

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU*
MESTRADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

JÉSSICA HOFFMANN BRITO

**PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL, MORFOLÓGICA E TÉRMICA
DE FILMES BIODEGRADÁVEIS UTILIZANDO AMIDO DE CAROÇO DE
ABACATE (*Persea americana* Mill) E BAGAÇO DE MANDIOCA (*Manihot
esculenta* Crantz)**

PONTA GROSSA

2019

JÉSSICA HOFFMANN BRITO

**PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO ESTRUTURAL, MORFOLÓGICA E TÉRMICA
DE FILMES BIODEGRADÁVEIS UTILIZANDO AMIDO DE CAROÇO DE
ABACATE (*Persea americana* Mill) E BAGAÇO DE MANDIOCA (*Manihot
esculenta* Crantz)**

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos pelo Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Orientador: Prof. Dr.: Luiz Gustavo Lacerda

PONTA GROSSA

2019

B862 Brito, Jéssica Hoffmann
Produção e caracterização estrutural, morfológica e térmica de filmes biodegradáveis utilizando amido de caroço de abacate (*Persea americana Mill*) e bagaço de mandioca (*Manihot esculenta Crantz*) / Jéssica Hoffmann Brito. Ponta Grossa, 2019.
98 f., il.

Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos – Área de concentração – Alimentos), Universidade Estadual de Ponta Grossa.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Gustavo Lacerda

1. Amido termoplástico. 2. Casting. 3. Polímero natural. 4. Resíduos agroindustriais. I. Lacerda, Luiz Gustavo. II. Universidade Estadual de Ponta Grossa - Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos. III. T.

CDD : 664

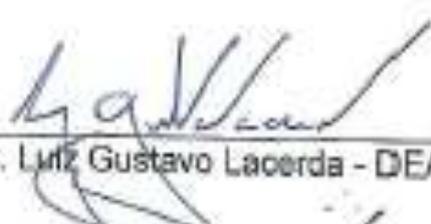
TERMO DE APROVAÇÃO

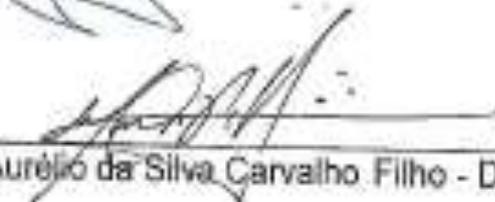
JÉSSICA HOFFMANN BRITO

Produção e caracterização estrutural, morfológica e térmica de filmes biodegradáveis utilizando amido de caroço de abacate (*Persea americana* Mill) e bagaço de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz)

Dissertação aprovada como requisito para obtenção do grau de Mestre no Curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, da Universidade Estadual de Ponta Grossa, pela seguinte banca examinadora:

Orientador:


Prof. Dr. Luiz Gustavo Lacerda - DEA/UEPG - PR


Prof. Dr. Marco Aurélio da Silva Carvalho Filho - DEBB/UP - PR


Prof. Dr. Egon Schnitzler - DEQUIM/UEPG - PR

Ponta Grossa, 26 de fevereiro de 2019.

Dedico este trabalho aos meus pais Walmir e Margarida.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela minha vida e por estar sempre presente guiando meus passos, iluminando meu caminho e me dando forças para enfrentar os momentos difíceis.

Aos meus pais, Walmir Romão Brito e Margarida Hoffmann Brito e minhas irmãs, Wanessa Hoffmann Brito e Andressa Hoffmann Brito, que me apoiaram e me deram suporte em todos os momentos e escolhas.

Ao meu professor orientador Luiz Gustavo Lacerda que me auxiliou nas análises e pesquisas, além de contribuir para o meu crescimento profissional e pessoal.

Aos meus alunos co-orientados Luiz Gustavo Laidane e Marcela Costa, pela ajuda nas análises e amizade construída.

Aos meus amigos que estiveram presentes em todos os momentos da minha vida, sempre me apoiando e aconselhando.

Ao CTA e Laboratório Multiusuário da UEPG, pela oportunidade de trabalhar juntos e ajudar com análises e equipamentos utilizados.

À técnica de laboratório Denise Mendes, pela amizade, ajuda e disposição na execução das análises laboratoriais.

Ao professor Luís Antonio Pinheiro, do departamento de Engenharia de Materiais, que me auxiliou na execução dos ensaios mecânicos, assim como na interpretação dos resultados.

À Fundação Araucária de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Estado do Paraná, pela concessão da bolsa e também pelo financiamento do projeto de pesquisa.

“Se eu vi mais longe, foi por estar sobre ombros de gigantes”

Isaac Newton

RESUMO

O desenvolvimento de embalagens biodegradáveis tem sido estudado visando substituir polímeros sintéticos, na tentativa de reduzir o impacto ambiental desse material. O amido, juntamente com as fibras vegetais, surge como opção potencial para a produção de materiais alternativos para tal finalidade, principalmente em aplicações alimentícias. O presente projeto visa a obtenção e caracterização das matérias primas e dos filmes biodegradáveis produzidos a partir do amido extraído do caroço de abacate e do bagaço de mandioca. Inicialmente, foram testadas três diferentes formas de extração: aquosa, alcalina e ácida, a partir disso, foram formadas diferentes formulações de filmes, dentre elas misturas de amido e fibra, somente fibra e somente amido. Tanto as análises microscópicas quanto a difração de raios x mostraram que os diferentes tipos de extrações do amido não apresentaram diferença estrutural, e nem seu padrão de cristalinidade foi alterado, entretanto, a análise centesimal confirma que as extrações químicas ajudaram a purificar os grânulos de amido, comparados à extração aquosa. O teor de amilose presente no abacate não apresentou diferença significativa com relação ao método de extração. Valores de 33.6, 32.8 e 32.1 % de amilose foram obtidos na análise para os amidos extraídos de forma aquosa, alcalina e ácida, respectivamente. Para os filmes formados, apesar de não haver destaque entre as amostras que continham fibras, os valores de todas as análises para as misturas formadas foram inferiores aos filmes formados somente com amido. Dentre essas, a amostra que continha amido extraído de forma ácida foi a que apresentou melhores resultados entre todas, apresentando valores de 31.33 ± 0.73 % de umidade, 24.63 ± 2.66 g/100g de solubilidade, e resistência mecânica de 3.12 ± 0.35 N/mm². Com relação à análise de microscopia de força atômica (AFM), a amostra que continha amido extraído de forma aquosa em sua composição, foi a que apresentou um menor valor de rugosidade, 25.8 nm, enquanto que ao adicionar bagaço de mandioca esse valor foi alterado para 289.8 nm. Esses resultados também puderam ser observados nas imagens microscópicas formadas em três dimensões. O amido extraído do caroço de abacate é aplicável em formação de filmes biodegradáveis, porém, a proporção de fibras adicionadas, seu tamanho e origem botânica devem ser aferidos para que haja uma melhora nas propriedades do material.

Palavras-Chave: amido termoplástico, *casting*, polímero natural, resíduos agroindustriais.

ABSTRACT

The development of biodegradable packaging has been studied in order to replace synthetic polymers in an attempt to reduce the environmental impact of this material. Starch and vegetable fibers, appears as a potential option for the production of alternative materials for this purpose, especially in food applications. This project aims to obtain and characterize raw materials and biodegradable films produced from starch extracted from avocado and cassava bagasse. Initially, three different extraction forms were tested: aqueous, alkaline and acidic, and from that, different film formulations were formed, among them starch and fiber mixtures, only fiber and starch only. Both microscopic analysis and x-ray diffraction showed that the different types of starch extractions did not show any structural difference, nor did their crystallinity pattern change, however, the centesimal analysis confirms that the chemical extractions helped to purify the starch granules, compared to aqueous extraction. The amylose content in the avocado did not present a significant difference in relation to the extraction method. Values of 33.6, 32.8 and 32.1% of amylose were obtained in the analysis for the aqueous, alkaline and acid extracted starches, respectively. For the films formed, although there was no highlight among the samples containing fibers, the values of all the analyzes for the mixtures formed were inferior to the films formed with starch alone. Among these, the acid-extracted sample was that presented the best results, presenting values of $31.33 \pm 0.73\%$ of moisture, 24.63 ± 2.66 g / 100g of solubility, mechanical resistance of 3.12 ± 0.35 N / mm². About the analysis of atomic force microscopy (AFM), the sample containing aqueous extracted in its composition, was the one that presented a lower value of roughness, 25.8 nm, whereas when adding cassava bagasse this value was changed to 289.8 nm. These results could also be observed in microscopic images formed in three dimensions. In general, seed starch avocado is applicable to the formation of biodegradable films, however, the proportion of fibers added, their size and botanical origin should be checked for an improvement in the properties of the material.

Keywords: thermoplastic starch, casting, natural polymer, agroindustrial waste.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Microscopia Eletrônica de Varredura do bagaço de mandioca.....	19
Figura 2 - Estrutura química do amido.....	20
Figura 3 - Estrutura química da amilose.....	21
Figura 4 - Estrutura química da amilopectina.....	22
Figura 5 - Classificação das cadeias de amilopectina do tipo A, B e C.....	23
Figura 6 - Microscopia de força atômica do amido de caroço de abacate.....	25
Figura 7 - Amido modificado por hidrólise ácida.....	27
Figura 8 - Filme biodegradável de amido.....	30
Figura 9 - Curva de RVA para amidos.....	33
Figura 10 - Esquema ilustrativo de difração de raios X.....	34
Figura 11 - Fluxograma da Extração Aquosa.....	37
Figura 12 - Fluxograma da Extração Alcalina.....	38
Figura 13 - Fluxograma da Extração Ácida.....	39
Figura 14 - Imagem morfológica dos grânulos.....	51
Figura 15 - Curva DSC dos amidos extraídos.....	54
Figura 16 - Curva de termogravimetria dos amidos extraídos.....	56
Figura 17 - Gráfico de perfil de viscosidade dos amidos.....	59
Figura 18 - Difractometria de raio X do amido aquoso.....	61
Figura 19 - Difractometria de raio X do amido alcalino.....	62
Figura 20 - Difractometria de raio X do amido ácido.....	62
Figura 21 - Curvas termogravitrétricas das amostras de filmes biodegradáveis.....	69
Figura 22 - Imagem morfológica das amostras de filmes biodegradáveis.....	75
Figura 23 - Imagem de Microscopia de Força Atômica dos Filmes biodegradáveis..	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Formulação e descrição da fração amilácea de cada amostra.....	44
Tabela 2: Rendimento das extrações de amido.....	48
Tabela 3: Composição centesimal das matérias primas.....	50
Tabela 4: Dados de DSC das matérias primas.....	54
Tabela 5: Dados de Termogravimetria das matérias primas.....	57
Tabela 6: Dados de viscoamilografia das matérias primas.....	60
Tabela 7: Valores de umidade, gramatura, densidade, solubilidade e Atividade de água dos filmes.	65
Tabela 8: Valores dos ensaios mecânicos para os filmes.	67
Tabela 9: Valores de termogravimetria dos filmes.	71
Tabela 10: Valores de Permeabilidade ao vapor d'água dos filmes.	78
Tabela 11: Valores de rugosidade dos filmes.....	83

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Rendimento de extração em base úmida.....	39
Equação 2 – Rendimento de extração em base seca.....	39
Equação 3 – Índice de Cristalividade Relativa.....	42
Equação 4 – Afinidade de iodo para análise de amilose.....	43
Equação 5 – Cálculo de Titulante para análise de amilose.....	43
Equação 6 – Cálculo de Gramatura.....	45
Equação 7 – Resistencia máxima à tração.....	46
Equação 8 – Elongação à ruptura.....	46
Equação 9 – Taxa de Permeabilidade ao vapor d'água.....	47
Equação 10 – Permeabilidade ao vapor d'água.....	47

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS	15
2.1 Objetivo geral	15
2.2 Objetivos específicos	15
3. REVISÃO DE LITERATURA	16
3.1 Abacate	16
3.1.1 Caroço de Abacate.....	17
3.2 Mandioca	17
3.2.1 Bagaço de Mandioca	19
3.3 Amido	20
3.3.1 Amilose e amilopectina.....	21
3.3.2 Estrutura cristalina do amido	23
3.3.3 Propriedades tecnológicas do amido	24
3.3.4 Amido do caroço de abacate	25
3.3.5 Tipos de extrações do amido.....	26
3.4 Embalagens biodegradáveis	27
3.5.1 Técnica de <i>Casting</i>	29
3.6 PROCEDIMENTOS DE ANÁLISES	31
3.6.1 Microscopia Eletrônica de Varredura por Efeito de Campo (MEV-FEG).....	31
3.6.2 Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC).....	31
3.6.3 Termogravimetria (TG)	31
3.6.4 Propriedades de Pasta	32
3.6.5 Difração de Raios X	33
3.6.6 Propriedades de Tração	34
4. MATERIAIS E MÉTODOS	36
4.1 MATERIAL.....	36
4.2 MÉTODOS.....	36
5.2.1 Secagem do bagaço de mandioca	36
5.2.2 Obtenção da farinha de caroço de abacate	36
5.2.3 Extração do amido do caroço de abacate	36
5.2.3.1 Extração aquosa.....	36
5.2.3.2 Extração alcalina	37
5.2.3.3 Extração ácida	38
5.2.4 Caracterização da matéria-prima.....	40

5.2.4.1	Composição centesimal	40
5.2.4.2	Microscopia Eletrônica de Varredura por Efeito de Campo (MEV/FEG)	40
5.2.4.3	Calorimetria Exploratória Diferencial – DSC	40
5.2.4.4	Termogravimetria – TG.....	41
5.2.4.5	Propriedades de pasta.....	41
5.2.4.6	Difração de raios X.....	41
5.2.4.7	Teor de amilose	42
5.2.5	Produção e análise dos filmes biodegradáveis	43
5.2.5.1	Obtenção dos filmes	43
5.2.5.2	Umidade.....	44
5.2.5.3	Espessura, Densidade e Gramatura	45
5.2.5.4	Solubilidade	45
5.2.5.5	Atividade de água.....	45
5.2.5.6	Ensaio mecânicos	45
5.2.5.7	Microscopia eletrônica de varredura por efeito de campo (MEV-FEG)	46
5.2.5.8	Permeabilidade ao vapor d'água	46
5.2.5.9	Termogravimetria.....	47
5.2.5.10	Microscopia de Força Atômica – AFM	48
5.2.6	Análise Estatística	48
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	48
5.1	MATÉRIAS PRIMAS	48
5.1.1	Rendimento da extração	48
5.1.2	Composição centesimal das matérias-primas	49
5.1.3	Microscopia eletrônica de Varredura com Emissão de Campo – (MEV/FEG) das matérias-primas.....	50
5.1.4	Calorimetria Exploratória Diferencial – DSC	53
5.1.5	Termogravimetria – TG.....	55
5.1.6	Propriedades de Pasta	58
5.1.7	Difração de raios X.....	61
5.1.8	Teor de Amilose.....	63
5.2	Filmes biodegradáveis.....	64
5.2.1	Umidade, Gramatura, Densidade, Solubilidade em água e Atividade de água	64
5.2.2	Testes mecânicos.....	66
5.2.3	Termogravimetria.....	68
5.2.4	Microscopia Eletrônica de Varredura por Emissão de Campo – (MEV – FEG)	73
5.2.5	Permeabilidade ao vapor d'água	77

5.2.6	Microscopia de Força Atômica – AFM	79
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	84
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	85

1. INTRODUÇÃO

De acordo com Zanella et al. (2018), a proporção de geração atual de resíduos sólidos está crescendo cerca de cinco vezes a mais que o crescimento populacional. Segundo dados do IPEA, no ano de 2017 a produção desses resíduos urbanos no Brasil era de 160 mil t diárias, mas somente 35 % em média desses resíduos seriam considerados passíveis de reaproveitamento e reciclagem. A utilização adequada destes resíduos ajuda a minimizar problemas ambientais, podendo gerar produtos com relevantes aplicações na indústria.

O amido, fonte de matéria prima desse projeto, representa o mais importante carboidrato de reserva das plantas superiores, cerca de 60 a 75 % da massa da planta, presente nos tecidos sob a forma de grânulos intracelulares. Trata-se de um biopolímero bastante estudado no desenvolvimento de materiais biodegradáveis, devido ao seu relativo baixo custo e boa disponibilidade. Os grânulos isolados e em sua forma nativa, não são considerados termoplásticos verdadeiros, porém, quando tratados sob técnicas adequadas, como presença de agentes plastificantes, calor e cisalhamento, perdem sua estrutura semicristalina, originando o material termoplástico, que é amorfo e com características semelhantes as observadas em polímeros sintéticos.

O caroço de abacate (*Persea americana*, Mill) é considerado um subproduto e possui alto teor de amido. Assim, esse material apresenta grande potencial de estudo e aplicabilidade, pois ainda apresenta estudos tecnológicos muito escassos.

O bagaço de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), produzido durante o processamento, é rico em amido e fibras. É um subproduto destinado principalmente à alimentação animal, assim como apresenta características que contribuem as propriedades mecânicas de filmes biodegradáveis.

A produção de embalagens compostas exclusivamente por amido não é viável devido à sua higroscopicidade e propriedades mecânicas limitadas, o que torna estes materiais sensíveis ao contato direto com água e quebradiços. A adição de plastificantes como o glicerol e a inserção de fibras naturais interferem na associação entre as cadeias de polímeros e na constituição do produto final, alterando as propriedades físicas do filme biodegradável.

Esse estudo tem como objetivo caracterizar o amido do caroço de abacate extraído de três maneiras diferentes, o bagaço de mandioca, bem como produzir filmes, através da técnica de *casting*, com a mistura dessas matérias primas e caracterizá-los em relação a algumas de suas propriedades estruturais, térmicas e mecânicas.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Produzir e caracterizar filmes biodegradáveis de amido extraído de três formas diferentes do caroço de abacate com adição de fibras do próprio caroço e com incorporação de bagaço de mandioca.

2.2 Objetivos específicos

- Extrair o amido do caroço de abacate (*Persea americana*, Mill) através de três tipos diferentes de extração: aquosa, alcalina, utilizando hidróxido de sódio, e ácida, utilizando ácido ascórbico.
- Produzir farinha integral obtida do caroço de abacate.
- Determinar a composição centesimal do amido, da farinha e do bagaço de mandioca.
- Determinar propriedades térmicas e morfológicas do amido, da farinha e do bagaço de mandioca.
- Produzir filmes utilizando misturas de amido e farinha de caroço de abacate e bagaço de mandioca em diferentes proporções.
- Caracterizar as propriedades térmicas, estruturais, morfológicas e mecânicas dos filmes produzidos.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Abacate

O abacate (*Persea americana*) é um fruto nativo da América Central, sendo cultivado especialmente no México, seu maior produtor, e também em outros países de clima tropical ou subtropical (FERNÁNDEZ et al., 2013). De acordo com a revista Da Fruta (2017), a produção mundial de Abacate em 2016 superou a marca de um milhão e trezentos mil toneladas. O México exportou mais de um milhão de toneladas de abacate para 31 países, sendo os Estados Unidos o país com maior destino, aproximadamente 750 mil t.

Segundo IBGE (2018), em 2016 o Brasil configurava como um dos três maiores produtores de abacate do mundo, e naquele ano atingiu uma produção de aproximadamente 195 mil t, sendo São Paulo e Minas Gerais os seus maiores produtores, com aproximadamente 70 % da produção nacional.

Embora a maior parte da produção seja destinada à exportação, o consumo interno da fruta vem aumentando de forma considerável, devido ao seu elevado valor nutritivo o qual é apreciado na culinária e também na indústria farmacêutica. De acordo com Wang et al. (2010), o consumo de abacate no Brasil é preferencialmente em sua forma natural, que é rico em fibras e podem ajudar a prevenir doenças como obesidade, doenças cardiovasculares e diabetes.

De acordo com Koller (1984), o abacate comercial é oriundo de três principais cultivares, são elas:

- Mexicana – *Persea americana* variedade *drymifolia*, encontrada principalmente na região da América Central. O fruto é pequeno e o teor de lipídeos dessa espécie pode chegar a 20%;
- Antilhana – *P. americana* variedade *americana*, também conhecido como “abacate manteiga”, é encontrado na América do Sul e em regiões baixas da América Central. Seus frutos são grandes e sua polpa apresenta uma quantidade de óleo relativamente baixa, cerca de 8%.
- Guatemalense ou Guatemalteca – *P. nubigena* var. *guatemalensis*, originária das regiões altas da América Central. O fruto é mais arredondado que as demais e sua casca é mais espessa e rugosa.

