



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA - UESB
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA E CIÊNCIA DE ALIMENTOS
Área de concentração: Ciência de Alimentos



DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE FILMES DE AMIDO DE
MANDIOCA INCORPORADOS COM ÓLEO DE BABAÇU E PLASTIFICANTE
SORBITOL

Mestranda: Jéssica Matos Lacerda
Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Renata Cristina Ferreira Bonomo
Co-Orientadores: Prof. Dr. Leandro Soares Santos
Prof. Dr. Rafael Da Costa Ilhéu Fontan

ITAPETINGA
BAHIA - BRASIL
Novembro de 2021

JÉSICA MATOS LACERDA

**DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE FILMES DE AMIDO DE
MANDIOCA INCORPORADOS COM ÓLEO DE BABAÇU E PLASTIFICANTE
SORBITOL**

Dissertação apresentada como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Engenharia e Ciência de Alimentos, no Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Renata Cristina Ferreira Bonomo.

Co-orientadores: Prof. Dr. Leandro Soares Santos

Prof. Dr. Rafael Da Costa Ilhéu Fontan

ITAPETINGA
BAHIA - BRASIL
Novembro de 2021

664.22 Lacerda, Jéssica Matos
L137d Desenvolvimento e caracterização de filmes de amido de mandioca incorporados com óleo de babaçu e plastificante sorbitol. / Jéssica Matos Lacerda. - Itapetinga: UESB, 2021.
49f.

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do Título de Mestre junto ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Sob a orientação da Prof^a. D. Sc. Renata Cristina Ferreira Bonomo.

1. Filmes biodegradáveis - Amido de mandioca - Óleo de babaçu. 2. Filmes biodegradáveis - Caracterização. 3. Embalagens biodegradáveis. I. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Programa de Pós-graduação em Engenharia e Ciência de Alimentos. II. Bonomo, Renata Cristina Ferreira. III. Título.

CDD(21): 664.22

Catálogo na fonte:
Adalice Gustavo da Silva – CRB/5-535
Bibliotecária – UESB – Campus de Itapetinga-BA

Índice Sistemático para Desdobramento por Assunto:

1. Mandioca - Amido - Óleo de babaçu - Filmes
2. Óleo de babaçu - Embalagens biodegradáveis - Amido de mandioca - Sorbitol

Campus de Itapetinga-BA

CÓPIA AUTÊNTICA DA ATA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE DA CANDIDATA **JÉSSICA MATOS LACERDA** NO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E CIÊNCIA DE ALIMENTOS (PPGECAL).

Aos dezenove dias do mês de julho de dois mil e vinte e um, às catorze horas, reuniram-se em sessão por videoconferência, em atendimento às recomendações da Resolução Consu/Uesb 03/2020, a Banca Examinadora composta por: Prof.^a Dr.^a Renata Cristina Ferreira Bonomo (Orientadora, UESB), Prof. Dr. Evaldo Cardozo de Souza Júnior (UESB), Prof.^a Dr.^a Olga Reinert Ramos Gondolfi (UNIME) para a defesa de Dissertação de **JÉSSICA MATOS LACERDA**, discente do PPGECAL - Área de Concentração: Ciência de Alimentos, conforme aprovação em reunião do Colegiado deste Programa. Iniciados os trabalhos, a candidata submeteu-se na forma regimental ao exame de sua Dissertação, intitulada: **DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE FILMES DE AMIDO DE MANDIOCA (*Manihot esculenta Crantz*) INCORPORADOS COM ÓLEO DE BABAÇU E PLASTIFICANTE SORBITOL**. Após análise da Banca Examinadora, verificou-se que a candidata obteve aprovação, devendo a mesma entregar, em até 45 dias a versão final corrigida da dissertação e em até 90 dias a cópia do comprovante de envio do artigo para publicação, de acordo com o § 2º do artigo 50 da Resolução Consupe nº 55/2016, à Coordenação do Curso, sob pena de sofrer as sanções cabíveis, inclusive a perda do Título. E para constar, a presente Ata, após lida e aprovada, vai ser assinada pelos Membros da Banca Examinadora e arquivada na Secretaria do PPGECAL.



Prof. Dr. Evaldo Cardozo de Souza Júnior
UESB



Prof.^a Dr.^a Olga Reinert Ramos Gandolfi
Membro Externo - UNIME



Prof.^a Dr.^a Renata Cristina Ferreira
Bonomo Orientadora - UESB
Presidente da Banca

Itapetinga-BA, 19 de julho de 2021.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus e a Maria santíssima por esta oportunidade de realizar o mestrado em ciências dos alimentos na UESB, pela conclusão desse, e por todas as vitórias que foram alcançadas neste momento;

Aos meus pais, Irene Lima Matos e Arnaldo Santos Lacerda, à minha filha Liz Neres Matos, minha grande inspiração, que sempre me apoiaram e acompanharam em todas as decisões, dificuldades e realizações dos sonhos;

Ao meu irmão Kesley Matos Lacerda, um grande incentivador para realização dos meus projetos;

À minha família e amigos por acreditar e apoiar em todos os momentos;

À Gabriela Muricy, que auxiliou principalmente nos momentos críticos do trabalho;

À minha orientadora, professora Dr^a. Renana Cristina Ferreira Bonomo, e ao coorientador Dr. Leandro Soares Santos pela amizade, motivação, dedicação, competência e orientação, não só no mestrado como na vida profissional;

À Luana Dias Araújo, por sua disponibilidade, paciência e auxílio.

À Coordenação do Colegiado do Mestrado em Ciências dos alimentos, por manter suas portas abertas aos alunos, aos questionamentos e por sua transparência nas decisões;

À todos que não foram mencionados, mas que colaboraram na realização desta Pesquisa.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	v
LISTA DE TABELAS.....	vi
RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	viii
I - REFERENCIAL TEÓRICO.....	1
1.1 Introdução.....	1
1.2 Revisão de Literatura.....	3
1.2.1 Filmes.....	3
1.2.2 Constituintes dos filmes	5
1.2.2.1 Amido	5
1.2.2.2 Amido de mandioca	8
1.2.2.3 Gelatinização	9
1.2.2.4 Plastificantes	10
1.2.2.5 Aditivos.....	11
1.2.2.6 Óleo de babaçu.....	11
II - OBJETIVOS GERAIS.....	13
2.1 Geral.....	13
2.2 Específicos.....	13
III - MATERIAL E MÉTODOS.....	14
3.1 Matéria-prima.....	14
3.2 Composição centesimal do amido de mandioca.....	14
3.2.1 Determinação do Teor de Amido	14
3.2.2 Determinação do Teor de Amilose e amilopectina	14
3.2.3 Teor de lipídeos totais.....	15
3.2.4 Umidade	15
3.2.5 Cinzas	15
3.2.6 Proteínas	16
3.2.7 Determinação do Teor de Fibra Bruta	16
3.3 Produção dos filmes.....	16
3.4 Caracterização dos filmes.....	17
3.4.1 Espessura.....	17

3.4.2	Solubilidade em água, solução salina e solução ácida.....	18
3.4.3	Permeabilidade ao vapor de água.....	19
3.5	Análises Térmicas.....	19
3.6	Propriedades mecânicas.....	20
3.7	FTIR - Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier.....	22
3.8	Difração raios x – DRX.....	22
3.9	Biodegradabilidade.....	23
3.10	Delineamento Experimental e Análise Estatística.....	23
IV - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....		24
4.1	Composição centesimal do amido de mandioca.....	24
4.2	Espessura e Solubilidade.....	25
4.2.1	Permeabilidade ao vapor de água.....	26
4.3	Análises térmicas.....	27
4.4	Propriedades mecânicas.....	28
4.5	Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier FTIR.....	29
4.6	Difrações de raios-X (DRX)	31
4.7	Biodegradabilidade.....	32
V - CONCLUSÃO.....		34
VI - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		35

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura química da amilose (a) e da amilopectina (b)	6
Figura 2 - Processo de gelatinização do amido	10
Figura 3 - Palmeiras de babaçu (a) Coco babaçu (b).....	12
Figura 4 - Equipamento utilizado para medida de espessura (a) de amostras de filme (b).....	18
Figura 5 - Equipamento e corpo de prova para ensaio de tração do filme	21
Figura 6 - Curva de tensão x deformação resultado do ensaio de tração do filme J41,2g J41,2g	21
Figura 7 - Equipamento para ensaio de DRX do filme	22
Figura 8 - Permeabilidade ao vapor de água dos filmes de amido de mandioca em função da concentração de óleo de babaçu e de plastificante	27
Figura 9 - Análise termogravimétrica (TGA) de controle dos filmes	28
Figura 10 - Espectros de FTIR para os filmes a base de amido de mandioca e incorporado com óleo de babaçu	30
Figura 11 - Difratoograma das amostras de filmes	31
Figura 12 - Degradação de filmes elaborados expostos no ambiente ao longo do tempo.....	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Diferentes métodos de obtenção de filmes biodegradáveis de amido	8
Tabela 2 - Formulação dos filmes	17
Tabela 3 - Composição centesimal do amido de mandioca	24
Tabela 4 - Solubilidade e espessura médias dos filmes de amido de mandioca	25
Tabela 5 - Propriedades mecânicas dos filmes de amido de mandioca incorporados com óleo de babaçu	29

RESUMO

LACERDA, Jésica Matos. **Desenvolvimento e caracterização de filmes de amido de mandioca incorporados com óleo de babaçu e plastificante sorbitol**. Itapetinga, BA: UESB, 2021. 49 p. Dissertação. (Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos, Área de Concentração em Ciências de Alimentos).¹

Filmes biodegradáveis têm recebido grande interesse como alternativa às embalagens plásticas convencionais, devido, especialmente, a seu apelo ambiental. Neste contexto, este estudo teve como objetivo de produzir e caracterizar filmes biodegradáveis constituídos de amido de mandioca avaliando o efeito da adição de óleo de babaçu e sorbitol. Os filmes foram desenvolvidos empregando-se a técnica *casting* e um planejamento experimental fatorial 4x5, cujas variáveis independentes foram concentração de plastificante e concentração de óleo. Os filmes produzidos foram caracterizados quanto à espessura, solubilidade em água, solução salina e em solução ácida, permeabilidade ao vapor de água, análises térmicas, propriedades mecânicas, FTIR, DRX e biodegradabilidade. Os resultados obtidos neste estudo foram à obtenção de filmes biodegradáveis com propriedades mecânicas e de barreira melhoradas em relação às embalagens convencionais e com potencial para serem utilizados como embalagens ambientalmente sustentáveis, reiterando o uso de óleo de babaçu como reforço para melhorar as propriedades térmicas, solubilidade e/ou permeabilidade ao vapor de água dos filmes à base de amido. Nos difratogramas dos filmes de amido de mandioca incorporados com sorbitol e óleo de babaçu nas concentrações (0,0g, 0,4g, 0,8g, 1,2g 1,6g); e concentrações de amido de mandioca (2,0g, 2,4g, 2,8g, 3,2g), constatou-se que conforme aumento da concentração de plastificante intensificou a formação de picos, em relação a adição de óleo pode atuar como plastificante na reorganização das moléculas e conformação estrutural dos filmes elaborados.

Palavras-chave: Embalagens biodegradáveis. Caracterização. Filmes.

¹Orientador (a): Renata Cristina Ferreira Bonomo, Dr^a. UESB e Co-orientadores: Leandro Soares Santos, Dr. UESB e Rafael Da Costa Ilhéu Fontan, Dr. UESB

ABSTRACT

LACERDA, Jéssica Matos. **Development and characterization of cassava starch films incorporated with babassu oil and sorbitol plasticizer.** Itapetinga, BA: UESB, 2021. 49 p. Dissertation. (Masters in Engineering and Food Science, Area of Concentration in Food Sciences).²

Biodegradable films have received great interest as an alternative to conventional plastic packaging, especially due to its environmental appeal. In this context, this study aimed to produce and characterize biodegradable films consisting of cassava starch, evaluating the effect of adding babassu oil and sorbitol. The films were developed using the casting technique and a 4x5 factorial experimental design, whose independent variables were plasticizer concentration and oil concentration. The films produced were characterized in terms of thickness, solubility in water, saline solution and acid solution, permeability to water vapor, thermal analysis, mechanical properties, FTIR, DRX and biodegradability. The results obtained in this study were to obtain biodegradable films with improved mechanical and barrier properties compared to conventional packaging and with the potential to be used as environmentally sustainable packaging, reiterating the use of babassu oil as a reinforcement to improve thermal properties, solubility and/or water vapor permeability of starch-based films. In the diffractograms of cassava starch films incorporated with sorbitol and babassu oil in concentrations (0.0g, 0.4g, 0.8g, 1.2g, 1.6g); and cassava starch concentrations (2.0g, 2.4g, 2.8g, 3.2g), it was found that as the plasticizer concentration increased, it intensified the formation of peaks, in relation to the addition of oil, it can act as a plasticizer in the reorganization of molecules and structural conformation of the elaborated films.

