradação por fatores externos, enquanto uma alta solubilidade indica que o filme é menos resistente à água e pode vaziar após ser embebido em água para uso em embalagens (GUO et al, 2023).

**Tabela 6: índice de Solubilidade Filmes**

Solubilidade %	
Filme Nat	7 % ± 0,2
US 30	8% ± 0,1
US 60	10 % ± 0,2

**Fonte: (autora)**

Em comparação a literatura os filmes apresentaram solubilidade bem abaixo. Porém a adição do plastificante têm influência na solubilidade dos filmes, devido a ser hidrofílico. (MACHADO, 2014). Os filmes à base de amido nativo e modificados não apresentaram grande diferença na solubilidade.

Apesar de não apresentar solubilidade, não impede os filmes para outras aplicações. Existem embalagens que necessitam entrar em contato com água durante o processamento (BRITO, 2022).

Além disso, a solubilidade dos filmes de amido é aumentada com o aumento do teor de plastificante; portanto, o glicerol aumentou a solubilidade dos filmes. A solubilidade dos filmes é um parâmetro importante, pois indica sua integridade em meios aquosos; filmes com maior resistência à água terão um menor valor de solubilidade (TRAVALINI, et al., 2019).

A solubilidade em água é um parâmetro crucial na definição das aplicações de filmes compostos de biopolímeros (JIANG et al, 2016). Para que para algumas aplicações o filme

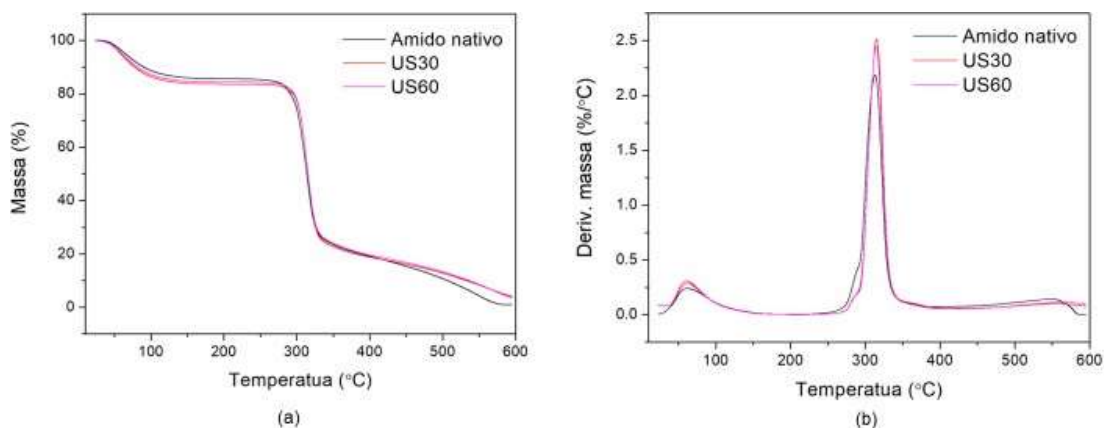
exige baixa solubilidade para garantir a integridade do produto enquanto para outros pede-se uma solubilidade maior como embalagens para doce/balas (TRAVALINI, et al., 2019).

## 6.7 ANÁLISES TÉRMICAS

### 6.7.1 Termogravimetria (TG)

A análise de TG, vem sendo amplamente estudada para verificar estabilidade térmica e a decomposição dos biopolímeros (MARTINS, 2020).

**Figura 17: Análise de Termogravimetria: (a) Curva de TG; (b) Curva de DTG**



32

**Fonte: (autora)**

A temperatura da primeira perda de massa dos amidos está relacionada à desidratação da amostra (BENINCA et al., 2019). Os amidos obtiveram três eventos principais de perda de massa. A primeira perda ocorreu para amido nativo entre 31 – 169 °C, para os amidos modificados ficou na faixa de 32- 170°C.

Já o pico de temperatura calculado pela DTG no primeiro evento para amido nativo ficou em 53,13°C, US30 ficou em 54,70°C e US60 ficou em 56,87°C.