Segundo o autor essa classificação é bem aceita, embora seja comum se referir ao abacateiro apenas como *P. americana* Mill.

O abacateiro é uma árvore de porte médio a alto, sua altura pode variar de doze a vinte metros. O fruto é uma baga, e de acordo com a cultivar pode ter forma piriforme, esférica, elíptica ou oval, apresenta caroço de cor marrom-média (DAIUTO et al., 2012).

Segundo Fernández et al. (2013), a planta frutífera se caracteriza pela grande produtividade por unidade de área cultivada, e por seus frutos apresentarem composição química muito variável. O fruto é rico em lipídeos, possuindo alto teor de óleo monoinsaturado, sendo considerado uma importante fonte de energia. Também apresenta em sua composição carboidratos, proteínas, fibras dietéticas e vitaminas. A composição em massa do abacate em média é de 28% de casca, 58% de polpa e 14% de caroço (OLIVEIRA; GUIMARÃES; MENEZES, 2017).

3.1.1 Caroço de Abacate

O caroço do abacate representa cerca de 14 a 17 % do seu peso total, entretanto, após o processamento industrial da fruta, o material de caroços de abacate é geralmente descartado, gerando uma grande quantidade de resíduos, além de ser uma fonte destinada ao reaproveitamento, como fontes de complementos alimentar, medicamentos, entre outros (MIRANDA; RECK; CLEMENTE, 2016).

A composição do caroço de abacate em base úmida é de 51 a 58 % de água, 29 % de amido, 5 a 5.5 % de lipídios, 2 a 4 % de açúcares, 2 a 2.5 % de proteínas e aproximadamente 1 % de cinzas (OLIVEIRA; GUIMARÃES; MENEZES, 2017). Segundo Chel-Guerrero et al. (2016), o caroço de abacate contém altos níveis de potássio e é uma excelente fonte de fibra dietética, apresenta teores de taninos e compostos de polifenóis com maior atividade antioxidante do que a sua porção comestível.

3.2 Mandioca

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é uma planta de origem tropical e nativa da América do Sul. Segundo Tironi et al. (2015), é caracterizada devido a sua boa adaptabilidade a diversos ambientes, rusticidade e baixa exigência de fertilidade do solo, o que a torna a terceira maior fonte de alimento nas regiões tropicais, após o

arroz e o milho (FAOSTAT, 2014). O cultivo da mandioca está fortemente ligado às tradições dos pequenos agricultores familiares, constituindo uma das principais fontes de carboidratos, desempenhando papel importante na alimentação humana (SCHONS et al., 2009).

A estrutura morfológica da planta de mandioca varia de acordo com o genótipo. Algumas plantas apresentam caule ereto, outras ramificado, podendo haver duas, três ou quatro hastes (FUKUDA, 2006). A parte mais importante da planta é a raiz, a qual apresenta uma fonte de carboidratos para alimentação humana e animal de menor custo. A mandioca classificada como de mesa na sua maioria é comercializada *in natura*, mas a comercialização da mandioca pré-cozida e congelada está aumentando. Segundo Cardoso et al. (2006), a mandioca classificada para indústria tem uma variedade de usos, dos quais a farinha e a fécula são as mais importantes. A mandioca é matéria-prima de diversos produtos obtidos na indústria alimentícia, como amido/fécula, também conhecido por polvilho doce, amido fermentado, ou polvilho azedo, farinha entre outros (EMBRAPA, 2013).

Além da alimentação, a mandioca apresenta características de amplo e diversificado emprego industrial, como na produção de álcool através da extração da sua fécula. A parte aérea também pode ser utilizada na alimentação animal, na qual as folhas e hastes são utilizadas na forma de silagem, feno, ou mesmo frescas, e também na alimentação humana, na preparação de alimentos típicos das regiões Norte e Nordeste do Brasil (HALSEY et al., 2008).

De acordo com *Food and Agriculture Organization of the United Nations* - FAOSTAT (2017), o Brasil é o quarto maior produtor mundial, ficando atrás apenas da Nigéria, Tailândia e Indonésia. Segundo às fontes do IBGE (2017), o estado do Pará é o maior produtor nacional, seguido do Paraná, Bahia, Maranhão, São Paulo, e do Rio Grande do Sul. Em 2014, a colheita apresentou uma produtividade média bem abaixo do potencial produtivo. As causas que podem estar contribuindo para esta baixa produtividade são a falta de variedades adaptadas às diferentes condições de cultivo, uso de material de plantio de baixa qualidade, a realização inadequada ou a falta de práticas culturais entre outras (IBGE, 2017).

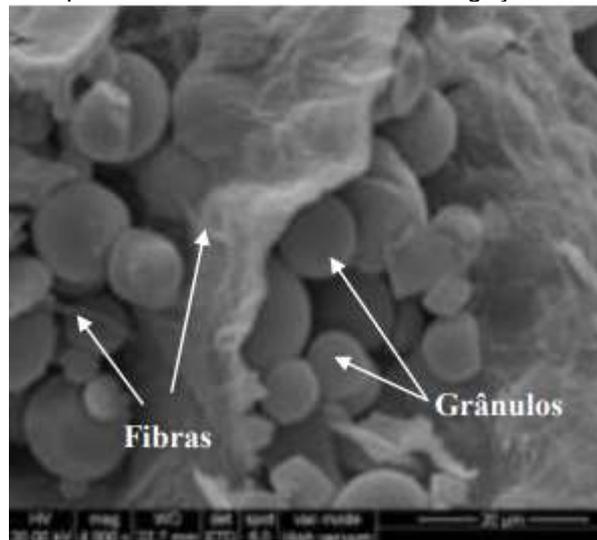
Conforme Oliveira et al. (2010), trabalhos na área de melhoramento vegetal e engenharia genética têm aumentado a produtividade e melhorado as características

industriais das raízes tuberosas da mandioca. De acordo com Benesi et al. (2008), a composição química das raízes de mandioca e seus resíduos variam de acordo com a época do ano e idade da planta. Dependendo da sua matéria bruta e do modo de processamento, a taxa de nutrição dos subprodutos da raiz da mandioca pode variar devido às taxas de amido.

3.2.1 Bagaço de Mandioca

O bagaço de mandioca é um subproduto do processamento da mandioca e é composto por um material fibroso existente na raiz, além de conter uma grande quantidade de amido que não foi extraído no processamento. Este subproduto é gerado na etapa de separação da fécula e, por ser intumescido de água, apresenta teor de umidade maior que a própria matéria-prima, cerca de 85 % (RODRIGUES et al., 2011). De acordo com Versino et al., 2015, o bagaço de mandioca pode chegar, em base seca, a teores de 17.5 % em massa de fibras lignocelulósicas e 82.5 % de amido. Imagens de microscopia eletrônica de varredura fornecem informações relevantes quanto a composição e estrutura de componentes estudados. Na Figura 1 observa-se a presença de fibras e grânulos de amido em bagaço de mandioca com uma ampliação de 4000 X.

Figura 1 - Microscopia Eletrônica de Varredura do bagaço de mandioca



Fonte: Versino et al. (2015).

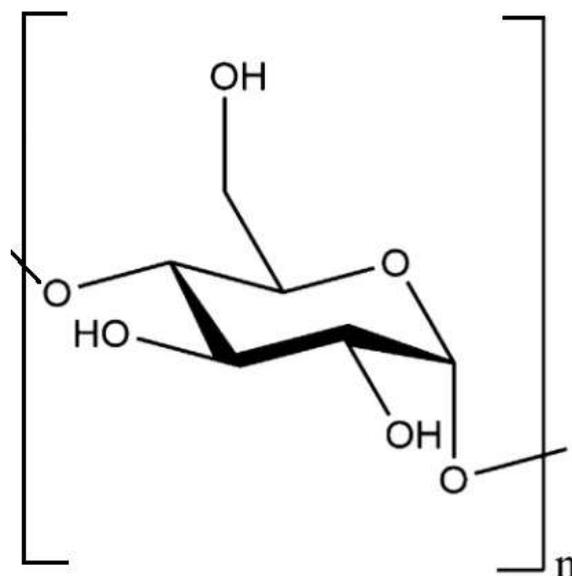
De acordo com Rodrigues et al. (2011), o uso de subprodutos produzidos por processamento de mandioca pode ser uma alternativa para a indústria de alimentos,

farmacêutica e agropecuária. Na Bahia, por exemplo, a farinha de mandioca produzida por agroindústrias é destinada à alimentação de gado. A mandioca se encontra entre os materiais utilizados na produção de filmes biodegradáveis, devido à sua capacidade de formar gel translúcido, resistente, apresentar um baixo custo e uma média tendência de retrogradação (BUKZEM; SANTOS; ASCHERI, 2012).

3.3 Amido

O amido é um polissacarídeo de reserva, sendo encontrado em grãos de cereais, leguminosas, tubérculos e frutas antes do estágio de amadurecimento (CHAI; WANG; ZHANG, 2013). Devido à atividade enzimática durante a fotossíntese das plantas, o amido é formado nos cloroplastos, onde serve como carboidrato de reserva temporário, acumulando-se nessas estruturas durante o dia e servindo como fonte principal para a síntese de sacarose durante a noite. A sacarose é então transportada para os órgãos de armazenamento das plantas, como sementes, frutas, tubérculos e raízes. Esse polissacarídeo é formado por unidades de glicose, como mostrado na figura 2. Apresenta-se na forma de grânulos com formato e tamanho que variam de acordo com a fonte botânica, espécie e parte da planta, como semente, raízes, talos e frutas (BET et al., 2016).

Figura 2 – Estrutura química do amido.



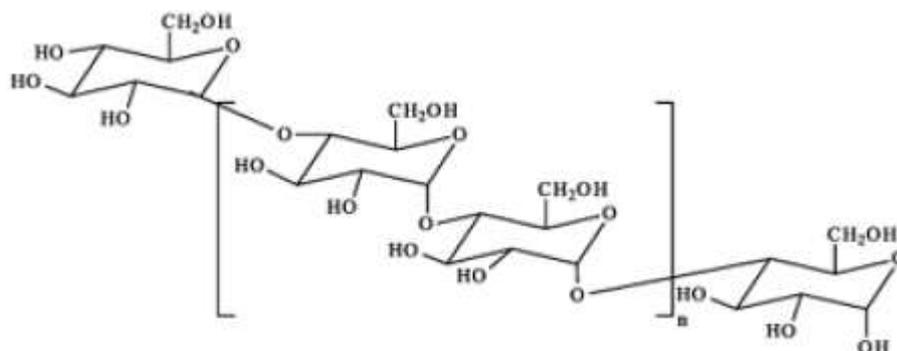
Fonte: Adaptado de Dugmore et al. (2017).

Segundo Martinez et al. (2011), os grânulos de amido são formados por configurações químicas distintas de camadas de amilose e amilopectina, formando uma estrutura semicristalina. Essas duas macromoléculas são polissacarídeos essencialmente lineares e altamente ramificados respectivamente, e suas proporções variam conforme a fonte botânica. As camadas cristalinas são formadas principalmente por cadeias de amilopectina, enquanto que as camadas amorfas contêm os pontos de ramificação de amilopectina e maior quantidade de amilose (JOSHI et al., 2013).

3.3.1 Amilose e amilopectina

A amilose é formada por unidades de glicose unidas por ligações glicosídicas α -1,4, originando uma cadeia essencialmente linear, como pode ser observada na Figura 3. Apresenta massa molar entre 101 a 102 kg.mol⁻¹ e ocupa 15 a 30 % do grânulo de amido nativo. O teor de amilose do amido ceroso consiste em 0-8 %, enquanto que no amido normal e de alta amilose consistem em 20-30 % e mais de 40 % de amilose, respectivamente (AI; JANE, 2015).

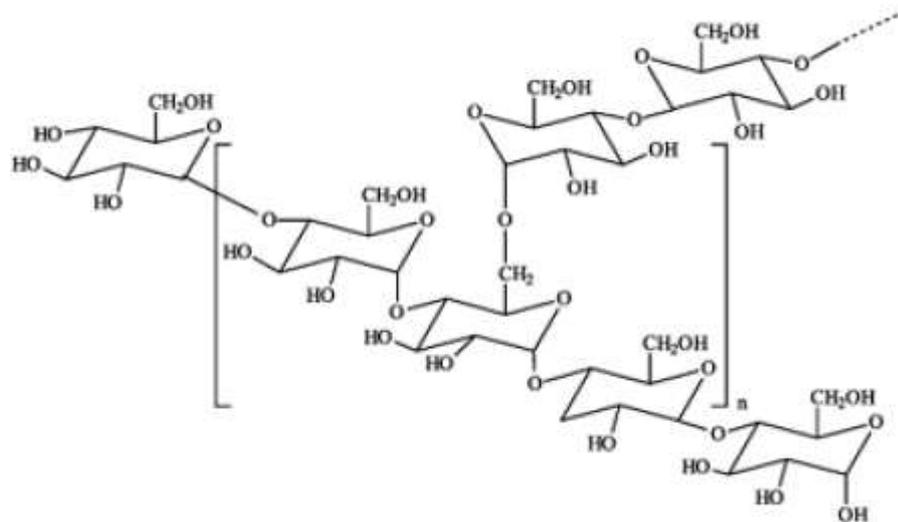
Figura 3 - Estrutura química da amilose.



Fonte: CORRADINI et al. (2005).

A amilose encontra-se na forma de hélice, o seu interior apresenta característica lipofílica, devido ao revestimento de grupos metileno e oxigênios glicosídicos. Na parte externa encontram-se as hidroxilas, que gera um caráter hidrofílico. A amilopectina é formada por unidades de glicose unidas em α -1,4 e α -1,6, formando uma estrutura altamente ramificada, conforme a figura 4, as cadeias de ramificação formam hélices duplas e contribuem para a estrutura cristalina dos grânulos (AI; JANE, 2015).

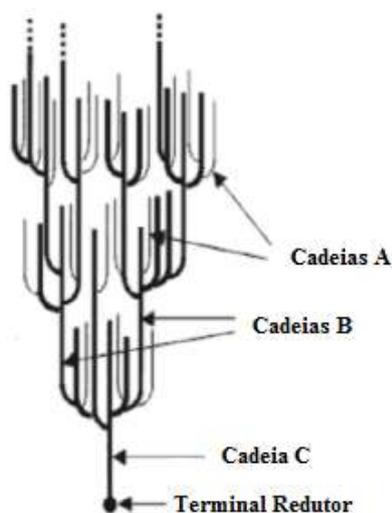
Figura 4 - Estrutura química da amilopectina



Fonte: CORRADINI et al. (2005).

As cadeias de amilopectina estão organizadas de maneiras diferentes, sendo classificadas como cadeias A, B e C. O tipo A é composto por uma cadeia não-redutora de glicoses unidas por ligações α -1,4 sem ramificações, sendo unida a uma cadeia tipo B por meio de ligações α -1,6. As cadeias do tipo B são compostas por glicoses ligadas em α -1,4 e α -1,6, contendo uma ou várias cadeias tipo A e podem conter cadeias tipo B unidas por meio de um grupo hidroxila primário. A cadeia do tipo C é única em uma molécula de amilopectina, sendo composta por ligações α -1,4 e α -1,6, com grupamento terminal redutor (ELIASSON, 2004). A figura 5 ilustra essa classificação.

Figura 5 - Classificação das cadeias de amilopectina do tipo A, B e C



Fonte: Adaptado de Denardin e Silva (2009).

As proporções em que essas estruturas aparecem diferem em relação às fontes botânicas, variedades de uma mesma espécie e, mesmo numa mesma variedade, de acordo com o grau de maturação da planta (BET et al., 2016).

Segundo Denardin e Silva (2009), o amido contém um terceiro componente na sua estrutura, chamado de material intermediário, com propriedades diferentes da amilose e da amilopectina. O material intermediário pode apresentar papel importante na determinação das propriedades funcionais do amido. A presença de um grande número de cadeias ramificadas curtas nesse componente pode contribuir para a menor cristalinidade granular, a temperatura de gelatinização, a mudança na entalpia, a viscosidade e o grau de retrogradação e o maior grau de digestibilidade pelas enzimas que promovem a hidrólise enzimática. Porém, as moléculas ramificadas que apresentam longos comprimentos de cadeias e menores graus de ramificação podem contribuir para a maior cristalinidade, a temperatura de gelatinização, o grau de retrogradação, a viscosidade e a firmeza de gel (VANDEPUTTE et al., 2003).

3.3.2 Estrutura cristalina do amido

O conteúdo de amilose e comprimento, e posição das ramificações da amilopectina são os principais fatores que determinam as propriedades funcionais do amido, junto com absorção de água, gelatinização e retrogradação. A difração de raios

X indica a presença e as características da estrutura cristalina dos grânulos de amido (KIM; REN; SHIN, 2013). Segundo Copeland et al. (2009), os padrões cristalinos tipo A, B e C caracterizam essa cristalinidade.

3.3.3 Propriedades tecnológicas do amido

A gelatinização é um processo que ocorre quando o amido é aquecido em quantidade suficiente de água. Segundo Rocha; Demiate e Franco (2008), a propriedade de gelatinização do amido está relacionada a vários fatores, como proporção de amilose e amilopectina, tamanho e estrutura do grânulo e tipo de cristalinidade. Os grânulos absorvem a água, hidratam as regiões amorfas e incham; com o aumento da temperatura, as duplas hélices são desfeitas gradualmente, causando o rompimento da organização molecular e cristalina de dentro do grânulo, convertendo irreversivelmente as regiões cristalinas em amorfas (COPELAND et al., 2009).

De acordo com Embuscado e Huber (2009), a gelatinização ocorre de forma desuniforme no amido, os grânulos maiores sofrem gelatinização antes dos grânulos menores, portanto, não há uma certa temperatura de gelatinização, e sim uma faixa, que depende do tipo do amido. O processo também pode ser influenciado por outros fatores como a quantidade de água presente no gel, teor de amilose, grau de cristalinidade e comprimento das cadeias de amilopectina. A entalpia de gelatinização pode ser observada através de Calorimetria Exploratória Diferencial –DSC (SANTANA et al., 2017).

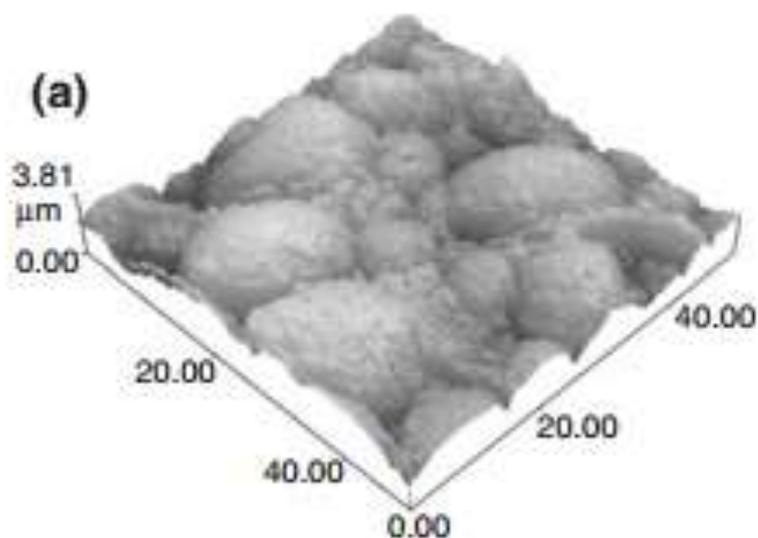
A retrogradação do amido ocorre quando as moléculas começam a se reassociar em uma estrutura mais ordenada devido à redução da temperatura no resfriamento do gel após a gelatinização. Está associada com a formação de ligações de hidrogênio intermoleculares, o retorno parcial à estrutura cristalina do grânulo, redução de volume, aumento da firmeza do gel e sinérese que é a expulsão da água existente entre as moléculas (WANG; COPELAND, 2013). Segundo Bertolini (2010), devido ao resfriamento, as moléculas do gel perdem energia e as ligações de hidrogênio entre as hidroxilas se tornam mais fortes, se reassociando e trazendo essa característica de firmeza do gel e opacidade do material.

