

UNIVERSIDADE DE SOROCABA
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO, PESQUISA, EXTENSÃO E INOVAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
PROCESSOS TECNOLÓGICOS E AMBIENTAIS

Alex Peres Rodrigues

**PLATAFORMA DE ESTUDOS PARA BANANA VERDE (*Musa spp.* AAA):
ISOLAMENTO, CARACTERIZAÇÃO E POLIMERIZAÇÃO E PREPARAÇÃO DE
FILMES BASEADO EM AMIDO**

Sorocaba/SP

2022

Alex Peres Rodrigues

**PLATAFORMA DE ESTUDOS PARA BANANA VERDE (*Musa spp.* AAA):
ISOLAMENTO, CARACTERIZAÇÃO E POLIMERIZAÇÃO E PREPARAÇÃO DE
FILMES BASEADO EM AMIDO**

Dissertação apresentada à Banca
Examinadora do Programa de Pós-
Graduação em Processos Tecnológicos e
Ambientais da Universidade de Sorocaba,
como exigência parcial para obtenção do
título de Mestre em Processos
Tecnológicos e Ambientais

Orientador: Prof. Dr. Marco Vinicius Chaud

Sorocaba/SP

2022

Ficha Catalográfica

Rodrigues, Alex Peres

R611p Plataforma de estudos para banana verde (*musa spp. AAA*) :
isolamento, caracterização e polimerização e preparação de filmes
baseado em amido / Alex Peres Rodrigues. – 2022.

60 f. : il.

Orientador: Prof. Dr. Marco Vinicius Chaud.

Dissertação (Mestrado em Processos Tecnológicos e

Alex Peres Rodrigues

**PLATAFORMA DE ESTUDOS PARA BANANA VERDE (*Musa spp.* AAA):
ISOLAMENTO, CARACTERIZAÇÃO E POLIMERIZAÇÃO E PREPARAÇÃO DE
FILMES BASEADO EM AMIDO**

Dissertação aprovada como requisito
parcial para obtenção do grau de Mestre
no Programa de Pós-Graduação em
Processos Tecnológicos e Ambientais da
Universidade de Sorocaba
Aprovado em: **29/06/22**

BANCA EXAMINADORA:



Prof. Dr. Marco Vinicius Chaud
Universidade de Sorocaba



Prof. Dr. Daniel Bertoli Gonçalves
Universidade de Sorocaba



Prof. Dr. Fernando Batain
Universidade de Sorocaba

Dedico este trabalho a minha família por estarem sempre ao meu lado me dando força e determinação necessárias durante esta jornada e, aos meus amigos sempre presentes me apoiando a cada momento.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Sarah Peres Rodrigues, minha rainha, minha esposa, meu amor, que me apoiou principalmente nos momentos difíceis e sempre continuou me incentivando até o fim. Também aos meus filhos Nikola e Vinícius. Aos meus pais Sérgio e Marcia e as minhas irmãs Alexsandra e Aline por estarem ao meu lado me ajudando sempre que precisei.

A Universidade de Sorocaba (Uniso) por ter me proporcionado a bolsa que possibilitou meu ingresso para o programa de mestrado para aperfeiçoar meus conhecimentos.

A Tania Mancio, por tudo que ela fez desde o início quando liberou minha bolsa, me ajudou a conciliar minha rotina no administrativo com a pesquisa, sua paciência e incentivos ao longo do processo, por todo seu apoio e conselhos.

Ao Dawilson Menna, pelas nossas conversas, sugestões de ideias e discussões em todo o andamento do trabalho.

Ao Rodrigo Salvador por toda sua ajuda e companheirismo em todos os momentos, também a Adelma Daiane pelo apoio e risadas e todo o setor de Suprimentos.

Ao Fernando Batain, Thais Alves, toda a equipe do LaBNUS pelos ensinamentos, conselhos, companheirismo e disponibilidade, sempre que precisei de qualquer tipo de ajuda.

Ao Profº José Martins pela disponibilização do seu laboratório nas análises de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) ao decorrer do desenvolvimento do trabalho e ao Denicezar Baldo, que sempre me ajudou em nossas conversas com seus conselhos e contribuições.

Ao Sr. Ivan, produtor local de banana, que doou os frutos para elaboração deste trabalho.

A todos meus colegas, professores e coordenação do programa de mestrado em especial ao Professor Daniel Bertoli.

E por fim, ao meu orientador Professor Marco Vinicius Chaud, que me acompanhou em todo o desenvolvimento do trabalho e mais que isso, me ensinou em todas as nossas conversas.

A todos meu muito obrigado.

“A ciência é, portanto, uma perversão de si mesma, a menos que tenha como fim último, melhorar a humanidade.” (Nikola Tesla)

RESUMO

ANTECEDENTES: Estudos já foram desenvolvidos usando a banana para extração de amido. Entretanto, há poucas informações disponíveis sobre as propriedades do amido proveniente dos frutos verdes e frescos e de produtos obtidos com esta fonte amido. **OBJETIVO:** Aprimorar técnicas para extração do amido proveniente do fruto da banana verde, caracterização do amido extraído; preparação e caracterização de filmes hidrogelatinosos baseado no amido da banana verde. **MÉTODOS:** A extração do amido foi realizada por maceração aquosa da banana verde cortada e triturada seguida de flotação, tamização e liofilização do fruto. A caracterização do amido foi feita calorimetria exploratória diferencial (DSC) e microscopia eletrônica de varredura (MEV). O filme baseado em amido foi produzido através das dispersões poliméricas do amido de banana verde e alginato de sódio, seguida da adição de polióis (glicerina e PEG 400). A dispersão hidrogelatinosa dos polímeros adicionada dos polióis foi estendida em placa de vidro, seca em fluxo de ar, na temperatura ambiente e sob luz ultravioleta. As propriedades dos filmes foram caracterizadas por testes físico-mecânicos, físico-químicos e morfológicos. **RESULTADOS:** Com o processo de extração utilizado neste trabalho, foi possível obter um rendimento de 11,93% de farinha de banana verde. Analisando as diferentes formulações propostas, cada uma apresentou suas propriedades em função da relação de massas dos polímeros e da massa molar dos polióis. A formulação II apresentou maior plasticidade, quando comparada as outras formulações I e III, característica essa observada através dos testes físico-mecânicos (tração e perfuração), os quais são influenciados pela resistência das cadeias poliméricas. Os testes físico-mecânicos (resiliência e relaxação) são influenciados pela massa molar dos polióis. Neste caso, as propriedades da formulação III foi melhor quando comparado com as demais. **CONCLUSÃO:** Com os resultados obtidos podemos sugerir algumas possíveis aplicações para as formulações II e III. Sendo que para a formulação II, devido as suas propriedades plásticas, poderia ser utilizada como filme de revestimento de embalagens. Já o filme da formulação III poderia ser indicada para o desenvolvimento de curativos não oclusivos.

Palavras Chave: Banana (*Musa ssp.*), amido, filmes hidrogelatinosos,

ABSTRACT

BACKGROUND: Studies have already been developed using banana for starch extraction. However, little information is available on the properties of starch from fresh, green banana fruits and products obtained from this starch source. **OBJECTIVE:** To improve techniques for extraction of starch from green banana fruit, characterization of the extracted starch; preparation and characterization of hydrogelatinous films based on green banana starch. **METHODS:** The starch extraction was performed by aqueous maceration of green banana cut and crushed followed by flotation, sieving and freeze-drying of the fruit. Starch characterization was performed by differential exploratory calorimetry (DSC) and scanning electron microscopy (SEM). The starch-based film was produced through the polymeric dispersions of green banana starch and sodium alginate, followed by the addition of polyols (glycerin and PEG 400). The hydrogelatinous dispersion of the polymers added of the polyols was stretched on a glass plate, dried in air flow at room temperature and under ultraviolet light. The properties of the films were characterized by physicochemical, physicochemical and morphological tests. **RESULTS:** With the extraction process used in this work, it was possible to obtain a yield of 11.93% of green banana flour. Analyzing the different formulations proposed, each one presented its properties as a function of the mass ratio of the polymers and the molar mass of the polyols. The formulation II presented greater plasticity, when compared to the other formulations I and III, a characteristic that was observed through the physicochemical tests (traction and perforation), which are influenced by the strength of the polymeric chains. The physicochemical tests (resilience and relaxation) are influenced by the molar mass of the polyols. In this case, the properties of formulation III were better if compared to the others. **CONCLUSION:** With the obtained results we can suggest some possible applications for formulations II and III. For formulation II, due to its plastic properties, it could be used as a coating film for packages. The film of formulation III could be indicated for the development of non-occlusive dressings.

Keywords: Banana (*Musa ssp.*), Starch, Hydrogel Films

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fórmula Estrutural Amilose	19
Figura 2 – Fórmula estrutural da Amilopectina	20
Figura 3 – Fórmula estrutural do Alginato de sódio, com indicação dos blocos M (ácido manurônico) e G (ácido glucorônico)	23
Figura 4 – Fórmula estrutural Glicerol (Glicerina)	25
Figura 5 – Fórmula estrutural Polietilenoglicol	26
Figura 6 – Amido banana verde resultante da primeira extração	35
Figura 7 – Amido de banana verde segunda extração após a liofilização antes da trituração	35
Figura 8 – MEV do amido liofilizado primeira (A) e segunda (B) extração magnitude 200x	36
Figura 9 – MEV amido liofilizado primeira (A) e segunda (B) extração magnitude 2.300x	36
Figura 10 – Calorimetria Exploratória Diferencial do amido obtido da 1ª extração ...	37
Figura 11 – Calorimetria Exploratória Diferencial do amido obtido da 2ª. extração ..	38
Figura 12 – Tubo de ensaio com amostra de dispersão de amido gelificada	39
Figura 13 – Filmes produzidos através do amido da banana verde estendido em placa de vidro (A) e depositado em placa de Petri (B)	40
Figura 14 – Secagem dos filmes em estufa de segurança biológico sob luz UV	40
Figura 15 – Filme obtido através das formulações propostas na Tabela 2	41
Figura 16 – Gráfico do teste de tração dos filmes elaborados em diferentes formulações	42
Figura 17 – Gráfico do teste de perfuração dos filmes elaborados em diferentes formulações	43

Figura 18 – Gráfico do teste de resiliência dos filmes elaborados em diferentes formulações	43
Figura 19 – Gráfico do teste de relaxação dos filmes elaborados em diferentes formulações	44
Figura 20 – Gráfico da análise de adesão dos filmes elaborados em diferentes formulações	45
Figura 21 – Espectros de calorimetria exploratória diferencial dos filmes elaborados a partir das três diferentes formulações	46
Figura 22 – Microscopia dos filmes de amido de banana verde formulação 2 (A) e formulação 3 (B) – magnitude 150x.....	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comprimento e espessura das amostras de banana verde	29
Tabela 2 - Formulação (m:m) para preparação dos filmes	32
Tabela 3 - Parâmetros utilizados nos ensaios de textura	33
Tabela 4 - Eventos térmicos dos termogramas das formulações 1,2 e 3	45

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	16
2	REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1	Polímeros naturais	17
2.2	Amido	18
2.3	Alginato de sódio	23
2.4	Plastificantes	24
2.4.1	Glicerol	25
2.4.2	Polietilenoglicol (PEG)	26
2.5	Banana verde.....	27
3	OBJETIVOS	28
3.1	Objetivo Geral	28
3.2	Objetivos Específicos	28
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	28
4.1	Materiais	28
4.2	Métodos	29
4.2.1	Extração do amido	29
4.3	Caracterização do amido	30
4.3.1	Caracterização Macroscópica.....	30
4.3.2	Caracterização Físico-química.....	30
4.3.2.1	Calorimetria exploratória diferencial (DSC)	30

4.3.3	Caracterização Microscópica	31
4.3.3.1	Microscopia eletrônica de varredura (MEV)	31
4.4	Preparação do filme de amido	31
4.5	Caracterização do filme.....	32
4.5.1	Calorimetria diferencial exploratória (DSC)	32
4.5.2	Microscopia eletrônica de varredura (MEV)	32
4.5.3	Propriedades físico-mecânicas.....	33
4.5.4	Propriedades adesivas dos filmes sobre disco de mucina.....	33
5	RESULTADO E DISCUSSÃO.....	34
5.1	Rendimento e Caracterização do Amido.....	34
5.2	Caracterização Microscópica	35
5.3	Caracterização Físico-química.....	37
5.3.1	Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)	37
5.4	Preparação do filme de amido	38
5.5	Caracterização dos filmes de amido	41
5.5.1	Propriedades físico-mecânicas.....	41
5.5.2	Propriedades Adesivas	44
5.5.3	Propriedades Físico-química.....	45
5.5.3.1	Calorimetria diferencial exploratória (DSC)	45
5.5.4	Avaliação Microscópica.....	46
5.5.4.1	Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV)	46
6	CONCLUSÃO PARCIAL E PERSPECTIVAS FUTURAS	48

REFERÊNCIAS	49
-------------------	----

1 INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

Polímeros naturais e seus derivados são de grande interesse como material sustentável, renovável, biodegradável e biocompatível para aplicações biomédicas, ambientais e engenharia de materiais. Amido é um polissacarídeo encontrado em plantas, é um dos mais importantes e abundantes biopolímeros na natureza. Um dos principais desafios para o uso do amido é a baixa solubilidade aquosa e o processamento do material.

O amido é composto por unidades glicosiladas lineares ou ramificadas; cada unidade contém três grupos hidroxila, os quais podem, rapidamente, formar fortes ligações de hidrogênio intermoleculares e intramoleculares. As ligações intermoleculares dão origem aos grânulos de amido encontrados em frutos especialmente na banana verde. Como resultado destas ligações o amido nativo é semicristalino com dupla hélice e ele é muito pouco solúvel em água. De fato, as moléculas de água podem ser parcialmente integradas aos grânulos de amido por ligações de hidrogênio entre as cadeias poliméricas do amido, resultando na hidratação dos grânulos do amido levando à formação de hidrogéis.

DMSO (Dimetilsulfóxido) é muito utilizado como agente de dissolução, contudo esta substância é tóxica e poluente. Neste trabalho descartamos o uso deste co-solvente para toda a plataforma de utilização do amido oriundo da banana verde (BABU; O'CONNOR; SEERAM, 2013; KHAN, 2018; PRABAHARAN; MANO, 2006; RINAUDO, 2008).

A banana (*Musa spp.*) é uma das frutas mais consumidas no mundo e usada como alimento básico em regiões tropicais e subtropicais (D'HONT *et al.*, 2012). Dados da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) divulgado em 2020 mostravam que a banana é cultivada em todos os estados da federação incluindo o Distrito Federal, com uma área cultivada de 455.004 hectares (ha), produção 6.637.308 toneladas (t) e rendimento t/ha de 14,54. No topo da lista dos estados estão São Paulo, Minas Gerais e Bahia. O teor de amido do fruto fresco fica entre 20 e 25% (m/m) e entre 60 e 75% do fruto seco. O tamanho dos grânulos de amido é relativamente grande e irregular, geralmente variam entre 8 e 48 μm (MESQUITA *et al.*, 2016).