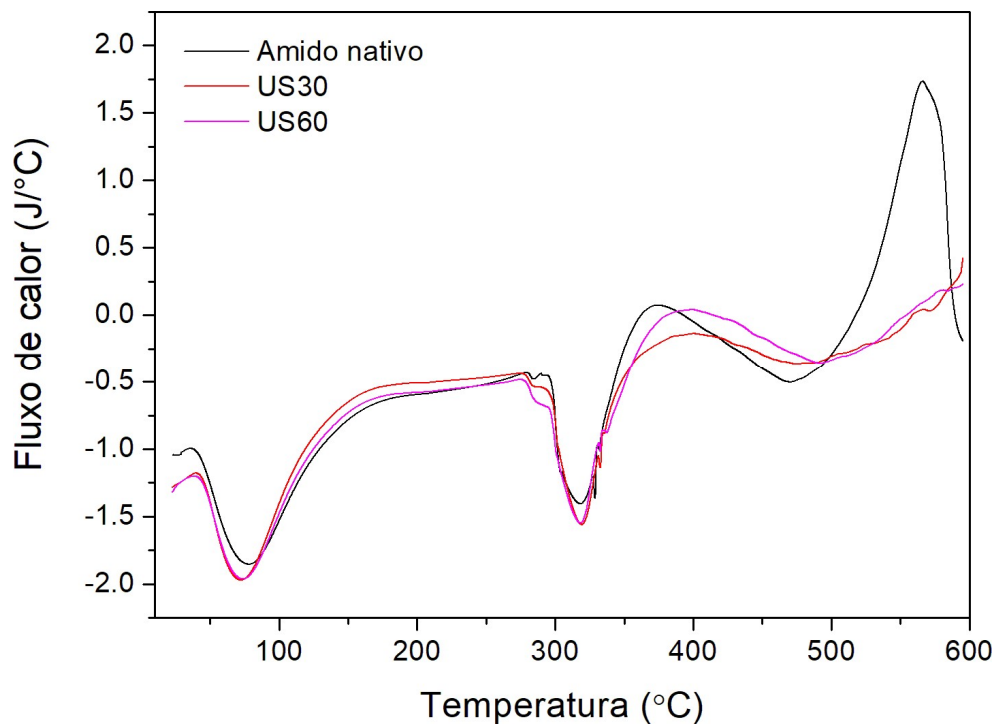
A decomposição da matéria orgânica é representada pela segunda etapa e a oxidação perda de massa (MARTINS, 2020), a menor temperatura na degradação iniciada foi detectada para o amido nativo (216,9 °C) com a maior perda de massa ( $\Delta m = 65,53\%$ ). O processo de despolimerização de amidos geralmente começa acima de 300 °C e pode ser confirmado através do pico de temperatura ( $T_p$ ) registrado pela DTG durante a segunda perda de massa (OLIVEIRA et al., 2014). Os resíduos para amido nativo foi de 0,9700 % , US30 4,55% e US60 5,83% os resultados bateram com das literatura sendo explicado pela quantidade de minerais que permanecem após a extração aquosa.

#### 6.7.2 Calorimetria Diferencial Exploratória (DSC)

A figura 18 mostra a análise de DSC e foi possível observar que nos amidos amido modificados houve um deslocamento de pico, no primeiro evento. O primeiro evento está relacionado ao processo de gelatinização do amido (MARTINS, 2020). Isso condiz com a temperatura que o amido diminuiu na formação dos filmes.



Figura 18: Curvas DSC do amido



Fonte: (autora)

## 6.8 ESPECTROSCOPIA NO INFRAVERMELHO POR TRANSFORMADA DE FOURIER (FTIR)

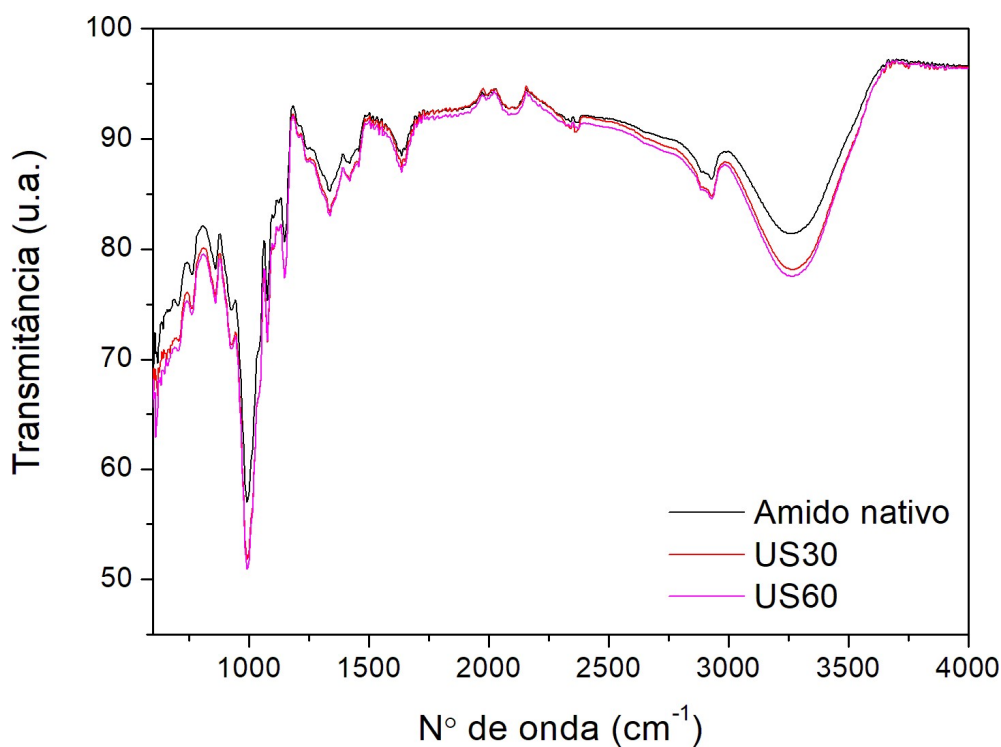
A figura 19, mostra os espectros do FTIR do amido nativo e modificado. No espectro do amido nativo, a banda larga a  $3268,87\text{ cm}^{-1}$  é atribuída ao estiramento de O-H presente no amido. A modificação de US30 e U60 ficaram bem similares porém houve aumento da intensidade comparado com amido nativo. Isso provavelmente ocorreu devido ao contato com água durante o processo de ultrassom.