A aplicação de amido em produção de filmes é muito utilizada devido ao seu baixo custo e ampla disponibilidade. O biopolímero apresenta propriedades químicas, físicas e funcionais favoráveis à formação de filmes. Para a obtenção de um amido termoplástico, ou seja, filme biodegradável de amido, é preciso destruir a estrutura granular semicristalina, por meio de gelatinização e fusão dos grânulos de amido (MALI; GROSSMANN; YAMASHITA, 2010).

3.3.4 Amido do caroço de abacate

De acordo com Lacerda et al. (2014), o amido do caroço de abacate apresenta grânulos de forma oval e superfície relativamente lisa. Segundo pesquisas anteriores, ao avaliar diversos tipos de abacate, foi encontrado uma variação no percentual de amido dos caroços de abacate. Essa variação ocorreu entre 7.8 % e 29.3 %, em geral, a quantidade média é de 20.1 %. Essa quantidade pode ser considerada favorável ao caroço de abacate como fonte de amido, além de representar solução para o aproveitamento de biomassas geradas por indústrias que processam a fruta (SILVA, et al., 2013). A estrutura microscópica do amido de caroço de abacate está representada na figura 6.

Figura 6 - Microscopia de força atômica do amido de caroço de abacate.



Fonte: Lacerda et al. (2013).

De acordo com Builders et al. (2010), o amido do caroço de abacate é constituído de multipartículas ovais e circulares. Ao formar gel, apresenta baixa

estabilidade em relação às propriedades de congelamento e descongelamento. Contém um maior teor de amilose quando comparado ao amido de milho, isso se dá ao fato de o amido de caroço de abacate apresentar uma maior temperatura de gelatinização que o amido de milho. Outra característica do amido de caroço de abacate, é a resistência mecânica dos grânulos ser maior quando comparada ao amido de milho, devido a sua estrutura visual diferenciada (LACERDA et al., 2014).

3.3.5 Tipos de extrações do amido

Amidos podem ser extraídos e purificados de diversas metodologias diferentes. A extração aquosa é a mais utilizada, dependendo da fonte botânica, apenas sua maceração, trituração em contato com água, posterior peneiramento e centrifugação, já rendem quantidades significativas de amido nativo extraído (CONTO, 2009). Entretanto, o amido em sua forma nativa não apresenta alteração em sua estrutura química, e isso faz com que o mesmo se torne vulnerável quando processado industrialmente, limitando suas aplicabilidades (DEMIATE et al., 2006).

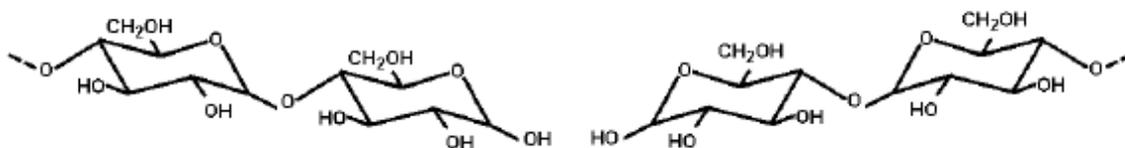
Segundo Liporacci et al. (2005), diferentes métodos de extração do amido apresentam propriedades funcionais similares, o que as diferencia é o grau de pureza e tempos de processamento. Quando se compara as extrações aquosa, alcalina e ácida, percebe-se um maior rendimento de extração nas extrações de pH mais elevado, e um grau de pureza maior nas extrações com pH mais ácido.

A extração química é considerada um método de purificação por não ser necessária a presença de altas temperaturas em presença de reagentes químicos em contato com o amido. De acordo com Silva (2008); Fonseca et al. (2015), a modificação química do amido melhora suas propriedades de gelatinização, estabilidade e retrogradação quando comparadas ao natural, devido ao fato de serem introduzidos grupos funcionais na molécula do amido nativo.

A extração alcalina utilizando hidróxido de sódio (NaOH), é muito utilizada em processos onde se deseja ter um maior rendimento de produto final. Na extração alcalina, os álcalis afetam preferencialmente a região amorfa dos grânulos, permanecendo a parte cristalina intacta (NADIHA et al., 2010).

Na extração ácida acontece uma hidrólise do amido devido aos íons hidroxônicos (H^3O^+) atacarem os átomos de oxigênio existentes nas ligações glicosídicas (WANG; WANG, 2001). A figura 7 representa essa modificação.

Figura 7 – Amido modificado por hidrólise ácida.



Fonte: Adaptado de Wurzburg (1989).

De acordo com John et al. (2002), em ambas extrações químicas ocorre a alteração das propriedades funcionais do amido, entretanto, a forma dos grânulos não é afetada, o produto apresenta a mesma aparência quando comparada ao amido nativo.

3.4 Embalagens biodegradáveis

A embalagem desempenha um papel fundamental na redução do desperdício de alimentos porque pode melhorar a forma de preservação e conservação dos mesmos, além de otimizar espaço durante o manuseio, transporte e armazenamento (DELLA LUCIA et al., 2007). As embalagens plásticas são comumente fabricadas a partir de fontes fósseis, e sua disposição final gera um alto nível de resíduos devido à sua lenta degradação e decomposição, portanto, fontes alternativas à biodegradabilidade, menos impactantes estão sendo procuradas (GARRIDO et al., 2013).

Segundo Sandhya (2010), os plásticos têm sido cada vez mais utilizados como agentes de embalagem e substituem metais, vidro e fibras materiais. Eles são notáveis por suas características estruturais, baixo custo de produção e a variedade de resinas e composições disponíveis. Porém, há cada vez mais estudos por uma alternativa sustentável quando se trata de produção de embalagens, devido à sua degradação ser prejudicial ao meio ambiente. Os compostos biodegradáveis na produção de embalagens podem ser adquiridos de diversas fontes, como polissacarídeos, proteínas, lipídios e derivados (ESPITIA et al., 2013).

De acordo com Krasnova et al. (2013), a embalagem é fundamental quando se fala em conservação de alimentos. Materiais de embalagem, incluindo polímeros biodegradáveis, podem ser usados para prolongar a vida útil de produtos frescos. Sua função é proteger os produtos contra a contaminação microbológica e/ou física, além de prevenir a oxidação causada por alguns tipos de alimentos em contato com o oxigênio (LUCENA et al., 2017).

Segundo Ferreira et al. (2008), o polímero biodegradável mais utilizado em alimentos frescos é o ácido poli láctico (PLA), porém novos materiais biodegradáveis estão sendo produzidos a fim de melhorar as propriedades de barreira a gases. O tipo de plastificante utilizado na formação do filme a base de amido influencia a permeabilidade ao vapor d'água. É possível avaliar a adequação de filmes biodegradáveis como materiais de embalagem e ainda explorar a influência do baixo impacto ambiental em materiais de embalagem na taxa de respiração de frutas frescas (KRASNOVA et al., 2013).

A formação dos filmes biodegradáveis ocorre na presença de macromoléculas, para formar uma rede polimérica, solvente e plastificante. Para que o filme biodegradável se forme é necessário submeter a matéria-prima ao calor, com agitação por um tempo pré-determinado. A adição de agentes plastificantes é fundamental para que se forme filmes com boas propriedades (JIMÉNEZ et al., 2012).

De acordo com Shimazu, Mali e Grossmann (2007), no processo de biodegradação compostos orgânicos são convertidos em compostos mineralizados e redistribuídos por meio de ciclos elementares como o do carbono, nitrogênio e enxofre. Um polímero biodegradável é o material suscetível ao processo intrínseco pelo qual micro-organismos e suas enzimas consomem este polímero como fonte de nutrientes, em condições normais de umidade, temperatura e pressão (MALI; GROSSMANN; YAMASHITA, 2010).

De acordo com Garcia et al. (2011), o amido tem potencial para ser utilizado como polímero termoplástico com esta característica. Este polímero não é termoplástico, mas quando misturado com água ou plastificante não aquoso (geralmente polióis), pode ser convertido em uma fase polimérica contínua.

Para que ocorra a formação de uma embalagem biodegradável de amido, a estrutura granular precisa ser destruída, e então é gerado uma matriz polimérica, homogênea e essencialmente amorfa, que pode ser obtida através dos fenômenos de gelatinização e/ou fusão. Nesses processos ocorre a conversão do grânulo de amido em um material termoplástico (MALI; GROSSMANN; YAMASHITA, 2010).

De acordo com Pelissari et al. (2012), devido ao amido apresentar caráter parcialmente hidrofílico, os filmes à base de amido apresentam baixas propriedades de barreira ao vapor d'água, a gases como CO₂ e O₂. As propriedades mecânicas também são fator limitante quando comparadas a de filmes sintéticos (PIYADA; WARANYOU; THAWIEN, 2013).

Os filmes de amido podem apresentar característica vítrea ou emborrachada. As propriedades mecânicas de materiais amorfos são modificadas em temperaturas acima da temperatura de gelatinização, tornando-o mais viscoelástico (GARRIDO et al., 2013). Quanto maior a presença de amilose em amidos, mais fortes os filmes serão formados, pois as ramificações da amilopectina resulta em filmes com propriedades mecânicas menos adequadas, tais como menor tensão de tração (PIYADA; WARANYOU; THAWIEN, 2013).

Uma alternativa para melhorar as propriedades físicas dos biopolímeros é a preparação de filmes compostos por combinados de polissacarídeos, proteínas e lipídeos, ou ainda, adição de fibras. A adição de glicerol como um agente plastificante interfere na associação entre as cadeias poliméricas, tornando o filme mais flexível e extensível. O desafio de aplicar filmes biodegradáveis em alimentos é obter a garantia que os mesmos são seguros durante o tempo necessário, e somente se decompõem após esse tempo (MARAN et al., 2013; FERNANDES et al., 2015).

3.5.1 Técnica de *Casting*

A técnica de *casting* é muito utilizada para formação de filmes biodegradáveis. Os filmes que contém como base o amido, podem ser obtidos por essa técnica, a qual o material é formado pela mistura do mesmo com o agente plastificante, onde espalha-se essa mistura sobre um suporte para evaporação do solvente (MALI; GROSSMANN; YAMASHITA, 2010).

De acordo com Scheibe; Moraes e Laurindo (2014), a técnica de *casting* é a mais empregada e discutida em pesquisas de filmes biodegradáveis a base de amido, mostrando bons resultados nas pesquisas. Essa técnica implica na dispersão de amilose e amilopectina na solução aquosa, após a gelatinização, e, em uma posterior reorganização durante a secagem, formando uma matriz contínua que dá origem aos filmes (MALI; GROSSMANN; YAMASHITA, 2010).

Primeiramente o biopolímero é adicionado e solubilizado no solvente, a seguir são adicionados o agente plastificante e outros aditivos. Posteriormente, a suspensão é depositada sobre um molde ou superfície e então é submetida à secagem. A figura 8 apresenta um filme biodegradável elaborado com amido, água e glicerol, utilizando a técnica de *casting*. Entretanto, esta técnica não é eficaz no preparo de filmes de grandes dimensões e requer que a secagem ocorra por um longo período de tempo em fornos com circulação de ar forçado em temperaturas entre 40 e 60 °C (MORAES et al., 2015).

Figura 8 - Filme biodegradável de amido



Fonte: Ávila, Ascheri e Ascheri (2012).

O teor de plastificante empregado é um parâmetro a ser controlado, pois a concentração ideal e o tipo de plastificante têm efeitos diretos nas propriedades funcionais dos filmes. Os plastificantes agem diminuindo as forças intermoleculares das cadeias dos polímeros, aumentando a mobilidade dessas cadeias, resultando em materiais mais homogêneos (MALI; GROSSMANN; YAMASHITA, 2010).

De acordo com Scheibe; Moraes e Laurindo (2014), a técnica de *casting* permite o controle da espessura do filme utilizando uma lâmina ajustável na parte inferior do espalhamento dispositivo. A secagem do filme pode ser realizada no

suporte através de secagem por convecção, radiação infravermelha, secagem condutora ou uma combinação destes métodos de aquecimento.

3.6 PROCEDIMENTOS DE ANÁLISES

3.6.1 Microscopia Eletrônica de Varredura por Efeito de Campo (MEV-FEG)

A microscopia eletrônica de varredura por efeito de campo é uma técnica utilizada para demonstrar a morfologia de um material através de imagens ampliadas (WANG; COPELAND, 2013). No caso do amido, as imagens podem apontar o tamanho médio dos grânulos, quando acoplados *softwares* específicos para essa função. A MEV-FEG também é útil no caso dos filmes biodegradáveis, observando microscopicamente a uniformidade, homogeneidade e possíveis irregularidades dos mesmos (SCHONHERR et al., 2016).

3.6.2 Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC)

A Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) aponta variações de entalpia de uma amostra com relação a um material de referência, o qual é termicamente inerte. Ambos materiais são submetidos a uma variação controlada de temperatura. A medida é baseada na diferença de fluxo de calor entre a amostra e a referência. Essa técnica permite verificar a temperatura de gelatinização do material, indicando a temperatura *onset* e final do evento, além de fornecer dados de entalpia de gelatinização (COLMAN et al., 2014; DELINSKI et al., 2017).

A curva DSC é formada a partir de picos obtidos de variações de temperatura *onset* (T), de pico (T_p) e de conclusão (T_c) do evento, além da entalpia (ΔH) do mesmo, a qual é identificada pela área do pico em relação à linha base. A entalpia pode ser endo ou exotérmica, e a mesma deve ser indicada no gráfico. A curva permite estudar efeitos de calor combinado com alterações físicas, químicas e ainda transições vítreas e cristalinas da amostra, em reações exotérmicas ou endotérmicas (WANG, 2013; LIN e WANG, 2012).

3.6.3 Termogravimetria (TG)

A análise termogravimétrica é executada para observar a decomposição de um material de diferentes compostos em função de uma variação de temperatura. Consiste na medição de variações de massa de uma amostra com auxílio de uma termobalança de elevada sensibilidade, precisão e rapidez na resposta. Ao observar uma curva TG, é possível notar desníveis em relação ao eixo das coordenadas, as

quais correspondem às perdas de massa que a amostra sofreu em função do aumento da temperatura. Essas curvas fornecem dados que podem ser calculados para quantificar essa variação de massa (IONASHIRO, CAIRES, GOMES, 2014).

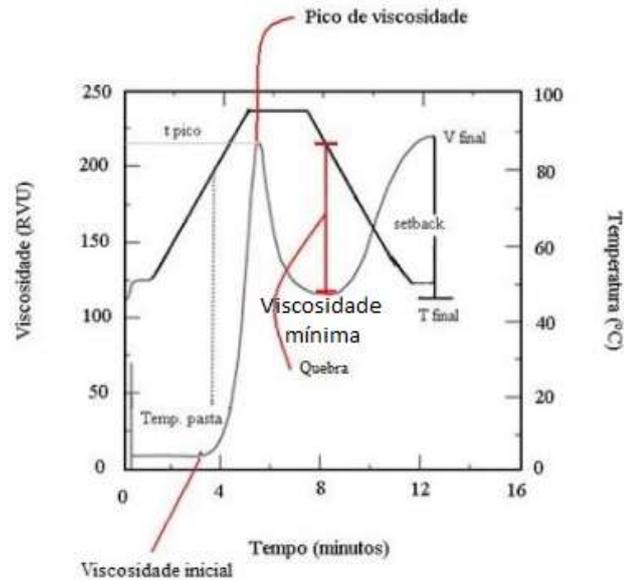
A variação de massa pode ocorrer devido a alguns fatores como: secagem, adsorção de gases, evaporação de voláteis e decomposição oxidativa. É de grande interesse para a indústria de alimentos conhecer a estabilidade térmica dos alimentos, visto que é muito utilizado aquecimento em processos industriais (LIU et al., 2013; MITIC et al., 2017). Para amidos, essa análise representa a estabilidade térmica durante a variação de temperatura/tempo. Graficamente, o perfil de estabilidade é apontado determinando quais as perdas ocorridas dos grânulos (SIQUEIRA et al., 2018).

3.6.4 Propriedades de Pasta

A viscoamilografia (RVA) é uma técnica utilizada para avaliar as propriedades de formação de pasta de amidos, além de suas propriedades viscoelásticas. Segundo Wang et al. (2015), suspensões amiláceas apresentam mudanças em sua viscosidade quando são aquecidas e em contato com água, ao hidratar incha seus grânulos, ocorrendo a formação de pasta. Os dados de RVA são obtidos ao aplicar tensões de cisalhamento na amostra, as quais rompem permanentemente a estrutura do material.

A figura 9 representa uma curva de RVA, nela são obtidos alguns parâmetros importantes com relação à viscosidade da pasta formada (WANG et al., 2015).

Figura 9: Curva de RVA para amidos



Fonte: Adaptado de Rechsteiner (2012).

Onde:

- Viscosidade inicial (cP): viscosidade que a suspensão atinge ao formar a pasta;
- Temp. pasta (°C): Temperatura em que a suspensão forma a pasta;
- t pico (min): tempo em que a suspensão atingiu a maior viscosidade de pasta;
- Pico de viscosidade (cP): maior viscosidade obtida na suspensão;
- Viscosidade mínima – trough viscosity (cP): mínima viscosidade obtida pela suspensão após formar pasta;
- Quebra – breakdown viscosity (cP): diferença entre a viscosidade de pico e a viscosidade mínima obtida;
- V final (cP): viscosidade obtida após redução de temperatura, indicando a tendência à Retrogradação do amido;
- Setback (cP): diferença entre a viscosidade final e viscosidade mínima;
- T final (°C): Temperatura em que a viscosidade final se encontra.

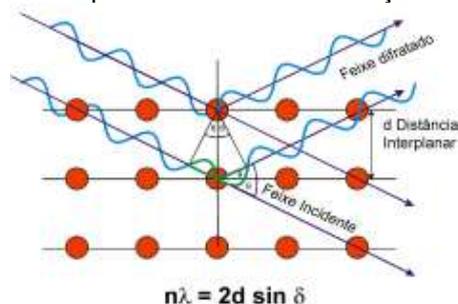
O primeiro pico de viscosidade ocorre devido ao inchamento e solubilização dos grânulos de amido, após essa fase, há uma estabilidade na temperatura, nesse momento há uma queda na viscosidade, pois parte dos grânulos começam a se romper e solubilizar (WANG et al., 2015).

3.6.5 Difração de Raios X

O princípio dessa técnica se baseia na interação entre o feixe de raios X incidente e os elétrons do material a ser estudado. A amostra necessita ter

característica cristalina, ou seja, seus átomos devem estar arranjados periodicamente no espaço. Ao incidir a radiação na amostra, são detectados fótons difratados e o fenômeno ocorre nas direções de espalhamento (GOBBO, 2009; MARTIN et al., 2017). A figura 10 representa o esquema ilustrativo da difração de raios X:

Figura 10: Esquema ilustrativo de difração de raios X



Fonte: GOBBO (2009).

Conforme mencionado anteriormente, o amido apresenta estrutura semicristalina, devido às suas frações de parte cristalina e amorfa. A parte cristalina se forma devido ao arranjo da amilopectina, já a parte amorfa é formada devido às regiões das moléculas lineares da amilose (MARTIN et al., 2017).

A análise de difração de raios X para amidos permite distinguir os diferentes tipos de amido (padrão A, B ou C). O padrão cristalino tipo A é conferido a amidos com comprimento de cadeia curto ou médio, encontrado comumente em cereais e algumas tuberosas, como a mandioca, enquanto os padrões cristalinos tipo B compreendem amidos com comprimento de cadeia médio e grande, comum para alguns amidos de raízes e tubérculos, amidos de cereais com alto teor de amilose e amidos retrogradados. O padrão cristalino tipo C ocorre com a presença, em conjunto, dos padrões tipo A e B, e é encontrado normalmente em amido de leguminosas, frutas e caules (KIM; REN; SHIN, 2013).

3.6.6 Propriedades de Tração

Para medir a resistência mecânica de filmes, deve-se levar em consideração sua espessura, grau de cristalinidade (teor de amilose), presença de interferentes, como bolhas em sua formação e a natureza da fonte amilácea, ou seja, o peso molecular das cadeias poliméricas, seu tamanho e posição diferenciam a medição de resistência física dos filmes formados (TABOADA; CARVALHO; SOBRAL, 2008).