Keywords: Biodegradable packaging. Characterization. Biopolymers.

²Orientador (a): Renata Cristina Ferreira Bonomo, Dr^a. UESB e Co-orientadores: Leandro Soares Santos, Dr. UESB e Rafael Da Costa Ilhéu Fontan, Dr. UESB

I - REFERENCIAL TEÓRICO

1.1 Introdução

Filmes biodegradáveis são compostos na sua totalidade ou em partes de materiais de base biológica, ou seja, matéria-prima renovável e biodegradável, ou derivados biodegradáveis de fontes fósseis. São parecidos com os plásticos tradicionais, podendo apresentar benefícios extras como: diminuição na emissão de carbono durante a degradação, possibilidade de administração de resíduos, como a compostagem, ou até mesmo um maior percentual de degradação (EUROPEAN BIOPLASTICS, 2021).

Existem dois benefícios indispensáveis dos filmes de estrutura biológica em comparação com os plásticos à base de derivados de petróleo: 1- poupam recursos fósseis usando biomassa que se regenera e 2- gera o potencial único de neutralidade de carbono. Além disso, a biodegradabilidade é uma especificidade complementar de certos tipos de filmes, oferecendo meios complementares de recuperação no final da vida útil de um produto (EUROPEAN BIOPLASTICS, 2020).

Portanto, filmes biodegradáveis ou bioplásticos são desenvolvidos/produzidos a partir de materiais de fontes renováveis, como o amido. Amido é um dos polímeros mais estudados para o desenvolvimento de filmes biodegradáveis, pois apresenta baixo custo, facilidade de obtenção e boa capacidade de formar filmes. É indicado, também, para o desenvolvimento de bioplásticos que podem ser utilizados sem qualquer tratamento antes do processamento, com ou sem adição de plastificantes, que podem atuar como portadores de compostos ativos, sendo assim, uma boa alternativa como substitutos de embalagens não biodegradáveis (ASSIS et al., 2017).

Dentre os filmes, caracterizados a partir do amido de mandioca tem apresentado boa homogeneidade, flexibilidade, transparência e rápida biodegradabilidade (NASCIMENTO et al., 2015). Muitos filmes biodegradáveis têm sido desenvolvidos para serem aplicados como uma embalagem ativa. Esta é uma embalagem projetada para ter influência ativa no produto e, portanto, possui aditivos que interagem com ele, tendo como propósito prolongar a vida de prateleira e/ou preservar as propriedades sensoriais (aparência, aroma, consistência, textura e flavor dos alimentos). Os aditivos podem ser provenientes de síntese químicas ou naturais.

Com o objetivo de reduzir o uso de aditivos químicos das embalagens ativas na indústria de alimentos, ocorreu o aumento do interesse pelo uso de aditivos naturais com propriedades antimicrobianas e antioxidantes, por exemplo (EÇA; SARTORI; MENEGALLI et al., 2014).

Os estabilizantes à luz ultra-violeta são um dos exemplos de aditivos de embalagens cuja função é interferir nos processos físicos e químicos da foto-oxidação dos polímeros (ocorrência comum quando há ar atmosférico, mais precisamente oxigênio, em presença de luz solar, que contém 6,1% de radiação ultravioleta), prevenindo a deterioração dos mesmos. Dentre os estabilizantes existentes, aqueles que agem como sequestradores de radicais livres devem ser ressaltados, pois evitam a reação destas espécies altamente reativas com parte do polímero, como exemplo os que são à base de amins estericamente impedidas. Para realizar a adição dos aditivos à embalagem, se faz necessário a incorporação no ato da polimerização durante a fabricação da resina ou na extrusão da mesma. Dessa forma o aditivo é adicionado ao polímero, porém com sua fixação à cadeia polimérica comprometida, podendo difundir-se pelo polímero. Essa difusão pode ocorrer não somente com aditivos, mas com qualquer substância que esteja livre no material. Esse fenômeno começou a ser estudado devido à descoberta de 6º Congresso Interinstitucional de Iniciação Científica - CIIC 2012 13 a 15 de agosto de 2012 – Jaguariúna, SP 3 substâncias que promoviam alterações no produto e na saúde do consumidor, quando ingeridas em altas concentrações (LOPES; GARCIA et al., 2010). Para determinar quais são essas substâncias e quantificá-las, foram estabelecidos os ensaios de migração total e específica com simulantes de alimentos. A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) publicou a Resolução RDC nº 51, de 26 de novembro de 2010 (BRASIL, 2010) onde descreve as condições dos ensaios de migração e quais são os simulantes adotados pela Legislação Brasileira e Mercosul.

Dentre as substâncias naturais podem-se citar os óleos essenciais, que representam um ingrediente interessante para embalagens ativas de alimentos, principalmente devido à sua origem e suas propriedades antimicrobianas (GANIARI et al., 2017). Óleos essenciais são metabólitos secundários produzidos pelas plantas, que conferem resistência a condições adversas, como variação climática e ataque de insetos e microrganismos. Dentre estes óleos, a utilização do óleo de babaçu é interessante, pois este é resistente à decomposição por hidrólise ou oxidação devido à sua composição ser predominantemente de ácidos graxos saturados (MOREIRA et al., 2018). Este é um óleo obtido em sua maioria, ainda, de forma extrativista e com pouca utilização na indústria de alimentos.

Diante do exposto, neste estudo buscou-se desenvolver e caracterizar filmes biodegradáveis formados por amido de mandioca incorporados de óleo de babaçu e plastificante sorbitol, buscando-se assim a valorização, de forma indireta, dessas matérias-primas.

1.2 Revisão de Literatura

1.2.1 Filmes

Os polímeros ou copolímeros são constituintes dos filmes produzidos a partir de matérias primas de fontes renováveis, como: milho, cana-de-açúcar, mandioca, celulose, quitina e outras. As fontes renováveis são assim conhecidas por possuírem um ciclo de vida mais curto comparado com fontes fósseis como petróleo que leva milhares de anos para se formar (BRITO et al., 2011). Os filmes são derivados de agro-recursos (plantas), microrganismos (fungos) e sintetizado a partir de monômeros bioderivados (Vinayagamoorthy et al., 2019). Os mais abundantes obtidos de fontes vegetais, animais e bacterianas são a classe dos poliésteres microbianos, obtidos a partir de plantas geneticamente modificadas ou através da fermentação da biomassa, como por exemplo, o polihidroxibutirato (PHB), a categoria dos poliésteres, polímeros sintéticos oriundos de monômeros naturais dos processos biotecnológicos, como por exemplo, o poliácido láctico (PLA), proteínas e polissacarídeos. Muitos monossacarídeos combinam-se para formar polissacarídeos, sendo os mais importantes o amido, celulose, quitina, alginato, goma xantana, dextrina e carragenina (LUZI et al., 2019).

Estes compostos vêm sendo aplicados de forma crescente na produção de filmes. Filmes biodegradáveis podem ser produzidos a partir de misturas de filmes, como revestimentos que são aplicados sobre a superfície do alimento ou entre os alimentos, visando à redução na perda de vapor de água, oxigênio, migração de lipídios e aroma ou para estabilizar os gradientes de atividade de água e assim manter as diferentes propriedades de textura (GIANCONE et al., 2008).

Considerando as vantagens da tecnologia dos filmes sobre as embalagens tradicionais, assim como o grande aumento das pesquisas em materiais de embalagem alternativos, é possível prever que o futuro das embalagens alimentícias pertence aos filmes biodegradáveis. Filmes biodegradáveis podem ser produzidos a partir de misturas filmes, como por exemplo de polissacarídeos e proteínas cujas cadeias são longas e capazes de formar matrizes contínuas que dão estrutura ao filme. As características estruturais e a composição química dos filmes são muito importantes na elaboração de filmes biodegradáveis (ROCHA, 2009).

O ácido polilático (PLA), polihidroxialcanoatos (PHB), são biopolímeros amplamente utilizado, podendo ser preparados a partir da fermentação de carboidratos como milho, cana-de-açúcar, batata, biomassa por bactérias e sintetizados através da polimerização da abertura do anel de lactídeo, condensação desidratada azeotrópica e polimerização por condensação direta.

Os polímeros de PLA variam de polímeros vítreos amorfos com vidro transição de 60°C para produtos semicristalinos/altamente cristalinos com pontos de fusão cristalinos variando de 130 a 180°C (NAGARAJAN et al., 2019). É um potencial material para aplicações de embalagem. Possui bom módulo de flexão, boa resistência a alimentos gordurosos, boa selabilidade térmica e alta resistência superficial, facilitando a impressão. Eles também exibem alto brilho e alta clareza óptica (NAGARAJAN et al., 2019). Pode ser facilmente processado por moldagem por injeção, extrusão, sopro de filme entre outros. Para melhorar o desempenho, podendo ser misturado com outros polímeros como óxido de polietileno, acetato de polivinil e polietileno glicol (SADASIVUNI et al., 2019).

Em amidos de mandioca a amilose representa aproximadamente 18% do amido total e o restante corresponde a amilopectina. A amilose é a responsável pela capacidade de formação dos filmes, também é a parcela menos organizada (amorfa), com densidade que permite a penetração da água entre suas camadas. Já a amilopectina refere-se a parcela mais organizada (cristalina) dos grânulos, mais densa e que confere maior resistência à penetração da água e ação enzimática. Ambas são ligadas entre si por ligação de hidrogênio e envoltas por uma matriz proteica (ZHOU; PANG; LU, 2012).

Portanto, observa-se que as propriedades físico-químicas e termo-mecânicas dos filmes são controladas por fatores como mistura de filmes, tipos de plastificante entre outros.

As principais aplicações dos biopolímeros estão relacionadas às embalagens de alimentos (rígidas e flexíveis), sacolas e embalagens de produtos utilizados na agricultura (LOPEZ DE DICASTILLO et al., 2014). De acordo com Mali, Grossmann e Yamashita (2010) estudos sobre o aproveitamento de vários filmes promissores, incluindo amido, derivados de celulose e polihidroxialcanoatos (PHB) como materiais de embalagem estão em andamento devido à sua compatibilidade com compostos microbianos. Além disso, a utilização de alguns, sais, metálicos e seus nanomateriais e agentes antimicrobianos naturais, como, enzimas, extratos vegetais, bactericidas, e, óxido etileno, tem recebido atenção na área de embalagem antimicrobianas de alimentos aplicadas para estender a vida útil, segurança e qualidade dos produtos alimentícios na cadeia de suprimentos.

A degradação do filme depende de vários fatores, como composição, ambiente, tipo de polímero e ligações químicas entre eles. O processo de degradação é classificado como:

Biodegradável: a degradação ocorre devido à presença de microrganismos; Hidro-biodegradável: a degradação ocorre na presença de microrganismos e água; Foto-degradável: a degradação ocorre devido à desvinculação entre moléculas na presença de luz; Bioerodável: degradação devido à erosão por abrasão natural e Compostável: a degradação ocorre devido à ação bacteriana que melhora a condição do solo. (RESTREPO-FLÓREZ et al., 2014).

1.2.2 Constituintes dos filmes

1.2.2.1 Amido

O amido é considerado um material promissor para a fabricação de filmes devido à sua disponibilidade de combinações, comportamento termoplástico, reciclabilidade e renovabilidade (NEVORALOVÁ et al., 2019). O amido não pode ser derretido ou processado como termoplástico em sua forma natural e os seus grânulos podem ser termoplastificados por aquecimento e cisalhamento na presença de água ou glicerol (MAZEROLLES et al., 2019).