Já a banda de absorção de  $2102,2185\text{ cm}^{-1}$ , é relacionada a vibração das moléculas  $\text{CH}_2$ , encontrado na molécula de glicose (amilopectina ou amilose). Segundo leitura a banda em  $1650\text{ cm}^{-1}$  é devido as vibrações de deformação dos grupos hidroxila, indicando também ligações inter e intramoleculares. Observam-se três bandas em  $1155, 1080$  e  $1010\text{ cm}^{-1}$

que é uma sequência característica atribuída ao alongamento da ligação C-O. Essas bandas são principalmente do anel anidroglicose, especificamente dos grupos C-O-H (DAR et al., 2018; DAS, 2019). As vibrações da ligação glicosídica  $\alpha$ -1,4 (C-O-C) aparecem em 925  $\text{cm}^{-1}$ . No espectro dos amidos modificados, são observadas as mesmas bandas, sem nenhuma modificação ou deslocamento.

Os grânulos de amido nativos e modificados todos apresentaram bandas de absorção semelhantes, mostrando que não foram formados novos grupos funcionais ou novas ligações químicas durante todos os tipos de tratamentos.

**Figura 19: Gráfico de FTIR do amido nativo e modificado**

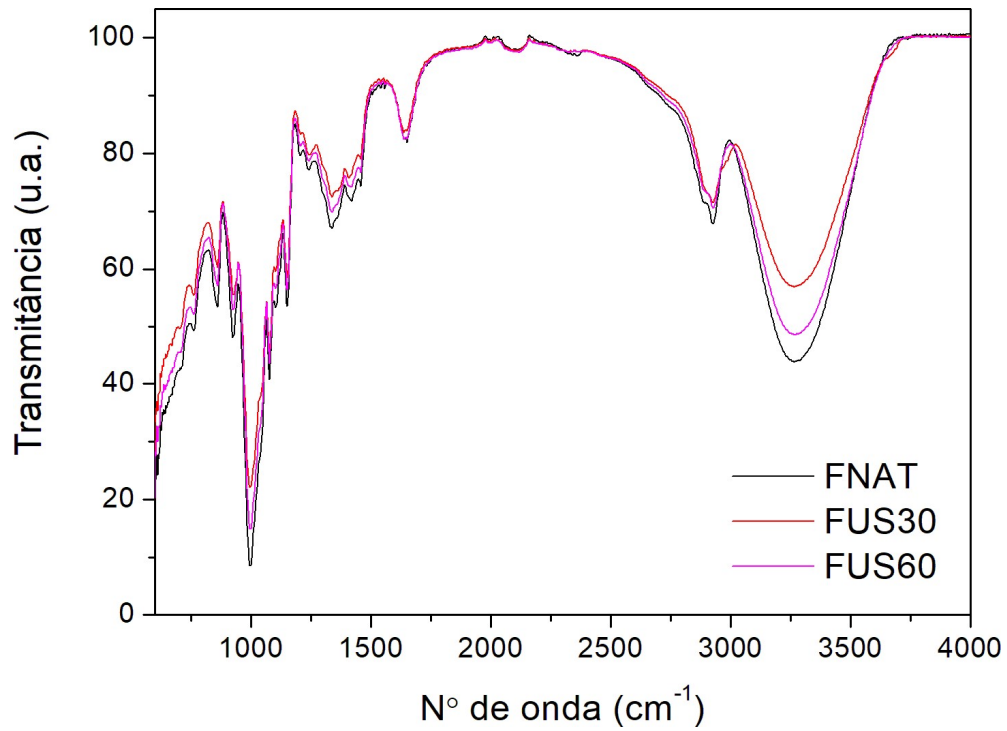


**Fonte: (autora)**

A figura 20 mostra o gráfico de FTIR dos biosfilmes.. A análise do espectro FTIR de filmes de amido nativos e modificados compara o tipo e a intensidade das interações que ocorrem na estrutura do filme. Como demonstrado na Figura 19, não houve grandes diferenças no padrão de espectro FTIR, no entanto, houve um aumento na intensidade dos picos nos bioplásticos produzidos com amidos modificados em comparação com o bioplástico de amido

nativo, sugerindo um maior número de interações ocorrendo em bioplásticos produzidos com amidos modificados. Além disso o FTIR dos filmes apresentou diferença de largura e intensidade do pico na faixa de 1500  $\text{cm}^{-1}$  e na faixa de 200 a 300  $\text{cm}^{-1}$