A banana é também um excelente modelo para estudar o metabolismo do amido. Pesquisas têm focado também sobre a estrutura granular do amido (LOW *et*

al., 2015) e capacidade antioxidante (SARAWONG *et al.*, 2014), bem como propriedades físico-químicas do amido da banana (DE LA TORRE-GUTIÉRREZ; CHEL-GUERRERO; BETANCUR-ANCONA, 2008; OTEGBAYO; LANA; IBITOYE, 2010; TRIBESS *et al.*, 2009).

Considerando os estudos citados e outros relacionados aos componentes da banana, há poucas informações disponíveis sobre as propriedades do amido proveniente dos frutos verdes e frescos. Neste estudo, prospectamos as propriedades do amido proveniente da polpa do fruto verde usando métodos físicos e químicos. A partir dos resultados isolar o amido e estudar as técnicas de reticulação do composto puro, selecionar racionalmente com base nas propriedades físico-químicas polímeros ou polióis para formação de blendas que melhorem as propriedades mecânicas do filme de amido. Fabricar filmes bidimensionais e laminares.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Polímeros naturais

Devido ao grande impacto ambiental que os polímeros sintéticos causam ao meio ambiente, muitas pesquisas estão sendo feitas para o desenvolvimento de embalagens e filmes biodegradáveis à base de fontes naturais (CUI *et al.*, 2021; SALAZAR *et al.*, 2021, 2022; TOSIF *et al.*, 2021). Assim, os polímeros biodegradáveis e biomateriais são uma alternativa para contornar os impactos gerados pelo descarte inadequado dos polímeros sintéticos (HAIDER *et al.*, 2019; ROCHA *et al.*, 2014). Segundo Brito *et al.*, (2011), os polímeros biodegradáveis são decompostos naturalmente pelos micro-organismos quando chegam ao final da sua vida útil.

Apesar da grande importância dos polímeros produzidos a partir de matéria natural, esta produção ainda é baixa quando comparada com a produção dos polímeros sintéticos, segundo dados do European Bioplastics e da Nova-Institute (Hürth, Alemanha), divulgados em 2018, a produção de bioplásticos foi de 2,11 milhões de toneladas, ou seja 0,6% da produção global que foi de 359 milhões de toneladas neste mesmo período (SHANMUGAM *et al.*, 2020). Isso mostra a importância do apoio ao desenvolvimento científico pelas indústrias, governo e sociedade, para que haja avanço de tecnologia dos polímeros biodegradáveis.

Os polímeros biodegradáveis são feitos a partir de uma matéria orgânica de fonte renovável e, atualmente, são muito bem aceitos devido a redução dos impactos ambientais.

Estes polímeros podem ocorrer naturalmente ou serem sintetizados através de reações químicas (JAKUBOWICZ, 2003; PERVAIZ *et al.*, 2014). Os polímeros biodegradáveis podem ser divididos em (1) polímeros naturais (amido, celulose, proteínas, poli- β -hidroxibutirato), (2) polímeros naturais modificados biologicamente ou quimicamente (acetato de celulose, ésteres de lignocelulose, copolímeros de polialcanoato, entre outros) e (3) polímeros biodegradáveis sintéticos, que são modificados (blendas) com componentes biodegradáveis naturais (amido, celulose recuperada, borracha natural, etc. (ALBERTSSON *et al.*, 1994; FRITZ; LINK; BRAUN, 2001; HILMI; HAMID; NOOR, 2020; HOFFMANN *et al.*, 2003).

No que diz respeito ao impacto ambiental dos materiais biodegradáveis, é importante saber o seu grau de biodegradação. O grau e a taxa de biodegradação do material são dependentes da composição química do polímero. Um polímero biodegradável tem pouco valor se os produtos gerados após a sua degradação, formarem compostos que contaminam a água, são tóxicos aos organismos vivos ou se acumulam no solo ao longo dos anos devido a degradação lenta (KYRIKOU; BRIASSOULIS, 2007).

Aqui destacamos o amido por ser a substância extraída e utilizada para elaboração deste trabalho.

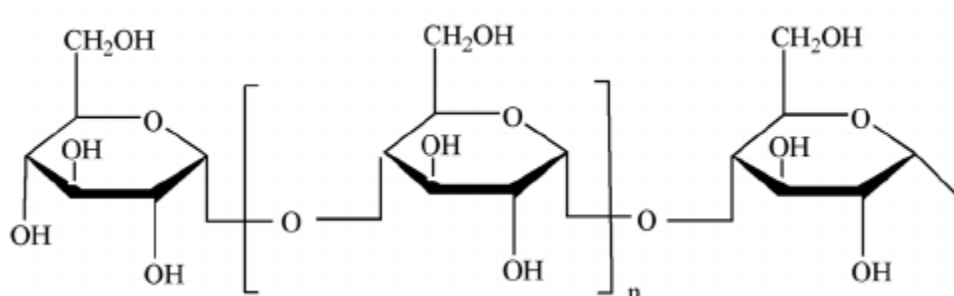
2.2 Amido

O amido é um carboidrato utilizado pelas plantas como reserva energética e está organizado em pequenos grãos dentro da matriz celular. Este polissacarídeo natural é obtido de diversas fontes vegetais renováveis e, portanto, tem recebido destaque devido as suas aplicações industriais e biotecnológicas, além do seu baixo custo, disponibilidade e boa processabilidade em equipamentos para produção de plásticos (JIANG *et al.*, 2020a; JIMÉNEZ *et al.*, 2012; VERSINO *et al.*, 2016). As principais fontes de amido são o milho, o trigo, a batata e a mandioca. No Brasil, o milho e a mandioca são as matérias-primas mais utilizadas para obtenção do amido (FILHO; PUMACAHUA; TELIS-ROMERO, 2006). Porém, novas fontes como algumas

frutas não convencionais, leguminosas e pseudo-cereais (TAGLIAPIETRA *et al.*, 2021; TOSIF *et al.*, 2021; VAMADEVAN; BERTOFT, 2015), que possuem as propriedades e características que atendam aos diversos segmentos industriais, também têm sido exploradas.

Diferente da maioria dos carboidratos, o amido se apresenta naturalmente na forma de grânulos, composto por dois polímeros: um polissacarídeo de cadeia linear (amilose Figura 1) e outro com uma estrutura ramificada (amilopectina Figura 2), formando grânulos semicristalinos (CUI *et al.*, 2021; JIMÉNEZ *et al.*, 2012; PEDREIRO *et al.*, 2021; VAMADEVAN; BERTOFT, 2015; WALTER; SILVA; EMANUELLI, 2005). A amilose apresenta uma estrutura helicoidal formada por unidades de glicose unidas por ligações α -(1,4). A amilose apresenta um peso molecular 10 vezes maior do que os polímeros sintéticos à base de petróleo, enquanto o seu peso molecular é muito menor quando comparado a amilopectina (JIANG *et al.*, 2020).

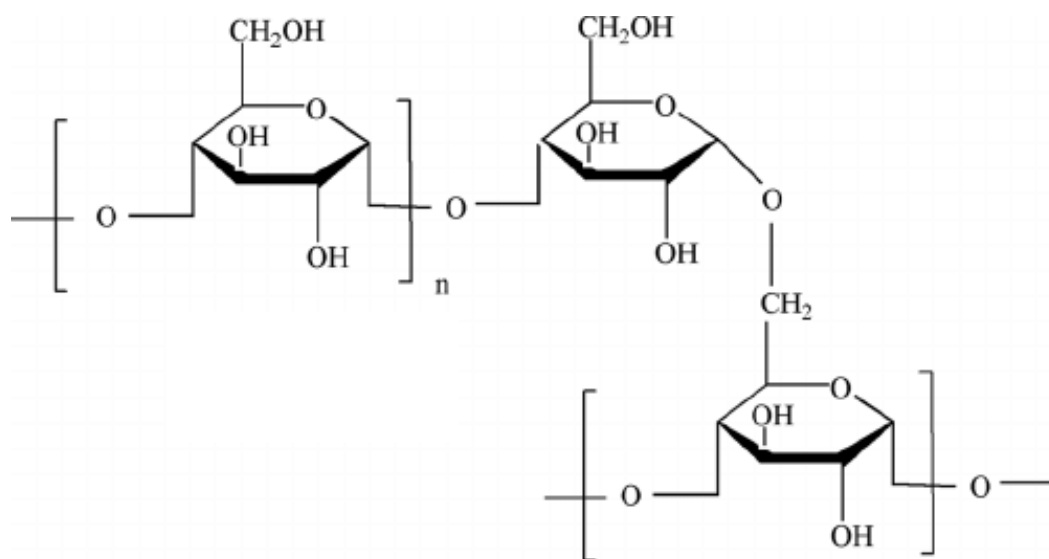
Figura 1 - Fórmula Estrutural Amilose



Fonte: Adaptado de: ISMAIL; IRANI; AHMAD, 2013

A amilopectina é formada por unidades de glicose unidas por ligações α -(1,4) e α -(1,6), formando uma estrutura ramificada. Diferente da amilose, a amilopectina está presente em todos os amidos, podendo em alguns casos ser constituído somente por amilopectina (ALTAN *et al.*, 2009; FENNEMA, 2007; PELISSARI *et al.*, 2012).

Figura 2- Fórmula estrutural da Amilopectina



Fonte: Adaptado de: ISMAIL; IRANI; AHMAD, 2013

A estrutura do grânulo, a proporção destes polímeros e sua organização dentro da célula é diferente para cada origem botânica e, portanto, apresenta propriedades funcionais (ALTAN *et al.*, 2009; FENNEMA *et al.*, 2007; NWOKOCHA *et al.*, 2009; WALTER *et al.*, 2005). Tornando-o útil para diversas aplicações industriais como alimentos, produtos farmacêuticos, plásticos e outros (NWOKOCHA; WILLIAMS, 2009). Dependendo da sua origem, os grânulos de amido podem ser arredando, oval e poliédrico, com tamanhos que variam de 2 a 100 μm (ZHANG; HAMAKER, 2012).

A relação amilose/amilopectina é influenciada pela origem do amido e, conseqüentemente, leva a diferentes graus de cristalinidade. As propriedades tecnológicas dos amidos são dependentes da cristalinidade (JIANG *et al.*, 2020; JIMÉNEZ *et al.*, 2012; PEDREIRO *et al.*, 2021; SHAH *et al.*, 2016). Devido as fortes ligações de hidrogênio intermoleculares, os amidos não são solubilizados em água fria. Porém, em presença de água quente, essas ligações se enfraquecem por causa da interação entre moléculas de água e grupos hidroxila de amilose e amilopectina, levando à solubilização parcial do amido. Em solução, a amilose se cristaliza, formando duplas hélices que são empacotadas em alomorfos, isto é, quando apresenta várias formas cristalinas (VAMADEVAN; BERTOFT, 2015). Esse fenômeno é conhecido como retrogradação. Portanto, a relação amido/solvente e temperatura utilizados durante a solubilização do amido, são fatores significativos e que influenciam a sua gelatinização. Este processo é muito relevante para produção de filmes e revestimentos à base de amido (JIMÉNEZ *et al.*, 2012), além do

intumescimento dos grânulos, decomposição, fusão e cristalização (JIANG *et al.*, 2020). Os grânulos geralmente têm uma superfície plana e em alguns casos apresentam estrias e fissuras, tornando-o susceptível a penetração da água durante sua hidratação, causando a expansão reversível das regiões amorfas, aumento de volume e expansão (DENARDIN; DA SILVA, 2009; KAUR *et al.*, 2020).

Em termos de classificação devido a estrutura físico-química e susceptibilidade de hidrólise enzimática, o amido pode ser considerado glicêmico ou resistente. O primeiro se refere ao amido degradado à glicose devido a ação das enzimas do trato digestivo e o segundo é definido como fibra, pois é fermentado no trato intestinal (KAUR *et al.*, 2020; NAIDOO; AMONSOU; OYEYINKA, 2015; PELISSARI *et al.*, 2012; WALTER; SILVA; EMANUELLI, 2005).

Para preparação de filmes à base de amido dois processos podem ser utilizados, o úmido ou seco. No primeiro, os filmes são feitos por dispersão filmogênica utilizando a técnica de casting, que consiste no preparo da dispersão seguido do espalhamento e secagem em estufa. No segundo processo, é produzido o amido termoplástico através do processamento termoplástico ou térmico utilizando extrusoras (JIMÉNEZ *et al.*, 2012; JIANG *et al.*, 2020; PEDREIRO *et al.*, 2021). As dispersões de amidos formados têm boa capacidade de formação de filme, similar a outros filmes de polímeros naturais.

Filmes produzidos a partir do amido apresentam várias vantagens das quais são destacadas as boas propriedades de barreira ao oxigênio, valor nutricional, comestibilidade, são insípidos, incolores e inodoros, entre outros (HIREMANI *et al.*, 2021; SHAH *et al.*, 2016). Porém, devido à sua natureza hidrofílica também apresentam algumas desvantagens como a baixa capacidade de barreira ao vapor de água e propriedades mecânicas (PEDREIRO *et al.*, 2021; TOSIF *et al.*, 2021). Isso quer dizer que os filmes elaborados com polímeros de fonte vegetal, como o amido, são quebradiços e pouco flexíveis, sendo necessário a adição de alguma substância plastificante a matriz para superar essas limitações (COUPLAND *et al.*, 2000). Alguns plastificantes e outras substâncias hidrofóbicas (polióis, ou a incorporação de outros polissacarídeos e proteínas) podem ser adicionados para melhorar as características de barreira ao vapor de água e propriedades mecânicas (TEIXEIRA-COSTA; ANDRADE, 2021).

Um dos plastificantes comumente utilizado é o glicerol, pois apresenta compatibilidade com o este polímero. O uso destes plastificantes melhoram a

coalescência, característica que é atribuída à capacidade dos plastificantes em reduzir a temperatura de transição vítrea (T_g) dos polímeros a eles associados, aumentando, assim, a mobilidade das cadeias poliméricas e melhorando a propriedade mecânica dos filmes (ROCHA *et al.*, 2014).

Desse modo, é possível observar que o amido é um polímero de muita importância, apesar de algumas limitações, ainda pode ser utilizado para produção de filmes biodegradáveis. Pois é uma matéria-prima de grande abundância, renovável, biodegradável e não tóxica, que pode ser extraída a partir de processos industriais simples e ser convertido em diversas substâncias através de processos químicos e bioquímicos.