De acordo com Li et al. (2014), a adição de materiais fibrosos aumenta a resistência de filmes biodegradáveis, isso acontece devido à dispersão homogênea das fibras, as quais preenchem os poros formados, reforçando as matrizes poliméricas do amido.

As propriedades mecânicas dos filmes podem ser medidas com testes de tração, perfuração e relaxação. Os testes de tração se destacam por expressarem resistência ao alongamento e rompimento do material. Os parâmetros mais analisados em testes de tração são a resistência máxima à tração, o módulo elástico e o alongamento à ruptura (MALI; GROSSMANN; YAMASHITA, 2010).

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 MATERIAL

O amido do caroço de abacate foi extraído de frutos maduros adquiridos em comércio local (Ponta Grossa, PR), e também por doações, na época de junho a setembro. O bagaço de mandioca foi cedido pela empresa Nutriamidos, situada em Amaporã, PR, na forma úmida. Todos os reagentes utilizados no projeto foram de grau analítico.

4.2 MÉTODOS

5.2.1 Secagem do bagaço de mandioca

O bagaço de mandioca foi secado em estufa com circulação e renovação de ar (TECNAL TE394/2, Piracicaba, SP) até atingir umidade de aproximadamente 10%. Após secagem, o mesmo foi moído com auxílio de um moinho (IKA-WERKE, EUA) modelo M20, e então passado por um tamis de 60 mesh, com abertura nominal de 250 μm . O bagaço em grânulos foi armazenado em dessecador até execução das análises.

5.2.2 Obtenção da farinha de caroço de abacate

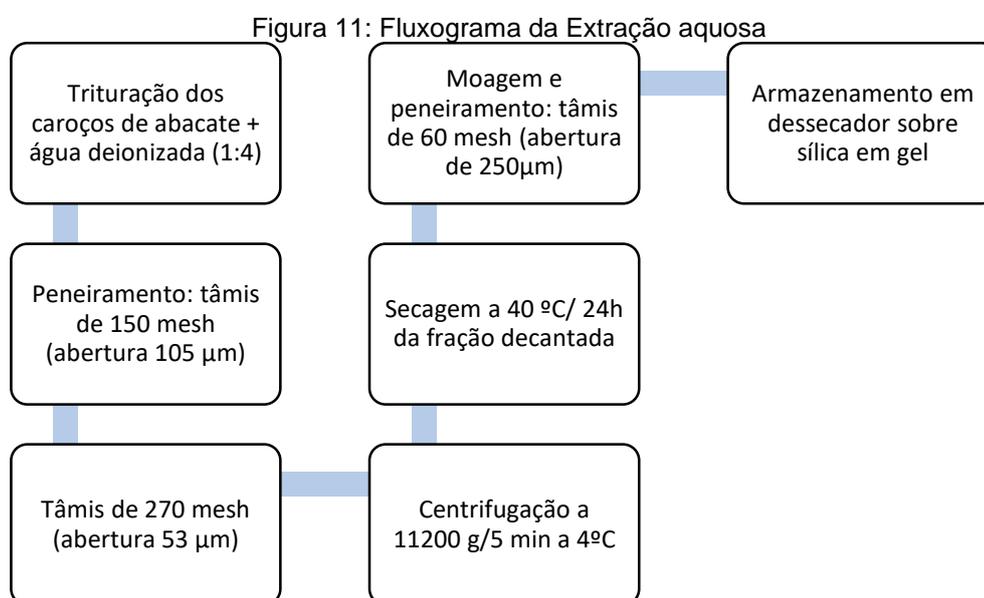
A farinha integral foi produzida a partir da trituração dos caroços de abacate, utilizando um triturador (SIEMSEN, BR), modelo LS-08, junto com água deionizada em uma proporção de 1:4 (volume/volume). A pasta formada foi secada em estufa com circulação e renovação de ar (TECNAL TE394/2, Piracicaba, SP) até atingir umidade de aproximadamente 10%. O conteúdo seco foi moído com auxílio de um moinho (IKA-WERKE, EUA) modelo M20, e então passado por um tamis de 60 mesh, com abertura nominal de 250 μm . A farinha foi armazenada em dessecador até execução das análises.

5.2.3 Extração do amido do caroço de abacate

5.2.3.1 Extração aquosa

Os caroços dos abacates foram obtidos de acordo com Bet et al. (2016) com adaptações, por remoção do mesocarpo do fruto e trituradas de acordo com Arns et al. (2015), pelo método de extração aquosa. O fluxograma indicado na figura 11 representa a extração aquosa. Foi adicionada água deionizada em uma proporção de

4:1 (volume/volume) com relação ao volume dos caroços. Com o auxílio de um triturador (SIEMSEN, BR), modelo LS-08, essa mistura foi triturada até formar uma pasta homogênea. A pasta formada passou por uma tãmis de 150 mesh, com abertura nominal de 105 μm , e posteriormente passou por uma tãmis de 270 mesh, com abertura nominal de 53 μm . O líquido residual do peneiramento foi centrifugado (HIMAC, modelo CR-21GII) utilizando o rotor R14A, a 11200 g por 5 min a 4 °C. A fração decantada da centrifugação foi seca em forno com circulação de ar forçada a 40 °C por 24 h, e posteriormente passada por um tãmis de 60 mesh, com abertura nominal de 250 μm . O amido formado foi mantido em um dessecador sobre sílica em gel até execução das análises.



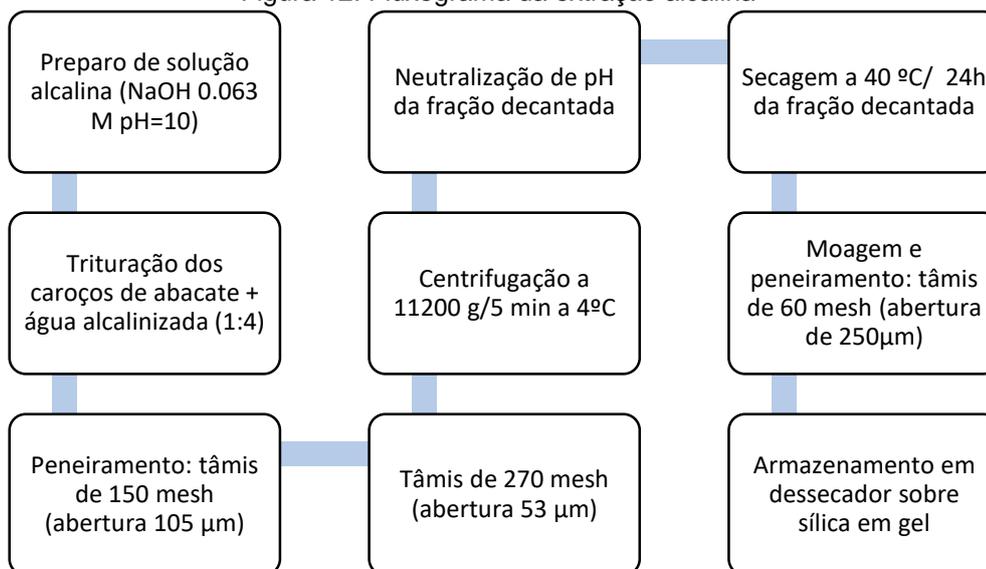
Fonte: O autor.

5.2.3.2 Extração alcalina

A extração alcalina foi executada de forma semelhante à extração aquosa, o fluxograma indicado na figura 12 representa a extração alcalina. Foi preparada uma solução alcalina (pH = 10.0) com NaOH 0,063 M (ARNS et al. 2015), e adicionada em uma proporção de 4:1 (volume/volume) em relação ao volume dos caroços. Com o auxílio de um triturador (SIEMSEN, BR), modelo LS-08, essa mistura foi triturada até formar uma pasta homogênea. A pasta formada passou por uma tãmis de 150 mesh, com abertura nominal de 105 μm , e posteriormente passou por uma tãmis de 270 mesh, com abertura nominal de 53 μm . O líquido residual do peneiramento foi centrifugado (HIMAC, modelo CR-21GII) utilizando o rotor R14A, a 11200 g por 5 min

a 4 °C. A fração decantada foi suspensa em água deionizada até neutralizar o pH (pH = 7.0). Após isso, a fração foi seca em forno com circulação de ar forçada a 40 °C por 24 h, e posteriormente passada por um tãmis de 60 mesh, com abertura nominal de 250 µm. O amido formado foi mantido em um dessecador sobre sílica em gel até execução das análises.

Figura 12: Fluxograma da extração alcalina



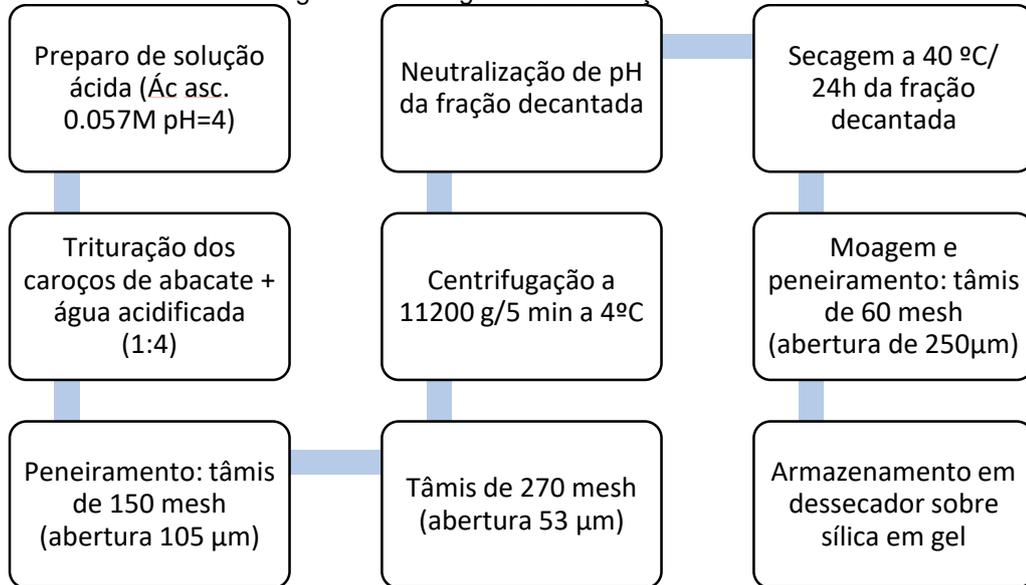
Fonte: O autor.

5.2.3.3 Extração ácida

A extração ácida também foi executada de forma semelhante à aquosa e alcalina, o fluxograma indicado na figura 13 representa a extração ácida. Foi preparada uma solução ácida (pH = 4.0) com ácido ascórbico 0,057 M (ARNS et al. 2015), e adicionada em uma proporção de 4:1 (volume/volume) em relação ao volume dos caroços. Com o auxílio de um triturador (SIEMSEN, BR), modelo LS-08, essa mistura foi triturada até formar uma pasta homogênea. A pasta formada passou por uma tãmis de 150 mesh, com abertura nominal de 105 µm, e posteriormente passou por uma tãmis de 270 mesh, com abertura nominal de 53 µm. O líquido residual do peneiramento foi centrifugado (HIMAC, modelo CR-21GII) utilizando o rotor R14A, a 11200 g por 5 min a 4 °C. A fração decantada foi suspensa em água deionizada até neutralizar o pH (pH = 7.0). Após isso, a fração foi seca em forno com circulação de ar forçada a 40 °C por 24 h, e posteriormente passada por um tãmis de 60 mesh, com

abertura nominal de 250 μm . O amido formado foi mantido em um dessecador sobre sílica em gel até execução das análises.

Figura13: Fluxograma da extração ácida



Fonte: O autor.

Para os três métodos diferentes, foi calculado o rendimento de extração em base úmida e base seca, através das respectivas Equações 1 e 2:

$$R (\%) = \frac{A}{M} \times 100 \quad (1)$$

Onde:

R = Rendimento em base úmida (%);

A = Massa de Amido (g);

M = Massa de caroço de abacate utilizado (g).

$$Rs (\%) = \frac{A}{M - (M.U)} \times 100 \quad (2)$$

Onde:

Rs = Rendimento em base seca (%);

A = Massa de Amido (g);

M = Massa de caroço de abacate utilizado (g);

U = Umidade do caroço de abacate (%).

5.2.4 Caracterização da matéria-prima

5.2.4.1 Composição centesimal

A determinação de umidade foi executada pelo método gravimétrico, através da perda de peso da amostra submetida a aquecimento em estufa a 105°C, até a obtenção de peso constante do produto dessecado, de acordo com o método 934.01, da AOAC (2005). O extrato etéreo foi determinado utilizando-se o extrator Soxhlet, segundo a metodologia da AOAC (1995), método 920.39. As cinzas foram determinadas por incineração do material em mufla a 550°C, por 6 horas, segundo a metodologia da AOAC (2005), método 923.03. As fibras foram determinadas pelo método de Weende (WILLIAMS; OLMSTED, 1935). O teor de nitrogênio total da amostra foi determinado pelo procedimento do Kjeldahl tradicional, segundo a metodologia da AOAC (2005), método 920.87. O teor de proteína foi calculado através da multiplicação do teor de nitrogênio, o qual é contido em aproximadamente 16% para diferentes tipos de proteínas, pelo fator de conversão 6.25, fator empírico induzido, para transformar o número de massa de nitrogênio em número de massa de proteínas (IAL, 2008). O conteúdo de carboidratos foi determinado pela diferença da soma das porcentagens de água, proteínas, lipídeos e cinzas. Todas as determinações foram feitas em triplicatas.

5.2.4.2 Microscopia Eletrônica de Varredura por Efeito de Campo (MEV/FEG)

Segundo a metodologia proposta por Malucelli et al. (2015), as morfologias das matérias-primas foram obtidas por imagens geradas em um microscópio eletrônico de varredura por efeito de campo – FEG (Tescan, Mira 3, Brno, República Checa), disponível no laboratório Multiusuário da Universidade Estadual de Ponta Grossa. O feixe de elétrons foi gerado por uma lâmpada de carbono com filamento de tungstênio, e em seguida, as amostras foram examinadas com tensão de aceleração foi de 15 kV e ampliação de 2000 x.

5.2.4.3 Calorimetria Exploratória Diferencial – DSC

As curvas de Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) das matérias-primas foram determinadas utilizando um equipamento DSC Q 200 (TA instruments – EUA),

sob um fluxo de ar comprimido de 50 ml min⁻¹ e razão de aquecimento de 5 °C min⁻¹. Para cada análise foi preparada uma mistura com 2.5 mg de amostra e água destilada em uma proporção de 4:1 em massa (água:amido), que foi deixada em repouso durante 2h a fim de equilibrar o teor de umidade; após, esta dispersão foi transferida para um cadinho de alumínio que foi selado e inserido no calorímetro (LACERDA et al., 2014). A análise de dados foi realizada através do *software Universal Analysis 2000*, e executada em triplicata.

5.2.4.4 Termogravimetria – TG

As curvas termogravimétricas TG foram obtidas utilizando o equipamento TA-50 (Shimadzu – Japan), as quais representam as perdas de massa de cada amostra. Para as análises de amido, farinha e bagaço foram pesados aproximadamente 7.0 mg de amostra em balança de precisão analítica, por meio de um cadinho de alfa-alumina. As condições de análise foram as seguintes: razão de aquecimento de 10 °C min⁻¹; atmosfera de ar sintético com vazão de 150 ml min⁻¹; temperatura inicial de 30 °C; temperatura final de 650 °C (OLIVEIRA et al., 2017).

5.2.4.5 Propriedades de pasta

As propriedades de pasta das amostras foram determinadas fazendo uso de um viscoamilógrafo, modelo RVA-4 (Newport Sei. Austrália). Foram feitas suspensões de 8% (g g⁻¹) das matérias-primas isoladas e das misturas, em base seca, em água destilada até completar 28 g de massa final. Previamente, a umidade de cada amostra foi aferida, utilizando um analisador de umidade *Startorius MA 150* (Sartorius, Goettingen, Alemanha) para que a umidade intrínseca fosse descontada. As amostras foram submetidas a um ciclo de aquecimento e arrefecimento controlados sob cisalhamento constante a qual foi mantida por 23 min no viscoamilógrafo, a programação utilizada no equipamento foi o *Standard Analysis 2*, onde observa-se a viscosidade máxima, viscosidade mínima, viscosidade de quebra, tendência à retrogradação da amostra, temperatura de pasta, tempo em que se atinge o pico de viscosidade máxima da amostra e a viscosidade final (MATSUGUMA et al., 2009). O software utilizado para a análise de dados foi o *Origin 6.1*.

5.2.4.6 Difração de raios X

O padrão de cristalinidade foi obtido usando um difratômetro de raios X, modelo *Ultima 4* (Rigaku – Japan), disponível no laboratório Multiusuário da Universidade

Estadual de Ponta Grossa. A radiação dispersa foi detectada com uma variação de ângulo de 3 a 40 °, a velocidade de digitalização foi de 2°.min⁻¹ e um passo de 0.02 °. O grau de cristalinidade relativa foi estimado quantitativamente, seguindo o método descrito na literatura (LACERDA et al., 2014), o qual foi obtido pelo *software Origin 6.1*, e seus valores foram calculados em triplicata, de acordo com a Equação 3:

$$CR (\%) = \frac{Ap}{A} \cdot 100 \quad (3)$$

Onde:

CR = Cristalinidade Relativa (%);

A = Área total integrada da curva;

Ap = Integração da área dos picos.

5.2.4.7 Teor de amilose

O teor de amilose foi obtido baseado na metodologia descrita por Schoch (1964), utilizando um método potenciométrico. Os reagentes utilizados para a análise foram: solução de Iodeto de potássio – KI (0.5 N), ácido clorídrico – HCl (0.5 N), Hidróxido de potássio – KOH (1 N) e solução estoque, a qual continha iodeto de potássio – KI e cloreto de potássio – KCl.

As amostras de amidos foram previamente desengorduradas, seguindo a metodologia de determinação de extrato etéreo da AOAC (1995), método 920.39. A umidade das amostras foi aferida, utilizando um analisador de umidade *Sartorius MA 150* (Sartorius, Goettingen, Alemanha) para corrigir a massa, considerando a umidade intrínseca das mesmas. Foram pesados 100 mg de amostra em um béquer de 250 ml. Foi adicionado 1 ml de água deionizada e 5 ml de KOH (1 N). Essa mistura foi agitada por 30 min à temperatura ambiente até que ocorresse a gelatinização química do amido. O indicador de pH utilizado para o método foi o metil laranja, após adicionar três gotas do mesmo, foi adicionado HCl (0.5 N) até ocorrer a mudança de cor, para neutralizar a solução. Após isso, foi adicionado 10 ml de KI (0.5 N) e completado com água até totalizar a massa de 100.9 g. A titulação ocorreu por meio de um equipamento (Titrino Plus, Metrohm) auto-titulador com eletrodo, bureta e software de titulação. O iodo se liga à amilose, e essa afinidade é calculada a partir do volume de titulante, de acordo com a Equação 4:

$$AI (\%) = \frac{T \cdot VEQ \cdot c \cdot z \cdot M \cdot 100}{m} \quad (4)$$

Onde:

AI = Afinidade de iodo (%);

VEQ = volume do titulante;

T = Titulante;

c = Concentração nominal do titulante (0.5);

z = fator estequiométrico da produção de I₂;

M = peso molecular de I₂ (254 g.mol⁻¹);

m = massa de amostra seca (mg).

T é calculado a partir da Equação 5:

$$T = \frac{m \cdot 1000}{VEQ \cdot c \cdot M \cdot z} \quad (5)$$

5.2.5 Produção e análise dos filmes biodegradáveis

5.2.5.1 Obtenção dos filmes

Os filmes foram elaborados de acordo com Mali et al., (2004), com algumas modificações. A formulação consiste em adição de 5g de fração amilácea, 3g de agente plastificante (glicerol) e 140g de água deionizada. As amostras foram divididas em 14 formulações, as quais se diferenciaram de acordo com a tabela 1 a seguir:

Tabela 1: Formulação e descrição da fração amilácea de cada amostra.

Formulação	Fração amilácea
1	Farinha
2	Bagaço
3	Farinha + Aquosa
4	Bagaço + Aquosa
5	Farinha + Alcalina
6	Bagaço + Alcalina
7	Farinha + Ácida
8	Bagaço + Ácida
9	Farinha + Bagaço + Aquosa
10	Farinha + Bagaço + Alcalina
11	Farinha + Bagaço + Ácida
12	Aquosa
13	Alcalina
14	Ácida

Fonte: A autora.