**Figura 20: Gráfico de FTIR dos filmes de amido nativo e modificado**



**Fonte: (autora)**

## 7 CONCLUSÃO

O método de modificação do amido por ultrassom, alterou propriedades do amido nativo de ariá. Dentre elas:

- Redução significativa nas temperaturas de gelatinização tanto para modificação em US30 como em US60.
- A umidade aumento com tratamento do ultrassom
- A alterações na estrutura morfológica da matéria
- A análise de FTIR indicou que não houve mudanças no amido nativo e nos filmes. Porém a banda referente as hidroxilas aumentaram de intensidade.

Em relação ao filme de amido de ariá, se mostram promissores para aplicação em embalagens. O filme de amido nativo visualmente apresentou uma transparência menor em relação aos filmes US30 e U60. A análise de solubilidade mostrou que os filmes mesmo modificados ainda apresentam uma baixa solubilidade

Em suma, o tratamento de ultrassom exerceu visível influência nas propriedades do amido e dos filmes à base de amido. Porém, é necessária uma investigação mais apurada para verificação da resistência e propriedades mecânicas dos filmes à base de amido de ariá.

## **8 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Para trabalhos futuros é indicado realizar análises mais aprofundadas no amido, verificar outras rotas de modificação no amido, verificar as propriedades mecânicas do filme e realizar análise térmica dos filmes. E verificar a possibilidade inserção de algum material para aumentar solubilidade dos filmes. Além disso, realizar teste em alimentos e verificar outros meios de sínteses do amido filme como extrusão e impressão 3D.

## REFERÊNCIAS

ABOU-ZEID, Dunja-Manal; MÜLLER, Rolf-Joachim; DECKWER, Wolf-Dieter. Degradation of natural and synthetic polyesters under anaerobic conditions. **Journal of biotechnology**, v. 86, n. 2, p. 113-126, 2001.

ALCÁZAR-ALAY, Sylvia Carolina; MEIRELES, Maria Angela Almeida. Physicochemical properties, modifications and applications of starches from different botanical sources. **Food Science and Technology**, v. 35, p. 215-236, 2015.

ALTMANN, Ingrid; ATZ, Nara R.; ROSA, Simone ML. Desenvolvimento e caracterização de filmes biodegradáveis obtidos a partir de amido de milho: uma proposta experimental de produção de biofilmes em sala de aula. *Química Nova na Escola*, v. 40, n. 1, p. 53-58, 2018.

ALTSKÄR, Annika et al. Some effects of processing on the molecular structure and morphology of thermoplastic starch. *Carbohydrate Polymers*, v. 71, n. 4, p. 591-597, 2008.

APRIYANTO, Ardha; COMPART, Julia; FETTKE, Joerg. A review of starch, a unique biopolymer—Structure, metabolism and in planta modifications. **Plant Science**, p. 111223, 2022.

ARIJAJE, Emily Oluwaseun et al. Effects of chemical and enzymatic modifications on starch—stearic acid complex formation. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 62, n. 13, p. 2963-2972, 2014.

ATLAS DO PLÁSTICO | Heinrich Böll Stiftung - Rio de Janeiro Office. **Heinrich-Böll-Stiftung**. Disponível em: <<https://br.boell.org/pt-br/2020/11/29/atlas-do-plastico>>. Acesso em: 2 Fev. 2022.

AVIO, Carlo Giacomo; GORBI, Stefania; REGOLI, Francesco. Plastics and

microplastics in the oceans: from emerging pollutants to emerged threat. **Marine environmental research**, v. 128, p. 2-11, 2017.

AZEVEDO, Larissa Guimarães et al. Bioplástico: alternativa viável e sustentável ao plástico convencional. 2019.

BARROS, Domingos Rodrigues et al. Ariá (*Goeppertia allouia*) Brazilian Amazon tuber as a non-conventional starch source for foods. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 168, p. 187-194, 2021.

BENINCA, Cleoci et al. Corn and Pinhão starches modified with sodium tripolyphosphate: Thermal, pasting, structural and morphological properties. **Starch-Stärke**, v. 71, n. 7-8, p. 1800290, 2019.

BERSKI, W. et al. Pasting and rheological properties of oat starch and its derivatives. **Carbohydrate polymers**, v. 83, n. 2, p. 665-671, 2011.

BIOPLASTICS. European Bioplastics e.V. Disponível em: <<https://www.european-bioplastics.org/bioplastics/>>. Acesso em: 22 Jan. 2022.

BRITO, Luiz Matheus Abecassis Ferreira et al. Produção e caracterização de biocompósitos poliméricos reforçados com microfibrilas de celulose a partir da folha do abacaxi. 2022.

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

CALLISTER JR, William D, RETHWISCH, David G. Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução. 10ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2020.