Amido resistente (AR) é definido como a soma de amido e os seus produtos de degradação que não são absorvidos no intestino delgado de indivíduos saudáveis (KAUR *et al.*, 2020; SARANGI, 2014). É um polímero natural encontrado em alimentos crus, incluindo a banana verde. Com base na resistência, o amido pode ser classificado em quatro tipos: AR1, AR2, AR3 e AR4.

O AR1, muito presente em grãos e sementes, apresenta uma estrutura densamente empacotadas e fica dentro das paredes celulares rígidas das plantas, o que impedem o acesso da amilase pancreática e, assim, dificulta a digestão do amido (SARANGI, 2014). O AR2 refere-se a característica de polimorfismo que o grânulo de amido apresenta, sendo denominados de A, B ou C. No tipo A, ocorre a formação de polímeros cristalinos e as moléculas de amilopectina apresentam uma cadeia com menos de 20 unidades de glicose. As moléculas de amido do tipo B apresentam cadeias externas de amilopectina com mais de 22 unidades de glicose. Já o polímero tipo C é considerado um intermediário entre os tipos A e B. Devido a estrutura polimórfica presente nos tipos B e C, estes apresentam uma maior resistência (TESTER; KARKALAS; QI, 2004).

O AR3 é o amido que foi submetido ao processo de retrogradação, após ter sido rompido e passado pelo processo de gelatinização da estrutura do grânulo nativo, tornando-o digerível. O quarto tipo de AR, sofre modificações em sua estrutura química com grupamentos ésteres, fosfatos e éteres, bem como amidos com ligações cruzadas, conhecido como amido quimicamente modificado (FONTINHA; CORREIA, 2010; LOBO; DE LEMOS SILVA, 2003; SALGADO *et al.*, 2005). Na banana verde encontramos dois tipos de amido (AR1 e AR2) e na biomassa e farinha de banana verde são encontrados os amidos do tipo AR1 e AR2 e AR3.

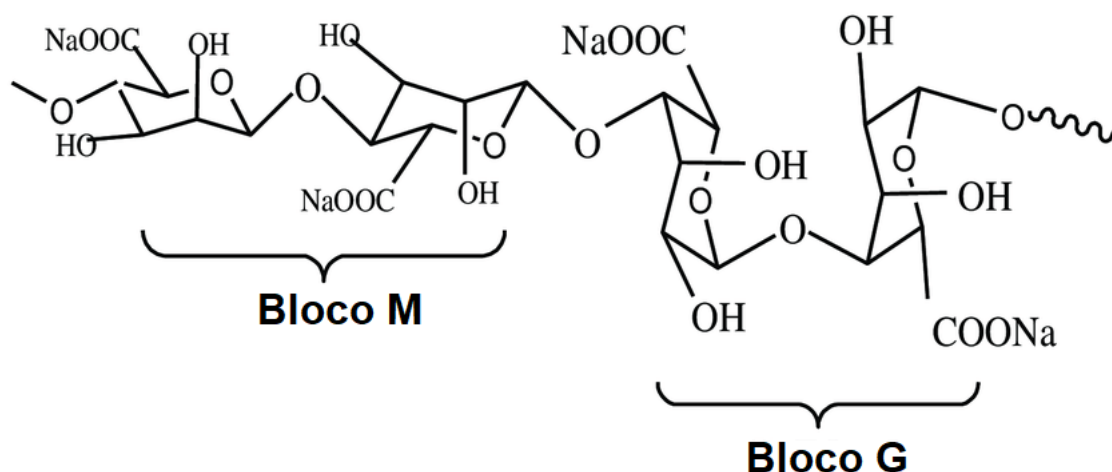
2.3 Alginato de sódio

O alginato é um polissacarídeo muito abundante na natureza, podendo ser encontrado como componente estrutural nas paredes moleculares das *Phaeophyceae*, uma classe de algas marinhas castanhas, que proporcionam tanto força como flexibilidade ao tecido das algas. O alginato também está presente nas bactérias do solo na forma de um polissacarídeo capsular (CÓRDOBA *et al.*, 2008; HECHT; SREBNIK, 2016; MAITI; KUMARI, 2016).

O alginato de sódio é um produto de muitos açúcares não processados com capacidade de ser dissolvido tanto água fria como quente sob forte agitação. Na presença de íons de cálcio divalente, este produto forma gel sem a necessidade de calor (EGHBALIFAM; FROUNCHI; DADBIN, 2015; HECHT; SREBNIK, 2016).

Em virtude da sua composição química tem sido amplamente estudado devido à sua capacidade de formar géis e micropartículas (GOH; HENG; CHAN, 2012; HECHT; SREBNIK, 2016; PEREIRA *et al.*, 2013; THAKUR; PANDEY; AROTIBA, 2016). Sua estrutura é uma mistura complexa de oligômeros composta por unidades de ácidos manurônico e glucurônico, unidas por ligações glicosídicas (CÓRDOBA *et al.*, 2008).

Figura 3 - Fórmula estrutural do Alginato de sódio, com indicação dos blocos M (ácido manurônico) e G (ácido glucurônico)



Fonte: Adaptado de: SALISU *et al.*, 2016.

O ácido manurônico forma uma ligação $\beta(1 \rightarrow 4)$, de modo a que os segmentos do bloco M apresentem uma conformação linear e flexível. Já o ácido glucurônico,

apresenta uma ligação α (1 $\rightarrow$ 4), introduzindo desta forma um impedimento em torno dos grupos carboxila e por este motivo, os segmentos do bloco G proporcionam conformações estruturais dobradas e rígidas, atribuindo rigidez as cadeias moleculares (CÓRDOBA *et al.*, 2008; HECHT; SREBNIK, 2016; LOUREIRO DOS SANTOS, 2017; MAITI; KUMARI, 2016). Na presença de água, os íons divalentes formam ligações cruzadas com alginato, ligando os resíduos do bloco G (ácido glucurônico), induzindo uma transição sólido-gel ao material. Essas ligações criam uma estrutura rígida do tipo “caixa de ovos” e transmite um comportamento sólido viscoelástico ao material (CÓRDOBA *et al.*, 2008).

As aplicações industriais dos alginatos encontram-se principalmente no ramo de alimentos como viscosificante e emulsificante (MAHDAVINIA *et al.*, 2016), médicas e farmacêuticas (PEREIRA *et al.*, 2013) e estão ligadas à sua capacidade de reter água, bem como a sua gelificação, viscosidade, e propriedades estabilizadoras (HECHT; SREBNIK, 2016; MAHDAVINIA *et al.*, 2016; PEREIRA *et al.*, 2013).

2.4 Plastificantes

Os plastificantes são aditivos, que ao serem misturados aos polímeros promovem uma redução nas forças intermoleculares entre as cadeias poliméricas. Isto é, aumenta a flexibilidade do filme, reduzindo sua fragilidade e promovendo melhor maleabilidade e elasticidade. Além disso, os plastificantes podem alterar a permeabilidade do filme à vapores de água e gases (BASIAK; LENART; DEBEAUFORT, 2018; HAN, 2013).

Os plastificantes mais utilizados em filmes a base de amido são os polióis, como o glicerol (CHILLO *et al.*, 2008; ÈIVI *et al.*, [s.d.]; LIU *et al.*, 2013; LIU; YI; FENG, [s.d.]; SHOJAE KANG SOFLA; MORTAZAVI; SEYFI, 2020), sorbitol, polietilenoglicol (HOLCAPKOVA *et al.*, 2018; SHOJAE KANG SOFLA; MORTAZAVI; SEYFI, 2020; ZHOU; WANG, 2021). Aqui destacamos apenas os plastificantes empregados na formulação dos filmes à base do amido de banana verde, que foram o glicerol e polietilenoglicol.

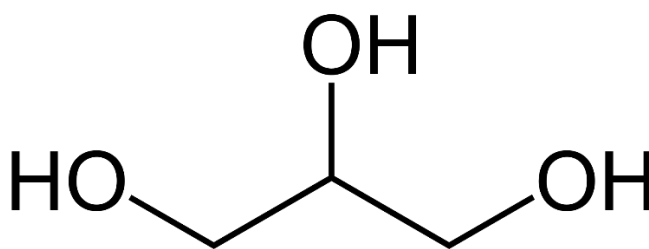
Estes polióis são capazes de interagir com as cadeias do amido, aumentando a flexibilidade dos filmes devido ao aumento da mobilidade molecular dos polímeros e, em consequência, resultando em materiais com menor temperatura de transição

vítrea (MALI; GROSSMANN; YAMASHITA, 2010). Essa redução de temperatura de transição, faz com que a transição do material do estado vítreo para o estado borrachento seja mais fácil de ocorrer (BASIAK; LENART; DEBEAUFORT, 2018; CÓRDOBA *et al.*, 2008).

2.4.1 Glicerol

O glicerol (glicerina) é um polímero biodegradável derivado do petróleo, atóxico e apresenta biocompatibilidade com diversos polímeros (CHENG; CAI; WANG, 2003). Dentre os plastificantes empregados, o glicerol é um dos mais usuais pois apresenta compatibilidade com a amilose (BASIAK; LENART; DEBEAUFORT, 2018; VIEIRA *et al.*, 2011), estimulando as propriedades mecânicas, que interferem no empacotamento da amilose devido às forças exercidas entre as moléculas de declínio e as moléculas de amido (TARIQUE; SAPUAN; KHALINA, 2021).

Figura 4 - Fórmula estrutural Glicerol (Glicerina)



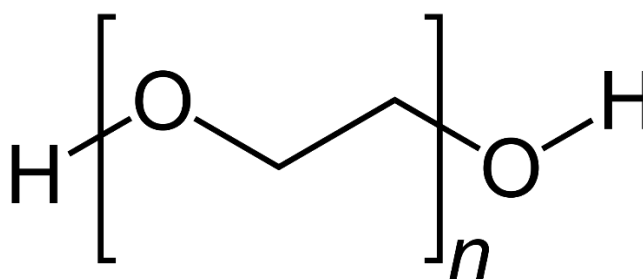
Fonte: Elaboração própria

O glicerol é utilizado com a finalidade de melhorar a viscosidade e flexibilidade dos filmes (CHILLO *et al.*, 2008; LIU *et al.*, 2013; TARIQUE; SAPUAN; KHALINA, 2021). Estudos demonstraram que as concentrações de 20-40% de glicerol são suficientes para diminuir a resistência de tração e melhorar o alongamento na ruptura do filme (TARIQUE; SAPUAN; KHALINA, 2021). Entretanto, a concentração de glicerol é dependente do objetivo que se deseja ao filme, como exemplo, com uma quantidade mínima de 30% de glicerol já é possível conseguir uma resistência mecânica aceitável e vedação a quente para filmes à base de amido (BASIAK; LENART; DEBEAUFORT, 2018).

2.4.2. Polietilenoglicol (PEG)

O polietilenoglicol, conhecido como óxido de poli(etileno), é um poliéter sintético, hidrofílico, atóxico e possui biocompatibilidade com outros materiais. Este polímero pode ser encontrado com diversas faixas de massa molar (200 a 20000 g.mol⁻¹), possui alta flexibilidade de estrutura, desprovido de quaisquer impedimentos estéricos e alta capacidade de hidratação (CAPANEMA *et al.*, 2018; D'SOUZA; SHEGOKAR, 2016).

Figura 5 - Fórmula estrutural Polietilenoglicol



Fonte: ZARRINTAJ *et al.*, 2019

Os polietilenoglicol de baixo peso molecular são líquidos à temperatura ambiente e podem ser usados diretamente como plastificantes. Porém, os de alto peso molecular, que são sólidos, precisam estar em estado solubilizado antes de ser utilizado como plastificante (D'SOUZA; SHEGOKAR, 2016).

A mistura ou copolimerização de filmes contendo polietilenoglicol de diferentes pesos moleculares podem alterar a temperatura de transição vítrea e o ponto de fusão, podendo variar o módulo de deformação plástica/elástica. Este efeito plastificante é a base das propriedades mecânicas do polietilenoglicol (D'SOUZA; SHEGOKAR, 2016; KOWALCZYK *et al.*, 2012). Vale ressaltar que a eficácia do sistema é dependente das propriedades desejadas e a aplicação a qual se destina o filme.

Outros estudos mostraram que este polímero desempenha uma função interessante para área médica. Sendo capaz de auxiliar na cicatrização de ferimentos e, portanto, é um polímero muito empregado na elaboração de curativos de pele devido à sua capacidade desidratação, redução de infecções e flexibilidade, podendo ser aplicado em locais com articulação. (CAPANEMA *et al.*, 2018; CHEN *et al.*, 2016; KRAELING *et al.*, 2018).

2.5 Banana verde

A banana (*Musa* spp) pertence à família botânica Musaceae. É uma planta não-lenhosa composta por várias camadas sucessivas de folhas sobrepostas, o seu rizoma é subterrâneo e a partir do pseudocaule os frutos se desenvolvem (ISRAELI; LAHAV, 2017). As variedades de banana mais cultivadas no Brasil são “Prata”, “Pacovan” e “Maçã”, seguido pela “Nanica” (SOUSA *et al.*, 2003). Esta planta é frequentemente encontrada em regiões de clima tropical, pois o seu desenvolvimento e produção são afetados pelo calor (ISRAELI; LAHAV, 2017).

Entre os anos 2017 e 2019, a banana foi uma das cultivares mais produzida no mundo, com uma produção de aproximadamente 116 milhões de toneladas (SALAZAR *et al.*, 2021). Um dos maiores produtores de banana é o Brasil, desse modo, a banana tem grande participação na economia do país. Contudo, essa cultura apresenta um déficit de manejo e produção, acarretando muitas perdas durante o pós-colheita com destaque as bananas verdes, que são descartadas ou utilizadas como ração animal e fertilizantes (RAYO *et al.*, 2015; SALAZAR *et al.*, 2022). Apesar de muitos estudos mostrarem os benefícios sobre o consumo de biomassa e/ou farinha de banana verde, o seu uso para o consumo humano ainda é muito limitado, gerando grandes quantidades de resíduos (SALAZAR *et al.*, 2021).

A banana no seu estágio imaturo (verde) é rica em vitaminas (complexo B), minerais (cálcio, enxofre, fósforo, potássio e zinco) e possui elevada quantidade de amido resistente (RANIERI; DELANI, 2014). Os grânulos de amido presentes na banana verde apresentam uma estrutura de superfície lisa e densa, o qual dificultam a ação das enzimas hidrolíticas, contribuindo para sua resistência (TESTER; KARKALAS; QI, 2004).

O teor de amido encontrado nas bananas verdes varia de acordo com sua espécie. O genótipo Nanica, de acordo com Leonel *et al.*, 2011, apresenta cerca de 20,3% de amido no fruto fresco. Neste genótipo também foi observado que a amilose não está ligada às moléculas lipídicas e que a estrutura da amilopectina apresenta longas cadeias ramificadas, conferindo uma boa resistência térmica e menor quebra de viscosidade (LEONEL *et al.*, 2011). Outro estudo mostrou que os grânulos de amido da espécie Nanica apresentam um AR do tipo B, o que explica a sua resistência a ação enzimática, devido à alta cristalinidade da amilopectina (MUSA *et al.*, 2005).