Conforme a tabela 1, as frações amiláceas diferenciaram-se entre farinha de caroço de abacate, bagaço de mandioca, amido obtido pela extração aquosa, amido obtido pela extração alcalina, amido obtido pela extração ácida e a misturas desses componentes entre si.

A elaboração do filme foi realizada utilizando a técnica de “*casting*” segundo a metodologia descrita por Henrique; Cereda e Sarmiento (2008) e Pauli et al. (2011), com algumas adaptações. Para a gelatinização da solução filmogênica foi utilizado um uma chapa aquecedora com controle de temperatura. A solução foi aquecida até 90°C e mantida em fervura com agitação constante por 10 minutos. Em seguida, a solução foi vertida em placa de acrílico de 11.5 cm² e seca em estufa (Tecnal, TE 394/1) com circulação de ar a 40 °C durante 12 h. Posteriormente, as placas foram armazenadas durante três dias em dessecador com umidade controlada, utilizando uma solução supersaturada de NaCl, para possibilitar a retirada dos filmes das placas.

5.2.5.2 Umidade

O teor de umidade dos filmes foi determinado gravimetricamente, após a secagem das amostras em estufa a 105 °C por 24 horas como descrito no método 934.01, da AOAC (2005), com algumas adaptações. As amostras foram cortadas em corpos de prova de 4 cm² e a análise foi executada em triplicata.

5.2.5.3 Espessura, Densidade e Gramatura

A espessura dos filmes foi determinada utilizando um micrômetro analógico (*outside micrometers*), com uma precisão de 0.01 mm. Foram realizadas 15 medidas aleatórias em cada filme e a espessura foi expressa a partir da média dessas medidas. A densidade e a gramatura foram determinadas segundo Almeida et al. (2013), com algumas adaptações. Amostras com área de 4 cm² foram pesadas em balança analítica (*Shimadzu*, mod. AY 220, Kyoto Japão) e a partir da média dos resultados de espessura, foi feito o cálculo de densidade pela razão da massa pelo volume. A gramatura foi calculada segundo a equação 6:

$$G = 10000 \times \frac{p}{a} \quad (6)$$

Onde:

G = gramatura (g/cm²);

p = peso do filme (g);

a = área do filme (cm²).

5.2.5.4 Solubilidade

A solubilidade dos filmes foi determinada utilizando a metodologia descrita por Almeida et al. (2013) com algumas modificações. Amostras de 4 cm² do filme foram pesadas e secas em estufa com circulação de ar a 105 °C durante 24 h, em seguida imersas em béquer contendo 50 ml de água destilada e agitadas em mesa com agitação orbital durante 24 h. Ao final desse período as amostras foram filtradas utilizando papel de filtro previamente pesado. A solubilidade foi verificada por meio da variação de peso da amostra inicial com a amostra retida no papel de filtro.

5.2.5.5 Atividade de água

A atividade de água foi medida com o auxílio do equipamento *Aqualab* (Decagon Devices, Inc. Series 3 TE, USA), em amostras circulares com 2 cm de raio, cortadas a 25 °C, em triplicata.

5.2.5.6 Ensaio mecânicos

Os ensaios mecânicos foram realizados em um equipamento *Shimadzu AG-I* utilizando força de 10 KN, disponível no laboratório de ensaios mecânicos do Departamento de Engenharia de Materiais da UEPG. Conforme descrito por Mali et al. (2004), a espessura dos corpos de prova foi determinada em três pontos com micrômetro digital com 5 mm de largura. Os corpos de prova foram tracionados a uma

velocidade de 10 mm min⁻¹. A distância inicial entre as garras foi de 50 mm. Os ensaios foram realizados com dez repetições para cada amostra.

Através dos ensaios mecânicos, foi determinada a Resistência Máxima à Tração (N/mm²), a Elongação à Ruptura (%) e o Módulo Elástico (N/mm²) de cada amostra. Os cálculos para obter os resultados de Resistência Máxima à Tração e Elongação à Ruptura seguem de acordo com as Equações 7 e 8:

$$RMT = \frac{Fmáx}{Amin} \quad (7)$$

Onde:

RMT = Resistência Máxima à Tração;

Fmáx = Força máxima;

Amin = Área mínima.

$$ER = \frac{\Delta l}{DG \times 100} \quad (8)$$

Onde:

ER = Elongação à Ruptura;

Δl = Elongação total (*Stroke*);

DG = Distância entre as garras.

5.2.5.7 Microscopia eletrônica de varredura por efeito de campo (MEV-FEG)

Para a execução da análise no equipamento *Tescan MIRA 3* (TESCAN, Kohoutovice, República Checa), foram utilizados elétrons secundários (SE) com operação de voltagem de 15 kV e ampliação de 2000 x. As amostras foram cortadas em corpos de prova de aproximadamente 25 x 10⁻⁶ m² e recobertos com um material condutor de eletricidade (ouro), para melhoramento do contraste visual.

5.2.5.8 Permeabilidade ao vapor d'água

A permeabilidade ao vapor d'água dos filmes foi determinada de acordo com a metodologia descrita por Galdeano et al., (2013), com algumas modificações. Foram pesados previamente 1 g de cloreto de cálcio anidro juntamente com recipientes de vidro com 1 cm de diâmetro. Recobriu-se a borda dos recipientes com filme para que houvesse isolamento da parte interna do mesmo. Os recipientes foram armazenados em dessecador contendo solução supersaturada de NaCl, o qual foi colocado em estufa incubadora DBO (Tecnal, Piracicaba, Brasil) a 25°C para que o controle de

umidade relativa fosse ao máximo próxima de zero no interior do recipiente e com 75% na parte externa, em contato com o dessecador. A permeabilidade dos filmes ao vapor d'água foi calculada controlando-se o ganho de peso (g) e o tempo (s). A taxa de permeabilidade ao vapor d'água (TPVA) foi calculada através da Equação 9 e a permeabilidade (PVA) de acordo com a Equação 10:

$$TPVA = \frac{m}{t} \cdot \frac{1}{A} \quad (9)$$

Onde:

TPVA = Taxa de permeabilidade ao vapor d'água (g H₂O m⁻² s⁻¹);

m = massa (g);

t = tempo (s);

A = Área do filme (m²).

$$PVA = TPVA \frac{TPVA}{p(R1-R2)*e} \quad (10)$$

Onde:

PVA = Permeabilidade ao vapor d'água (g Pa⁻¹ s⁻¹ m⁻¹);

TPVA = Taxa de permeabilidade ao vapor d'água;

p = pressão de vapor da água a 25°C (Pa);

R1 = Umidade relativa no interior do dessecador;

R2 = umidade relativa dentro do recipiente;

e= espessura do filme (m).

p(R1-R2) = 1753.55 Pa.

5.2.5.9 Termogravimetria

As curvas termogravimétricas TG foram obtidas utilizando o equipamento TA-50 (Shimadzu – Japan). As amostras passaram por uma razão de aquecimento de 10 °C min⁻¹; atmosfera de ar sintético com vazão de 150 ml min⁻¹; temperatura inicial de

30 °C; temperatura final de 600 °C (OLIVEIRA et al., 2017). A massa das amostras, em média, foram 4.0 mg de cada amostra.

5.2.5.10 Microscopia de Força Atômica – AFM

A análise de Microscopia de Força Atômica – AFM foi executada no equipamento *Scanning probe microscope* SPM-9600 (Shimadzu), disponível no laboratório Multiusuário da UEPG. Foi utilizado ponteira de não contato, a qual atua por força de atração. Amostras de 20 x 20 µm foram preparadas para a leitura das superfícies dos filmes biodegradáveis de acordo com Pauli et al. (2011).

5.2.6 Análise Estatística

Os resultados das análises foram obtidos em triplicata e passaram por análise de variância (ANOVA) e teste de Tukey com 95% de confiança ($p < 0.005$). A análise estatística foi obtida com auxílio do *software* Statistica 7.0 (Statsoft Inc., Tulsa, OK, EUA).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 MATÉRIAS PRIMAS

5.1.1 Rendimento da extração

Após as extrações, foi calculado o rendimento separadamente, em base úmida e em base seca. Também foi aferida a umidade dos caroços triturados, antes de cada extração, para que fossem executados os cálculos. A umidade encontrada nos caroços foi de 61.5 ± 3.6 %, valor próximo ao encontrado por Silva et al., (2017), os quais obtiveram valores médios de 61.9 %. Observa-se na tabela 2 o rendimento encontrado nos três diferentes tipos de extrações.

Tabela 2: Rendimento das extrações de amido.

Amostra	Rendimento em base úmida (%)	Rendimento em base seca (%)
AEAQ	15.97	33.76
AEAL	21.29	41.48
AEAC	12.99	29.35

Fonte: A autora.

*Extrações de forma aquosa (AEAQ), alcalina (AEAL) e ácida (AEAC) de amido de caroço de abacate.

Comparando o rendimento em base úmida, quando extraído em água, o amido rendeu em quantidade condizente com Silva et al. (2013), o qual obteve um valor de

11,36 % em extração de amido de caroço de abacate utilizando uma metodologia relativamente parecida. Ferraz et al. (2014) avaliou a extração de farinha da semente de manga e encontrou valor médio de rendimento de 41.08 %, quantidade maior que a encontrada nesse estudo, considerando o rendimento em base seca. De acordo com Kowalski et al. (2017), o caroço de abacate contém em média 20.1 % de amido, sendo satisfatório o rendimento encontrado nos três diferentes métodos de extração.

O hidróxido de sódio (NaOH) opera como um agente alcalinizante durante a extração, podendo alterar as propriedades físico-químicas do amido. Sua ação purifica o carboidrato, uma possível explicação ao maior valor de rendimento comparado com os outros dois métodos. Industrialmente, a extração alcalina é a mais antiga na purificação de amidos de algumas fontes botânicas, como por exemplo o arroz. Essa extração se destaca pela facilidade de modificação química no grânulo, pois as principais reações de modificação ocorrem em pH alcalino (KARIM et al., 2008; SOUZA, 2016).

Segundo Nakazawa e Wang (2004), o amido em meio ácido forma uma proteção da zona cristalina, a qual dificulta a penetração do íon do ácido e as ligações glicosídicas no interior das suas duplas hélices, impedindo também a penetração do íon de hidrogênio. Na extração ácida há a degradação do amido em seus fragmentos de baixo peso molecular, envolvendo diretamente o conteúdo de amilose e amilopectina no interior do seu grânulo. Entre os três tipos de extração, a ácida foi a que apresentou um menor rendimento, Srichuwong et al. (2005) explica que amidos com teor alto de amilose apresentam um inchaço que limita a entrada do ácido na estrutura do grânulo, dificultando sua extração.

5.1.2 Composição centesimal das matérias-primas

A tabela 3 apresenta a composição centesimal do amido obtido através dos três tipos de extração (aquosa, alcalina e ácida), da farinha de caroço de abacate e do bagaço de mandioca.

Tabela 3: Composição centesimal das matérias primas.

Amostra*	Umidade (%)	Cinzas (%)	Lipídios (%)	Proteína (%)	Fibra bruta (%)	Carboidrato (%)
AEAQ	8.56 ^c ± 0.08	0.47 ^b ± 0.02	0.33 ^c ± 0.18	1.97 ^b ± 0.10	0.76 ^c ± 0.21	87.92 ^a
AEAL	9.14 ^b ± 0.21	0.64 ^b ± 0.08	0.48 ^c ± 0.18	1.46 ^c ± 0.31	0.84 ^c ± 0.89	87.45 ^a
AEAC	10.59 ^a ± 0.03	0.50 ^b ± 0.07	0.33 ^c ± 0.25	0.51 ^d ± 0.05	0.25 ^b ± 0.16	87.83 ^a
Farinha	9.57 ^b ± 0.27	2.72 ^a ± 0.22	1.91 ^b ± 0.06	4.64 ^a ± 0.24	3.02 ^a ± 0.55	78.14 ^b
Bagaço	8.88 ^c ± 0.11	2.49 ^a ± 0.02	3.61 ^a ± 0.65	1.71 ^b ± 0.13	16.31 ^a ± 1.92	67.00 ^c

Fonte: A autora.

*Valores de amidos obtidos por extração aquosa (AEAQ), alcalina (AEAL), ácida (AEAC), e da farinha integral do caroço de abacate (farinha) e bagaço de mandioca (bagaço).

**Letras diferentes na mesma coluna representam diferença significativa de acordo com o teste de Tukey (P<0.05).

A umidade encontrada nas matérias primas foi abaixo de 10.59 %. Para amidos e farinha, a legislação brasileira (BRASIL, 2005) estabelece como limite 14% de umidade, portanto, as amostras se encontram dentro do padrão. Os valores de umidade encontrados, apesar de estatisticamente darem diferença significativa, são valores próximos ao encontrado na literatura em amidos de diferentes fontes. Rengsutthi e Charoenrein (2011) encontraram valores de 9.59 % de umidade em amido de jaca e 11.74 % em amido de milho.

O baixo valor de cinzas, lipídeos, proteínas e fibra para os amidos demonstram um bom isolamento do carboidrato, independentemente do tipo de extração utilizada, ao comparar esses valores com os da farinha integral do caroço e do bagaço de mandioca, comprova-se essa purificação na extração. Nascimento et al. (2016) estudaram a composição físico-química da farinha de caroço de abacate e encontraram valores próximos, sendo 15 % de fibra bruta e 4.57 % de proteína.

O bagaço de mandioca também apresentou um elevado teor de carboidrato, porém, valores inferiores ao encontrado por Camargo et al. (2008), cerca de 79 % e valores superiores de lipídeos, comparado a esse mesmo estudo, o qual encontraram 0.92 %. Essa diferença na composição deve-se a condições de plantio, cultivares, época e clima diferentes da matéria prima.

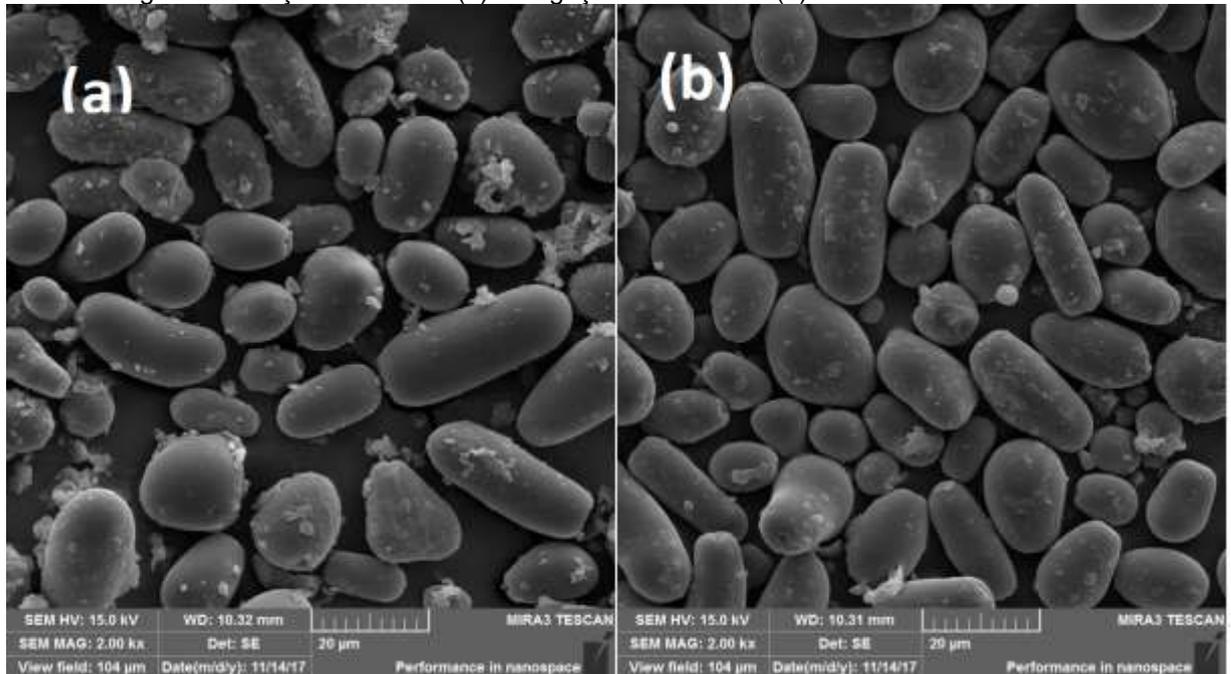
5.1.3 Microscopia eletrônica de Varredura com Emissão de Campo – (MEV/FEG) das matérias-primas

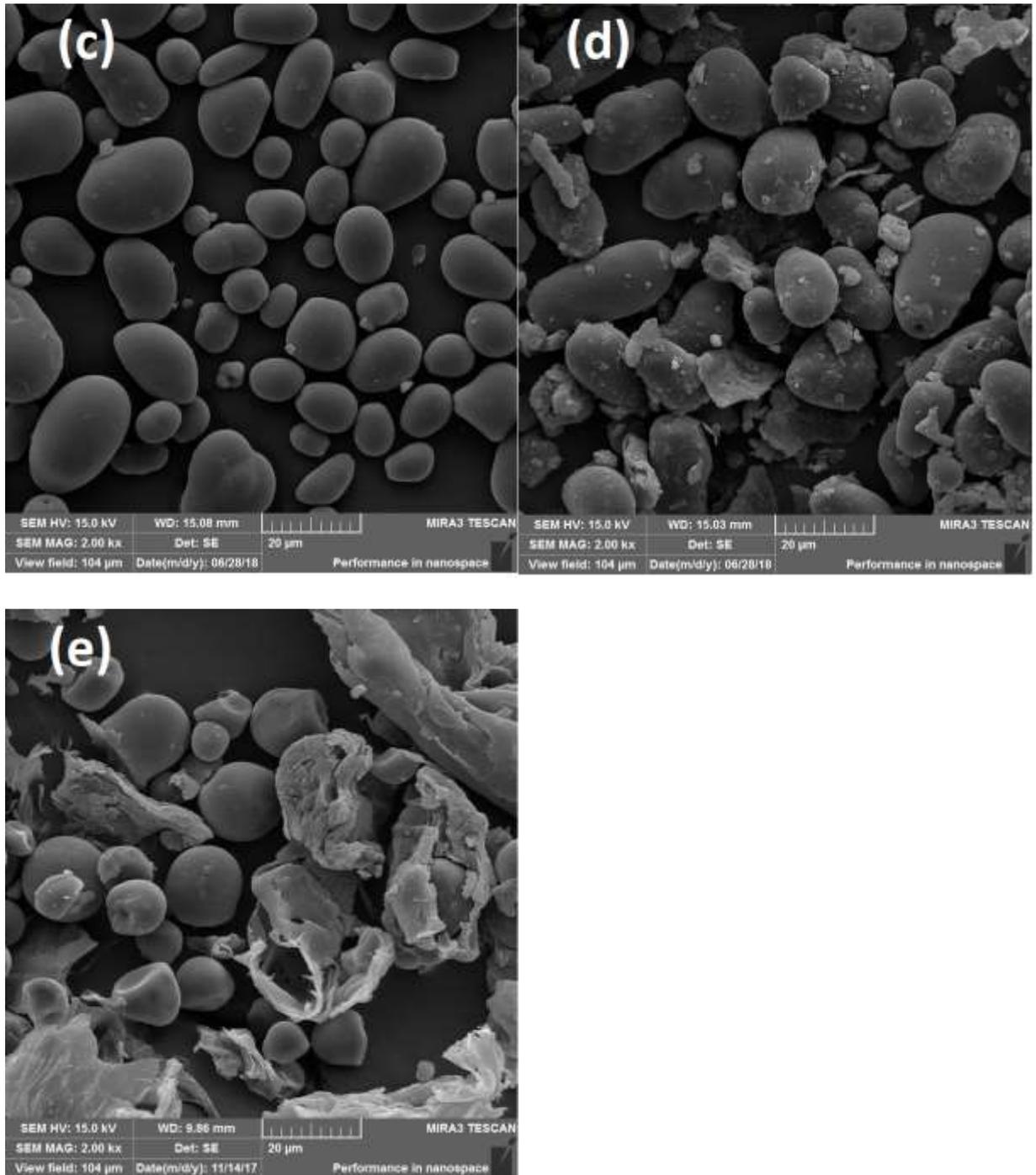
O grânulo de amido extraído do caroço de abacate apresenta forma oval e superfície lisa. A figura 14 apresenta a imagem morfológica dos grânulos extraídos,

da farinha integral e do bagaço de mandioca. Observa-se que a estrutura morfológica do amido de mandioca apresenta características diferentes do extraído do caroço de abacate, devido às fontes botânicas serem diferentes (SILVA et al., 2017).