CAMPBELL-PLATT, Geoffrey. Ciência e tecnologia de alimentos. Edição única. Barueri. Editora Manole, 2016.

CANEVAROLO JR, Sebastião V. Ciência dos polímeros. Artiliber editora, São Paulo, p. 110-115, 2002.

CARDOSO, M. O. (1997). Hortaliças não-convencionais da Amazônia (1a; M. O. Cardoso, Ed.). Brasília: **EMBRAPA**.

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**, 2021.

CAZÓN, Patricia et al. Polysaccharide-based films and coatings for food packaging: A review. **Food Hydrocolloids**, v. 68, p. 136-148, 2017.

CHAN, H.-T.; BHAT, R.; KARIM, A. A. Effects of sodium dodecyl sulphate and sonication treatment on physicochemical properties of starch. **Food Chemistry**, v. 120, p. 703–709, 2010.

CHEMAT, Farid et al. Applications of ultrasound in food technology: processing, preservation and extraction. **Ultrasonics sonochemistry**, v. 18, n. 4, p. 813-835, 2011.

CHIA, Wen Yi et al. Nature's fight against plastic pollution: Algae for plastic biodegradation and bioplastics production. **Environmental Science and Ecotechnology**, v. 4, p. 100065, 2020.

COSTA, Lígia MM; BRETAS, Rosário ES; GREGORIO FILHO, Rinaldo. Caracterização de filmes de PVDF- $\beta$  obtidos por diferentes técnicas. **Polímeros**, v. 19, p. 183-189, 2009.

COLMAN, T. et al. Characterization of wheat starch by thermoanalytical, rheological and atomic force microscopy techniques. **Brazilian Journal of Thermal Analysis**. v. 1, n. 1, December 2015, 2016.

COLUSSI, Rosana et al. Dual modification of potato starch: Effects of heat-moisture and high-pressure treatments on starch structure and functionalities. **Food chemistry**, v. 318, p. 126475, 2020.

COULTATE, Tom P. Food: the chemistry of its components. 4<sup>a</sup> ed. Cambridge. **Royal Society of Chemistry**, 2002.

DA COSTA PINTO, Camila et al. Modulation of the Physicochemical Properties of *Aria* (*Goepertia allouia*) Starch by Cold Plasma: Effect of Excitation Frequency. **Food and Bioprocess Technology**, p. 1-17, 2022.

DA COSTA, Joice Camila Martins et al. Development of biodegradable films based on purple yam starch/chitosan for food application. **Heliyon**, v. 6, n. 4, p. e03718, 2020.

DA ROSA ZAVAREZE, Elessandra; DIAS, Alvaro Renato Guerra. Impact of heat-moisture treatment and annealing in starches: A review. **Carbohydrate polymers**, v. 83, n. 2, p. 317-328, 2011.

DAMODARAN, Srinivasan; PARKIN, Kirk L.; FENNEMA, Owen R. (Ed.). **Fennema's food chemistry**. CRC press, 2007.

DAR, M. Z.; DEEPIKA, K.; JAN, K.; SWER, T. L.; KUMAR, P.; VERMA, R.; PRAKASHC, K. S.; JAND, S.; BASHIR, K. Modification of structure and physicochemical properties of buckwheat and oat starch by  $\gamma$ -irradiation. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 108, p. 1348-1356, 2018.



DAS, R.; KAYASTHA, A. M. Enzymatic hydrolysis of native granular starches by a new  $\beta$ -amylase from peanut (*Arachis hypogaea*). **Food Chemistry**, v. 276, p. 583-590, 2019

DE MACEDO, Gabriela Silva Andrade et al. Estudo das características físico-químicas e térmicas dos materiais não biodegradáveis e biodegradáveis à base de Amido de milho. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 12, p. 99327-99347, 2020.

DE OLIVEIRA, Andreíza Dantas; VIEIRA, Almir Martins; DA CONCEIÇÃO MEDEIROS, Maria. Aspectos da coleta seletiva de lixo: um estudo na região do Abc Paulista. **Pensamento & Realidade**, v. 35, n. 1, p. 1-14, 2020.

DESHWAL, Gaurav Kr; PANJAGARI, Narender Raju; ALAM, Tanweer. An overview of paper and paper based food packaging materials: Health safety and environmental concerns. **Journal of food science and technology**, v. 56, p. 4391-4403, 2019.

DEVADAS, Vishno Vardhan et al. Algae biopolymer towards sustainable circular economy. **Bioresource technology**, v. 325, p. 124702, 2021.

ELIASSON, A. C. Starch-lipid interactions and their relevance in food products AC Eliasson and M. Wahlgren, Lund University, Sweden. **Starch in food: Structure, function and applications**, p. 441, 2004.

FALSAFI, Seid Reza et al. Preparation of physically modified oat starch with different sonication treatments. **Food Hydrocolloids**, v. 89, p. 311-320, 2019

FONSECA, Laura Martins et al. Physical modification of starch by heat-moisture treatment and annealing and their applications: A review. **Carbohydrate Polymers**, v. 274, p. 118665, 2021.