3 OBJETIVOS

3.1 Objetivo geral

Preparar e caracterizar filmes proveniente do amido extraído da banana verde.

3.2 Objetivos específicos

- Extrair o amido da banana verde;
- Caracterizar o amido extraído;
- Produzir e caracterizar e filmes laminares baseado em amido.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Materiais

As bananas utilizadas no desenvolvimento deste trabalho, são do genótipo “Nanica” (*Musa sp.* AAA) cultivadas e doadas por um produtor que tem seu sítio localizado (Latitude 23°30'46” S, Longitude 47°33'7” O) na região da cidade de Araçoiaba da Serra, São Paulo. A cidade está a altitude de 635m do nível do mar, com clima subtropical temperado, a precipitação média é de 199mm nos meses mais úmidos e 34 mm nos meses mais secos, suas temperaturas médias são de 29°C na máxima e 13°C na mínima.

As bananas foram colhidas em setembro de 2019 e agosto de 2021, antes da maturação com tempo médio de 55 dias após a inflorescência. Para critério de padronização do estágio de amadurecimento, os frutos foram selecionados com base no comprimento e espessura, sendo este o fator determinante para uniformização das amostras. As amostras foram separadas em dois grupos com 17 unidades em cada (Tabela 1). Os demais materiais utilizados foram água purificada, ácido cítrico P.A., alginato de sódio P.A, glicerina P.A., e polietilenoglicol 400 P.A.

Tabela 1 - Comprimento e espessura das amostras de banana verde

Comprimento (cm)		Espessura (cm)		
Grupo 1		Grupo 2		
11,8		10,6		
12,3		10,5		
11,7		10,2		
11,1		10,7		
10,9		10,4		
11,2		10,6		
11,9		10,6		
11,4		10,7		
11,3		10,6		
11,2		10,6		
11,3		10,2		
11,2		10,0		
11,0		10,4		
11,2		10,2		
11,8		10,1		
11,2		10,3		
11,3		10,7		
Média ± Desvio Padrão				
MA	11,40	10,43	2,67	2,59
DP	0,37081	0,22896	0,14476	0,10289

Fonte: Elaboração própria

4.2 Métodos

4.2.1 Extração do amido

O tratamento das bananas e extração do amido foi realizado de acordo com método descrito por CHIANG *et al.*, (1987) com adaptações.

As bananas foram previamente lavadas em água corrente. A casca foi descartada e a polpa foi cortada em cubos e imersa em solução aquosa de ácido cítrico 3% (m:v) gelada (5°C). As amostras foram trituradas na presença de água

purificada 2,5%, após a trituração a polpa triturada foi homogeneizada usando Ultradispersador (T25 Turrax - IKA) 10.000 RPM por 10 minutos e passada por tamiz com malha de 20 mesh. As partículas maiores foram novamente homogeneizadas em turrax, seguida de nova tamisação

A amostra foi mantida geladeira por 12h para decantação do material sólido. O sobrenadante foi descartado e o sedimento (amido) ressuspense em quantidade mínima de água. A dispersão foi posteriormente congelada na temperatura de -80 °C, e liofilizado (48h).

O amido liofilizado foi triturado manualmente com auxílio de gral e pistilo, e posteriormente passado por tamiz com malha 120 mesh. Ao término do processo o amido resultante foi armazenado em potes hermeticamente vedados e mantidos com temperatura controlada (25°C) ao abrigo da luz.

4.3 Caracterização do amido

4.3.1 Caracterização macroscópica

As características macroscópicas do amido obtido após a liofilização, da polpa da banana verde foram registradas e fotografadas. A amostra de amido foi avaliada quanto aos aspectos morfológicos: coloração, aparência e estrutura.

4.3.2 Caracterização físico-química

4.3.2.1 Calorimetria exploratória diferencial (DSC)

Os termogramas do amido de banana foram obtidos por calorimetria exploratória diferencial (DSC-Thermal analyser TA 60W-Shimadzu DSC-60). A rampa de aquecimento foi de 25 °C a 350 °C, com taxa de aquecimento de 10 °C. min⁻¹, sob fluxo (50 mL.min⁻¹) de nitrogênio. As amostras (≈ 2mg) foram dispostas em cadinho de alumínio padrão com tampa e em seguida foram hermeticamente fechados (BATAIN *et al.*, 2021).

4.3.3 Caracterização microscópica

4.3.3.1 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

O procedimento para preparo da amostra foi realizado de acordo com Alves *et al.*, (2020), com modificações.

Uma pequena porção do amido liofilizado foi disposta em uma fita adesiva de carbono dupla face presa a um stub de alumínio. O suporte foi recoberto com uma fina camada de ouro no metalizador (DII-29010SCTR Smart Coater, JEOL, Tóquio, Japão). A amostra foi submetida à condição de vácuo, o gás argônio foi liberado como meio que forma o plasma para ionizar a placa metálica de ouro e a corrente foi ajustada para 3 mA, durante 2 min para obter um filme de recobrimento com espessura $\sim 92 \text{ \AA}$.

Em seguida, a amostra foi aleatoriamente microfotografada em microscópio eletrônico de varredura (JSM-IT200, JEOL, Tóquio, Japão) e digitalizada.

Para a análise da amostra foi utilizado tensão de aceleração igual 3 kV.

4.4 Preparação do filme de amido

Os filmes foram preparados usando a técnica de *casting* com adaptações de estudos prévios (DE MORAES *et al.*, 2013; PELISSARI *et al.*, 2019).

Para a preparação do filme com amido foi utilizada uma dispersão aquosa de amido 12,5% m:v previamente aquecida em banho maria a 80°C, durante 4 min, e uma dispersão aquosa de alginato de sódio 5% m:v. As dispersões poliméricas foram misturadas na proporção 10:8 m:m (amido:alginato), e adicionadas de glicerina P.A. e PEG-400 P.A. em diferentes proporções (Tabela 2). A mistura foi feita manualmente para minimizar a formação de bolhas de ar. As bolhas de ar remanescente foram eliminadas em banho ultrassônico, 40 Hz, 40°C durante 60min.

Tabela 2: Formulação (m:m) para preparação dos filmes

	I	II	III
Amido	62,5g	62,5g	62,5g
Alginato de sódio	50g	50g	50g
Glicerina	2,25g	2,25g	1,12g
MM	92,09 g.mol ⁻¹	184,18 g.mol ⁻¹	92,09 g.mol ⁻¹
PEG 400	2,25g	1,12g	2,25g
MM	400 g.mol ⁻¹	400 g.mol ⁻¹	800 g.mol ⁻¹

Fonte: Elaboração própria

Em seguida a dispersão foi vertida em um extensor para filmes poliméricos com abertura para vazão de 1mm, e estendido em placa de vidro previamente lavadas e desengorduradas com álcool etílico 95%. As placas foram deixadas para secagem por 12h em fluxo laminar com exaustão, temperatura ambiente, e sob luz ultravioleta para evitar proliferação bacteriana.

4.5 Caracterização do filme

4.5.1 Calorimetria diferencial exploratória (DSC)

Os termogramas do filme de amido foram obtidos por análise de calorimetria exploratória diferencial (DSC-Thermal analyser TA 60W-Shimadzu DSC-60), com os mesmos parâmetros utilizados para o amido extraído.

4.5.2 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

A micrografia dos filmes baseados em amido foi aleatoriamente microfotografada em microscópio eletrônico de varredura (JSM-IT200, JEOL, Tóquio, Japão) e digitalizada com os mesmos procedimentos e parâmetros descritos anteriormente para amido extraído.

4.5.3 Propriedades físico-mecânicas

As propriedades físico-mecânica dos filmes de amido foram avaliadas utilizando texturômetro equipado com célula de carga de 5 Kg (Stable Micro Systems – TA-XT Plus Analyzer) e as forças obtidas foram expressas em Newton (N). Para avaliar as propriedades físico-mecânica de tração, perfuração, relaxação e resiliência o aparato utilizado foi modelo Heavy Duty Platform (n 13155) e plataforma modelo Film Support Rig (n 13085). Os parâmetros utilizados nos testes são apresentados na tabela 3, todos os ensaios foram realizados em triplicatas e a média entre eles foi adotada para critério de análise (ALVES *et al.*, 2018).

Tabela 3 - Parâmetros utilizados nos ensaios de adesividade sobre disco de mucina

	Perfuração e Tração	Relaxação e Resiliência
Velocidade pré-teste	1 mm/s	1 mm/s
Velocidade do teste	1 mm/s	0,5 mm/s
Velocidade pós teste	10 mm/s	1 mm/s
Distância	20 mm	0,5 mm
Força de gatilho	5g	5g

Fonte: Elaboração própria

4.5.4 Propriedades adesivas dos filmes sobre disco de mucina

Em conformidade com o protocolo desenvolvido e validado no Laboratório de Biomateriais e Nanotecnologia da Universidade de Sorocaba (LaBNUS/UNISO) as propriedades adesivas dos filmes de amido, foram avaliadas sobre a superfície de discos de mucina empregando TA-XT Plus Analisador de Textura (Stable Micro Systems), Os discos de mucina foram feitos por compressão (Lemaq, Máquina compressora rotativa, Mini Express LM-D8), utilizando punções planos, matriz cilíndrica com diâmetro de 8 mm e carga de compressão de 8 toneladas, da mucina (110 mg) com diâmetro de 8 mm e espessura de 0,2 mm. Antes do teste de adesão, o disco de mucina foi hidratado por submersão em água purificada durante 30 min. O

excesso de água na superfície do disco foi removido com a ajuda de papel absorvente. Os discos de mucina foram presos com fita adesiva dupla face na extremidade inferior da sonda analítica. Uma amostra de cada formulação foi transferida para um béquer de vidro e mantida em banho de água com temperatura ajustada para 37 °C. O disco de mucina fixado na sonda foi comprimido, sobre a superfície das amostras, com uma força de 0,5 N, no sentido apical → basal. O tempo de contato do disco com a superfície das amostras foi de 180 segundos, estabelecido para que decorresse um contato íntimo entre o disco de mucina e a amostra. A sonda foi retirada da superfície das membranas de amido com uma velocidade constante de 0,5 mm.s⁻¹. Todas as medições foram executadas em triplicata (ALVES *et al.*, 2018).

5 RESULTADO E DISCUSSÃO

5.1 Rendimento e caracterização do amido

Na primeira extração foi obtido 76,47g (8,6%) de amido com uma coloração amarelo-acastanhado (Figura 6). Na segunda extração foi obtido 93,1g (11,97%) de amido com coloração branca (Figura 7). Essa diferença de rendimento se deve ao aprimoramento da técnica. De acordo com a literatura quantidade de amido do genótipo *Musa spp.* AAA é de 20,3% (LEONEL *et al.*, 2011), essa diferença de rendimento pode ser devido aos fatores geoclimáticos, método de extração utilizado ou o tempo de colheita das frutas. Segundo o método descrito por Leonel *et al.*, (2011) em sua pesquisa, as bananas utilizadas se encontravam no estágio 1, da escala Von Loesecke, (1950), de acordo com essa escala o estágio 1 caracteriza frutos na coloração verde após colheita (VON LOESECKE, 1950), isto é, cerca de 110 dias após a inflorescência (ISRAELI; LAHAV, 2017), neste trabalho utilizamos frutos com tempo de 50 a 60 dias, o que pode justificar essa diferença no rendimento de amido.

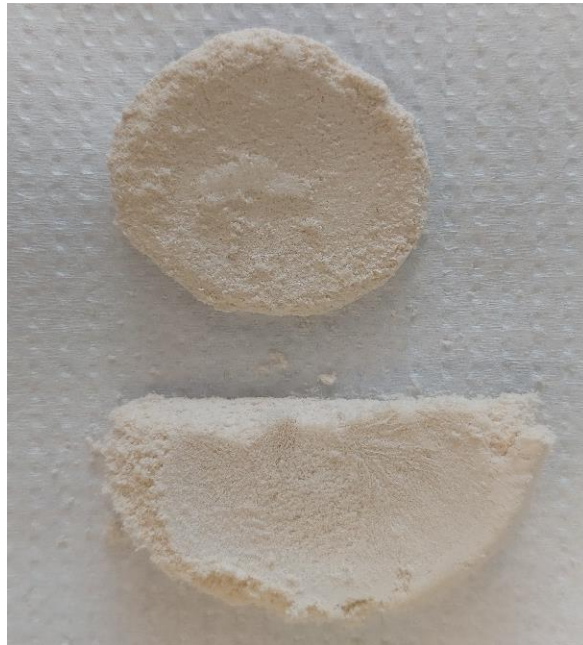
O amido da segunda extração originou filmes mais translúcidos quando comparado ao obtido na primeira extração. A coloração do pó pode estar ligada à oxidação do amido no início do processo de extração, fator este que foi corrigido na segunda extração, seja pela manipulação dos frutos, seja pelo tempo para imersão na solução aquosa de ácido cítrico.