Através da microscopia eletrônica de varredura pode-se observar o tamanho de cada grânulo. Em média, o amido de abacate apresenta cerca de 26 μm de diâmetro, enquanto que, o bagaço de mandioca apresenta cerca de 10 μm . Silva et al. (2013) observou a morfologia dos grânulos do amido de caroço de abacate e os resultados são equivalentes ao encontrado nesse trabalho.

Figura 14: Imagem morfológica dos grânulos extraídos por extração aquosa (a), alcalina (b), ácida (c), farinha integral do caroço de abacate (d) e bagaço de mandioca (e).





Fonte: A autora.

Comparando as imagens obtidas, nota-se que o tipo de extração não influenciou em modificação morfológica do grânulo, porém, a extração ácida resultou em uma purificação maior dos grânulos, o que corrobora com os resultados de análise centesimal, a qual resulta no carboidrato mais livre de impurezas em base seca. Observando as imagens da farinha integral do caroço de abacate e do bagaço de mandioca, pode-se perceber que apesar de muita impureza, são materiais altamente

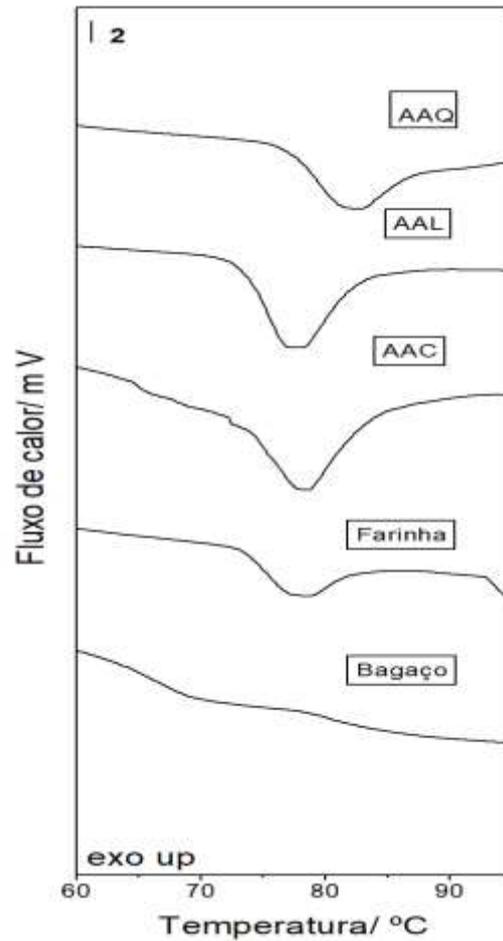
ricos em amido, o que torna possível a tentativa de se utilizar esse material integral para formação de filmes biodegradáveis.

Nota-se ainda, que apesar de uma maior purificação nas extrações alcalina e ácida, através dessa análise não é possível afirmar que houve modificação química do grânulo ao entrar em contato com os reagentes químicos durante a extração. O tempo, intensidade, concentração e/ou temperatura de reação não foram suficientes para que houvesse uma modificação morfológicamente notável, mas não se pode descartar a possibilidade de mudança causada pela destruição das pontes de hidrogênio devido aos íons hidroxila penetrarem no grânulo, mudança a qual pode ser observada através de outras análises (GARCIA et al., 2016; SOUZA, 2016).

5.1.4 Calorimetria Exploratória Diferencial – DSC

A análise de DSC fornece medidas quantitativas de fluxo de calor necessário para que ocorra a gelatinização, a qual fornece picos endotérmicos representados por meio de curvas em uma faixa característica para cada fonte botânica (FIGUEROA et al., 2015). Na figura 15 se encontram as curvas de gelatinização dos amidos de caroço de abacate, da farinha integral do caroço de abacate e do bagaço de mandioca. Para todas as amostras, as curvas demonstraram a típica mudança de entalpia de gelatinização. A tabela 4 apresenta os dados de entalpia, temperatura *on set*, temperatura de pico, e da temperatura final do evento obtido no aparelho de Calorimetria Exploratória Diferencial – DSC

Figura 15: Curva DSC dos amidos extraídos de forma aquosa (AAQ), alcalina (AAL), ácida (AAC), farinha integral do caroço de abacate (farinha) e bagaço de mandioca (bagaço).



Fonte: A autora.

Tabela 4: Dados de Entalpia de gelatinização, Temperaturas inicial, de pico e final das amostras.

Amostra	ΔH (J/g)	T_0 (°C)	T_p (°C)	T_f (°C)	$T_f - T_0$ (°C)
AEAQ	$7.7^c \pm 0.33$	$69.5^a \pm 0.03$	$74.7^a \pm 0.01$	$81.6^a \pm 0.30$	12.1^b
AEAL	$12.0^a \pm 0.11$	$65.4^c \pm 0.02$	$69.7^c \pm 0.01$	$77.1^c \pm 0.32$	11.7^b
AEAC	$9.0^b \pm 0.19$	$65.8^b \pm 0.13$	$71.3^b \pm 0.10$	$77.8^b \pm 0.13$	12^b
Farinha	$5.6^c \pm 0.06$	$65.5^c \pm 0.01$	$70.1^b \pm 0.02$	$77.6^b \pm 0.40$	12.1^b
Bagaço	$2.2^d \pm 0.75$	$64.2^d \pm 0.04$	$69.5^c \pm 0.01$	$77.8^b \pm 0.74$	13.6^a

Fonte: A autora.

*Valores de amidos obtidos por extração aquosa (AEAQ), alcalina (AEAL), ácida (AEAC), e da farinha integral do caroço de abacate (farinha) e bagaço de mandioca (bagaço).

**Letras diferentes na mesma coluna representam diferença significativa de acordo com o teste de Tukey ($P < 0.05$).

Os diferentes tipos de extração influenciaram na entalpia de gelatinização do amido. Nota-se que a extração alcalina fez aumentar a entalpia e diminuir as temperaturas do evento, o que pode sugerir que ocorreu uma leve modificação química no momento da extração devido a presença do reagente alcalinizante. A extração ácida também fez com que alterasse os valores de entalpia e temperatura, porém, de uma forma mais branda. De acordo com Molavi et al. (2018), certas modificações químicas deixam o amido mais resistente à entrada e retenção de água, fazendo com que necessite uma maior energia para que ocorra a formação de pasta.

Para o bagaço de mandioca, a curva e o valor de entalpia encontrado foram mais amenos que as demais amostras, isso se deve aos interferentes da amostra, os quais não gelatinizam. A quantidade significativa de fibras nessas amostras fez com que diminuísse o valor e a curva de gelatinização, visto que, comparando com os amidos extraídos, tanto o bagaço quanto a farinha integral de caroço de abacate requerem à uma menor energia para romper a região cristalina das moléculas de amido existentes em sua composição (SANTOS et al., 2016). Os valores encontrados para o bagaço de mandioca corroboram com os encontrados por Travalini (2015), cujo valores para o bagaço de mandioca foram de 2.4 J.g⁻¹, 63.4 °C, 70.7 °C e 78.2 °C para entalpia e temperaturas de início, pico e final do evento, respectivamente.

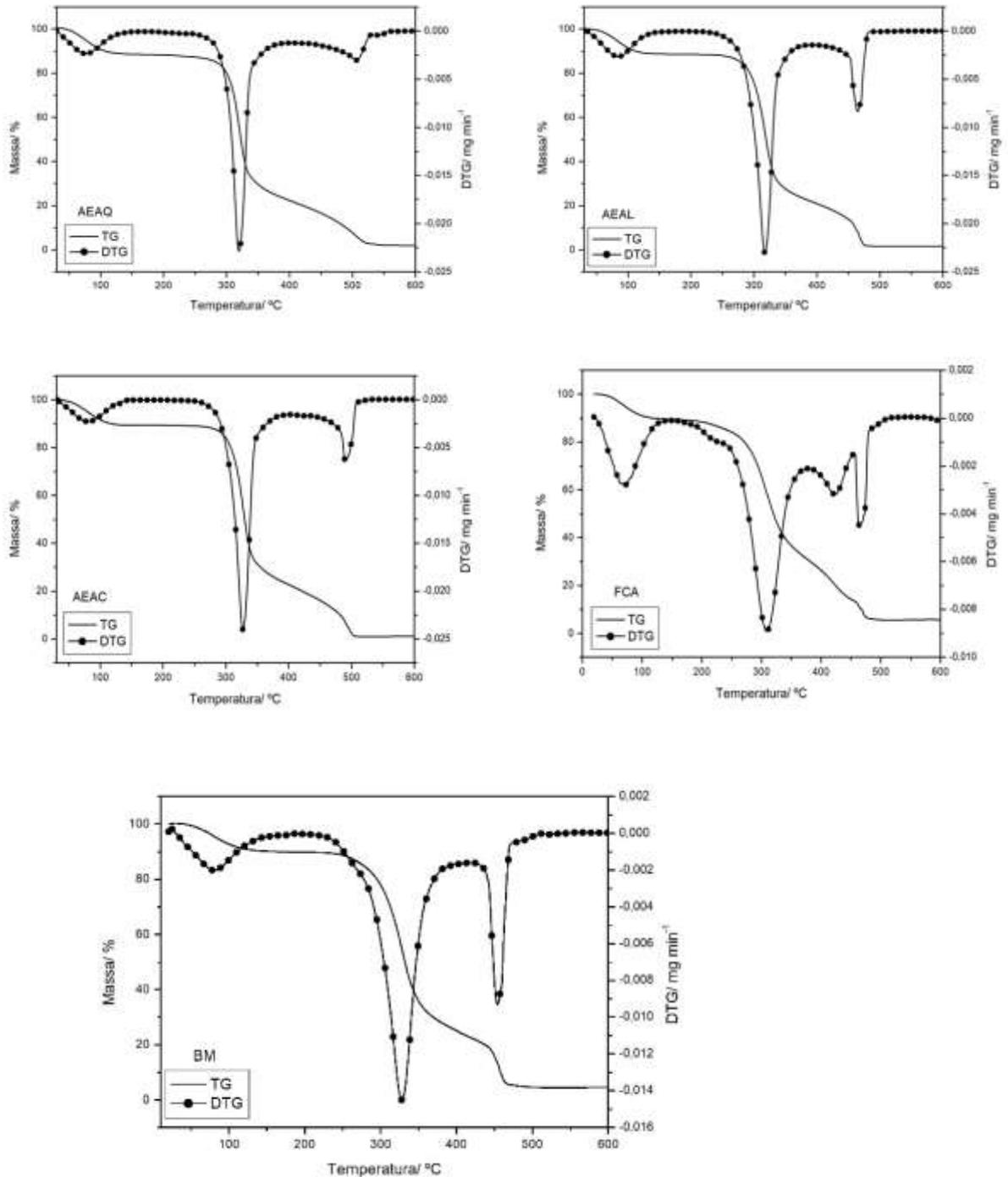
Além disso, nota-se um alargamento maior na curva de gelatinização para as amostras de farinha de caroço de abacate e do bagaço de mandioca, ou seja, a faixa de temperatura de término (T_f) e de início (T_0) do evento foi maior para essas amostras quando comparadas às amostras de amido, comprovando a maior pureza de material nas amostras de amido obtido por extração aquosa, alcalina e ácida, que na farinha e no bagaço. Fatores como formação de complexos lipídicos, organização molecular da amilopectina, grau de cristalinidade, podem influenciar a temperatura de gelatinização do amido (MOLAVI et al., 2018; APRIANITA et al., 2014)

5.1.5 Termogravimetria – TG

A análise de Termogravimetria permite observar o comportamento térmico das matérias primas. Todas as amostras demonstraram perdas de massa em três etapas de evento e um período de estabilidade entre a primeira e a segunda etapa. Através das curvas obtidas na DTG é possível observar os picos referentes às variações de massa. Esse recurso matemático auxilia na identificação das perdas, encontradas no

equipamento de Termogravimetria. As curvas termogravimétricas das amostras de amido, farinha do caroço e do bagaço de mandioca são apresentados na figura 16.

Figura 16: Curva de termogravimetria dos amidos extraídos de forma aquosa (AEAQ), alcalina (AEAL), ácida (AEAC), farinha integral de caroço de abacate (FCA) e bagaço de mandioca (BM).



Fonte: A autora.

Os dados representam as etapas de perda de massa, com o intervalo de temperatura que cada amostra possui. Apesar de todas as amostras apresentarem três etapas de perda de massa e uma etapa de estabilidade, as temperaturas e o tempo de cada uma apresentam valores diferentes, o que caracteriza a diferença de composição de cada amostra. Os valores obtidos são apresentados na tabela 5.

Tabela 5: Dados de Termogravimetria das matérias primas.

Amostra	1ª etapa		Estabilidade	2ª etapa		3ª etapa	
	Δ_m (%)	Δ_t (°C)	Δ_t (°C)	Δ_m (%)	Δ_t (°C)	Δ_m (%)	Δ_t (°C)
AEAQ	10.5	30.0 - 132.5	132.5 - 255.9	65.8	255.9 - 395.0	22.4	395.0 - 531.1
AEAL	11.3	30.0 - 152.6	152.6 - 240.7	65.9	240.7 - 387.0	20.8	387.0 - 491.6
AEAC	11.9	30.0 - 149.5	149.5 - 241.9	63.8	242.1 - 387.4	21.9	387.4 - 544.8
Farinha	10.3	30.0 - 136.2	136.2 - 178.2	59.6	177.6 - 384.1	24.1	384.1 - 507.0
Bagaço	10.3	30.0 - 162.3	162.3 - 219.2	65.5	219.2 - 406.0	19.8	406.0 - 509.7

Fonte: A autora.

*Valores de amidos obtidos por extração aquosa (AEAQ), alcalina (AEAL), ácida (AEAC), e da farinha integral do caroço de abacate (farinha) e bagaço de mandioca (bagaço).

Segundo Lacerda et al. (2015), a primeira etapa corresponde à perda de água do material, ou seja, quanto maior a perda na primeira etapa, mais úmida é a amostra. Os dados obtidos nessa etapa corroboram com os encontrados na análise de umidade (tabela 3), cujas as amostras apresentam cerca de 10 % de umidade em sua composição. A segunda etapa ocorre devido à degradação térmica e representa à decomposição da matéria orgânica de cada amostra, nessa etapa ocorre a despolimerização do material. A terceira etapa corresponde à oxidação da matéria orgânica, restando apenas a massa de cinzas.

A variação de temperatura do amido extraído de forma aquosa foi menor quando comparada às extrações químicas. Os reagentes químicos no momento da extração alteraram a estrutura química do amido, fazendo com que apresente uma maior resistência térmica. Tanto o bagaço de mandioca quanto a farinha integral do caroço de abacate apresentaram intervalos de estabilidades menores que os do amido, esse fato se dá pela presença de impurezas nas amostras, ao apresentar diferentes transições térmicas, a decomposição nessa faixa de temperatura ocorre de forma contínua (RIBEIRO; ASCHERI e ASCHERI, 2017; SIQUEIRA et al., 2015).

A faixa de estabilidade térmica para os amidos extraídos de forma alcalina e ácida foram menores que o de forma aquosa. Kubiaki et al. (2016), ao estudar amido de castanha modificado por tratamento enzimático observaram uma estabilidade decrescente parecida a partir da amostra modificada, a qual provavelmente ocorre devido a uma área de superfície maior do material, facilitando a sua degradação térmica.

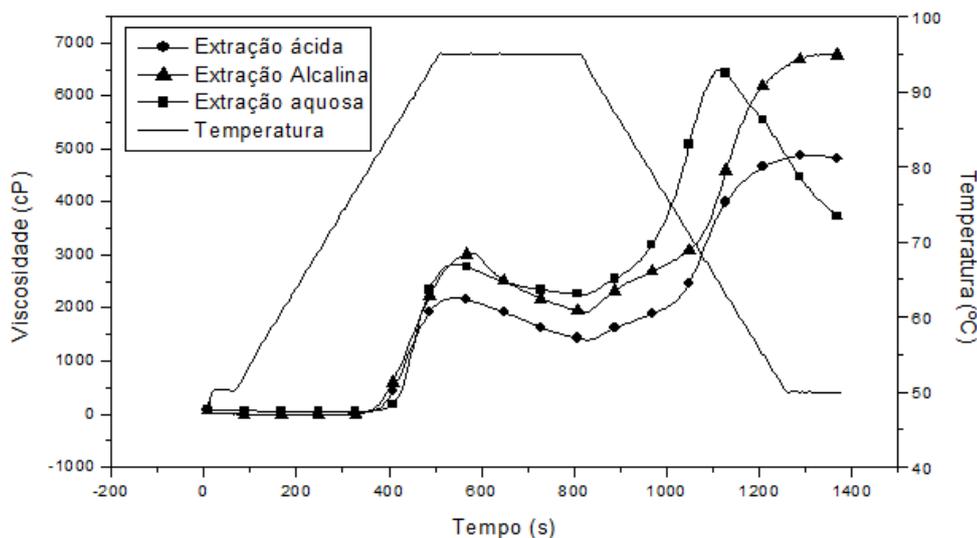
Segundo Santana et al. (2017), a despolimerização do amido ocorre na faixa dos 300 °C, nessa fase, alguns derivados glicosídicos (como reação de Maillard) e gases complexos são liberados. A segunda etapa do evento em estudo se encontra nessa faixa para todas as amostras analisadas.

A terceira etapa de perda para o bagaço foi menor que para as outras amostras, devido à sua maior perda ter acontecido na segunda etapa (KUBIAKI et al., 2016). Ao final da terceira etapa, a massa de resíduo em porcentagem é de 1.31 % para o amido de abacate extraído de forma aquosa, 2.03 % para o extraído de forma alcalina, 2.42 % para o amido extraído de forma ácida, 6.06 % para a farinha integral do caroço de abacate e 4.4 % para o bagaço de mandioca. Os valores obtidos de cinza nessa análise são superiores ao encontrado na análise de composição centesimal para cinzas, na tabela 3, mas se encontram na mesma proporção, indicando um maior residual de cinzas na farinha e no bagaço do que no amido.

5.1.6 Propriedades de Pasta

O perfil de viscosidade dos amidos extraídos está representado pela figura 17 e os resultados na tabela 6. Amidos de diferentes fontes botânicas apresentam diferentes pontos de formação de pasta, resfriamento e retrogradação. Esses parâmetros podem ser observados nas curvas de viscosidade obtidas por RVA. É importante determinar o comportamento funcional do amido durante seu aquecimento e resfriamento para garantir sua aplicabilidade de forma correta (LACERDA; DEMIATE, 2015).

Figura 17: Gráfico de perfil de viscosidade dos amidos extraídos de forma aquosa, alcalina e ácida.



Fonte: A autora.

É possível observar que a viscosidade final da pasta, formada pelo segundo pico do gráfico, é maior que a viscosidade de pico, indicando uma grande tendência desse tipo de amido à retrogradação. A temperatura de pasta para o amido de caroço de abacate variou de 79 °C a 83 °C, de acordo com os diferentes tipos de extração. Essa temperatura é maior que a encontrada por Mendes et al. (2016) os quais analisaram amido de caroço de manga, e encontraram uma temperatura de 76 °C. A resistência maior em formar pasta no amido de caroço de abacate sugere que as fortes ligações intercruzadas quimicamente façam com que os grânulos apresentem um poder de inchamento mais baixo, e assim, serem menos susceptíveis à ruptura com aquecimento prolongado ou atrito mecânico (SILVA; SILVA 2005).

Lacerda et al. (2014) ao estudar o perfil viscoamilográfico de amido de caroço de abacate, observou que amidos dessa fonte botânica apresentam uma alta reorganização de polímeros de amilose e amilopectina, devido à tendência de formar ligações de hidrogênio entre moléculas adjacentes, fazendo com que a opacidade e viscosidade aumentem no final do evento.