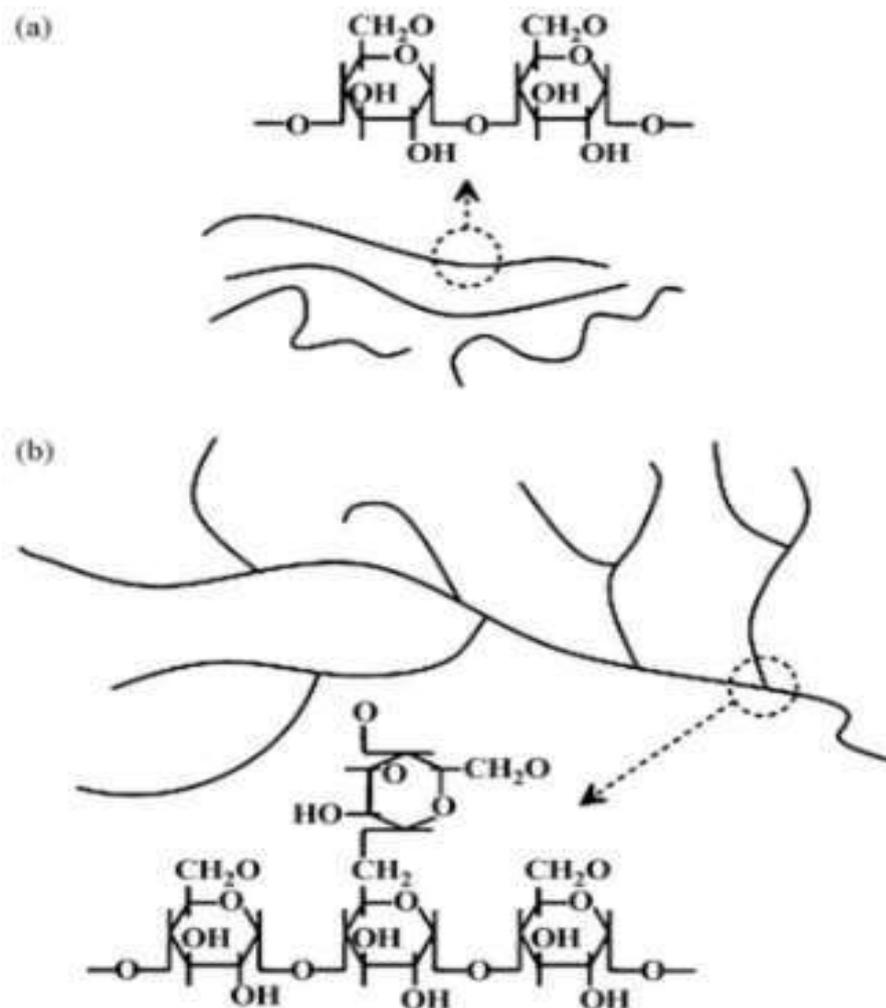
É um polissacarídeo biodegradável, barato, renovável e abundantemente disponível, encontrado em raízes, tubérculos, frutos e sementes (HONG et al., 2016). Ele é também a mais importante fonte de carboidratos na alimentação humana e possui importantes aplicações industriais como agente gelificante, espessante, estabilizador de colóides e na retenção de água, entre outros (DENARDIN; SILVA, 2009). As principais fontes comerciais de amido são a mandioca, o milho, a batata, o arroz e o trigo (MALI; GROSSMANN; YAMASHITA, 2010).

Sendo um produto não tóxico e renovável, considerado o biopolímero natural mais abundante após a celulose, com uma crescente demanda e importância do seu uso nas indústrias alimentícias por contribuir para a aparência, estrutura e qualidade dos produtos. No entanto, em sua forma nativa, o amido possui limitações para algumas aplicações industriais devido à sua instabilidade sob várias temperaturas e condições de pH, além da alta tendência à retrogradação (ASHOGBON; AKINTAYO, 2014).

O mesmo não é usado apenas como alimento para fornecer nutrição para humanos e animais, mas também é amplamente utilizado como ingrediente importante nas indústrias de alimentos, têxtil, medicina, fabricação de papel, fundição, metalurgia, petróleo e químicas (ZHOU; PANG; LU, 2012). A aplicabilidade diversificada do amido exige propriedades estruturais e funcionais específicas. Amidos de diferentes fontes vegetais são variados em suas morfologias, estruturas e propriedades, que determinam sua utilização (HE; LIU; THOMPSON, 2013).

Consiste principalmente de dois polímeros: amilose de cadeia linear e amilopectina altamente ramificada sendo armazenado como grânulos semicristalinos (PERIES et al., 2012). Seus dois componentes principais, a amilose e a amilopectina, diferem em suas propriedades e funcionalidades. A amilose (Figura 1a) é uma cadeia linear formada por unidades de glicose unidas por ligações glicosídicas α -1,4 e possui uma alta tendência a retrogradar e produzir géis resistentes e filmes fortes. Dessa forma, altos teores de amilose são interessantes para a confecção de filmes biodegradáveis. A massa molecular é da ordem de 250° e varia de acordo com a espécie vegetal e seu grau de maturação. Já a amilopectina (Figura 1b) é uma estrutura ramificada formada por ligações glicosídicas α -1,6 e, quando dispersa em água, é mais estável e produz filmes fracos (ASHOGBON; AKINTAYO, 2014).

Figura 1 - Estrutura química da amilose (a) e da amilopectina (b)



Fonte: Liu *et al.* (2009).

A proporção de amilose e amilopectina no grânulo de amido é variável a depender da fonte, do grau de maturação da planta ou tipo de amido. Os amidos nativos são amidos na sua forma mais natural, ou seja, sem qualquer alteração por modificações química, física, enzimáticas ou genéticos. A modificação química do amido por fosfatação possibilita alterações físicas e reológicas do amido nativo como: aumento do poder de inchamento e da solubilização dos grânulos, redução da temperatura de gelatinização e aumento da claridade da pasta e da viscosidade do gel, Entre as modificações físicas, a principal é a pré-gelatinização do amido, o que modifica algumas propriedades do alimento, como elasticidade e maciez das pastas, textura, volume e estabilidade ao descongelamento de pães e bolos, entre outras, enzimática ou genética. A enzima α -amilase (α -1,4-glicano hidrolase) rompe as ligações glicosídicas α -1,4 da amilose originando uma mistura de maltose, amilopectina e glicose.

Rompe também as ligações α -1,4 da amilopectina, originando uma mistura de polissacarídeos denominadas dextrinas. Esse tipo de amido geralmente contém uma proporção maior de amilopectina (70%-80%) e menor de amilose (20%-30%), exceto as variedades cerosas, que são compostas essencialmente por amilopectina. Já os amidos que passam por modificações podem apresentar grandes quantidades de amilose podendo chegar até 65% do grânulo (SAGNELLI et al., 2016).

Os amidos comerciais são obtidos a partir de sementes de cereais, principalmente de milho comum, milho ceroso, milho de alto teor de amilose, trigo, arroz, tubérculos e raízes, em especial batata e mandioca. O amido e os amidos modificados apresentam numerosas aplicações, incluindo a promoção de adesão e a função de ligante, turbidez, polvilho, elemento de recobrimento (filmes de cobertura), reforçador de espuma, gelificante, vitrificante, retenção de umidade, estabilizante, texturizante e espessante (FENNEMA; DAMODARAN; PARKIN, 2010).

Entre os filmes produzidos a partir de polissacarídeos, destacam-se aqueles à base de amido, por ser uma alternativa às resinas tradicionais economicamente mais viáveis e por terem como origem fontes renováveis amplamente disponíveis e de baixo custo (SOUZA et al., 2011). Além disso, possuem a habilidade de formar uma matriz contínua e de baixa permeabilidade ao oxigênio e produzem filmes transparentes, livres de odor, cor e sabor (JIMÉNEZ et al., 2013). Muitos pesquisadores têm investigado diferentes maneiras de melhorar as propriedades dos filmes obtidos à base de amido (Tabela 1). Alguns deles relatam alterações nas propriedades quando utilizam diferentes fontes de amido como, por exemplo, ervilha, batata, arroz, mandioca, milho e amidos modificados e diferentes plastificantes.

Tabela 1 - Diferentes métodos de obtenção de filmes biodegradáveis de amido

Tipo de Amido	Condições de Gelatinização	Condições de Secagem	Referência
Amido de mandioca	80°C, 20 min	45°C	Edhirej et al. 2017
Amido de tapioca	70°C, 30 min	25°C, 48 h, vácuo	Maran et al., 2013a
Amido de milho	85°C, 30 min	25°C, 48 h	Basiak; Lenart; Debeaufort, 2017
Amido de batata	85°C, 30 min	25°C, 48 h	Basiak; Lenart; Debeaufort, 2017

Fonte: Da autora (2021).

1.2.2.2 Amido de mandioca

Existem várias fontes botânicas de amido, e uma delas a mandioca (*Manihot esculenta Crantz*). O amido de mandioca é uma ótima matéria-prima para a produção de materiais biodegradáveis sendo útil para aplicações industriais (KIM et al., 2015). Segundo a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), em seu levantamento referente ao ano de 2019, a produção mundial de raiz de mandioca correspondeu a 277,1 milhões de toneladas. O Brasil foi responsável pela produção de 21,08 milhões de toneladas sendo o 4º maior produtor mundial de mandioca, perdendo apenas para Nigéria, Tailândia e Indonésia. A Região Sul do Brasil é a terceira colocada na produção de mandioca, com 21,1% da safra nacional, sendo a Região Norte a primeira com 36,1% e a Região Nordeste a segunda com 25,1% (EMBRAPA et al., 2018).

Em relação ao amido de mandioca, o Paraná se destaca como o principal produtor dentre os estados brasileiros, respondendo por mais de 70% do total nacional. De acordo com a SEAB - Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento (2021), segundo pesquisa anual de campo realizada pelos técnicos do Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada – CEPEA/ESALQ – a produção brasileira de amido de mandioca, em 2018, foi de

536.611 toneladas, contra 422.322 toneladas alcançadas no ano de 2017. Esta pesquisa confirma também a grande concentração das indústrias de amido no Estado do Paraná, que conta com 42 unidades de um total de 71 existentes no País. Estes números representam cerca de 59% das indústrias e cerca de 64% da capacidade instalada, ou aproximadamente 14.000 toneladas de raiz/dia.

O amido de mandioca possui em sua composição cerca de 10% a 14,8% de umidade, 0,01% a 0,49% de fibras, 0,1% a 1,54% de lipídios e 0,007% a 0,012% de fósforo. O teor de amilose varia de 16 a 24 %, e o de amilopectina de 76 a 84 % (FENNEMA; DAMODARAN; PARKIN, 2010). A praticidade de extração, taxa de retrogradação menor, gera materiais mais estáveis ao longo do armazenamento, possui baixo custo e baixa temperatura de gelatinização faz com que tenha pontos positivos em relação a outros amidos (SOUZA et al., 2010). Apresenta grânulos com formato oval/sino com diâmetros variáveis entre 4-35 μm , e sua temperatura de gelatinização é entre 52 a 65 °C (DANNENBER, 2017). Por esses fatores o amido de mandioca é um produto com enorme viabilidade e de fácil acesso, tornando-o a melhor opção para ser utilizado na produção do filme.

Marques (2018) obteve filmes biodegradáveis de amido de mandioca reforçados com nanofibras de celulose de rami e observou que houve ação da cinética de sorção de água dos filmes, provocando uma redução em sua velocidade e capacidade de absorção de água. Os resultados apresentados neste estudo confirmam a obtenção de filmes biodegradáveis com propriedades mecânicas e de barreira melhoradas e com potencial para serem utilizados como embalagens ambientalmente favoráveis, reiterando o uso de nanofibras de celulose extraídas de rami como reforço aos filmes à base de amido.

1.2.2.3 Gelatinização

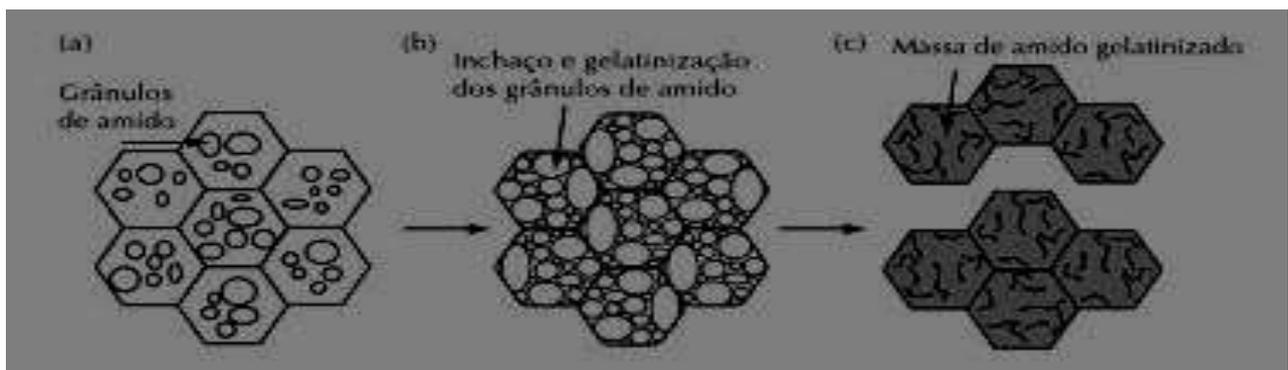
Para obtenção de um filme à base de amido, é necessário que o polímero seja estruturado pela destruição de sua estrutura de grânulo, dando origem a um material amorfo que pode se recristalizar de forma parcial após estocagem ou processamento. A destruição da organização dos grânulos pode ocorrer por meio dos fenômenos conhecidos como gelatinização e fusão (MIRANDA; CARVALHO, 2011).