Figura 6 - Amido banana verde resultante da primeira extração



Fonte: Elaboração própria

Figura 7 - Amido de banana verde segunda extração após a liofilização antes da trituração

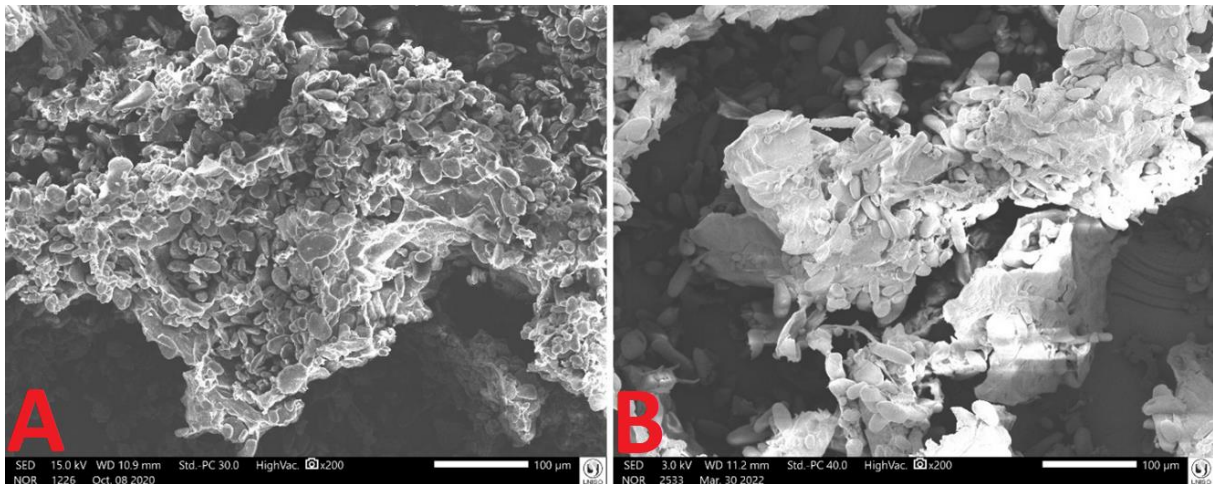


Fonte: Elaboração própria

5.2 Caracterização microscópica

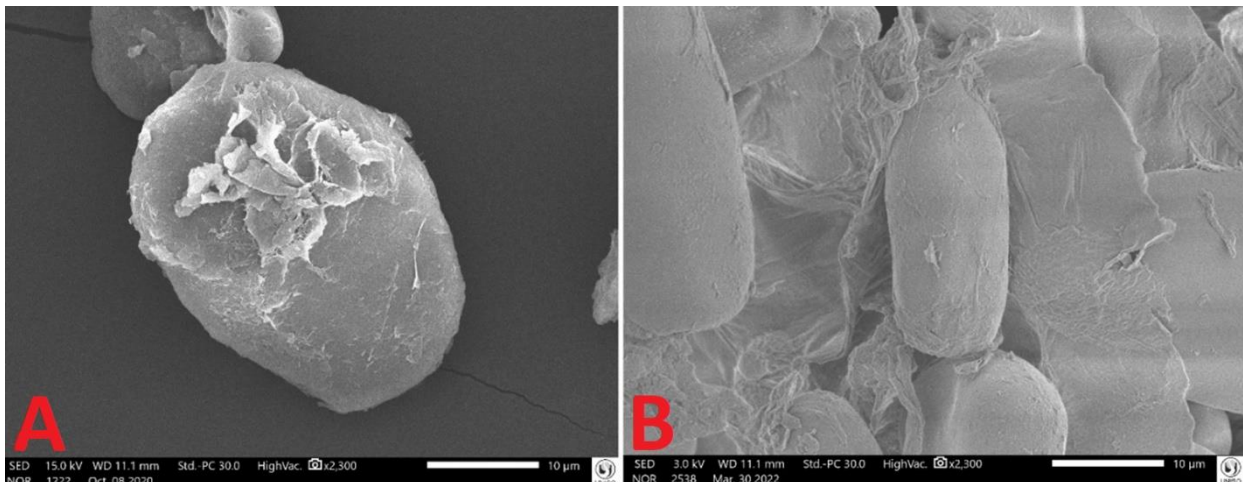
As micrografias do amido na forma de pó obtidas por MEV são apresentadas nas Figuras 8A e 9A (Primeira Extração) e Figuras 8B e 9B (Segunda Extração).

Figura 8 - MEV do amido liofilizado primeira (A) e segunda (B) extração magnitude 200x



Fonte: Elaboração própria

Figura 9 - MEV amido liofilizado primeira (A) e segunda (B) extração magnitude 2.300x



Fonte: Elaboração própria

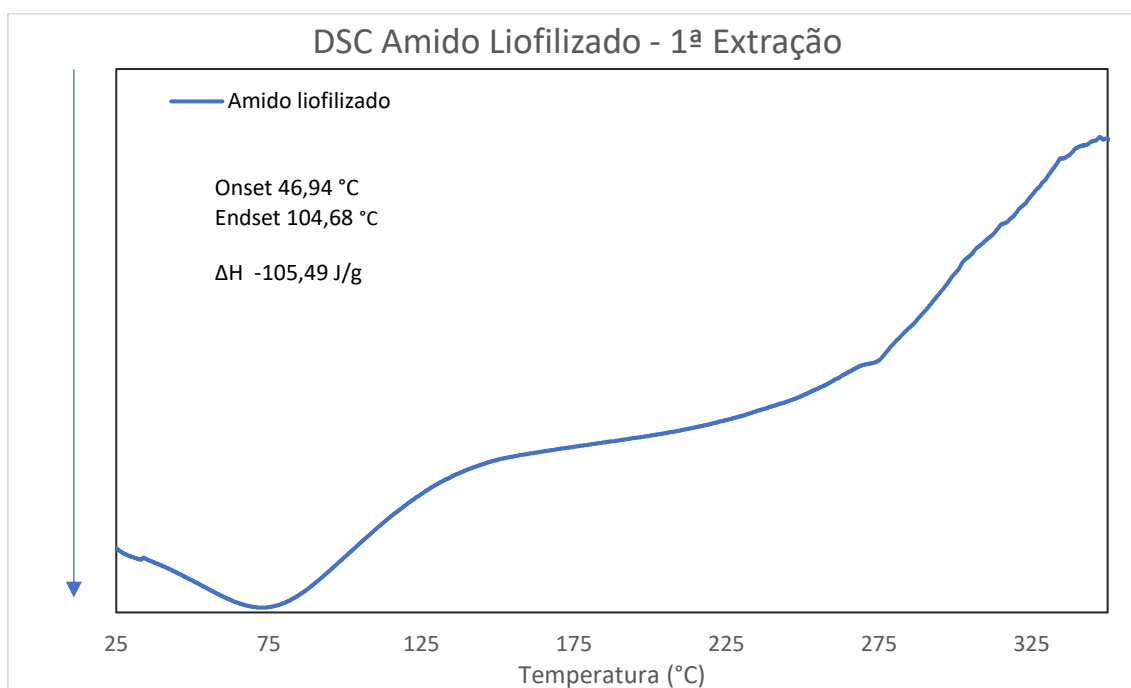
Pelas imagens é possível observar que além da coloração observada macroscopicamente (Figura 2) há diferenças no empacotamento (Figura 8 A-B) e na morfologia dos grânulos correspondente a cada extração. Na figura 9A um agrupamento de partículas sobre o grânulo de amido pode ser observado. A hipótese mais provável é de material cristalino sobre a superfície dos grânulos. Se a hipótese é verdadeira estas partículas podem gerar não conformidades em relação à plasticidade, originando filmes de aspecto vítreo devido à cristalinidade de parte do material (Figuras 9A e 9B). A comparação dos grânulos obtidos nas duas extrações mostra uma diferença de tamanho. O grânulo de amido obtido na 1ª extração é visivelmente maior que os grânulos obtidos na 2ª extração.

5.3 Caracterização físico-química

5.3.1 Calorimetria exploratória diferencial (DSC)

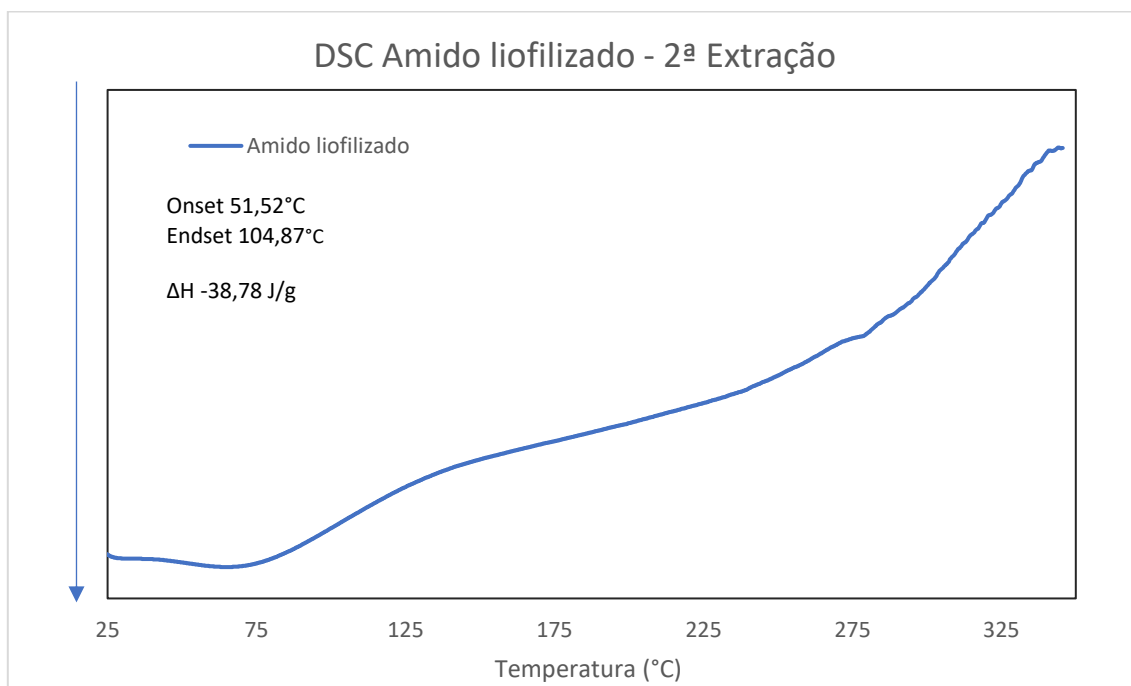
Os espectros DSC mostram os picos de fusão dos grânulos de amido com os respectivos onset, endset e calor de fusão (ΔH) (Figuras 10 e 11). Os resultados mostram que a energia necessária para fusão dos grânulos de amido obtidos na primeira extração (ΔH -105,49 J/g) foi maior que o obtido na segunda extração (ΔH -38,78 J/g). Assim como o estado vítreo do filme obtido na primeira extração o comportamento térmico está ligado ao material cristalino identificado na superfície do grânulo (Figura 9A).

Figura 10 – Calorimetria Exploratória Diferencial do amido obtido da 1ª extração



Fonte: Elaboração própria

Figura 11 – Calorimetria Exploratória Diferencial do amido obtido da 2ª. extração



Fonte: Elaboração própria

O amido da primeira extração apresentou um pico endotérmico de 73,31 °C enquanto o da segunda extração foi de 63,87 °C, estes dados da temperatura de gelificação do amido concordam com resultados observados na literatura (LEONEL *et al.*, 2011; MÉNDEZ *et al.*, 2022). Isso se deve pela estrutura cristalina dos amidos, assim como a variação da quantidade de amilose, pois segundo Wang *et al.* (2022), amidos que apresentam maior teor de amilose possuem temperaturas de gelificação e entalpia mais baixas. Isso porque as cadeias de amilopectina, por serem mais longas e possuir ramificações, precisam de uma maior energia para ocorrer a gelificação do amido (WANG; LIU; AI, 2022).

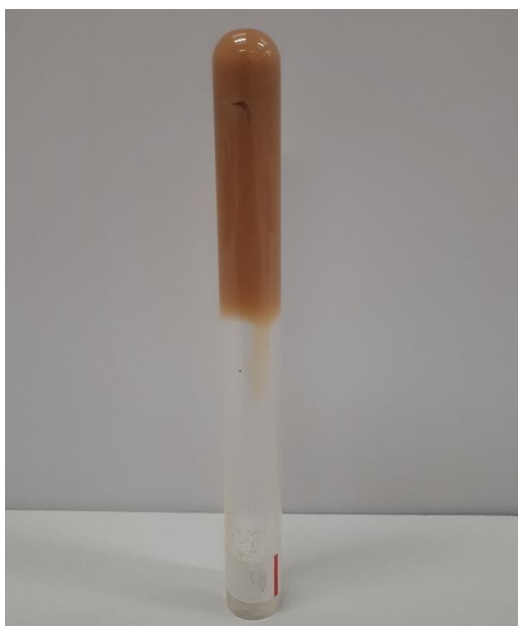
Dessa forma, esses dados sugerem que a segunda extração apresenta melhores efeitos sobre os filmes elaborados.

5.4 Preparação do filme de amido

A dispersão aquosa do amido seguida de aquecimento à diferentes temperaturas (40, 60 e 80 °C) foi realizada para determinar o ponto de gelificação do amido. O qual foi determinado pelo método de inversão do tubo (Figura 12). O ponto de gelificação temperatura-dependente não foi influenciado pelas extrações ou

oxidação parcial do amido na primeira extração (Figura 6). As temperaturas de 40 e 60 °C foram observadas por 15 min. e não apresentaram mudança visual de viscosidade. O máximo de gelificação para extensão do filme foi alcançado após 1 min. de aquecimento na temperatura de 80° C e 4 min. de repouso.

Figura 12 – Tubo de ensaio com amostra de dispersão de amido gelificada



Fonte: Elaboração própria

O amido gelificado foi misturado com o alginato de sódio (1:2) e depositado sobre placa de Petri (Figura 13B) ou estendido sobre placa de vidro (Figura 13A) previamente desengordurada, com álcool etílico 95%, resultou em um filme de característica vítrea aderido sobre o vidro de uma forma que era impossível removê-lo sem fragmentar. A partir deste resultado as modificações apresentadas na Tabela 2 foram avaliadas. Nenhuma outra avaliação sobre este filme com amido obtido na 1ª. extração foi realizada.

Durante o processo de secagem à temperatura ambiente (25°C) o filme apareceu contaminado por microrganismos. Este problema foi resolvido pela secagem dos filmes durante 12h com fluxo de ar em estufa de segurança biológica, à temperatura ambiente com luz UV ligada durante todo o tempo (Figura 14).

Figura 13 – Filmes produzidos através do amido da banana verde estendido em placa de vidro (A) e depositado em placa de Petri (B)



Fonte: Elaboração própria

Figura 14 – Secagem dos filmes em estufa de segurança biológico sob luz UV

macroscópicos para realizar os testes físico-mecânicos (Figura 16-19) e demais testes físico-químicos.