GENNADIOS, Aristippos; WELLER, Curtis L. Edible films and coatings from wheat and corn proteins. **Food technology (Chicago)**, v. 44, n. 10, p. 63-69, 1990.

GEUEKE, Birgit; GROH, Ksenia; MUNCKE, Jane. Food packaging in the circular economy: Overview of chemical safety aspects for commonly used materials. **Journal of cleaner production**, v. 193, p. 491-505, 2018.

GEYER, Roland; JAMBECK, Jenna R.; LAW, Kara Lavender. Production, use, and fate of all plastics ever made. **Science advances**, v. 3, n. 7, p. e1700782, 2017.

GHANBARZADEH, Babak; OLEYAEI, Seyed Amir; ALMASI, Hadi. Nanostructured materials utilized in biopolymer-based plastics for food packaging applications. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 55, n. 12, p. 1699-1723, 2015.

GUO, Yanli et al. Effect of SBA-15-CEO on properties of potato starch film modified by low-temperature plasma. **Food Bioscience**, v. 51, p. 102313, 2023.

HERMANSSON, Anne-Marie; SVEGMARK, Karin. Developments in the understanding of starch functionality. **Trends in Food Science & Technology**, v. 7, n.

11, p. 345-353, 1996.

HIZUKURI, Susumu; KANEKO, Takahiro; TAKEDA, Yasuhito. Measurement of the chain length of amylopectin and its relevance to the origin of crystalline polymorphism of starch granules. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-General Subjects**, v. 760, n. 1, p. 188-191, 1983.

HOPEWELL, Jefferson; DVORAK, Robert; KOSIOR, Edward. Plastics recycling: challenges and opportunities. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, v. 364, n. 1526, p. 2115-2126, 2009.

HUANG, Q.; LI, L.; FU, X. Ultrasound effects on the structure and chemical reactivity of cornstarch granules. **Starch/Stärke**, v. 59, p. 371-378, 2007.

IBRAHIM, M. S. et al. Biopolymer materials, an alternative to synthetic polymer materials. *Int. Invent. Sci. J*, v. 2, p. 286-295, 2018.

JANSEN, G.; FLAMME, W.; SCHÜLLER, K.; VANDREY, M. Tuber and starch quality species and cultivars of wild and cultivated potato. **Potato Research**, v. 44, p. 137- 146, 2001.

JADAUN, Jyoti Singh et al. Biodegradation of Plastics for Sustainable Environment. **Bioresource Technology**, p. 126697, 2022.

JESUS, Cliciane Guadalupe de et al. Filmes automontados do cloreto de 3-n-propilpiridínio silsesquioxano e ftalocianina de cobre obtidos pela técnica LbL: preparação, caracterização e aplicações. 2009.

JIANG, Suisui et al. Physicochemical properties of starch nanocomposite films enhanced by self-assembled potato starch nanoparticles. **LWT-Food Science and Technology**, v. 69, p. 251-257, 2016.

JOBLING, Steve. Improving starch for food and industrial applications. **Current opinion in plant biology**, v. 7, n. 2, p. 210-218, 2004.

KARAN, Hakan et al. Green bioplastics as part of a circular bioeconomy. **Trends in plant science**, v. 24, n. 3, p. 237-249, 2019.

KAUR, Jaspreet; BARHAM, Joshua P. Site-Selective C (sp<sup>3</sup>)–H Functionalizations Mediated by Hydrogen Atom Transfer Reactions via  $\alpha$ -Amino/ $\alpha$ -Amido Radicals. **Synthesis**, v. 54, n. 06, p. 1461-1477, 2022.

KROCHTA, John M. Edible protein films and coatings. **Food proteins and their applications**, p. 529-550, 2017.

KUMAR, S., DWSHMUKH, R., 2021. Packaged Food Market by Type (Dairy Products, Confectionery, Packaged Produce, Bakery & Snacks, Meat, Poultry & Seafood, Ready Meals, and Others). Sales Channel (Supermarket/Hypermarket, Specialty Stores, Grocery Stores, Online Stores, and Others): **Global Opportunity Analysis and Industry Forecast, 2021–2030**.

LAJOLO, F.M.; MENEZES, E.W. Carbohidratos en alimentos regionales Iberoamericanos. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2006. 648p.

LEONG, Wai Hong et al. Impact of various microalgal-bacterial populations on municipal wastewater bioremediation and its energy feasibility for lipid-based biofuel production. **Journal of environmental management**, v. 249, p. 109384, 2019.

LIU, Qing et al. Oxidation modification of debranched starch for the preparation of starch nanoparticles with calcium ions. **Food Hydrocolloids**, v. 85, p. 86-92, 2018.