Os grânulos de amido não danificados são insolúveis em água fria, mas podem absorver água de modo reversível, ou seja, eles podem inchar um pouco e, então, retornar a seu tamanho original ao secar. Quando aquecidos em água, os grânulos de amido passam por um processo chamado gelatinização. Esta é a ruptura da ordem molecular no interior dos grânulos.

Evidências da perda de ordem incluem inchaço irreversível do grânulo, perda de birrefringência e perda de cristalinidade. Durante a gelatinização ocorre lixiviação da amilose, mas parte disto pode ocorrer antes da gelatinização (Figura 2) (FENNEMA; DAMODARAN; PARKIN, 2010).

Em contrapartida, quando o amido é aquecido em pequenas quantidades de água, o rompimento dos grânulos é conhecido como fusão e exige temperaturas bem mais altas. Sob condições favoráveis, as moléculas gelatinizadas de amido podem se reassociar por meio das ligações de hidrogênio, possibilitando a formação de uma estrutura novamente cristalina. Esse fenômeno é conhecido como retrogradação ou recristalização e está relacionado ao fenômeno que leva ao envelhecimento de filmes de amido, tornando-os mais quebradiços e rígidos (MALI; GROSSMANN; YAMASHITA, 2010). Segundo este fator são adicionados plastificantes que aumentam a flexibilidade dos filmes.

Figura 2 - Processo de gelatinização do amido



Fonte: Fennema; Damodaran e Parkin (2010).

1.2.2.4 Plastificantes

Com a utilização dos plastificantes as moléculas dos componentes dos filmes ganham maior mobilidade, o que diminui possíveis descontinuidades e zonas quebradiças, e resulta em materiais com menores temperaturas de transição vítrea (MALI; GROSSMANN; YAMASHITA, 2010).

Os plastificantes são, em geral, substâncias com baixa massa molecular e baixa volatilidade e devem ser compatíveis com a matriz polimérica utilizada. Eles melhoram as propriedades mecânicas dos filmes ao romper as ligações de hidrogênio entre as cadeias do polímero, aumentando o espaço intermolecular (LIM et al., 2013).

A temperatura de transição vítrea corresponde à temperatura na qual o material passa do estado vítreo, de menor mobilidade molecular e maior rigidez, para o estado gomoso, em que há maior mobilidade molecular e, portanto, maior flexibilidade (MALI; GROSSMANN; YAMASHITA, 2010).

Além disso, os plastificantes podem influenciar em outras propriedades dos filmes, como a permeabilidade aos gases e ao vapor de água. O aumento do teor de plastificantes hidrofílicos tende a aumentar a permeabilidade, uma vez que com o aumento da mobilidade e, conseqüente, diminuição da densidade entre as moléculas, a transmissão de gases através do filme é facilitada (MALI; GROSSMANN; YAMASHITA, 2010).

Os polióis, tais como glicerol, sorbitol, xilitol, frutose, sacarose e polietilenoglicol são os plastificantes mais utilizados para a produção de filmes biodegradáveis (LIM et al., 2013).

1.2.2.5 Aditivos

Para melhorar as propriedades mecânicas, térmicas, de solubilidade e/ou permeabilidade ao vapor de água, assim como para conferir atividade antioxidante e/ou antimicrobiana algumas substâncias químicas têm sido incorporadas na formulação de filmes biodegradáveis. Dentre estas substâncias os óleos essenciais e de palmeiras vêm ganhando destaque ao longo dos anos de estudo e desenvolvimento dos filmes (MARTINEZ, 2018).

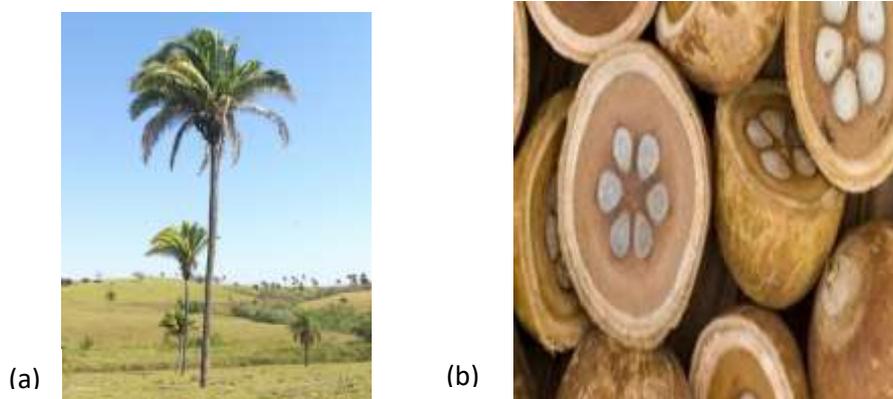
1.2.2.6 Óleo de babaçu

O babaçu é um tipo de palmeira da família Arecaceae, presente em vários países da América Latina. No Brasil, seu uso é bastante comum na Amazônia, na Mata Atlântica, no Cerrado e na Caatinga (QUEIROGA et al., 2015). Nessas regiões, o babaçu é encontrado principalmente em formações conhecidas como babaçuais que cobrem cerca de 196 mil km² no território brasileiro, com ocorrência concentrada nos estados do Maranhão, Tocantins e Piauí, na região conhecida como Mata dos Cocais (transição entre Caatinga, Cerrado e Amazônia). De acordo com Lorenzi (2010) em estudo adaptado do Manual Tecnológico de Aproveitamento Integral do Fruto e da Folha do Babaçu (*Attalea spp.*) existem muitas espécies de babaçu, mas as mais conhecidas e que tem o uso mais difundido são *Attalea phalerata* e *Attalea speciosa*.

Babaçu (*Orbignya speciosa M.*) (Figura 3) é uma árvore nativa do norte brasileiro e regiões Nordeste e o teor de óleo de babaçu é maior (42%) do que outras oleaginosas comuns como canola (32%) ou girassol (40%) (SILVA-LUZ; PIRANI, 2015; MOREIRA et al., 2018).

Segundo dados do IBGE (2020), o potencial do babaçu como cultura industrial é considerável: a produção de óleo de babaçu foi de cerca de 50.000 toneladas apenas em 2018. O óleo de babaçu é resistente à decomposição por hidrólise ou oxidação, pois sua composição é predominantemente feita de ácidos graxos saturados, o que é relatado como uma excelente característica (MOREIRA et al., 2018). O óleo de babaçu (BAO) é composto, principalmente, de ácido oleico (ômega 9 - 18:1, 75,7%), têm antioxidantes, como carotenóides e tocoferol, e apresenta alta estabilidade oxidativa (MILANEZ et al., 2018).

Figura 3 - Palmeiras de babaçu (a) Coco babaçu (b)



Fonte: (a) Netuai (2021) (b) Kawa (2018)

II - OBJETIVOS GERAIS

2.1 Geral

Produzir e caracterizar filmes de amido de mandioca avaliando o efeito do óleo de babaçu e do sorbitol nas suas propriedades.

2.2 Específicos

- Determinar a composição centesimal do amido de mandioca;
- Produzir filmes a base de amido incorporados com óleo de babaçu e plastificante sorbitol;
- Caracterizar os filmes obtidos por análise de espessura, solubilidade em água, solubilidade em ácido, solubilidade em solução salina, permeabilidade ao vapor de água;
- Avaliar as propriedades mecânicas, térmicas, FTIR e DRX dos filmes realizados;
- Caracterizar os filmes em relação ao potencial de biodegradabilidade.

III - MATERIAL E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados na Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, situada no Campus Juvino Oliveira na cidade de Itapetinga-Bahia, nos laboratórios de Engenharia de Processos, Laboratório de Embalagens e Projetos Agroindustriais, Laboratório de Panificação e Secagem, Laboratório de Ensaio de Materiais, Laboratório de Processamento de Leites e Derivados e Laboratório de Catálise e Química dos Materiais.

3.1 Matéria-prima

O amido de mandioca foi adquirido no comércio local do município de Itapetinga e o óleo de babaçu foi fornecido pelo Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICM Bio). Os demais reagentes utilizados foram grau analítico.

3.2 Composição centesimal do amido de mandioca

3.2.1 Determinação do Teor de Amido

A quantificação do conteúdo do amido foi realizada de acordo com o método antrona, de acordo com a metodologia proposta por Moraes e Chaves (1988) em três réplicas.

3.2.2 Determinação do Teor de Amilose e amilopectina

Para determinação do teor de amilose foi utilizado o método colorimétrico do iodo simplificado, que se baseia na transmissão de luz através de um complexo colorido que a amilose forma ao reagir com o iodo, de acordo com a metodologia proposta por Martinez e Cuevas (1989). A leitura das absorbâncias foi realizada em um espectrofotômetro digital da marca (UV-Vis Quimis - Brasil), no intervalo de luz visível a um comprimento de onda de 620 nm. O teor de amilose foi obtido a partir da curva analítica construída com amilose de batata PA (Synth, Brasil). E amilopectina foi determinada pela diferença entre a quantidade de amido e a quantidade de amilose.

3.2.3 Teor de lipídeos totais

O teor de lipídios totais do amido de mandioca foi determinado pelo método de Bligh e Dyer (1959), em um extrator de Soxhlet sob refluxo de 4 horas. Uma amostra de amido de mandioca (entre 3 a 3,5 g, em tubos de 70 mL) foi dissolvida em uma mistura de clorofórmio, metanol e água em uma proporção 1:2:0,8 (10, 20 e 8 mL), respectivamente; proporção esta, em que os três solventes coexistem em uma solução homogênea.

Depois de agitada (por 30 minutos), a esta solução foram adicionados 10 mL de clorofórmio e 10 mL de solução de sulfato de sódio (1,5%). O recipiente foi tampado e agitado vigorosamente por 2 minutos. A mistura foi então centrifugada a 1000 rpm por 2 minutos para acelerar a separação das fases, sendo que o clorofórmio ficou na fase inferior. A fase superior foi descartada e a fase inferior foi filtrada rapidamente, para evitar a evaporação do clorofórmio, num tubo de 30 mL.

Em seguida, 5 mL do filtrado foi transferido para um béquer de 50 mL previamente pesado. Colocou-se o béquer numa estufa (tecnal TE 391) a 100°C até evaporar o solvente. Obtendo assim a massa de lipídios em 5 mL de filtrado. O teor de lipídios da amostra foi calculado pela seguinte equação 1:

$$\%Lipídios\ totais = \frac{Px4x100}{G} \quad (1)$$

Sendo: P = massa de lipídios (em gramas) contidos em 5 mL de solução e G = massa da amostra (em gramas).

3.2.4 Umidade

O conteúdo de umidade foi determinado através da perda de massa a 105°C da amostra até massa constante, segundo as Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz (2004).

3.2.5 Cinzas

O conteúdo de cinzas foi determinado por incineração do material em forno tipo mufla a 550°C, segundo as Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz (2004).

3.2.6 Proteínas

A quantificação da proteína residual foi determinada pelo método micro-Kjeldahl segundo protocolo do Instituto Adolfo Lutz (2004). Para isso a amostra foi digerida com ácido sulfúrico e mistura catalítica (utilizada para acelerar a reação), e submetida à destilação utilizando hidróxido de sódio e titulação com solução de ácido clorídrico.

3.2.7 Determinação do Teor de Fibra Bruta

O teor de fibra bruta da amostra de amido foi determinado de acordo com a AOAC (1997), método nº 962.09, através de digestão ácida e básica da amostra desumidificada e desengordurada.

3.3 Produção dos filmes

Os filmes foram produzidos utilizando amido comercial de mandioca, óleo de babaçu, Sorbitol PA (Fmaia) como agente plastificante e água destilada. Foram produzidos 20 filmes como apresentado na Tabela 2. Para tanto, todos ingredientes foram homogeneizados, em seguida foram aquecidos em placa aquecedora magnética (Fisatom 752A) até atingir temperatura de gelatinização completa (95°C). As suspensões filmogênicas foram preparadas segundo a metodologia proposta por Vicentini (2003), em que a técnica utilizada foi do tipo *casting*, definida como sendo aquela em que uma suspensão filmogênica é desidratada em um suporte. Para os filmes contendo óleo de babaçu, a solução foi resfriada até uma temperatura de $\pm 40^{\circ}\text{C}$ e logo após foi adicionado o óleo de babaçu.

A suspensão foi vertida em placas de vidro com (22,5 X 32,5) cm e levadas a secagem em uma temperatura ambiente de 25°C por 24 h. Após a secagem os filmes, os mesmos foram retirados das placas de vidro e foram armazenados em dessecadores ao abrigo da luz contendo solução saturada de brometo de sódio (NaBr) por 24 horas para controle de umidade dos filmes. Após este período foram recortados para se obter as amostras para realização das análises de caracterização dos mesmos.