Figura 15 – Filme obtido através das formulações propostas na Tabela 2



Fonte: Elaboração própria

5.5 Caracterização dos filmes de amido

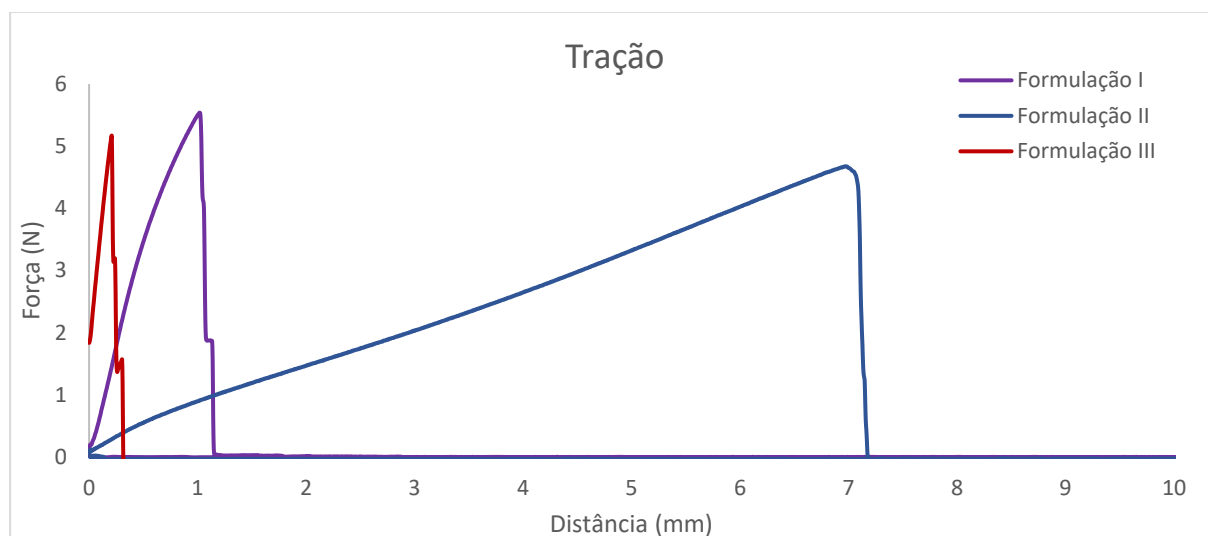
5.5.1 Propriedades físico-mecânicas

Os resultados dos testes físico-mecânicos de tração, perfuração, resiliência e relaxação são apresentados, respectivamente nas Figuras 16, 17, 18 e 19. Os resultados mostram a influência dos agentes plastificantes que possibilitaram a formação dos filmes e a extensão dos mesmos sobre a placa de vidro, bem como a influência das concentrações dos dois polióis glicerina (MM 92,09 g.mol⁻¹) e polietilenoglicol 400 (MM 380-420 g.mol⁻¹). Os resultados foram melhores para medidas de resistência à tração (Figura 16) e perfuração (Figura 17) quando a massa adicionada de Glicerina: Polietilenoglicol 400 foi de 2:1 m:m, formulação II (Tabela 2). Quanto à propriedade de resiliência (Figura 18) e relaxação (Figura 19) o melhor resultado foi encontrado para a formulação III (Tabela 2) com massa Glicerina: Polietilenoglicol 400 de 1:2 m:m. Quando a proporção de polióis era 1:1 m:m os resultados foram insatisfatórios para todas as medidas físico-mecânica.

Além da relação massa:massa entre os polióis, observamos que a razão molar entre eles explica melhor o efeito sobre as formulações. Para razão de massa 1:1 a razão molar é 92: ~400 g.mol⁻¹ (formulação 1), razão de massa de 2:1 a razão molar

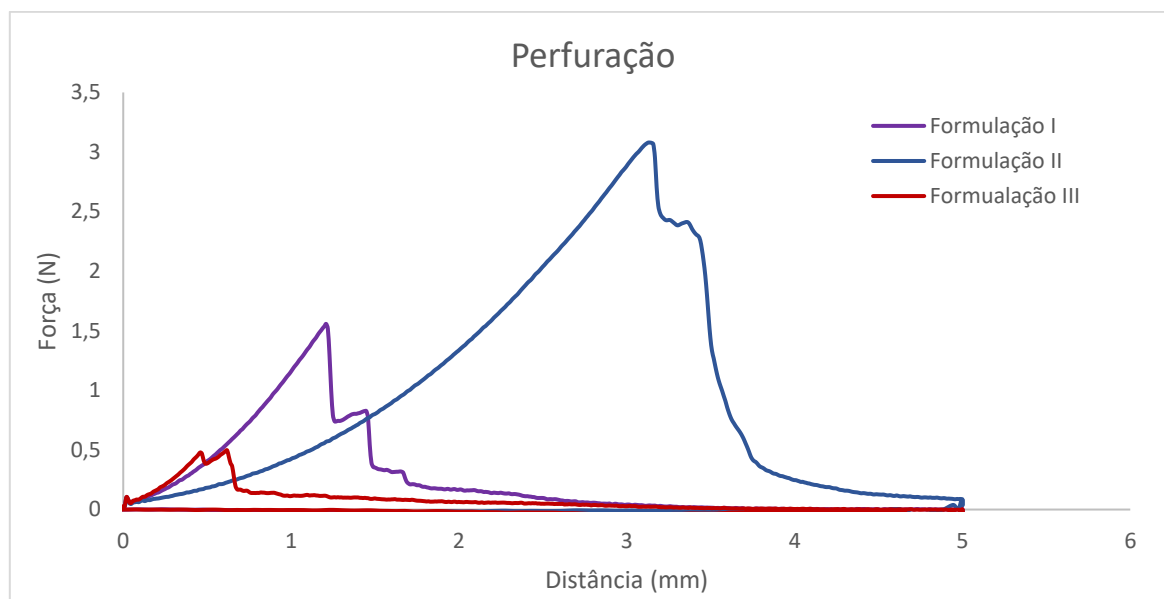
é 184: ~400 g.mol⁻¹ (formulação 2), e razão de massa 1:2 a razão molar é de 92: ~800 g.mol⁻¹ (formulação 3). Os resultados mostram que quanto mais próximo a razão molar entre os polióis melhor as propriedades físico-mecânica relacionadas à resistência mecânica (tração e perfuração), resultado semelhante foi observado por BASIAK *et al.*, (2018), SHOJAE KANG SOFLA *et al.*, (2020) e TARIQUE *et al.*, (2021). Contudo, em relação às medidas de resiliência e relaxação o melhor resultado foi encontrado para razão molar 92:~800 g.mol⁻¹ (formulação 3). Este resultado pode ser explicado pelo aumento da viscosidade proporcionado pelo aumento da Massa Molar (MM) do polietilenoglicol 400 em relação à massa molar da glicerina, à qual a resiliência e relaxação estão relacionadas (ALVES *et al.*, 2019).

Figura 16 – Gráfico do teste de tração dos filmes elaborados em diferentes formulações



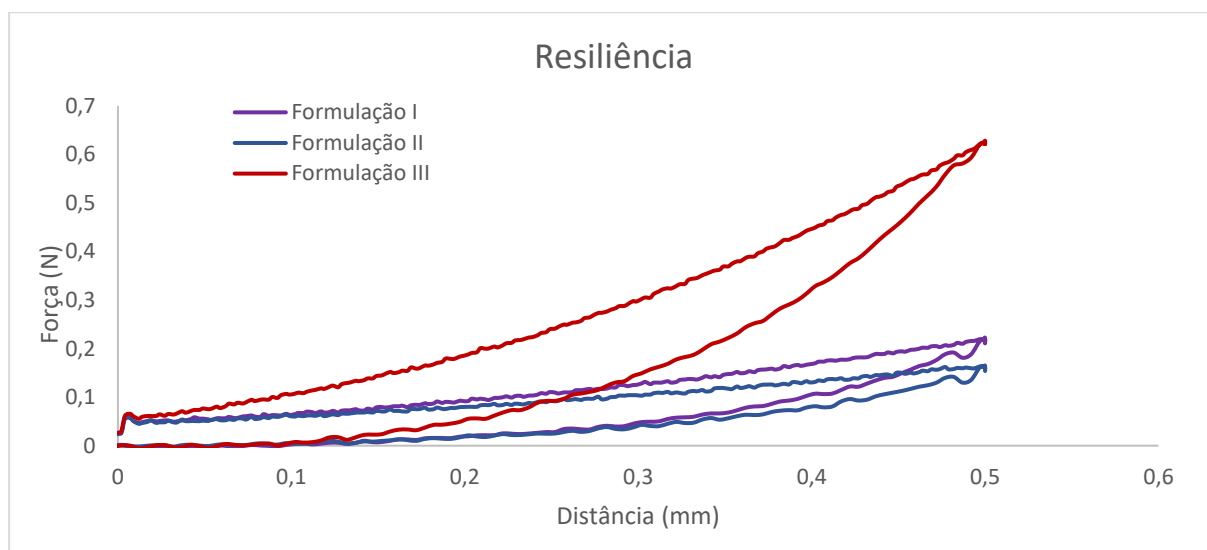
Fonte: Elaboração própria

Figura 17 – Gráfico do teste de perfuração dos filmes elaborados em diferentes formulações



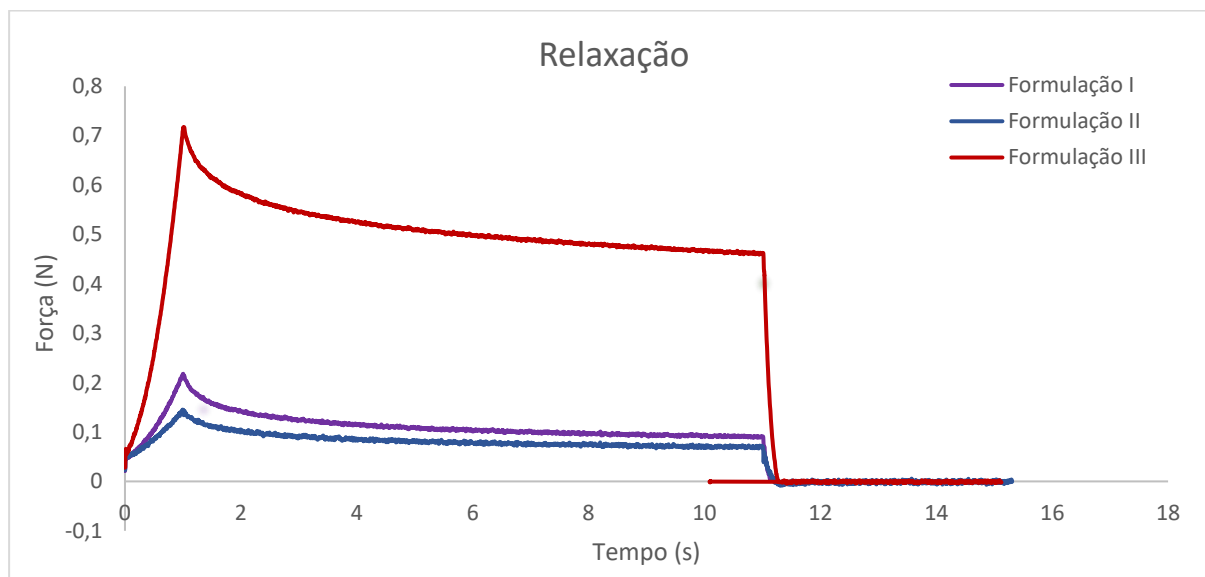
Fonte: Elaboração própria

Figura 18 – Gráfico do teste de resiliência dos filmes elaborados em diferentes formulações



Fonte: Elaboração própria

Figura 19 – Gráfico do teste de relaxação dos filmes elaborados em diferentes formulações



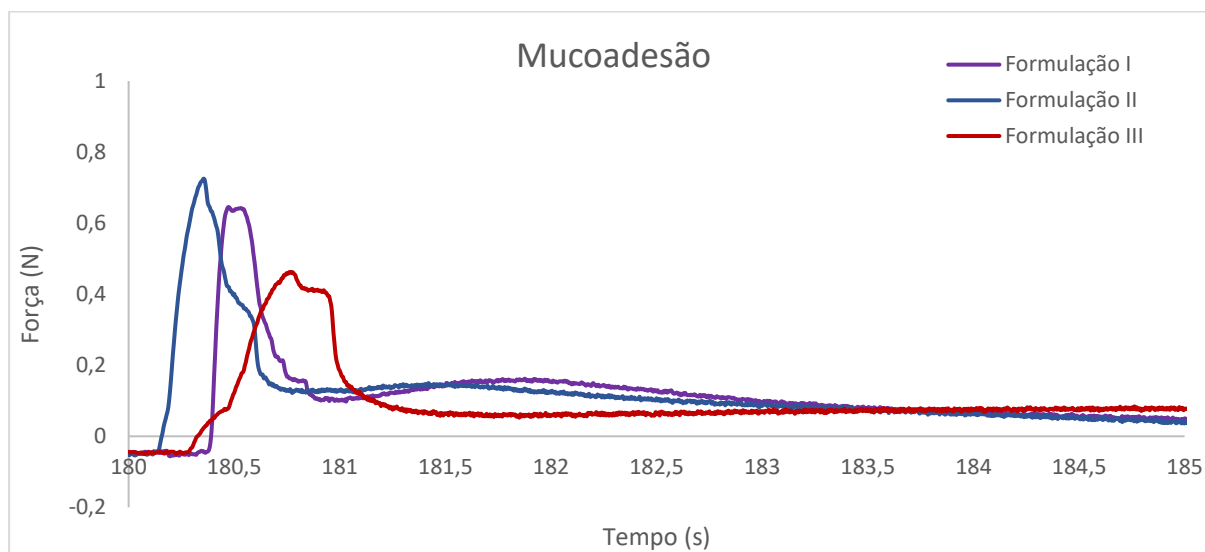
Fonte: Elaboração própria

5.5.2 Propriedades adesivas

As formulações (Tabela 2) foram projetadas para que a adesão ocorresse por entrelaçamento dos polímeros (amido e alginato de sódio) com a mucina (substrato presente nas superfícies das mucosas de mamíferos). Para que este entrelaçamento ocorresse o tempo de contato entre as superfícies foi estipulado para 180 segundos.

O teste de adesão mede a força de destacamento entre duas superfícies, no caso a superfície do substrato (disco de mucina) e a superfície do filme de amido-alginato. Os resultados apresentados na Figura 20 mostram a formulação III (Tabela 2) com menor força para destacamento ($0,44 \pm 0,077 \text{ N.s}^{-1}$) das superfícies, isto é, com menor propriedade de adesão. Isto pode ser explicado pelo efeito plastificante dos polióis devido à maior massa molar na formulação 3 ($\sim 892 \text{ g.mol}^{-1}$). Quando a massa molar dos plastificantes é mais equilibrada ($\sim 492 \text{ g.mol}^{-1}$ formulação 1, e 584 g.mol^{-1} formulação 2) as forças para destacamento das superfícies são respectivamente $0,66 \pm 0,133 \text{ N.s}^{-1}$ e $0,74 \pm 0,019 \text{ N.s}^{-1}$. Os desvios padrão apresentados para estas formulações sugerem que não há diferença em as forças de destacamento das formulações 1 e 2, ou seja, a propriedade de adesão é equivalente.