LIU, Wenmeng et al. Effects of different hydrocolloids on gelatinization and gels structure of chestnut starch. **Food Hydrocolloids**, v. 120, p. 106925, 2021

LORIMER, John P.; MASON, Timothy J. Sonochemistry. Part 1—the physical aspects. **Chemical Society Reviews**, v. 16, p. 239-274, 1987.

LUO, Zhigang et al. Effect of ultrasonic treatment on the physicochemical properties of maize starches differing in amylose content. **Starch-Stärke**, v. 60, n. 11, p. 646-653, 2008.

MACHADO, Bruna AS et al. Obtenção de nanocelulose da fibra de coco verde e incorporação em filmes biodegradáveis de amido plastificados com glicerol. **Química Nova**, v. 37, p. 1275-1282, 2014.

MACNEILL, Gregory J. et al. Starch as a source, starch as a sink: the bifunctional role of starch in carbon allocation. **Journal of experimental botany**, v. 68, n. 16, p. 4433-4453, 2017.

MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E.; YAMASHITA, F. Filmes de amido: produção, propriedades e potencial de utilização. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 31, n. 1, p. 137, 30 abr. 2010.

MALI, Suzana et al. Barrier, mechanical and optical properties of plasticized yam starch films. **Carbohydrate Polymers**, v. 56, n. 2, p. 129-135, 2004.

MARTIN, Franklin W.; CABANILLAS, Eugenio. Leren (*Calathea allouia*), a little known tuberous root crop of the Caribbean. **Economic Botany**, v. 30, n. 3, p. 249-256, 1976.

MARTINS, Alana et al. Ultrasonic modification of purple taro starch (*Colocasia esculenta* B. Tini): structural, psychochemical and thermal properties. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 142, p. 819-828, 2020.

MARX, F.; MAIA, J. G. S. Vitamins in fruits and vegetables of the Amazon. 1. Methods for the determination of  $\beta$ -carotene, tocopherol and ascorbic acid with high performance liquid chromatography (HPLC). **Acta Amazonica**, v. 13, p. 823-830, 1983.

MBOUGUENG, P. D. et al. Influence of acetylation on physicochemical, functional

and thermal properties of potato and cassava starches. **Journal of Food Engineering**, v. 108, n. 2, p. 320-326, 2012.

MIZUKOSHI, Yoshiteru et al. Preparation of platinum nanoparticles by sonochemical reduction of the Pt (II) ion. **Langmuir**, v. 15, n. 8, p. 2733-2737, 1999.

MOTTA, Adriana C.; DUEK, Eliana AR. Síntese, caracterização e degradação" in vitro" do Poli (L-ácido láctico). **Polímeros**, v. 16, n. 1, p. 26-32, 2006.

NASSAR, Eduardo J. et al. Filmes de titânio-silício preparados por" spin" e" dip-coating". **Química Nova**, v. 26, p. 674-677, 2003.

NIAOUNAKIS, Michael. **Biopolymers: applications and trends**. William Andrew, 2015.

MOLAVI, Hooman; RAZAVI, Seyed Mohammad Ali; FARHOOSH, Reza. Impact of hydrothermal modifications on the physicochemical, morphology, crystallinity, pasting and thermal properties of acorn starch. **Food chemistry**, v. 245, p. 385-393, 2018.

OCEANA. Estudo inédito da Oceana revela aumento de 46% de plástico no delivery de comida. Disponível em: <<https://brasil.oceana.org/comunicados/estudo-inedito-da-oceana-revela-aumento-de-46-de-plastico-no-delivery-de-comida>>. Acesso em 11.12.2022.

OCHOA-YEPES, Oswaldo et al. Influence of process (extrusion/thermo-compression, casting) and lentil protein content on physicochemical properties of starch films. **Carbohydrate polymers**, v. 208, p. 221-231, 2019.

OLATUNJI, Ololade. Classification of natural polymers. **In: Natural Polymers**. Springer, Cham, 2016. p. 1-17.

OLIVEIRA, C. S.; ANDRADE, M. M. P.; COLMAN, T. A. D.; COSTA, F. J. O. G.; SCHNITZLER, E. Thermal, structural and rheological behaviour of native and modified waxy corn starch with hydrochloric acid at different temperatures. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 15, p. 13-18, 2014.

ONU - Organização das Nações Unidas: Visual Feature | Pollution to Solution: Accessing marine litter and plastic pollution. Unep.org. Disponível em: <<https://www.unep.org/interactive/pollution-to-solution/>>. Acesso em: 21.12. 2022.

PATIST, Alex; BATES, Darren. Ultrasonic innovations in the food industry: From the laboratory to commercial production. **Innovative food science & emerging technologies**, v. 9, n. 2, p. 147-154, 2008.

ORTEGA CAHUI, Mariangela Brigitte. Elaboración de bioplástico a partir de paja y residuos de granos de arroz. 2019.

ORTIZ, Juan Antonio Ruano; DE CARVALHO, Carlos Wanderlei Piler; ASCHERI, José Luis Ramirez. Otimização do processo de extrusão de amido na obtenção de bioplásticos nanoestruturados para uso em embalagens. 2010.