Tabela 2 - Formulação dos filmes

Tratamento	Óleo (g)	Água (ml)	Amido (g)	Emulsificante (g)	Sorbitol (g)
J1	0,0	200	8	0,072	2,0
J1	0,4	200	8	0,072	2,0
J1	0,8	200	8	0,072	2,0
J1	1,2	200	8	0,072	2,0
J1	1,6	200	8	0,072	2,0
J2	0,0	200	8	0,072	2,4
J2	0,4	200	8	0,072	2,4
J2	0,8	200	8	0,072	2,4
J2	1,2	200	8	0,072	2,4
J2	1,6	200	8	0,072	2,4
J3	0,0	200	8	0,072	2,8
J3	0,4	200	8	0,072	2,8
J3	0,8	200	8	0,072	2,8
J3	1,2	200	8	0,072	2,8
J3	1,6	200	8	0,072	2,8
J4	0,0	200	8	0,072	3,2
J4	0,4	200	8	0,072	3,2
J4	0,8	200	8	0,072	3,2
J4	1,2	200	8	0,072	3,2
J4	1,6	200	8	0,072	3,2

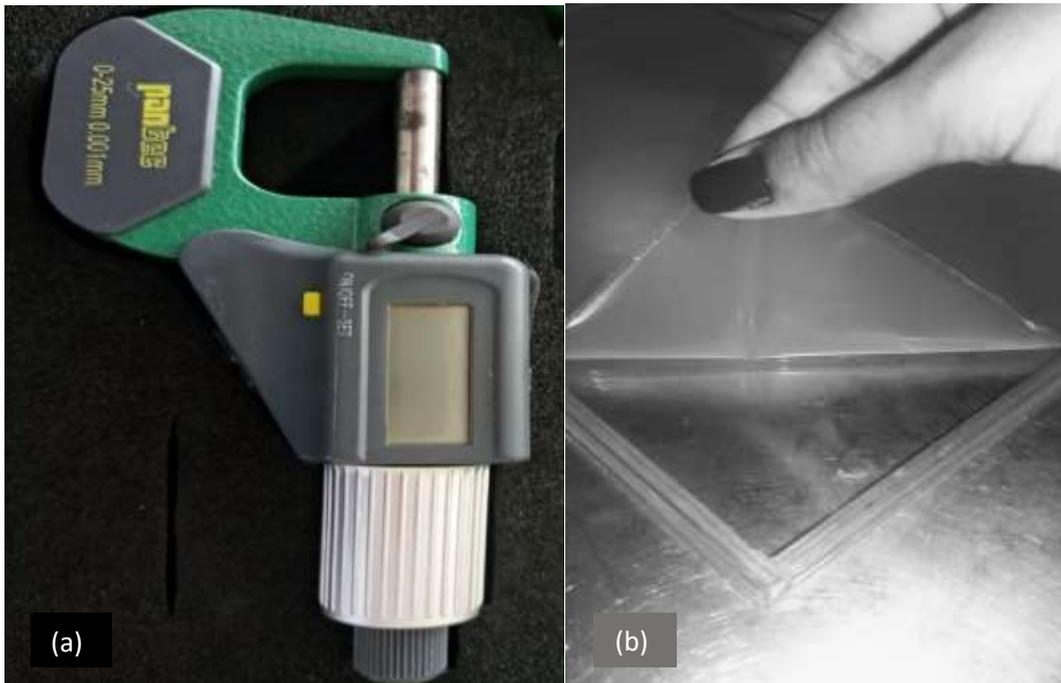
Fonte: Da autora (2021).

3.4 Caracterização dos filmes

3.4.1 Espessura

A espessura dos filmes foi medida em micrômetro de precisão do Kit B da Pantec, mostrado na figura 4. Em cada amostra de filme utilizada para caracterização foram realizadas 10 medidas, incluindo as extremidades, pontos medianos e centrais e a espessura final de cada amostra foi considerada como a média das repetições.

Figura 4 - Equipamento utilizado para medida de espessura (a) de amostras de filme (b)



Fonte: Da autora (2021).

3.4.2 Solubilidade em água, solução salina e solução ácida

A solubilidade em água, solução salina e solução ácida foi determinada segundo metodologia proposta por Gontard, Guilbert e Cuq (1992), com modificações. A massa inicial do filme de 2 cm de diâmetro foi determinada colocando as amostras em uma estufa de secagem e esterilização (TECNAL- TE-393/I) a 105°C por 24 h e em seguida pesada em balança analítica (Mettler Toledo) para obter a massa inicial (m_i). Então, as amostras foram imersas em 50 mL de água destilada, solução salina (3% de Na Cl) ou solução ácida (3% de ácido acético) em erlenmeyers sob agitação a 25°C, durante 24 h, utilizando-se uma mesa agitadora (MA 140/CF). Após este período as amostras iniciais foram retiradas do contato da água e soluções. A massa final (m_f) foi determinada nas mesmas condições descritas para obtenção da massa inicial. A solubilidade (S) na solução desejada foi expressa em porcentagem de material solubilizado, calculada a partir dos resultados obtidos a partir da análise com 3 repetições, conforme a Equação 2.

$$S (\%) = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times 100 \quad (2)$$

3.4.3 Permeabilidade ao vapor de água

A permeabilidade ao vapor de água foi determinada gravimetricamente segundo teste com modificação segundo Gontard, Guilbert e Cuq (1992). Os filmes, em forma de disco com 4,5 cm de diâmetro, foram colocados em célula contendo sílica gel (UR = 0%; 0 Pa pressão de vapor), formando uma membrana de modo a garantir que a difusão de umidade ocorra exclusivamente através dos filmes. A célula foi colocada dentro de um dessecador contendo água destilada (UR = 100%; $0,4297 \times 10^4$ Pa pressão de vapor), em sala climatizada a 22 °C, com umidade relativa e pressão de vapor constante. A célula foi pesada em balança analítica (Mettler Toledo), com o filme a cada 24 h, durante 12 dias consecutivos. A permeabilidade foi calculada por meio da Equação 3.

$$PVA = \frac{GxV}{AxTx(P_1 - P_2)} \quad (3)$$

Em que: PVA é a permeabilidade ao vapor de água ($\text{g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}$); G é o ganho de massa (g) da célula durante 24 h; V é a espessura (m) média do filme; A é a área (m^2) de permeação do filme; T é o tempo (s) e $(P_1 - P_2)$ é o gradiente de pressão (Pa) de vapor entre as superfícies do filme ($0,4297 \times 10^4$ Pa). As análises de permeabilidade ao vapor de água foram realizadas em duas repetições.

3.5 Análises Térmicas

As análises térmicas (TA) dos filmes foram realizadas no equipamento STA PT-1000 (Linseis, Alemanha). Aproximadamente 20 mg de cada amostra foram colocados em um cadinho de porcelana aberto, sob uma atmosfera estática de ar.

Para as análises termogravimétricas (TGA), os cadinhos com os filmes foram aquecidos da temperatura ambiente ($\approx 25^\circ\text{C}$) até 1000°C a uma taxa de $10^\circ\text{C}/\text{min}$. Após as análises, os termogramas foram registrados o que permitiu a avaliação do comportamento térmico das diferentes amostras.

3.6 Propriedades mecânicas

Para realização do ensaio para determinação das propriedades mecânicas, foram utilizados corpos de prova com formato recomendado pela norma ASTM para teste de filmes poliméricos e dimensões ajustadas às dimensões de 100mm de comprimento e 25mm de largura nas extremidades do equipamento utilizado. O equipamento utilizado para os ensaios foi o CT3 (Brookfield, USA), com célula de carga de 25 kg, acoplado com garra TA-DAGA Dual Grip Assembly, segundo metodologia descrita pela ASTM (1995), com modificações (Figura 5). A velocidade de tração utilizada foi de 0,4 mm/s e 100% de deformação até sua ruptura. A partir deste ensaio foi obtida uma curva de tensão x deformação (Figura 6). Os parâmetros avaliados foram: Percentual de alongamento (%), Tensão máxima (MPa) e o módulo de Young (MPa). O percentual de alongamento (A) foi determinado pela Equação 4.

$$A(\%) = \frac{L_f - L_0}{L_0} \times 100 \quad (4)$$

Onde: L_f : Tamanho final da amostra (m); L_0 : Tamanho inicial da amostra (m).

A Tensão máxima ou resistência à tração (T) foi determinada pela Equação 5.

$$T = \frac{F}{S} \quad (5)$$

Onde: F: Última força máxima de ruptura (N); S: Área seção transversal (m²).

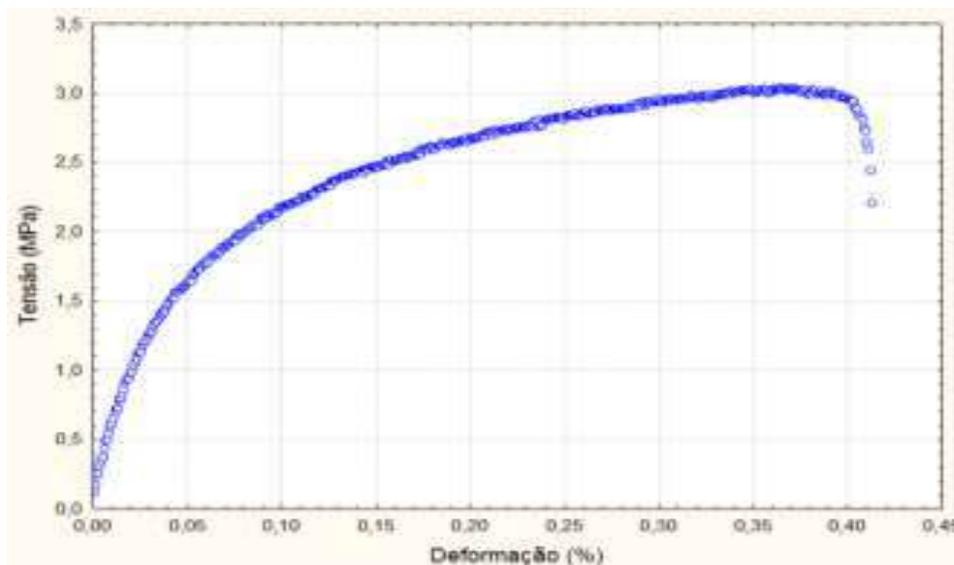
O módulo de Young ou módulo de elasticidade foi calculado pelo coeficiente angular da porção linear da curva de tensão/deformação (Figura 6).

Figura 5 - Equipamento e corpo de prova para ensaio de tração do filme



Fonte: Da autora (2021).

Figura 6 - Curva de tensão x deformação resultado do ensaio de tração do filme J41,2g
J41,2g



Fonte: Da autora (2021).

3.7 FTIR - Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier

Os espectros de FTIR foram coletados no modo de transmissão utilizando o espectrômetro Cary630 FTIR (Agilent Technologies Inc., Santa Clara, CA, USA) realizando a leitura na região do Infravermelho médio (MIR) no intervalo de 4000 a 400 cm^{-1} com resolução de 4 cm^{-1} reflectância total atenuada (ATR) e detector sulfato de triglicinadeuterado (DTGS). A varredura de 64 scans de infravermelho sobre a amostra durou aproximadamente 30 segundos a temperatura de 25°C. Antes de cada coleta foi realizada uma leitura do espectro de fundo (background). Os dados foram obtidos com uso do software Microlab e o Resolution Pro, marca Agilent (Santa Clara – USA) (SILVA; VELOSO; SANTOS, 2020).

3.8 Difração raios x – DRX

A análise de difração de raios-X (XRD), foi realizada para estimar as frações amorfas das amostras do filme de amido. Os padrões de difração do filme de amido foram adquiridos usando um difratômetro de raios-X Modelo Bruker D2 Phaser, Figura 7, (Bruker AXS, Karlsruhe, Alemanha) com tensão operacional de 30 kV e 10 mA (SILVA; VELOSO; SANTOS, 2020). O ensaio foi realizado à temperatura ambiente 25 °C com ângulo de 2θ entre 10 e 30°. Foram utilizados 1600 V de potência e o método de varredura contínua.

Figura 7 - Equipamento para ensaio de DRX do filme



Fonte: Da autora (2021).

3.9 Biodegradabilidade

A avaliação da biodegradabilidade dos filmes foi realizada por meio da perda de massa, em duplicata (CHANDRA; RUSTGI, 1997). Amostras de 4 cm² foram recortadas, pesadas e enterradas a 15 cm de profundidade em recipiente com terra. Amostras foram retiradas da terra todos os dias até ser verificada a sua degradação.

3.10 Delineamento Experimental e Análise Estatística

O delineamento experimental utilizado foi um fatorial completo: 5x4, onde foram utilizados 5 níveis de óleo de babaçu (0,0g, 0,4g, 0,8g, 1,2g, 1,6g); e 4 níveis de plastificante sorbitol (2,0g, 2,4g, 2,8g, 3,2g). A massa de óleo e de plastificante foram calculadas sobre a massa de amido utilizada.