Figura 20 - Gráfico da análise de adesão dos filmes elaborados em diferentes formulações



Fonte: Elaboração própria

5.5.3 Propriedades físico-química

5.5.3.1 Calorimetria diferencial exploratória (DSC)

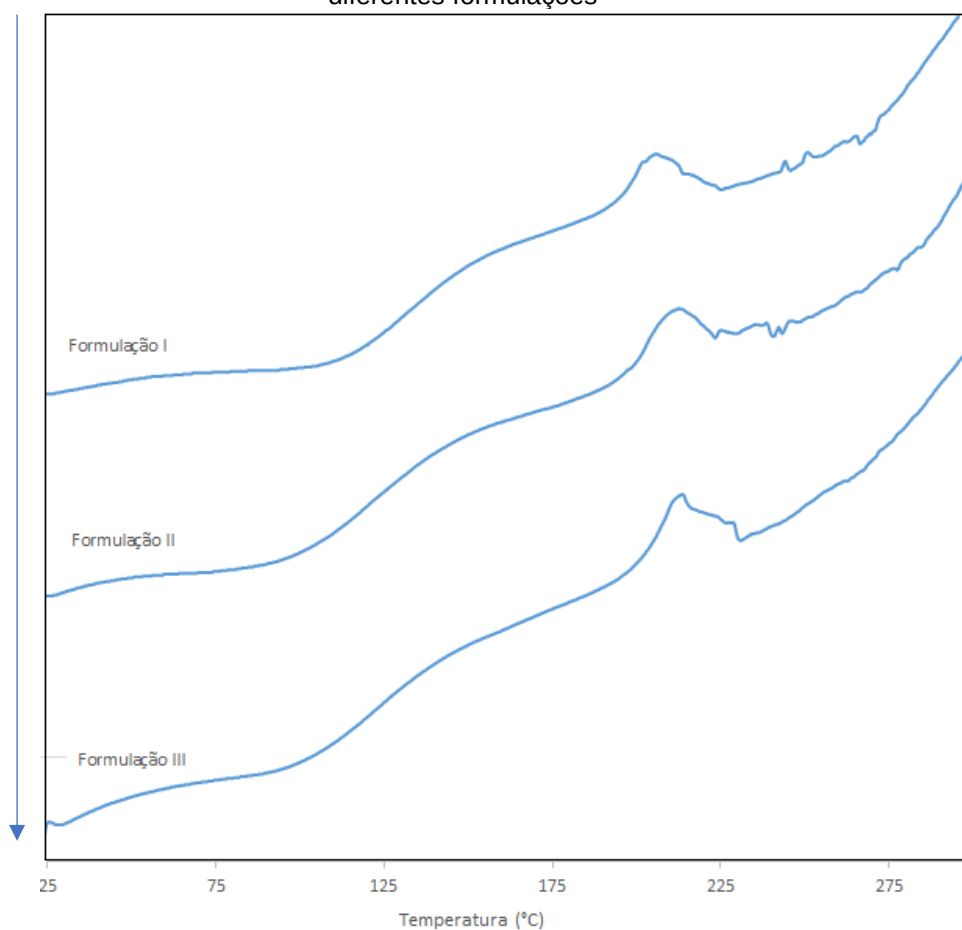
Os resultados de calorimetria diferencial (Tabela 4, Figura 21) mostram uma transição de fase para os três filmes na faixa de temperatura entre 80,52° C e 130,71° C, e temperatura de degradação (carbonização) entre 209° C e 238° C. As diferenças entre onset, endset e calor requerido para mudança de fase (calor latente ou ΔG) mostram que os comportamentos térmicos dos filmes são semelhantes, assim como a resistência térmica antes da carbonização. A ausência da forma cristalina do amido foi observada para todos os filmes (Figura 9A). As massas molares dos plastificantes testadas não influenciaram no comportamento térmico dos filmes.

Tabela 4 - Eventos térmicos dos termogramas das formulações 1,2 e 3

	Onset (°C)	Endset (°C)	ΔG (J/g)	Temperatura de degradação (°C)
Formulação I	97,43°	130,17°	-10,42	209°
Formulação II	80,52°	119,57°	-10,64	238°
Formulação III	84,21°	112,40°	-7,98	213°

Fonte: Elaboração própria

Figura 21 – Espectros de calorimetria exploratória diferencial dos filmes elaborados a partir das três diferentes formulações



Fonte: Elaboração própria

5.5.4 Avaliação microscópica

5.5.4.1 Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

A Figura 22 (A-B) mostra a superfície dos filmes correspondentes às formulações 2 (Fig. 22-A) e 3 (Fig. 22-B) obtidas por MEV (magnitude 150x). As imagens mostram a influência do polióis (glicerina : polietileno) na organização dos polímeros para formação do hidrogel (amido-alginato de sódio) e conseqüentemente nas características dos respectivos filmes.

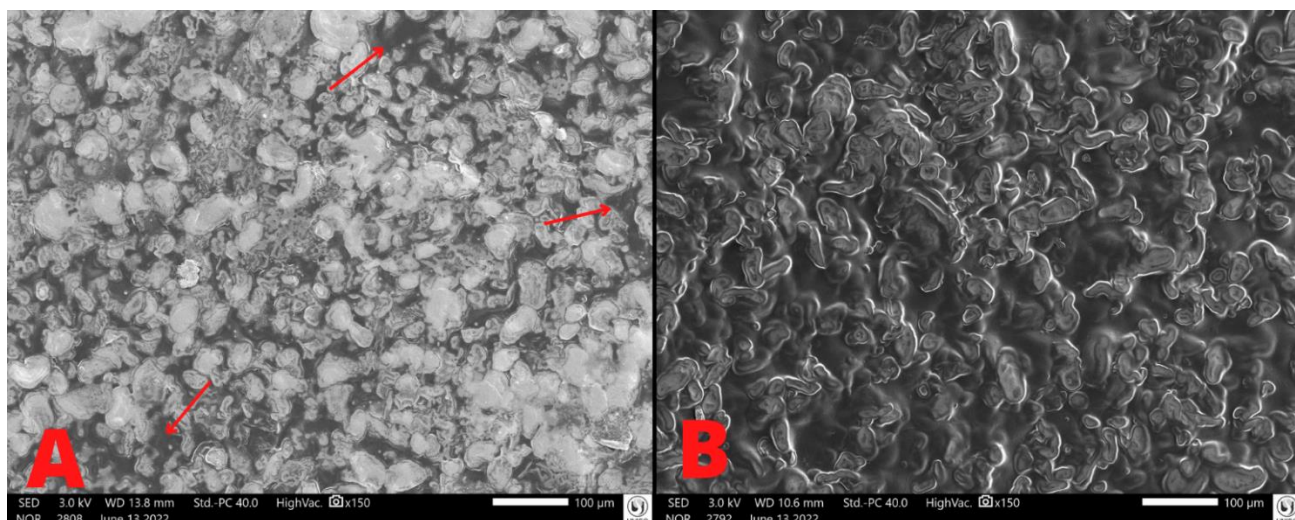
Pode-se observar que ambas as superfícies (Fig. 22 A-B) apresentam características grosseiras (rugosas) com a estrutura granular recoberta pelos polióis sem a presença de partículas de amido dispersas o que sugere boa interação na blenda (poliois-amido-alginato de sódio) (WANG; LIU; SUN, 2004) também é possível

notar que a estrutura granular do amido não foi totalmente destruída, mesmo após a gelificação (ZHANG *et al.*, 2012).

A Figura 22-A, Formulação 2 (Tabela 2), apresenta uma superfície com melhor empacotamento quando comparada com a figura 22-B, também é possível notar regiões que sugerem a formação de poros característico de filmes com propriedades físico-mecânicas de menor resistência a tração (ruptura) porém melhor alongamento (maior elasticidade) e perfuração, respectivamente, Figuras 16 e 17. A maior adesividade para a formulação 2 (Figura 20) também pode ser explicada pela presença de porosidade, o que facilita o entrelaçamento dos polímeros com a cadeia de mucina.

Os resultados relaxação e resiliência, respectivamente Figuras 18 e 19, apresentados anteriormente podem ser explicados através do empacotamento apresentados na Figura 22-B onde a superfície não apresentou sinal de porosidade, característica de filmes mais rígidos, e quanto maior a rigidez menor o módulo de deformação elástica, ou seja, melhor resistência a deformação permanente (CALLISTER; RETHWISCH, 2016).

Figura 22 – Microscopia dos filmes de amido de banana verde formulação 2 (A) e formulação 3 (B) – magnitude 150x



Fonte: Elaboração própria

6 CONCLUSÃO PARCIAL E PERSPECTIVAS FUTURAS

Os resultados apresentados são, até momento, suficientes para afirmar que os objetivos propostos neste estudo foram alcançados. O processo de extração do amido com rendimento de 11,93% m:m são bastante significativos e pode ser uma alternativa financeira para o agricultor dado que a banana colhida verde pode ser congelada para posterior comercialização. A venda das bananas verdes para extração de amido agrega valor ao produto. A colheita antecipada além do retorno financeiro em prazo mais curto (~ 55 dias), comparado à venda para consumo *in natura* (em média 150 dias), diminuí o risco de perda dos frutos por maturação excessiva ou em decorrência de pragas e variação climática, além de redução com gastos com agroquímicos.

As três formulações projetadas resultaram em propriedades que podem ser direcionadas para diferentes aplicações. A formulação 2 poderia ser aplicada para produtos que requeiram maior resistência mecânica à tração e perfuração como por exemplo o envolvimento de alimentos *in natura*, especialmente legumes e verduras. Os filmes com melhor propriedade de relaxação e resiliência como da formulação 3, poderão ser engenheirados para aplicação em curativos não oclusivos.

Os filmes poderiam, portanto, serem utilizados para incorporação de substâncias bioativas, em especial antioxidantes, para aumentar o tempo de prateleira de verduras e legumes, ou incorporação de fármacos anestésicos e analgésicos tópicos, antibióticos, cicatrizantes entre outros.

Estudos futuros deverão incluir caracterização e análise de porosidade dos filmes e teor de amido na casca da banana.

Estabilidade dos filmes sob refrigeração e congelação.

O resíduo após extração do amido pode ser analisado para outros compostos bioativos tal como ácido tânico.

REFERÊNCIAS

ALBERTSSON, A. -C; BARENSTEDT, C.; KARLSSON, S. Degradation of enhanced environmentally degradable polyethylene in biological aqueous media: Mechanisms during the first stages. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 51, n. 6, p. 1097–1105, 7 fev. 1994.

ALTAN, A.; MCCARTHY, K. L.; MASKAN, M. Effect of extrusion cooking on functional properties and in vitro starch digestibility of barley-based extrudates from fruit and vegetable by-products. **Journal of Food Science**, v. 74, n. 2, p. E77–E86, 1 mar. 2009.

ALVES, T. *et al.* Formulation and evaluation of thermoresponsive polymeric blend as a vaginal controlled delivery system. **Journal of Sol-Gel Science and Technology**, v. 86, n. 3, p. 536–552, 1 jun. 2018.

ALVES, T. *et al.* Dense lamellar scaffold, biomimetically inspired, for reverse cardiac remodeling: effect of proanthocyanidins and glutaraldehyde. **Journal of Dispersion Science and Technology**, v. 42, n. 2, p. 248–261, 2019.

ALVES, T. F. R. *et al.* Bilayer mucoadhesive buccal film for mucosal ulcers treatment: development, characterization, and single study case. **Pharmaceutics**, v. 12, n. 7, p. 657, 11 jul. 2020.

BABU, R. P.; O'CONNOR, K.; SEERAM, R. Current progress on bio-based polymers and their future trends. **Progress in Biomaterials**, 2013.

BASIAK, E.; LENART, A.; DEBEAUFORT, F. How glycerol and water contents affect the structural and functional properties of starch-based edible films. **Polymers**, v. 10, n. 4, p. 412, 8 abr. 2018.

BATAIN, F. *et al.* Medicinal plant extract associated with bacterial cellulose membrane: Antibacterial activity and physicochemical properties. **Arch Pharm Pharma Sci**, v. 4, p. 13-20, 4 fev. 2020.

BATAIN, F. *et al.* Chemical synthesis, characterization of Ag, Au nanoparticles and formulation of bimetallic nanostructure onto tri-block copolymer surfaces iron deficiency view project tissue regeneration and biomimetics view project. 2021.

BRITO, G. *et al.* Biopolímeros, polímeros biodegradáveis e polímeros verdes. **REMAP**, v. 6, maio 2011.

CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e engenharia de materiais**: uma introdução. 9. ed. [s.l.] LTC, 2016.

CAPANEMA, N. S. V. *et al.* Superabsorbent crosslinked carboxymethyl cellulose-PEG hydrogels for potential wound dressing applications. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 106, p. 1218–1234, 1 jan. 2018.

CHEN, Y. *et al.* Influence of polyethylene glycol (PEG) chain length on the thermal behavior of spin-coated thin films of biodegradable poly(3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyhexanoate)/PEG blends. **Journal of Molecular Structure**, v. 1124, p. 159–163, 15 nov. 2016.

CHENG, G.; CAI, Z.; WANG, L. Biocompatibility and biodegradation of poly(hydroxybutyrate)/poly(ethylene glycol) blend films. **Journal of Materials Science: Materials in Medicine**, v. 14, n. 12, p. 1073–1078, dez. 2003.

CHIANG, B. H.; CHU, W. C.; CHU, C. L. A pilot scale study for banana starch production. **Starch - Stärke**, v. 39, n. 1, p. 5–8, 1987.

CHILLO, S. *et al.* Influence of glycerol and chitosan on tapioca starch-based edible film properties. **Journal of Food Engineering**, v. 88, n. 2, p. 159–168, set. 2008.

CÓRDOBA, A. *et al.* The plasticizing effect of alginate on the thermoplastic starch/glycerin blends. **Carbohydrate Polymers**, v. 73, n. 3, p. 409–416, 1 ago. 2008.

COUPLAND, J. N. *et al.* Modeling the effect of glycerol on the moisture sorption behavior of whey protein edible films. **Journal of Food Engineering**, v. 43, n. 1, p. 25–30, 1 jan. 2000.

CUI, C. *et al.* Bioactive and intelligent starch-based films: A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 116, p. 854–869, 1 out. 2021.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Fennema's food chemistry**, 4 ed., New York, CRC Press, 2007.

DE LA TORRE-GUTIÉRREZ, L.; CHEL-GUERRERO, L. A.; BETANCUR-ANCONA, D. Functional properties of square banana (*Musa balbisiana*) starch. **Food Chemistry**, 2008.

DENARDIN, C. C.; DA SILVA, L. P. Estrutura dos grânulos de amido e sua relação com propriedades físico-químicas. **Ciência Rural**, v. 39, n. 3, p. 945–954, 2009.

D'HONT, A. *et al.* The banana (*Musa acuminata*) genome and the evolution of monocotyledonous plants. **Nature**, v. 488, p. 213–217, 2012.

D'SOUZA, A. A.; SHEGOKAR, R. Polyethylene glycol (PEG): a versatile polymer for pharmaceutical applications. **Expert Opinion on Drug Delivery**, v. 13, n. 9, p. 1257–1275, 1 set. 2016.

EGHBALIFAM, N.; FROUNCHI, M.; DADBIN, S. Antibacterial silver nanoparticles in polyvinyl alcohol/sodium alginate blend produced by gamma irradiation. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 80, p. 170–176, 2015.

ÈIVI, P. *et al.* Effect of glycerol on behaviour of amylose and amylopectin. **Carbohydrate Polymers**, v. 50, n. 4, p. 355–361, dez. 2002.

FILHO, J.; PUMACAHUA, A.; TELIS-ROMERO, J. Difusividades da água, dióxido de enxofre e ácido láctico em grãos de milho durante a maceração para o processo de moagem úmida. **Braz. J. Food Technol.**, v. 9, p. 257–263, maio 2006.