Tabela 6: Dados de viscoamilografia das amostras

Amostras*	Pico (cP)	Mínimo (cP)	Quebra (cP)	Visc. Final (cP)	Retrogradação (cP)	Tempo de Pico (min)	Temp. de pasta (°C)
AEAQ	2828.00 ^a ± 83.30	2258.00 ^a ± 28.32	570.00 ^c ± 43.00	3684.83 ^c ± 132.01	1426.00 ^c ± 47.21	8.93 ^b ± 0.16	83.60 ^c ± 0.22
AEAL	2984.50 ^a ± 70.00	1895.50 ^b ± 30.41	1089.00 ^a ± 39.60	6828.00 ^a ± 140.00	4932.50 ^a ± 170.41	9.60 ^a ± 0.18	79.80 ^a ± 0.21
AEAC	2194.50 ^b ± 125.16	1400.50 ^c ± 219.91	794.00 ^b ± 94.75	4813.50 ^b ± 181.73	3413.00 ^b ± 38.18	9.03 ^a ± 0.23	81.40 ^b ± 0.35

Fonte: A autora.

*Valores de amidos obtidos por extração aquosa (AEAQ), alcalina (AEAL) e ácida (AEAC).

**Letras diferentes na mesma coluna representam diferença significativa de acordo com o teste de Tukey (P<0.05).

Quando se compara a viscosidade dos três tipos de extrações, pode-se perceber que há uma redução na temperatura de pasta do amido quando extraído quimicamente, indicando que os reagentes químicos diminuíram essa resistência inter cruzada da estrutura química do amido nativo. Os valores numéricos para a viscosidade de pico (2194.5 – 2984.5 cP) foram menores que o encontrado por Santos et al. (2016) que ao analisar o perfil de viscosidade de amidos de caroço de abacate encontrou 4421 cP, apesar do estudo concluir um perfil parecido para o mesmo tipo de amido, o qual sofre uma queda na viscosidade após o inchaço e colapso dos grânulos, e um posterior aumento de viscosidade, demonstrando uma grande tendência à retrogradação.

O amido de abacate apresenta uma maior resistência térmica quando comparado ao amido de milho, porém, devido à sua tendência à Retrogradação, é uma fonte com menor indicação para aplicabilidade de armazenamento sob refrigeração após formação de pasta, a qual poderia contribuir para a sinérese (SANDHU e SINGH, 2007).

As temperaturas de pasta observadas no RVA para o amido extraído de forma aquosa, alcalina e ácida, respectivamente (83.6; 79.8; 81.4 °C) foram maiores que as encontradas no DSC (69.5; 65.4; 65.8 °C), porém, a proporção de cada análise com relação ao tipo de extração é coerente, indicando que o tipo de extração quando utilizado reagente químico (alcalino ou ácido) interfere na estrutura química do amido. Essa diferença de valores entre as duas análises é justificada devido à menor sensibilidade do aparelho de RVA detectar aumentos precoces na viscosidade da pasta do amido, enquanto que, a temperatura de gelatinização é detectada quando as

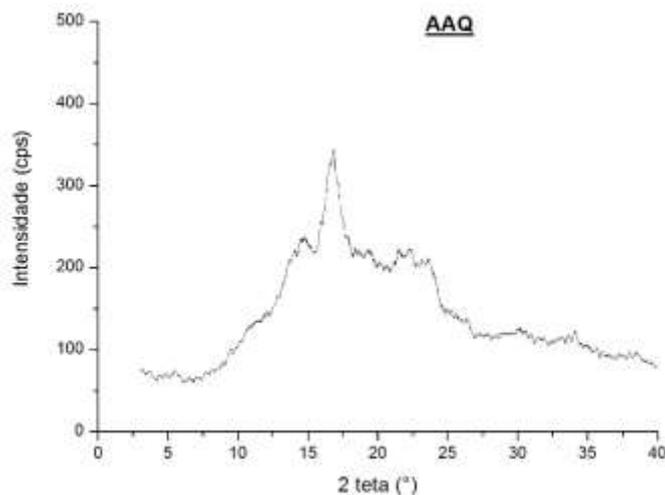
regiões cristalinas dos primeiros grânulos começam a se romper (PÉREZ, BREENE e BAHNASSEY, 1998).

5.1.7 Difração de raios X

Através da análise de difração de raios X, pode-se observar as características do amido de abacate, assim como, seu padrão de cristalinidade. Os padrões de difração de raios X mais comuns no amido são dos tipos A, B e C. Os picos característicos do tipo A ocorrem em 15, 17, 18 e 23 °, e são típicos de amidos de cereais. Já os amidos de tubérculos são normalmente caracterizados pelo padrão do tipo B, e aparecem em ângulos de 5.8, 15, 17 e 20 °. Os padrões de tipo C, normalmente são encontrados em amidos de leguminosas, e seus picos aparecem em ângulos de 5.5, 15, 17 e 22 ou 23 ° (KUBIAKI et al., 2016).

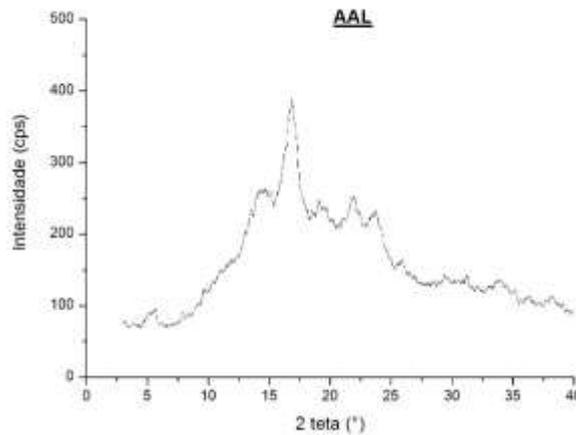
As figuras 18, 19 e 20 apresentam graficamente a difratometria de raios X dos amidos extraídos das três diferentes formas: aquosa, alcalina e ácida, respectivamente.

Figura 18: Difratometria de raios X do amido extraído de forma aquosa (AAQ)



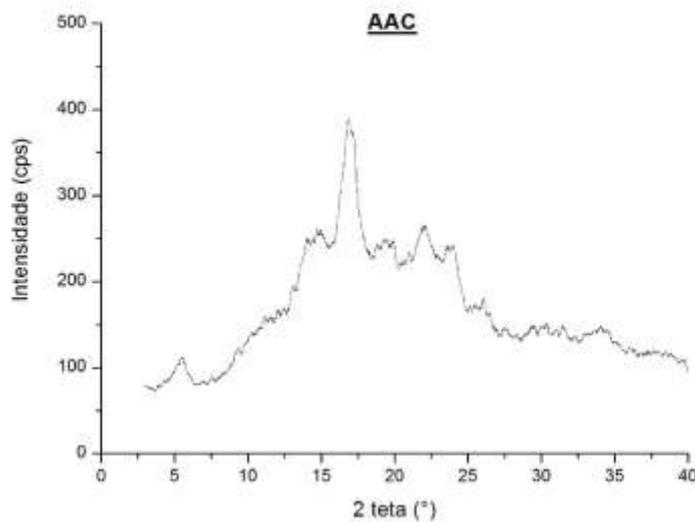
Fonte: A autora.

Figura 19: Difratometria de raios X do amido extraído de forma alcalina (AAL)



Fonte: A autora.

Figura 20: Difratometria de raios X do amido extraído de forma ácida (AAC)



Fonte: A autora.

As propriedades do amido de caroço de abacate revelam diferentes formas de empacotamento das duplas hélices de amilopectina, sendo caracterizado como tipo C, por apresentar três picos principais nos ângulos de difração em 14° ; 17° e 23° a 2θ . Esse resultado corrobora com o encontrado por Silva et al. (2013), que comparou o amido de caroço de abacate nativo como o modificado.

O fato de extrair o amido de três formas diferentes não influenciou no resultado da análise, o que significa dizer que não foi alterada a estrutura cristalina do grânulo em nenhum momento de extração. Estudos comprovam que modificações químicas

não alteram a estrutura cristalina de grânulos de amido, sejam do tipo A, B ou C (GUNARATNE e HOOVER, 2002; SILVA et al. 2013; KUBIAKI et al., 2016).

Os valores médios de índice de cristalinidade para os amidos extraídos de forma aquosa, alcalina e ácida, foram respectivamente $22.6^a \% \pm 2.54$; $23.2^a \% \pm 3.25$ e $25.2^a \% \pm 2.70$. Os índices de cristalinidade (IC) para os três diferentes tipos de extrações não apresentaram diferença significativa, porém, nota-se um aumento das regiões cristalinas do amido quando extraído quimicamente. O índice de cristalinidade pode variar de acordo com a composição do amido. Esse aumento na cristalinidade indica degradação das regiões amorfas do amido por parte dos álcalis na extração alcalina e dos íons H^+ durante a extração ácida (LUBIS et al., 2018; KUBIAKI et al., 2016).

5.1.8 Teor de Amilose

A aplicabilidade do amido é diretamente influenciada pelo seu teor de amilose. As diferentes proporções de amilose e amilopectina diferenciam cada tipo de fonte botânica, sugerindo diferentes aplicações entre elas (VANIER et al., 2017; OLIVEIRA et al., 2016).

O teor de amilose presente no amido de abacate é superior quando comparado a outras fontes, para grãos, os níveis de amilose podem variar de 15 a 25 % (DENARDIN e SILVA, 2009). O teor médio de amilose obtido foi de $33.6 \% \pm 0.26$, 32.8 ± 0.45 e 32.1 ± 0.32 para as amostras de amido extraído de forma aquosa, alcalina e ácida, respectivamente. Os valores foram parecidos com o encontrado por Builders et al. (2010), o qual analisou amido de abacate e encontrou um teor de amilose de 32.5 %. Os diferentes tipos de extração não influenciaram na proporção amilose-amilopectina das amostras, ou seja, independentemente do método de extração, não houve diferença significativa na quantidade desse polímero de cadeia essencialmente linear nas amostras.

De acordo com Simkova et al. (2013), a quantidade de amilose pode variar dependendo do estágio de maturação, local e condições de cultivo para uma mesma cultivar de planta. Amidos com elevado teor de amilose formam complexos mais estáveis e cristalinos devido ao grande empacotamento de cadeias lineares, as quais

podem dificultar interações com lipídios e proteínas, facilitando sua purificação (SEO, KIM e LIM, 2015).

A formação de filmes biodegradáveis à base de amido se baseia nas propriedades físicas, químicas e funcionais da amilose em formar géis, ou seja, quanto maior o teor de amilose, melhor é a capacidade do amido de formar filme (MALI; GROSSMANN; YAMASHITA, 2010).

5.2 Filmes biodegradáveis

5.2.1 Umidade, Gramatura, Densidade, Solubilidade em água e Atividade de água

A análise de umidade permite verificar a quantidade de água presente no filme formado. É importante analisar a umidade e a atividade de água na formação de filmes biodegradáveis, visto que, o amido apresenta natureza hidrofílica, o que o torna susceptível a alterações de umidade, podendo ser prejudicial no ponto de vista microbiológico (MALI, GROSSMANN e YAMASHITA, 2009).

O filme biodegradável deve apresentar solubilidade compatível com o material que está em contato. A análise de solubilidade permite indicar a correta aplicação do filme, seja insolúvel para embalagens de alimentos, ou solúvel para embalar materiais hidrofóbicos, como por exemplo capsulas de aditivos (ZAVAREZE et al., 2012).

A tabela 7 apresenta os dados obtidos nas análises de umidade, gramatura, densidade, solubilidade e atividade de água para os filmes formados, os quais estão numerados de acordo com a tabela 1.

Tabela 7: Valores de umidade, gramatura, densidade, solubilidade e Atividade de água dos filmes.

Amostra	Umidade (%)	Gramatura (g/m ²)	Densidade (g/cm ³)	Solubilidade (g/100g)	Aw
1	29.54 ^{def} ± 0.75	107.16 ^{ab} ± 2.54	0.97 ^{ab} ± 0.81	23.56 ^b ± 1.34	0.63 ^a ± 0.001
3	31.70 ^{de} ± 1.78	88.33 ^{ab} ± 1.78	1.10 ^{ab} ± 1.04	27.13 ^{ab} ± 2.75	0.56 ^d ± 0.000
4	34.32 ^{cd} ± 0.84	128.16 ^a ± 2.17	1.42 ^{ab} ± 2.41	24.92 ^{ab} ± 1.17	0.59 ^c ± 0.005
5	42.29 ^{ab} ± 1.51	53.66 ^b ± 3.81	0.63 ^{ab} ± 1.47	29.43 ^{ab} ± 1.71	0.60 ^{bc} ± 0.001
6	36.66 ^{bcd} ± 0.29	118.00 ^a ± 1.63	0.97 ^b ± 1.35	24.75 ^{ab} ± 1.62	0.53 ^f ± 0.011
7	34.96 ^{cde} ± 1.09	89.25 ^{ab} ± 1.89	1.06 ^{ab} ± 1.61	30.10 ^{ab} ± 0.95	0.55 ^{de} ± 0.003
8	39.34 ^{abc} ± 0.58	116.16 ^a ± 1.28	0.93 ^{ab} ± 3.64	28.71 ^{ab} ± 2.29	0.56 ^d ± 0.006
9	34.05 ^{cde} ± 0.51	96.25 ^{ab} ± 4.51	0.94 ^b ± 1.06	14.83 ^c ± 1.52	0.54 ^{ef} ± 0.010
10	46.40 ^a ± 0.24	83.16 ^{ab} ± 1.08	0.71 ^b ± 0.32	26.61 ^{ab} ± 2.96	0.56 ^{de} ± 0.009
11	32.51 ^{cde} ± 0.55	127.08 ^a ± 3.81	1.19 ^{ab} ± 0.78	31.83 ^a ± 1.13	0.59 ^c ± 0.008
12	23.57 ^f ± 0.66	49.16 ^b ± 2.83	1.01 ^{ab} ± 1.87	24.87 ^{ab} ± 1.81	0.61 ^{ab} ± 0.007
13	28.82 ^{ef} ± 1.71	97.16 ^{ab} ± 1.21	1.40 ^{ab} ± 0.32	28.01 ^{ab} ± 1.15	0.62 ^a ± 0.009
14	31.33 ^{de} ± 0.73	102.66 ^{ab} ± 3.25	1.60 ^a ± 0.58	24.63 ^{ab} ± 2.66	0.61 ^{ab} ± 0.001

Fonte: A autora.

Amostra 1: farinha de caroço de abacate, amostra 3: amido de extração aquosa e farinha, amostra 4: amido de extração aquosa e bagaço de mandioca, amostra 5: amido de extração alcalina e farinha, amostra 6: amido de extração alcalina e bagaço, amostra 7: amido de extração ácida e farinha, amostra 8: amido de extração ácida e bagaço, amostra 9: amido de extração aquosa, farinha e bagaço, amostra 10: amido de extração alcalina, farinha e bagaço, amostra 11: amido de extração ácida, farinha e bagaço, amostra 12: amido de extração aquosa, amostra 13: amido de extração alcalina, amostra 14: amido de extração ácida.

*Letras diferentes na mesma coluna representam diferença significativa de acordo com o teste de Tukey (P<0.05).

Obs: A amostra de número 2, formada apenas por bagaço de mandioca não formou filme, não podendo ser analisada assim como as demais.

As amostras apresentaram diferenças nos valores de umidade em torno de 23 %. Essa diferença pode ser explicada devido à adição das fibras de bagaço de mandioca e da farinha de caroço de abacate. A amostra 10, a que apresentou maior valor de umidade é composta pela mistura de amido obtido por extração aquosa, farinha integral de caroço de abacate e bagaço de mandioca. Sugere-se que a grande quantidade de fibras na amostra prejudicou a termoplasticidade do material formado, restando uma menor porcentagem de amido para a formação do filme. Tapia et al. (2012) encontrou valores de 38 % de umidade para filmes formados a partir de amido de batata-doce. Ao comparar as amostras que continham apenas amido, glicerol e água em sua composição (amostras 12, 13 e 14), percebe-se que o amido de extração aquosa formou filmes menos úmidos que os demais.

Os valores de densidade dos filmes apresentaram diferença estatística entre si, sendo que não houve correlação entre os filmes obtidos a partir de adição de fibras e

os formados somente com amido. Os resultados encontrados, em média 0.99 g.cm^{-3} , foram menores que os encontrados por Costa et al. (2017), os quais encontraram média de 1.23 g.cm^{-3} para densidade de filme de amido de feijão, e quando comparados apenas os filmes com formulações que não continham fibras, os valores se aproximam.

Ao analisar a gramatura dos filmes, estima-se que quanto maior sua densidade e gramatura, mais resistente o filme se apresenta (HENRIQUE, CEREDA e SARMENTO, 2008). Os valores de densidade e gramatura dos filmes variaram de 0.63 a 1.60 g.m^{-3} e 49.16 a 128.16 g.cm^{-2} , respectivamente, próximos aos encontrados por Bedim (2014), com 1.15 g.m^{-3} de densidade e 93 g.m^{-2} de gramatura para filmes formados com amido de feijão.

A determinação de atividade de água em alimentos é fundamental para a escolha e estabelecimento de um correto processamento dos produtos. A atividade de água é dada pela relação entre a pressão de vapor de água do alimento e a pressão de vapor de água pura à mesma temperatura (FERNANDES et al., 2016).

5.2.2 Testes mecânicos

Os ensaios mecânicos têm a finalidade de avaliar a resistência dos filmes. Dantas et al. (2015), ao analisar filme de amido de mandioca, observou uma melhora nas propriedades físicas dos filmes, ao adicionar polpa de fruta na incorporação dos mesmos. Ao adicionar uma quantidade limitada de fibras, a resistência mecânica dos filmes tende a melhorar, porém, se ultrapassar o limite entra a quantidade ideal de fibras com relação à proporção de amidos, as propriedades físicas dos materiais ficam comprometidas. A tabela 8 apresenta os dados obtidos nos ensaios mecânicos.

Tabela 8: Valores dos ensaios mecânicos para os filmes.

Amostra	Espessura	Resistencia máxima a tração (N/mm ²)	Elongação à ruptura (%)	Módulo elástico (N/mm ²)
1	0.106 ^{ab} ± 0.01	-	-	-
3	0.081 ^{cde} ± 0.01	1.73 ^b ± 0.39	9.30 ^b ± 2.73	425.25 ^{ab} ± 1.29
4	0.093 ^{bcd} ± 0.02	1.79 ^b ± 0.12	9.15 ^b ± 3.73	441.06 ^{ab} ± 1.02
5	0.084 ^{bcd} ± 0.02	1.77 ^b ± 0.12	9.49 ^b ± 2.92	523.80 ^{ab} ± 1.77
6	0.121 ^a ± 0.01	1.36 ^b ± 0.09	10.01 ^b ± 1.53	308.82 ^{ab} ± 1.97
7	0.084 ^{bcd} ± 0.01	1.40 ^b ± 0.14	7.92 ^b ± 1.80	435.79 ^{ab} ± 1.02
8	0.124 ^a ± 0.02	1.31 ^b ± 0.27	9.60 ^b ± 2.39	301.12 ^b ± 0.84
9	0.102 ^{abc} ± 0.01	1.27 ^b ± 0.21	7.03 ^b ± 1.14	382.73 ^{ab} ± 1.15
10	0.116 ^a ± 0.01	1.41 ^b ± 0.16	7.14 ^b ± 1.19	353.76 ^{ab} ± 1.06
11	0.106 ^{ab} ± 0.01	2.82 ^a ± 0.92	9.23 ^b ± 1.83	335.79 ^{ab} ± 1.79
12	0.073 ^{de} ± 0.01	2.98 ^a ± 0.49	19.17 ^a ± 2.25	565.28 ^{ab} ± 1.18
13	0.069 ^{de} ± 0.01	2.91 ^a ± 0.56	23.38 ^a ± 1.87	424.00 ^{ab} ± 1.79
14	0.064 ^e ± 0.01	3.12 ^a ± 0.35	24.11 ^a ± 1.69	593.33 ^a ± 1.67

Fonte: A autora.