Os resultados obtidos foram submetidos a análise de regressão múltipla adotando-se a equação polinomial descrita na Equação 6 abaixo.

$$Y = \beta_0 + \sum \beta_i X_i + \sum \beta_{ii} X_i^2 + \sum \beta_{ij} X_i X_j + \varepsilon \quad (6)$$

Onde Y é a variável resposta, β_0 , β_i , β_{ii} e β_{ij} representam o efeito de processo constante geral, os efeitos lineares, quadráticos e o efeito de interação entre X_i e X_j , respectivamente, e ε o erro. A adequação do modelo foi determinada pela significância do modelo e dos parâmetros ($p < 0,05$), falta de ajuste ($P > 0,05$) e determinação do coeficiente de regressão (R^2). Todas as análises estatísticas necessárias no presente estudo foram realizadas no pacote estatístico SAS Student (SAS institute inc., Cary, NC, USA).

IV - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Composição centesimal do amido de mandioca

Os resultados da Tabela 3 encontram-se de acordo com a RDC nº 263 de 22 de setembro de 2005 da ANVISA que aprova o Regulamento Técnico para produtos de cereais, amidos, farinhas e farelos, que exige pelo menos 80% de amido e permite até 14,0% de umidade e 0,5% de cinzas (BRASIL, 2005).

Tabela 3 - Composição centesimal do amido de mandioca

CONSTITUINTES	CONCENTRAÇÃO % (M/M)
Teor de amido	85,47 ± 1,06
Amilose	20,57 ± 0,28
Amilopectina	64,49 ± 1,06
Lipídios	0,05 ± 0,00
Umidade	8,50 ± 0,02
Cinzas	0,32 ± 0,02
Proteínas	1,12 ± 0,01
Fibras FDN	0,39 ± 0,01
Fibras FDA	0,25 ± 0,01

* Base úmida / Média ± desvio padrão

Fonte: Da autora (2021).

Os teores de amilose e amilopectina foram 20,57±0,282 e 64,9±1,06 respectivamente. Esses valores foram consistentes com aqueles geralmente observados para amidos de mandioca (Sidibé et al., 2010). O desempenho mecânico de filmes a base de amido pode ser influenciado pela proporção entre a amilose e amilopectina existentes, devido ao diferente comportamento das duas moléculas (CANO et al., 2014). De acordo com Martins (2017) quanto maior o teor de amilose do amido utilizado para a produção de filmes, maior foi a força de tensão dos filmes formados.

O teor de umidade foi de 8,50% ± 0,02. Este valor foi inferior ao obtido por Belibi (2013) para o amido de mandioca arbusto (12,9%) e por Yéboué et al. (2017) para amido de mandioca IAC (15,15%). Essa diferença pode ser explicada por diversos fatores internos, a saber: o amido composição físico-química, origem botânica, variedade da mandioca, mas também pela umidade da atmosfera de armazenamento.

O teor de cinzas pode estar relacionado com características intrínsecas das raízes, como teores significativos de nutrientes, e/ou com o processo de fabricação, como, por exemplo, o

descascamento inadequado ou contaminação por material estranho ao produto. Pôde-se observar que todos os valores destas substâncias se encontram dentro do limite fixado pela legislação vigente (teor máximo de 2,0%) (BRASIL, 2005).

Álvares et al. (2013) afirmam que os teores de proteína e lipídeos encontrados no amido de mandioca estão diretamente relacionados à variedade da raiz a que lhe deu origem. Para o amido de mandioca os teores fibras FND (detergente neutro) e FDA (detergente ácido) foram, respectivamente, $0,39\% \pm 0,01$, e $0,25\% \pm 0,01$.

4.2 Espessura e Solubilidade

A partir dos resultados de espessura e solubilidade dos filmes foi realizada a Análise Estatística (ANOVA e Análise de Regressão). Verificou-se a partir dos resultados da Análise Estatística que não ocorreu influência das variáveis independentes nestas variáveis resposta. Tal fato pode ser devido aos valores de concentração de óleo utilizados, que podem ser baixos quando comparados com outros trabalhos da literatura. Na Tabela 4 estão apresentados os valores médios de cada propriedade estudada.

Tabela 4 - Solubilidade e espessura médias dos filmes de amido de mandioca

Espessura (mm)	Solubilidade em água (%)	Solubilidade em solução ácida (%)	Solubilidade em solução salina (%)
0,1214±0,0157	90,47±24,79	85,53±22,79	99,72±8,69

Fonte: Da autora (2021).

Segundo Jiménez et al. (2013), a espessura dos filmes deve ser a mais homogênea possível. Em geral, filmes mais espessos são formados quando o conteúdo de plastificante nos filmes de amido é alto porque os plastificantes podem penetrar rapidamente na rede de amido (EDHIREJ et al., 2017). O estudo sobre filmes de amido de ervilha usando vários plastificantes mostrou que o filme plastificado com sorbitol com foi o mais fino devido ao baixo peso molecular do glicerol. Este plastificante é conhecido por absorver mais umidade do que o sorbitol sob as mesmas condições experimentais. Assim, estruturas expandidas com moléculas de água foram criadas, aumentando a espessura do filme plastificado com um maior teor de

glicerol (ZHANG; ZHAO; SHI, 2016). No presente estudo, o aumento na concentração de sorbitol (2g, 2,4g, 2,8g e 3,2g) pode não ter promovido comportamento semelhante devido à faixa de concentração utilizada ser menor.

A solubilidade dos filmes pode ser correlacionada à estrutura, interações e características de hidrofobicidade e hidrofobicidade entre os componentes. A determinação da solubilidade em água, solução ácido e solução salina dos filmes é importante para direcionar para qual tipo de alimento o material pode ser utilizado como embalagem. O ideal é que a interação entre a água do produto e o meio externo seja a menor possível (CARPINÉ, 2015). A hidrofobicidade e consequentemente a solubilidade do filme pode aumentar devido à incorporação de óleo da base polimérica (CARPINÉ, 2015). No entanto, tal comportamento não foi verificado neste estudo e isto pode ser devido à concentração utilizada do óleo.

4.2.1 Permeabilidade ao vapor de água.

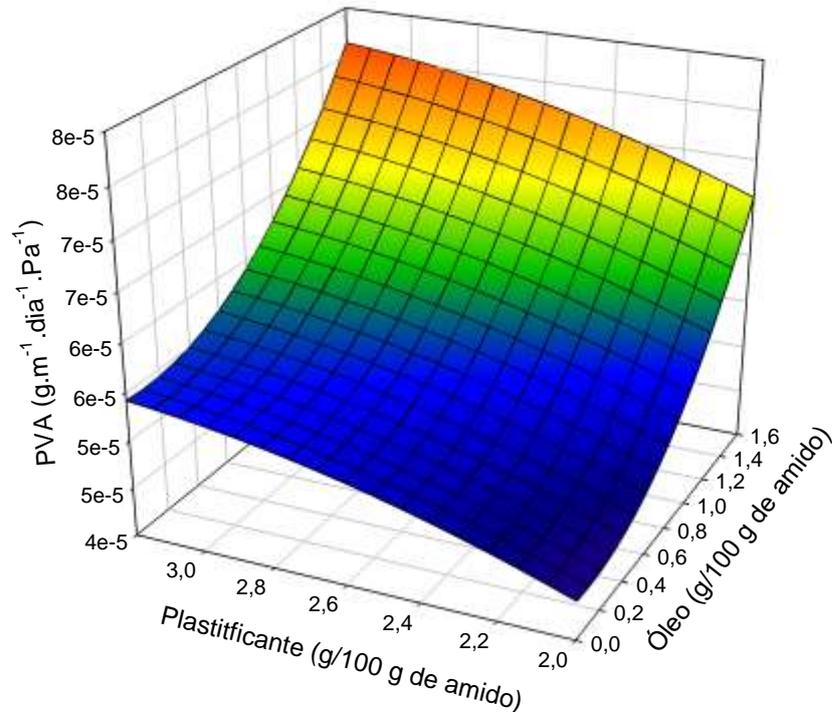
Os resultados de permeabilidade em vapor de água (PVA) mostraram que a variação da concentração do óleo de babaçu e de plastificante influenciaram nesta propriedade aumentando o valor da permeabilidade do filme. A partir da análise de regressão foi possível determinar a Equação 7 que descreve o comportamento da PVA em função da concentração de óleo e de plastificante.

Na Figura 8 está a representação gráfica dos resultados obtidos a partir do modelo ajustado. Verificou-se que tanto o aumento da concentração do óleo como da concentração do plastificante promoveram o aumento da PVA, tendo esta, adquirido valor máximo nas concentrações máximas destes componentes, 1,6g de óleo e 3,2g de plastificante dentro do intervalo estudado. Para alguns tipos de alimentos o uso de embalagens com alta permeabilidade ao vapor de água não é preferível, a exemplo de alimentos desidratados. No entanto para embalar alimentos frescos como vegetais, a alta permeabilidade é e ideal. (DOBRUCKA; CIERPISZEWSKI, 2014).

$$PVA = -1,6716E-6*B + 3,0414E-5*P + 9,6880E-6*B^2 - 4,2128E-6*P^2 \quad R^2 = 0,755 \quad (7)$$

Em que PVA é a permeabilidade ao vapor de água ($\text{g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{dia}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}$), B é a concentração de óleo de babaçu e P é a concentração de plastificante.

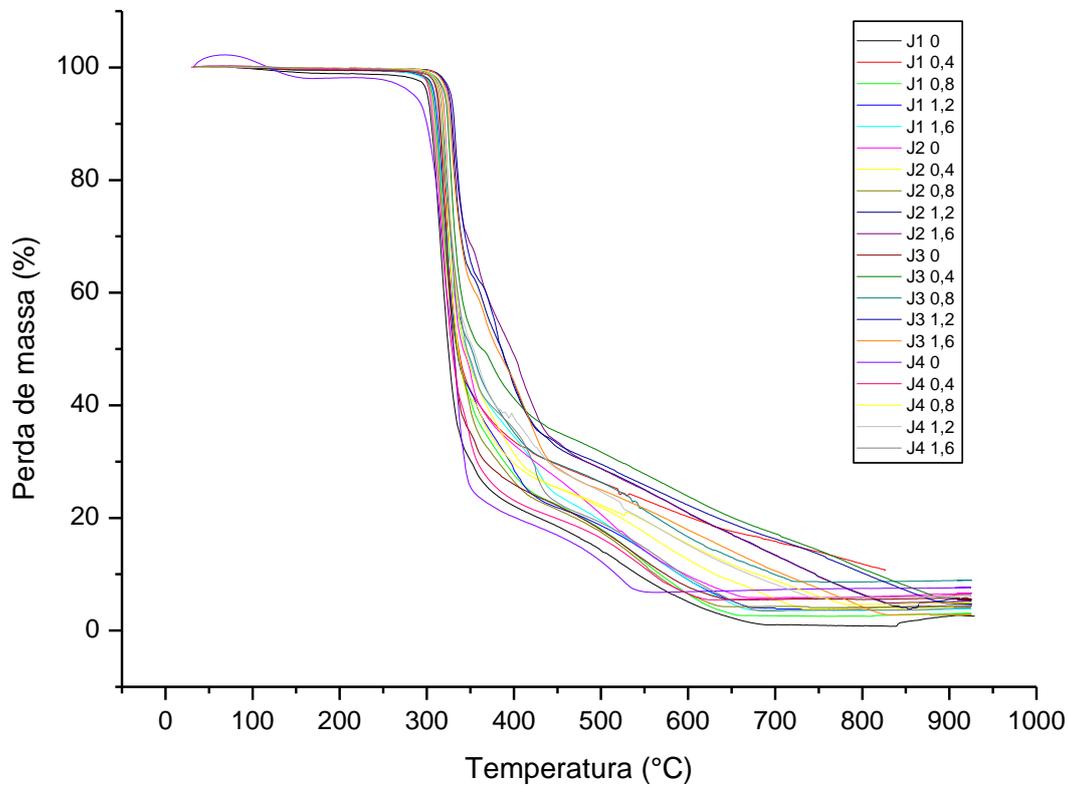
Figura 8 - Permeabilidade ao vapor de água dos filmes de amido de mandioca em função da concentração de óleo de babaçu e de plastificante



Fonte: Da autora (2021).