PÉREZ, Serge; BERTOFT, Eric. The molecular structures of starch components and their contribution to the architecture of starch granules: A comprehensive review. **Starch-Stärke**, v. 62, n. 8, p. 389-420, 2010.

PUNIA, Sneha. Barley starch modifications: Physical, chemical and enzymatic-A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 144, p. 578-585, 2020.

REALINI, Carolina E.; MARCOS, Begonya. Active and intelligent packaging systems for a modern society. **Meat science**, v. 98, n. 3, p. 404-419, 2014.

RINCÓN-AGUIRRE, Alexandra et al. Physicochemical studies of taro starch chemically modified by acetylation, phosphorylation, and succinylation. **Starch - Stärke**, v. 70, n. 3-4, p. 1700066, 2018.

RHA, Dong-Wook et al. Comparison of the therapeutic effects of ultrasound-guided platelet-rich plasma injection and dry needling in rotator cuff disease: a randomized controlled trial. **Clinical rehabilitation**, v. 27, n. 2, p. 113-122, 2013.

SAURABH, Chaturbhuj K. et al. Radiation dose dependent change in physicochemical, mechanical and barrier properties of guar gum based films. **Carbohydrate polymers**, v. 98, n. 2, p. 1610-1617, 2013.

SEHO, Romuald Euloge Yomkil. Utilização da farinha de Ariá (*Culatheia allouia*) para elaboração de sopas desidratadas. In: **VI Congresso de Iniciação Científica do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (Inpa/MCTIC)**, 2017. Brasil, 2017.

SINGH, Preeti; WANI, Ali Abas; LANGOWSKI, Horst-Christian (Ed.). **Food packaging materials: Testing & quality assurance**. CRC Press, 2017.

SREENIVASULU, Nese et al. Transcript profiles and deduced changes of metabolic pathways in maternal and filial tissues of developing barley grains. **The Plant Journal**, v. 37, n. 4, p. 539-553, 2004.

STATISTA. Disponível em: <<https://www.statista.com/statistics/720296/global-polyvinyl-chloride-marketsize-in-tons/>>. Acessado em 25.12.2022.

SUJKA, Monika; JAMROZ, Jerzy. Ultrasound-treated starch: SEM and TEM imaging, and functional behaviour. **Food Hydrocolloids**, v. 31, n. 2, p. 413-419, 2013.

SUNDER, Mridula; MUMBREKAR, Kamalesh D.; MAZUMDER, Nirmal. Gamma radiation as a modifier of starch—Physicochemical perspective. **Current Research in Food Science**, 2022.

TAO, Yang; SUN, Da-Wen. Enhancement of food processes by ultrasound: a review. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 55, n. 4, p. 570-594, 2015.

THARANATHAN, Rudrapatnam N. Starch—value addition by modification. **Critical reviews in food science and nutrition**, v. 45, n. 5, p. 371-384, 2005.

THOMAZ, Luísa et al. Effects of dual modification on thermal, structural and pasting properties of taro (*Colocasia esculenta* L.) starch. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 139, p. 3123-3132, 2020.

TRAVALINI, Ana Paula et al. Cassava starch films reinforced with lignocellulose nanofibers from cassava bagasse. *International journal of biological macromolecules*, v. 139, p.1151-1161,2019.

UDAYAKUMAR, Gowthama Prabu et al. Ecofriendly biopolymers and composites: Preparation and their applications in water-treatment. **Biotechnology Advances**, v. 52, p. 107815, 2021.

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, p. 477-480, 1988.

WHISTLER, Roy L.; BEMILLER, James N.; PASCHALL, Eugene F. (Ed.). Starch: chemistry and technology. **Academic Press**, 2012.

YEH, An-I.; LI, Jeng-Yune. A continuous measurement of swelling of rice starch during heating. *Journal of Cereal Science*, v. 23, n. 3, p. 277-283, 1996.

YUVARAJ, D. et al. Advances in bio food packaging—An overview. **Heliyon**, v. 7, n. 9, p. e07998, 2021.

ZHENG, J.; LI, Q.; HU, A.; YANG, L.; LU, J.; ZHANG, X.; LIN, Q. Dual frequency ultrasound effect on structure and properties of sweet potato starch. **Starch/Stärke**, v. 65, p. 621-217, 2013.

ZHU, Fan. Impact of ultrasound on structure, physicochemical properties, modifications, and applications of starch. **Trends in Food Science & Technology**, v. 43, n. 1, p. 1-17, 2015

ZHOU, Min; XU, Dan. Starch-MMT composite films: Effects of bio-inspired modification on MMT. **Starch-Stärke**, v. 67, n. 5-6, p. 470-477, 2015.

ZUO, Jenny Yue et al. The pasting properties of sonicated waxy rice starch suspensions. **Ultrasonics sonochemistry**, v. 16, n. 4, p. 4