FONTINHA, C.; CORREIA, P. Amido resistente em diversas fontes não convencionais de amido. **Millenium**, maio 2010.

FRITZ, J.; LINK, U.; BRAUN, R. Environmental impacts of biobased/biodegradable packaging. **Starch - Stärke**, v. 53, n. 3–4, p. 105–109, abr. 2001.

GOH, C. H.; HENG, P. W. S.; CHAN, L. W. Alginates as a useful natural polymer for microencapsulation and therapeutic applications. **Carbohydrate Polymers**, v. 88, n. 1, p. 1–12, 17 mar. 2012.

HAIDER, T. P. *et al.* Plastics of the future? the impact of biodegradable polymers on the environment and on society. **Angewandte Chemie - International Edition**, v. 58, n. 1, p. 50–62, 2 jan. 2019.

HAN, J. H. **Innovations in food Packaging**, 2 ed., Academic Press p. 1–599, 2013.

HECHT, H.; SREBNIK, S. Structural Characterization of Sodium Alginate and Calcium Alginate. **Biomacromolecules**, v. 17, n. 6, p. 2160–2167, 13 jun. 2016.

HILMI, B.; HAMID, Z. A. A.; NOOR, S. N. F. M. The effect of amylose content and starch concentration on mechanical properties of eco-friendly denture adhesives (EFDAs). **AIP Conference Proceedings**, v. 2267, n. 1, p. 020001, 21 set. 2020.

HIREMANI, V. D. *et al.* Preparation and physicochemical assessment of bioactive films based on chitosan and starchy powder of white turmeric rhizomes (*Curcuma Zedoaria*) for green packaging applications. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 193, p. 2192–2201, 15 dez. 2021.

HOFFMANN, J. *et al.* Assessing biodegradability of plastics based on poly(vinyl alcohol) and protein wastes. **Polymer Degradation and Stability**, v. 79, n. 3, p. 511–519, 1 mar. 2003.

HOLCAPKOVA, P. *et al.* Effect of polyethylene glycol plasticizer on long-term antibacterial activity and the release profile of bacteriocin nisin from polylactide blends. **Polymers for Advanced Technologies**, v. 29, n. 8, p. 2253–2263, 1 ago. 2018.

ISMAIL, H.; IRANI, M.; AHMAD, Z. Starch-based hydrogels: present status and applications. **International Journal of Polymeric Materials and Polymeric Biomaterials**, v. 62, n. 7, p. 411–420, 1 mar. 2013.

ISRAELI, Y.; LAHAV, E. Banana. **Encyclopedia of Applied Plant Sciences**, v. 3, p. 363–381, 1 jan. 2017.

JAKUBOWICZ, I. Evaluation of degradability of biodegradable polyethylene (PE). **Polymer Degradation and Stability**, v. 80, n. 1, p. 39–43, 1 jan. 2003.

JIANG, T. *et al.* Starch-based biodegradable materials: challenges and opportunities. **Advanced Industrial and Engineering Polymer Research**, v. 3, n. 1, p. 8–18, 1 jan. 2020.

JIMÉNEZ, A. *et al.* Edible and biodegradable starch films: a review. **Food and Bioprocess Technology**, v. 5, n. 6, p. 2058–2076, 13 abr. 2012.

KAUR, L. *et al.* Banana starch: Properties, description, and modified variations - A review. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 165, p. 2096–2102, 15 dez. 2020.

KHAN, R. A. Natural products chemistry: The emerging trends and prospective goals. **Saudi Pharmaceutical Journal**, v. 26, n. 5, p. 739-753, julho 2018.

KOWALCZYK, M. *et al.* Plasticization of polylactide with block copolymers of ethylene glycol and propylene glycol. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 125, n. 6, p. 4292–4301, 15 set. 2012.

KRAELING, M. E. K. *et al.* In vitro percutaneous penetration of silver nanoparticles in pig and human skin. **Regulatory Toxicology and Pharmacology**, v. 95, p. 314–322, 1 jun. 2018.

KYRIKOU, I.; BRIASSOULIS, D. Biodegradation of agricultural plastic films: a critical review. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 15, n. 2, p. 125–150, 12 abr. 2007.

LEONEL, M. *et al.* Extração e caracterização do amido de diferentes genótipos de bananeira. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 33, n. SPE1, p. 599–605, 2011.

LIU, H. *et al.* Preparation and characterization of glycerol plasticized (high-amylose) starch–chitosan films. **Journal of Food Engineering**, v. 116, n. 2, p. 588–597, 1 maio 2013.

LIU, Z. Q.; YI, X.-S.; FENG, Y. Effects of glycerin and glycerol monostearate on performance of thermoplastic starch. **Journal of Materials Science** v. 36, p. 1809–1815, 2001

LOBO, A. R.; DE LEMOS SILVA, G. M. Amido resistente e suas propriedades físico-químicas. **Revista de Nutrição**, v. 16, n. 2, p. 219–226, 2003.

LOUREIRO DOS SANTOS, L. A. Natural polymeric biomaterials: processing and properties. **Reference Module in Materials Science and Materials Engineering**, 1 jan. 2017.

LOW, D. Y. *et al.* In vitro fermentation of chewed mango and banana: Particle size, starch and vascular fibre effects. **Food and Function**, v. 6, p. 2464–2474, 2015.

MAHDAVINIA, G. R. *et al.* Magnetic hydrogel beads based on PVA/sodium alginate/laponite RD and studying their BSA adsorption. **Carbohydrate Polymers**, v. 147, p. 379–391, 20 ago. 2016.

MAITI, S.; KUMARI, L. Smart nanopolysaccharides for the delivery of bioactives. **Nanoarchitectonics for Smart Delivery and Drug Targeting**, p. 67–94, 27 jul. 2016.

MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E.; YAMASHITA, F. Starch films: Production, properties and potential of utilization. **Semina:Ciencias Agrarias**, v. 31, n. 1, p. 137–156, 2010.

MÉNDEZ, P. A. *et al.* Cassava and banana starch modified with maleic anhydride-poly (ethylene glycol) methyl ether (Ma-mPEG): a comparative study of their physicochemical properties as coatings. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 205, p. 1–14, 30 abr. 2022.

MESQUITA, C. *et al.* Characterization of banana starches obtained from cultivars grown in Brazil. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 89, p. 632–639, 2016.

MORAES, J. O. *et al.* Scale-up of the production of cassava starch based films using tape-casting. **Journal of Food Engineering**, v. 119, n. 4, p. 800–808, 2013.

MUSA, M. *et al.* Caracterização do grânulo de amido de bananas (*Musa* AAA-Nanicão e *Musa* AAB-Terra). **Food Science and Technology**, v. 25, n. 2, p. 217–222, jun. 2005.

NAIDOO, K.; AMONSOU, E. O.; OYEYINKA, S. A. In vitro digestibility and some physicochemical properties of starch from wild and cultivated amadumbe corms. **Carbohydrate Polymers**, v. 125, p. 9–15, 10 jul. 2015.

NWOKOCHA, L. M.; WILLIAMS, P. A. Some properties of white and yellow plantain (*Musa paradisiaca*, Normalis) starches. **Carbohydrate Polymers**, v. 76, n. 1, p. 133–138, 2 mar. 2009.

OTEGBAYO, B.; LANA, O.; IBITOYE, W. Isolation and physicochemical characterization of starches isolated from plantain (*Musa Paradisiaca*) and cooking banana (*Musa Sapientum*). **Journal of Food Biochemistry**, 2010.

PEDREIRO, S. *et al.* Bioactive edible films and coatings based in gums and starch: phenolic enrichment and foods application. **Coatings**, v. 11, n. 11, p. 1393, 15 nov. 2021.

PELISSARI, F. M. *et al.* Isolation and characterization of the flour and starch of plantain bananas (*Musa paradisiaca*). **Starch - Stärke**, v. 64, n. 5, p. 382–391, 1 maio 2012.

PELISSARI, F. M. *et al.* Starch-based edible films and coatings: an eco-friendly alternative for food packaging. **Starches for Food Application: Chemical, Technological and Health Properties**, p. 359–420, 1 jan. 2019.

PEREIRA, R. *et al.* Development of novel alginate based hydrogel films for wound healing applications. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 52, p. 221–230, 2013.

PERVAIZ, M. *et al.* Extrusion of thermoplastic starch: effect of “green” and common polyethylene on the hydrophobicity characteristics. **Materials Sciences and Applications**, v. 5, n. 12, p. 845–856, 21 out. 2014.

PRABAHARAN, M.; MANO, J. F. Stimuli-responsive hydrogels based on polysaccharides incorporated with thermo-responsive polymers as novel biomaterials. **Macromolecular Bioscience**, v. 6, n.12, p. 991-1008, dez 2006.

RANIERI, L.; DELANI, T. C. Banana verde (*Musa spp.*): obtenção da biomassa e ações fisiológicas do amido resistente. **Uningá Review**, v. 20, n. 3, 2014.

RAYO, L. M. *et al.* Production of instant green banana flour (*Musa cavendishii*, var. Nanicão) by a pulsed-fluidized bed agglomeration. **LWT - Food Science and Technology**, v. 63, n. 1, p. 461–469, 1 set. 2015.

RINAUDO, M. Main properties and current applications of some polysaccharides as biomaterials. **Polymer International**, v. 57, n. 3, p. 397 – 430, mar. 2008.

ROCHA, G. O. *et al.* Filmes compostos biodegradáveis a base de amido de mandioca e proteína de soja. **Polímeros**, v. 24, n. 5, p. 587–595, 1 set. 2014.

SALAZAR, D. *et al.* Green banana (*Musa acuminata* AAA) wastes to develop an edible film for food applications. **Polymers**, v. 13, n. 18, p. 3183, 19 set. 2021.

SALAZAR, D. *et al.* Physico-chemical properties and filmogenic aptitude for edible packaging of Ecuadorian discard green banana flours (*Musa acuminata* AAA). **Food Hydrocolloids**, v. 122, p. 107048, 1 jan. 2022.

SALGADO, S. M. *et al.* Aspectos físico-químicos e fisiológicos do amido resistente. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 23, n. 1, p. 109–122, 2 ago. 2005.

SALISU, A. *et al.* Removal of lead ions from aqueous solutions using sodium alginate-graft-poly(methyl methacrylate) beads. **Desalination and Water Treatment**, v. 57, n. 33, p. 15353–15361, 14 jul. 2016.

SARANGI, M. A review on banana starch. **Inventi Rapid: Planta Activa**, v. 2014, p. 1–8, maio 2014.

SARAWONG, C. *et al.* Effect of extrusion cooking on the physicochemical properties, resistant starch, phenolic content and antioxidant capacities of green banana flour. **Food Chemistry**, v. 143, p. 33–39, 2014.

SHAH, U. *et al.* Art and Science behind Modified Starch Edible Films and Coatings: A Review. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 15, n. 3, p. 568–580, 1 maio 2016.

SHANMUGAM, V. *et al.* Polymer recycling in additive manufacturing: an opportunity for the circular economy. **Materials Circular Economy**, v. 2, n. 1, dez. 2020.

SHOJAEI KANG SOFLA, M.; MORTAZAVI, S.; SEYFI, J. Preparation and characterization of polyvinyl alcohol/chitosan blends plasticized and compatibilized by glycerol/polyethylene glycol. **Carbohydrate Polymers**, v. 232, p. 115784, 15 mar. 2020.

SOUSA, P. H. M. De *et al.* Influência da concentração e da proporção fruto: xarope na desidratação osmótica de bananas processadas. **Food Science and Technology**, v. 23, p. 126–130, dez. 2003.

TAGLIAPIETRA, B. L. *et al.* Non-conventional starch sources. **Current Opinion in Food Science**, v. 39, p. 93–102, 1 jun. 2021.

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

TEIXEIRA-COSTA, B. E.; ANDRADE, C. T. Natural polymers used in edible food packaging; history, function and application trends as a sustainable alternative to synthetic plastic. **Polysaccharides**, v. 3, n. 1, p. 32–58, 29 dez. 2021.

TESTER, R. F.; KARKALAS, J.; QI, X. Starch—composition, fine structure and architecture. **Journal of Cereal Science**, v. 39, n. 2, p. 151–165, 1 mar. 2004.

THAKUR, S.; PANDEY, S.; AROTIBA, O. A. Development of a sodium alginate-based organic/inorganic superabsorbent composite hydrogel for adsorption of methylene blue. **Carbohydrate Polymers**, v. 153, p. 34–46, 20 nov. 2016.

TOSIF, M. M. *et al.* Starch–mucilage composite films: an inclusive on physicochemical and biological perspective. **Polymers**, v. 13, n. 16, p. 2588, 4 ago. 2021.

TRIBESS, T. B. *et al.* Thermal properties and resistant starch content of green banana flour (*Musa cavendishii*) produced at different drying conditions. **LWT - Food Science and Technology**, v. 42, n. 5, p. 1022-1025, 2009.

VAMADEVAN, V.; BERTOFT, E. Structure-function relationships of starch components. **Starch - Stärke**, v. 67, n. 1–2, p. 55–68, 1 jan. 2015.

VERSINO, F. *et al.* Starch-based films and food coatings: an overview. **Starch - Stärke**, v. 68, n. 11–12, p. 1026–1037, 1 nov. 2016.

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

VON LOESECKE, H. **Bananas**. 2 ed. New York, InterScience, 1950.

WALTER, M.; SILVA, L. P. da EMANUELLI, T. Amido resistente: características físico-químicas, propriedades fisiológicas e metodologias de quantificação. **Ciência Rural**, v. 35, n. 4, p. 974–980, ago. 2005.

WANG, X.; LIU, S.; AI, Y. Gelation mechanisms of granular and non-granular starches with variations in molecular structures. **Food Hydrocolloids**, v. 129, p. 107-658, 2022.

WANG, Y. J.; LIU, W.; SUN, Z. Effects of glycerol and PE-g-MA on morphology, thermal and tensile properties of LDPE and rice starch blends. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 92, n. 1, p. 344–350, 5 abr. 2004.

ZARRINTAJ, P. *et al.* **Compatibilization of polymer blends**: micro and nano scale phase morphologies, interphase characterization, and properties, 1 ed, p. 511–537, Elsevier, 10 out. 2019.

ZHANG, P.; HAMAKER, B. R. Banana starch structure and digestibility. **Carbohydrate Polymers**, v. 87, n. 2, p. 1552–1558, 15 jan. 2012.

ZHANG, X. *et al.* The plasticizing mechanism and effect of calcium chloride on starch/poly(vinyl alcohol) films. **Carbohydrate Polymers**, v. 90, n. 4, p. 1677–1684, 6 nov. 2012.

ZHOU, L.; WANG, Y. Physical and antimicrobial properties of zein and methyl cellulose composite films with plasticizers of oleic acid and polyethylene glycol. **LWT**, v. 140, p. 110811, 1 abr. 2021.