4.3 Análises térmicas

A análise termogravimétrica dos filmes de amido de mandioca incorporado com óleo de babaçu e plastificante glicerol e do filme controle é mostrada na Figura 9. A partir das curvas de TGA verificou-se a perda de peso de filmes biodegradáveis durante o aquecimento. Independentemente da incorporação do óleo adicionado, os filmes apresentaram comportamento semelhante quando comparado ao filme controle, com três estágios de perda de peso, conforme descrito na literatura. A primeira etapa, a uma temperatura entre 250 °C a 400 °C, corresponde à perda de umidade residual (75%) presente nos filmes após o processo de obtenção. O segundo estágio de perda de peso (5% a 6%) ocorreu na faixa de temperatura entre 350 °C a 600 °C, com decomposição do amido, perda da fração de baixo peso molecular ou água que está ligada à matriz polimérica (SHEN; KAMDEM, 2015). A terceira etapa foi de 600 °C, com massa residual de aproximadamente 0,69% para o todos os filmes. Esse resultado pode estar relacionado à presença de polímeros de alto peso molecular presentes nos filmes (PAGNO et al., 2016).

Figura 9 - Análise termogravimétrica (TGA) de controle dos filmes

Fonte: Da autora (2021).

4.4 Propriedades mecânicas

A partir dos resultados obtidos para propriedades mecânicas de tensão máxima, Módulo de Young e % Alongamento dos filmes foi realizada a Análise Estatística (ANOVA e Análise de Regressão). Os resultados da Análise Estatística indicaram que não ocorreu influência das variáveis independentes na concentração de óleo de babaçu (0,0g, 0,4g, 0,8g, 1,2g, 1,6g); concentração de amido de mandioca (2,0g, 2,4g, 2,8g, 3,2g), nestas propriedades ($Y = \bar{Y}$). Na Tabela 5 estão apresentados os valores médios destas propriedades mecânicas dos filmes, uma vez que a variação das variáveis independentes não influenciou as propriedades mecânicas estudadas. Os resultados de Tensão Máxima foram superiores aos encontrados por Santana et al. (2018) estudando filmes de amido de jaca e glicerol e Bonomo et al. (2018) estudando filmes de amido de jaca incorporados com lisozima. Características químicas do óleo tais como a composição de ácidos graxos, o tamanho e a saturação da cadeia desses ácidos graxos podem ser determinantes para o comportamento mecânico dos filmes (GALUS et al., 2015). Em geral, os plastificantes são usados para a preparação de filmes para inibir forças intermoleculares entre

polímeros, aumentando a mobilidade de cadeias de polímero, proporcionando assim flexibilidade e extensibilidade para filmes (AL-HASSAN; NORZIAH, 2012). As propriedades mecânicas de filmes de biopolímeros são afetadas pelo peso molecular, tamanho, conteúdo, e natureza dos plastificantes usados (ORSUWAN; SOTHORNVIT, 2018)

Em relação às propriedades mecânicas dos filmes, o ideal é que sejam resistentes à ruptura e flexível para se adaptar as deformações que possam ser submetidos.

Tabela 5 - Propriedades mecânicas dos filmes de amido de mandioca incorporados com óleo de babaçu

Tensão Máxima (MPa)	Módulo de Young (MPa)	Alongamento (%)
4,78 ± 2,75	5,97 ± 2,79	183,13 ± 75,25

Fonte: Da autora (2021).

O percentual de alongamento dos filmes de amido de mandioca no presente estudo também foi maior que os encontrados por Bonomo et al. (2018). Portanto, os maiores resultados encontrados neste trabalho podem estar relacionados com a incorporação do óleo de babaçu, e para ter bons resultados independe apenas da concentração, pois existe uma complexidade à incorporação destes compostos na matriz polimérica, neste seguimento, as inúmeras interações que podem ocorrer entre amido, lipídio e demais componentes resultam em propriedades mecânicas de filmes de amido.

4.5 Espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier FTIR

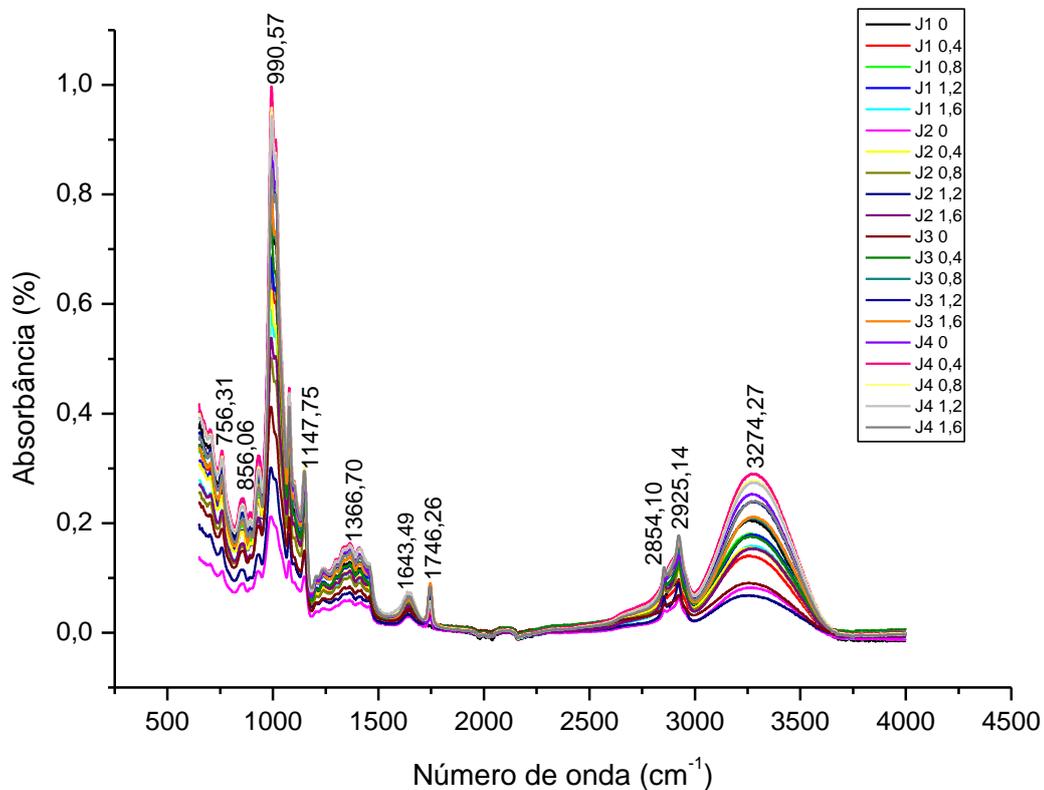
As amostras dos filmes foram submetidas à espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) em modo de absorbância e seus espectros são mostrados na figura 10, as bandas de absorção característica dos polímeros utilizados para a produção dos filmes. As bandas na região de 856 cm^{-1} são identificadas como picos de deformação das ligações C-O, presentes no amido, assim como os picos em 1147,75 a 1078 cm^{-1} , atribuídos às ligações C-O-H do amido.

As bandas em 1643,49 a 1746,26 cm^{-1} são atribuídas ao grupo insaturado C=O e bandas nomeadas como distorções do grupo CH_2 entre 1400 – 1460 cm^{-1} (NOBREGA et al., 2012). Os filmes podem ser diferenciados por picos específicos de cada um de seus componentes. O pico em 1643,49 cm^{-1} foi atribuído ao estiramento de ligações insaturadas do tipo C=O, os picos em

1147,75 a 1366,70 cm^{-1} referentes à deformação angular do grupo CH_2 , e o pico em 990,57 cm^{-1} típico do estiramento das ligações C-O em ésteres, são características do polímero adicionado aos filmes.

Nobrega et al. (2012) encontraram picos nas mesmas regiões para filmes de polímero com amido de mandioca em proporções semelhantes à deste trabalho. Para o estiramento das ligações C=O eles identificaram um pico em 1717 cm^{-1} .

Figura 10 - Espectros de FTIR para os filmes a base de amido de mandioca e incorporado com óleo de babaçu



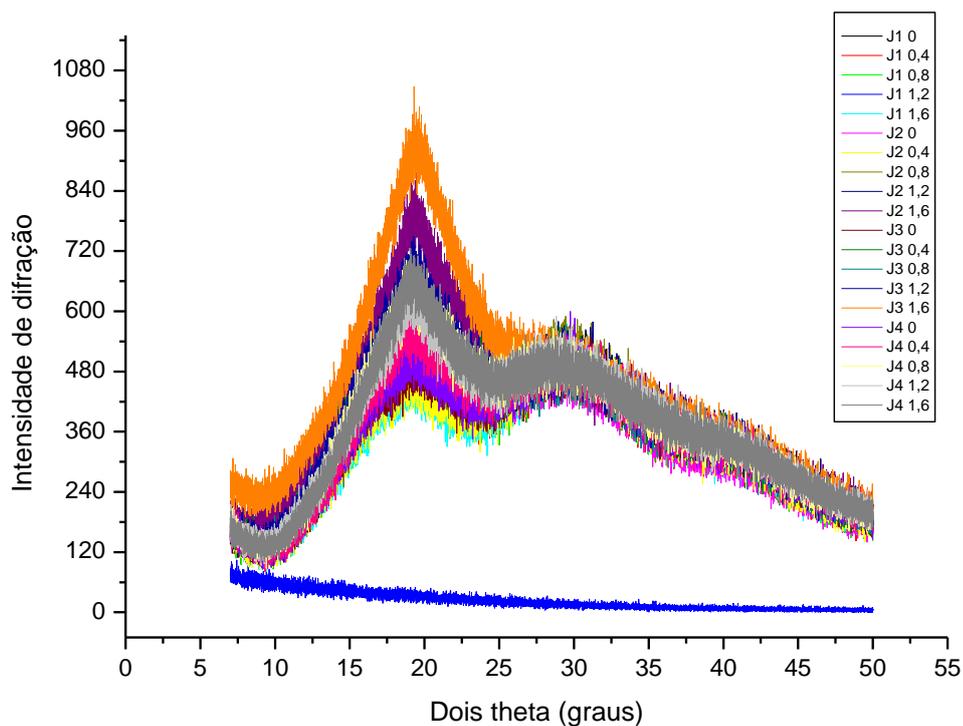
Como podem ser observadas, as amostras apresentaram espectros muito similares, observa-se que 990,57 foi um dos picos principais definidos sob os mesmos comprimentos de onda. Este é um indicativo de que a adição de óleo de babaçu incorporado no amido não alterou a estrutura molecular da matriz filmogênica. Em outras palavras, não houve reação química entre o óleo e a matriz.

4.6 Difrações de raios-X (DRX)

Na Figura 11, estão os difratogramas dos filmes de amido de mandioca incorporados com sorbitol e óleo de babaçu está apresentado todo o intervalo de varredura da análise. A morfologia dos filmes foi avaliada por meio de difração de raios-X (DRX) que é uma técnica não destrutiva usado para identificar e quantificar as fases amorfas em etapas. A partir do gráfico foi possível observar, para a amostra controle, a ausência de picos intensos, indicando que o filme tem um caráter amorfo. Verifica-se que o pico predominante em todas as amostras formados de estão no intervalo de 0 a 20°, próximos ao valor de 19,30°.

O filme J1 2,0g apresentou picos de menores intensidades em 20 °C. Nos difratogramas de raios-X, ainda é possível observar que as amostras do filme J2 com 2,4g e J3 2,8g de sorbitol apresentaram a formação de um pico que se intensifica conforme o aumento da concentração do plastificante. Este comportamento é também observado para as amostras dos filmes J4 com 3,2g de sorbitol. Constata-se que a adição do óleo pode atuar como plastificante na reorganização das moléculas e conformação estrutural dos filmes elaborados (INÁCIO; DIAS; LIMA, 2015).

Figura 11 - Difratograma das amostras de filmes



Fonte: Da autora (2021).

4.7 Biodegradabilidade

Na Figura 12 estão apresentados os filmes submetidos à análise de biodegradabilidade ao longo de 07 dias. Esta análise dos filmes em solo composto busca desempenhar um processo de degradação em condições naturais, onde o solo é, geralmente, composto por microflora consiste em bactérias, actinomicetes, fungos e protozoários que atuam em sinergia no processo de biodegradabilidade (MARTUCCI; RUSECKAITE, 2009).

Figura 12 - Degradação de filmes elaborados expostos no ambiente ao longo do tempo



Fonte: Da autora (2021).

Os filmes apresentaram rápida biodegradabilidade em 07 dias foi verificada por meio visual e com a perda de massa durante análise dos filmes, indicando uma boa alternativa ao uso de polímeros não biodegradáveis. Resultado semelhante foi observado por Medina Jaramillo et al. (2016) em filmes de amido de mandioca com extrato de erva-mate, com rápida biodegradabilidade do material em 12 dias, demonstrando a importância do desenvolvimento de embalagens biodegradáveis e embalagens de substituição obtidas a partir de polímeros não biodegradáveis. Seligra et al. (2016) também observaram uma rápida degradação nos primeiros 15 dias para filmes de amido, mas no final do estudo de 30 dias os filmes mostraram uma degradação significativa. Filmes biodegradáveis obtidos a partir de amido e glicerol, cujos compostos apresentam caráter hidrofílico, podem apresentar alta perda de massa durante o processo de biodegradação devido ao aumento da absorção de água. O aumento da absorção de água promove o crescimento de microrganismos naturalmente presentes no solo, que atuam na

fonte de carboidratos e resultam em uma degradação maior e mais rápida desses materiais (SELIGRA et al., 2016).

V - CONCLUSÕES

Foi possível elaborar filmes a base de amido de mandioca e o óleo de babaçu, entende-se que toda a estrutura de óleo, amido de mandioca e plastificante sorbitol aplicada na produção de todos os filmes foi adequada. O óleo de babaçu contribuiu para a formação de uma estrutura filmogênica amorfa e mais espessa. Além disso, os materiais obtidos apresentaram boas propriedades de barreira ao vapor de água e resistência mecânica adequada quando o sorbitol foi adicionado como plastificante.

Em razão dessa adição de óleo reforçou a matriz polimérica, aumentando seu módulo de elasticidade e resistência à ruptura, a variação das variáveis independentes não influenciou as propriedades mecânicas estudadas. Por outro lado, a tenacidade seguiu um comportamento equivalente ao alongamento na ruptura. A adição de sorbitol diminuiu a resistência a tração. Os filmes apresentaram rápida biodegradabilidade indicando uma boa alternativa ao uso de polímeros não biodegradáveis e descarte inadequado destes materiais para o meio ambiente. Este trabalho não só tem importância científica, mas também socioeconômica para todo país que produz mandioca, pois é um alimento predominante nas regiões podendo impulsionar o aumento de suas potencialidades agroindustriais e seu valor de mercado.

VI - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AL-HASSAN, A.; NORZIAH, M. Amido em gelatina filmes comestíveis: Água vapor permeabilidade e propriedades mecânicas afetadas por plastificantes. **Comida Hidrocolóides**, v. 26, n. 1, p. 108-117, 2012.
- ÁLVARES, V. D. S. et al. Atributos físicos e físico-químicos da farinha de mandioca artesanal em Rio Branco, Acre. **Revista Caatinga**, v. 26, n. 2, p. 50-58, 2013.
- AOAC INTERNATIONAL, **Association of Official Analytical Chemists**: “official methods of analysis”, Gaithersberg, USA, 1997.
- ASHOGBON, A. O.; AKINTAYO, E. T. Recent trend in the physical and chemical modification of starches from different botanical sources: a review. **Starch**, v. 66, n. 1-2, p. 41-57, 2014.
- ASSIS, O. B. G.; BARROS, T. T.; TOSI, M. M. Use of waste from the horticultural chain in the processing of biodegradable plastics. **Industrial Management Magazine**, v.13, n. 2, p. 215-229, 2017.
- BELIBI, P. C. **Elaboration et caractérisation des biofilms à base d'amidon de mandioca renforcés par des charge minérales bi et tri-dimensionnelles**, Universidade de Haute Alsácia - Mulhouse, França, 2013. Disponível em: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01202602> Acesso em: 01 jan. 2021.
- BONOMO, R.C.F. et al. Effect of the Incorporation of Lysozyme on the Properties of Jack-fruit Starch Films. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 26, n. 2, p. 508–517, 2018.
- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). **Resolução RDC n. 263**, de 22 de setembro de 2005. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br>. Acesso em: 02 mai. 2021.
- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC nº 51**, de 26 de novembro de 2010. Regulamento técnico Mercosul sobre migração em materiais, embalagens e equipamentos plásticos destinados a entrar em contato com alimentos. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 30 nov. 2010. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2011/rdc0051_06_10_2011.html Acesso em: 01 ago. 2021.
- BRITO, G. F. et al. Biopolímeros, polímeros biodegradáveis e polímeros Verdes. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 6, n. 2, p. 127-139, 2011.
- CANO, A. et al. Effect of amylose: amylopectin ratio and rice bran addition on starch films properties. **Carbohydrate Polymers**, v. 111, p. 543–555, 2014.
- CARPINÉ, D. **Desenvolvimento e caracterização de filme emulsionado biodegradável produzido a partir de proteína isolada de soja, óleo de coco e surfactantes naturais**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Paraná, 2015.
- CHANDRA, R.; RUSTGI, R. Biodegradation of maleated linear low-density polyethylene and starch blends, **Polymer Degradation and Stability**, v. 56, p. 185-202, 1997.

DANNENBER et al., Essential oil from pink pepper as an antimicrobial component in cellulose acetate film: potential for application as active packaging for sliced cheese, **LWT - Food Science and Technology**, 2017.

DENARDIN, C. C.; 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.

DOBRUCKA, R.; CIERPISZEWSKI, R. Active and Intelligent Packaging Food – Research and Development – A Review. Pol. **Journal Food Nutrition Science**, v. 64, p. 7-15, 2014.

EÇA, K. S.; SARTORI, T.; MENEGALLI, F. C. Films and edible coatings containing antioxidants - a review. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 17, n. 2, p. 98-112, 2014.

EDHIREJ, A. et al. Efeito de vários plastificantes e concentração sobre as características físicas, mecânicas, térmicas, estrutura propriedades de filmes à base de amido de mandioca. **Starch-Starke**, v. 69, n 1-2, 2017.

EUROPEAN BIOPLASTICS. Disponível em: <https://www.european-bioplastics.org/t>
Acesso em: 21 fev. 2020.

FENNEMA, O. R.; DAMODARAN, S.; PARKIN, K.L. **Química de Alimentos**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2010.

GANIARI, S. et al., Edible and active films and coatings as carriers of natural antioxidants for lipid food. **Tendências em ciência e tecnologia de alimentos**, v. 68, p. 70-82, 2017.

GIANCONE, T. et al. Role of constituents on the network formation of hydrocolloid edible films. **Journal of food engineering**, p. 195-203, 2008.

GONTARD, N.; GUILBERT, S.; CUQ, J. L. Edible wheat gluten films: influence of the main process variables on film properties using response surface methodology. **Journal of Food Science**, v. 57, n. 1, p. 190-199, 1992.

HE, G.; LIU, Q.; THOMPSON, M. Characterization of structure and properties os thermo-plastic potato starch film surface cross-linked by UV irradiation. **Starch-Stärke**, v. 65, p. 304-311, 2013.

HONG, J. et al. Recent advances in techniques for starch esters and the applications: a review. **Foods**, v. 5, n. 3, p. 50, 2016.

INÁCIO, E. M.; DIAS, M. L.; LIMA, M. C. P. Morfologia e Propriedades Térmicas de filmes de PLA plastificados com oligoésteres alifáticos. **Congresso Brasileiro de Polímeros-13 CBPOL**, 2015.

JIMÉNEZ, A. et al. Phase transitions in starch based films containing fatty acids. Effect on water sorption and mechanical behaviour. **Food Hydrocolloids**. v. 30, p. 408-418, 2013.

KAWA, L. **Meio ambiente**. 2018. Disponível em: <http://professoralucianekawa.blogspot.com/>
Acesso em: 20 ago. 2021.

LOPEZ DE DICASTILLO, C. et al. Active antioxidant packaging films: Development and effect on lipid stability of brined sardines. **Food Chemistry**, v. 131, p. 1376-1384, 2014.

LOPES, O. V.; GARCIA, M. A. Starch filmes de um romance (*Pachyrhizus ahipa*) e fontes convencionais: desenvolvimento e caracterização **Mater. Sci. Eng. C.**, v. 32, p. 1931-1940, 2012.

MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E.; YAMASHITA, F. Filmes de amido: produção, propriedades e potencial de utilização. **Seminário Ciências Agrárias**, v. 31, n. 1, p. 137-156, 2010.

MARQUES, G. S. **Obtenção de filmes biodegradáveis de amido de mandioca reforçados com nanofibras de celulose de rami**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

MARTINEZ, S. S. **O NIM - natureza, usos múltiplos, produção**. Londrina: IAPAR, 142p. 2018.

MARTINS, P. M. **Development and characterization of starch film from cassava (*Manihot esculenta*) reinforced with nanocellulose extracted from waste of pupunha (*Bactris gasipaes* Kunth)**. 108p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

MARTUCCI; RUSECKAITE, propriedade elásticas, propriedades de barreira e biodegradação no solo de filmes de amido de gelatina-dialdeído moldados por compressão. **J. Appl. Polym. Sci.**, v. 112, 2009.

MEDINA JARAMILLO, L. F. S. et. al. **Biodegradabilidade e efeito plastificante do extrato de erva-mate em filmes comestíveis de amido de mandioca**. 2016.

MIRANDA, V. R.; CARVALHO, A. J. F. Blendas compatíveis de amido termoplástico e polietileno de baixa densidade compatibilizadas com ácido cítrico. **Polímeros**, v. 21, n. 5, p. 353-360, 2011.

MORAES, O. M. G.; CHAVES, M. B. Método espectrofotométrico para a determinação de amido em produtos cárneos. *In: Encontro Nacional de Analistas de Alimentos*, 4. ed., Belo Horizonte, p 281, 1988.

MOREIRA, A. B. et al. Fatty acid profile and cholesterol contents of three Brazilian Brycon freshwater fishes. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 14, n. 16, p. 563-574, 2018.

NAGARAJAN, M. et al. Film forming ability of gelatins from splendid squid (*Loligo formosana*) skin bleached with hydrogen peroxide. **Food Chemistry**, v. 138, n. 2-3, p.1101-8, 2019.

NASCIMENTO et al. Distribution, management and diversity of the endangered Amerindian yam (*Dioscorea trifida* L.). **Braz. J. Biol.**, v. 75, n. 1, p. 104-113, 2015.

NETUAI. Disponível em: <http://www.arvoresdobiomacerrado.com.br/site/> Acesso em: 20

ago. 2021.

NEVORALOVÁ, M. et al. Biodegradabilidade controlada de materiais baseados em amido termoplástico funcionalizado **Polímia. Degrad. Stab.**, 2019.

NOBREGA, M. M. et al. Biodegradable starch-based films containing saturated fatty acids: thermal, infrared and raman spectroscopic characterization. **Polímeros**, v. 22, n. 5, p. 475-480, 2012.

ORSUWAN, A.; SOTHORNVIT, R. Efeito da banana e plastificante tipos de mecânica, barreira à água e selabilidade térmica de filmes plastificados à base de banana. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 42, n. 1, 2018.

PAGNO, C. H. et al. **Flores Synthesis of biodegradable films with antioxidant properties based on cassava starch containing bixin nanocapsules.** 2016.

QUEIROGA, V. P. et al. Composição centesimal de amendoas de coco babaçu em quarto tempos de armazenamento. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 17, n. 2, p. 207-213, 2015.

RESTREPO-FLÓREZ, Juan-Manuel et al. Microbial degradation and deterioration of polyethylene – a review. **International Biodeterioration & Biodegradation**, 2014.

ROCHA, G. O. **Obtenção e caracterização de filmes biodegradáveis a partir de misturas de amido de mandioca e extrato protéico de soja.** Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Departamento de Tecnologia de Alimentos, 2009.

SADASIVUNI, Kishor Kumar et al. Recent advances in mechanical properties of biopolymer composites: a review. **Polymer Composites**, v. 41, n. 1, p. 32-59, 2019.

SELIGRA et al. Biodegradable and non-retrogradable eco-films based on starchglycerol with citric acid as crosslinking agent. **Carbohydr. Polym.**, v. 138, p. 66-74, 2016.

SHEN, Z.; KAMDEN, D. P. **Development and characterization of biodegradable chitosan films containing two essential oils.** 2015.

SILVA, G. M.; VELOSO, S.; SANTOS, C. M. Extração e caracterização do amido nativo obtido a partir do tubérculo de inhambu. **J. Food Sci. Technol.**, v. 57, p. 1830-1839, 2020.

SILVA-LUZ, C. L.; PIRANI, J.R. **Lista de Espécies da Flora do Brasil.** 2015.

SOUZA, A. C. et al. Cassava starch composite films incorporated with cinnamon essential oil: antimicrobial activity, microstructure, mechanical and barrier properties. **LWT - Food Science and Technology**, v. 52, n.2, p. 346-352, 2011.

YÉBOUÉ, K. H. et al. Valeur nutritive et propriétés organoleptiques de l'attiéké, de l'attouk-pou et du placali, trois mets à base de mandioc, couramment consommés en Côte d'Ivoire. **Journal of Applied biosciences**, 2017.

ZHANG, P.; ZHAO, Y.; SHI, Q. Caracterização de uma nova película comestível baseado em goma ghatti: Efeito do tipo e da concentração do plastificante. **Polímeros de carboidratos**, v. 153, p. 345-355, 2016.

ZHOU, H.; PANG, X.; LU, C. Rate constants and mechanisms of intrinsically disordered proteins binding to structured targets. **Phys. Chem. Chem. Phys.** v. 14, p. 10466-10476, 2012.