Amostra 1: farinha de caroço de abacate, amostra 3: amido de extração aquosa e farinha, amostra 4: amido de extração aquosa e bagaço de mandioca, amostra 5: amido de extração alcalina e farinha, amostra 6: amido de extração alcalina e bagaço, amostra 7: amido de extração ácida e farinha, amostra 8: amido de extração ácida e bagaço, amostra 9: amido de extração aquosa, farinha e bagaço, amostra 10: amido de extração alcalina, farinha e bagaço, amostra 11: amido de extração ácida, farinha e bagaço, amostra 12: amido de extração aquosa, amostra 13: amido de extração alcalina, amostra 14: amido de extração ácida.

*Letras diferentes na mesma coluna representam diferença significativa de acordo com o teste de Tukey (P<0.05).

Obs: A amostra de número 2, formada apenas por bagaço de mandioca não formou filme, não podendo ser analisada assim como as demais.

Ao observar a tabela 8, nota-se que a resistência dos filmes se apresentou diretamente proporcional a suas espessuras, respectivamente. A amostra de número 1, a qual continha apenas fibra obtida pela farinha integral de caroço de abacate, não apresentou valores de resistência, alongação à ruptura e módulo elástico. A amostra rompia antes mesmo do equipamento contabilizar a força no momento da tração, não sendo possível obter valores numéricos.

Os filmes mais resistentes mecanicamente são os obtidos a partir do amido como única fonte termoplástica do material, dentre eles, a amostra de número 14, feita a partir de amido de caroço de abacate obtido por extração ácida, foi a que apresentou um maior valor de resistência. A purificação química gerada nas extrações alcalina e ácida, apontou melhoras nas propriedades físicas do filme biodegradável. Segundo Carmo (2016), a modificação faz com que ocorram significativas interações entre

fibras/matriz no material, gerando adesão maior entre os mesmos compósitos com polaridades de natureza iguais.

Tapia et al. (2012) ao analisar filmes biodegradáveis, encontraram valores de 11.69 Mpa de resistência máxima à tração e 15 % de alongação máxima à ruptura, valores superiores ao encontrado nesse estudo. Diferentes fontes de amido têm influência na formação e resistência dos filmes biodegradáveis (MALI; GROSSMANN; YAMASHITA, 2010).

Wang et al. (2010) encontraram valores de alongação à ruptura próximos ao encontrados nesse estudo, ao analisar filmes produzidos a partir de purê de cenoura, a média para a análise foi de 5.06 a 11.73 Mpa. No mesmo estudo, ao comparar diferentes concentrações de amido, as amostras que continham uma maior tensão na ruptura eram as que apresentavam maiores concentrações, resultados coerentes com os observados nesse estudo atual.

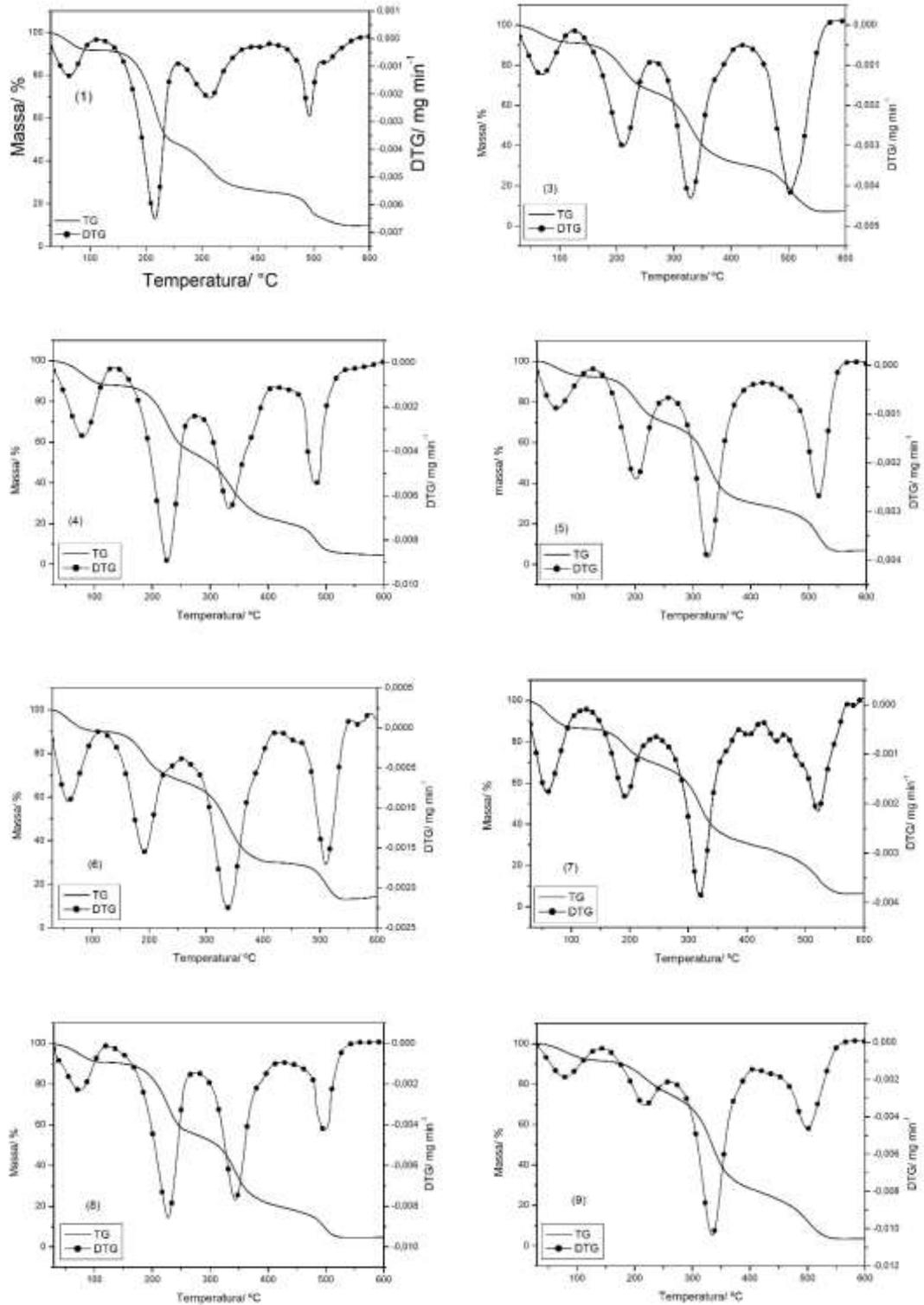
Outros estudos apontam a importância da concentração correta de fibras. Gilfillan et al. (2012), ao analisar filmes biodegradáveis produzidos a partir de amido de batata e de milho, concluíram que ao adicionar 5% em massa de fibra na composição, a resistência à tração dos filmes melhora em 16 % quando comparado aos filmes sem adição de fibras, já com o dobro da proporção em fibras, o estudo concluiu que tanto a resistência à tração quanto o alongamento na ruptura diminuíram. Carmo (2016) encontrou resultados similares ao estudar amido de milho com adição de fibras de cana-de-açúcar. No estudo, até 3 % de adição de fibras aumentou as propriedades mecânicas dos filmes em aproximadamente 93 %. A partir de 4 %, tais propriedades apontaram valores inferiores quando comparadas com os filmes contendo somente amido em sua composição.

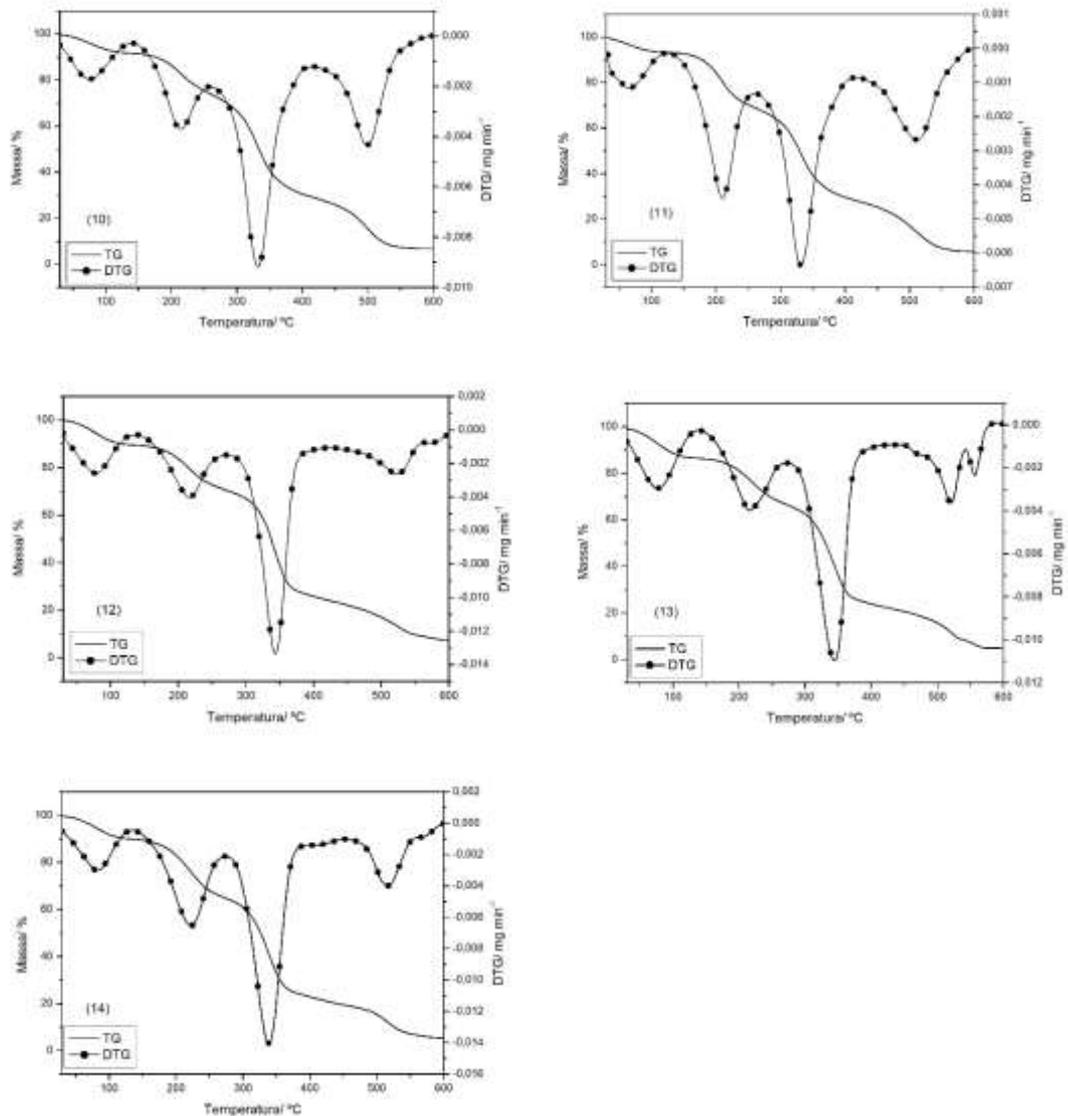
5.2.3 Termogravimetria

Assim como nas matérias primas, a análise termogravimétrica indica a resistência térmica dos filmes. Para embalagens, é importante o conhecimento das características térmicas dos filmes formados, visto que, a temperatura elevada na confecção dos filmes exige uma grande estabilidade dos mesmos (LOREVICE, MOURA e MATTOSO, 2014). A TGA permite analisar a estabilidade térmica dos filmes e a DTG auxilia na identificação exata dos picos formados pela perda de massa. A

figura 21 apresenta as curvas termogravimétricas obtidas para os diferentes filmes formados.

Figura 21: Curvas termogravimétricas das amostras de filmes biodegradáveis numeradas de acordo com a tabela 1.





Fonte: A autora.

Amostra 1: farinha de caroço de abacate, amostra 3: amido de extração aquosa e farinha, amostra 4: amido de extração aquosa e bagaço de mandioca, amostra 5: amido de extração alcalina e farinha, amostra 6: amido de extração alcalina e bagaço, amostra 7: amido de extração ácida e farinha, amostra 8: amido de extração ácida e bagaço, amostra 9: amido de extração aquosa, farinha e bagaço, amostra 10: amido de extração alcalina, farinha e bagaço, amostra 11: amido de extração ácida, farinha e bagaço, amostra 12: amido de extração aquosa, amostra 13: amido de extração alcalina, amostra 14: amido de extração ácida.

Os valores de Termogravimetria para os filmes biodegradáveis formados se encontram na tabela 9.

Tabela 9: Valores de Termogravimetria dos filmes.

Amostra	1ª etapa			2ª etapa			3ª etapa			4ª etapa		
	Ti-Tf, °C	Tp, °C	Δm, %	Ti-Tf, °C	Tp, °C	Δm, %	Ti-Tf, °C	Tp, °C	Δm, %	Ti-Tf, °C	Tp, °C	Δm, %
1	30.0 - 115.5	62.3	8.1	115.5 - 257.4	-	-	257.4 - 393.2	308.3	21.3	393.2 - 585.7	493.8	16.8
3	30.0 - 125.3	68.4	8.4	125.3 - 262.4	204.3	24.1	262.4 - 419.0	327.0	36.3	419.0 - 566.8	502.0	23.6
4	30.0 - 135.6	77.9	11.9	135.6 - 274.9	218.6	33.8	274.9 - 416.4	332.1	32.7	416.4 - 567.5	478.2	16.8
5	30.0 - 126.4	66.8	7.8	126.4 - 257.4	196.7	23.1	257.4 - 419.3	323.7	40.1	419.3 - 565.0	508.7	22.7
6	30.0 - 120.5	61.0	9.9	120.5 - 249.9	187.2	22.1	249.9 - 438.1	334.9	38.4	438.1 - 555.2	507.7	16.5
7	30.0 - 123.8	58.7	13.4	123.8 - 244.6	192.5	17.1	244.6 - 424.0	319.5	40.3	424.0 - 648.8	521.2	21.8
8	30.0 - 124.1	71.1	9.3	124.1 - 273.4	219.0	35.1	273.4 - 421.3	339.5	35.7	421.3 - 553.4	490.1	15.2
9	30.0 - 143.9	78.7	8.5	143.9 - 262.9	208.8	16.7	262.9 - 411.2	329.6	47.6	411.2 - 567.7	490.5	23.9
10	30.0 - 141.0	75.5	8.2	141.0 - 263.5	207.7	18.0	263.5 - 419.9	328.2	44.7	419.9 - 591.5	493.0	22.1
11	30.0 - 124.8	65.7	6.3	124.8 - 261.7	203.9	24.4	261.7 - 417.9	328.5	40.6	417.9 - 596.7	500.9	22.4
12	30.0 - 137.0	75.7	10.6	137.0 - 272.1	209.2	19.0	272.1 - 425.8	338.2	46.6	425.8 - 621.6	511.3	16.7
13	30.0 - 138.0	75.5	12.8	138.0 - 273.7	212.1	20.0	273.7 - 414.4	336.3	43.4	414.4 - 589.6	511.5	17.9
14	30.0 - 136.4	78.7	9.9	136.4 - 273.4	214.0	24.9	273.4 - 430.3	333.7	44.3	430.3 - 597.0	512.1	15.2

Fonte: A autora.

Amostra 1: farinha de caroço de abacate, amostra 3: amido de extração aquosa e farinha, amostra 4: amido de extração aquosa e bagaço de mandioca, amostra 5: amido de extração alcalina e farinha, amostra 6: amido de extração alcalina e bagaço, amostra 7: amido de extração ácida e farinha, amostra 8: amido de extração ácida e bagaço, amostra 9: amido de extração aquosa, farinha e bagaço, amostra 10: amido de extração alcalina, farinha e bagaço, amostra 11: amido de extração ácida, farinha e bagaço, amostra 12: amido de extração aquosa, amostra 13: amido de extração alcalina, amostra 14: amido de extração ácida.

*Letras diferentes na mesma coluna representam diferença significativa de acordo com o teste de Tukey ($P < 0.05$).

Obs: A amostra de número 2, formada apenas por bagaço de mandioca não formou filme, não podendo ser analisada assim como as demais.

Todas as amostras apresentaram ao total quatro etapas de perda de massa. A primeira e a segunda perda, assim como nas matérias primas, correspondem ao processo de desidratação. Ajiya et al (2017) explica a influência do glicerol nas propriedades térmicas do filme biodegradável. De acordo com os autores, na primeira etapa há a perda de água dos compostos, e na segunda, ocorre a degradação de água e glicerol contido nos filmes. A adição de glicerol faz com que aumente o número de grupos hidroxilas disponíveis para interação, fazendo com que a atração entre as moléculas polares se fortaleça, causando uma maior retenção de volume de água na matriz. Essa retenção gera um aumento de temperatura necessária para degradação da água na primeira etapa (AJIYA et al., 2017; BARROS, 2016).

As perdas de massa na primeira etapa ocorrem na faixa de 30 a 141 °C. As amostras estavam condicionadas em dessecador com sílica gel para execução das análises, portanto, os valores de umidade se encontram abaixo dos encontrados na análise de umidade (tabela 7). Esse primeiro evento corrobora com o encontrado por Liynage et al. (2015), o qual apresentou início antes de 35 °C para filmes biodegradáveis.

A ausência de estabilidade e a ocorrência da segunda etapa no evento (130 a 260 °C em média) justifica a correlação entre degradação da água e do agente plastificante, os quais apresentam diferentes transições térmicas e pontos de estabilidade (MENDES et al., 2016; SIQUEIRA et al., 2015).

A etapa três nesse caso pode ser considerada como a responsável pela decomposição do biopolímeros, a qual ocorreu na faixa de temperatura de degradação do amido (240 a 400 ° C em geral) e a etapa quatro condiz com a temperatura de geração de material carbonizado (SUEIRO et al., 2016). A terceira perda representa a maior perda dos filmes em geral. Isso indica uma grande estabilidade térmica dos mesmos, maiores que a encontrada por Viegas (2016), que a maior perda de material (cerca de 72.5%) ocorre na segunda etapa de perda de massa. Essa perda de massa é caracterizada pela degradação da membrana de polímero do amido (AHMAD et al., 2015).

Carmo (2016) ao estudar filmes biodegradáveis obtidos a partir de amido de milho com adição de fibras e óleo de mamona encontrou quatro etapas de degradação térmica em intervalos de temperatura próximos ao desse estudo. O estudo sugere que

houve separação de fases entre a matriz do amido e o óleo durante a preparação dos filmes. Diferente de filmes obtidos por outros autores, Huo et al. (2016) e Hu; Wang; Tang (2013) os quais encontraram três etapas de degradação térmica em faixas de temperatura próximas às observadas neste estudo.

Amostras sem adição de fibras apresentaram temperaturas menores em média nessa fase quando comparadas às amostras adicionadas de fibra da farinha de caroço de abacate e de bagaço de mandioca. As fibras fizeram com que a estabilidade térmica dos filmes aumentasse nessa etapa, fazendo com que a degradação ocorra em temperaturas maiores (BENADUCCI, BRANCIFORTI, 2016).

Os filmes formados a partir da mistura dos diferentes tipos de amido com adição das fibras obtiveram uma maior perda de massa durante a quarta etapa quando comparado aos filmes formados com os amidos puros, independentemente do tipo de extração. O decréscimo na estabilidade térmica dos filmes formados pelas misturas está relacionado com a mudança na estrutura dos amidos que as fibras provocaram, promovendo a ruptura de ligações intermoleculares de baixa energia e interrompendo a continuidade da matriz polimérica (MACHADO et al., 2014).

A massa residual final, obtida após atingir 600 °C para os filmes variaram de 3.32 % (amostra 9) a 13.16 % (amostra 6). A adição de fibras demonstrou não ter influência direta no resíduo das amostras, visto que as demais massas ao final da quarta etapa apresentaram em média 5 %. Entretanto, as amostras que continham bagaço de mandioca em sua composição foram as que apresentaram menores valores de variação de massa durante a quarta etapa. Ao comparar com a mesma técnica utilizada para análises as matérias primas, nota-se uma correlação direta, visto que dentre as amostras (amido, farinha e bagaço), o bagaço de mandioca apresentou um menor valor de massa ao final da terceira etapa (tabela 5). Benaducci e Branciforti (2016), ao avaliarem as propriedades térmicas de nanocompósitos de poliamida com adição de nanofibras de celulose encontraram teor de resíduos de 6.5 %, valor próximo aos encontrados neste estudo.

5.2.4 Microscopia Eletrônica de Varredura por Emissão de Campo – (MEV – FEG)

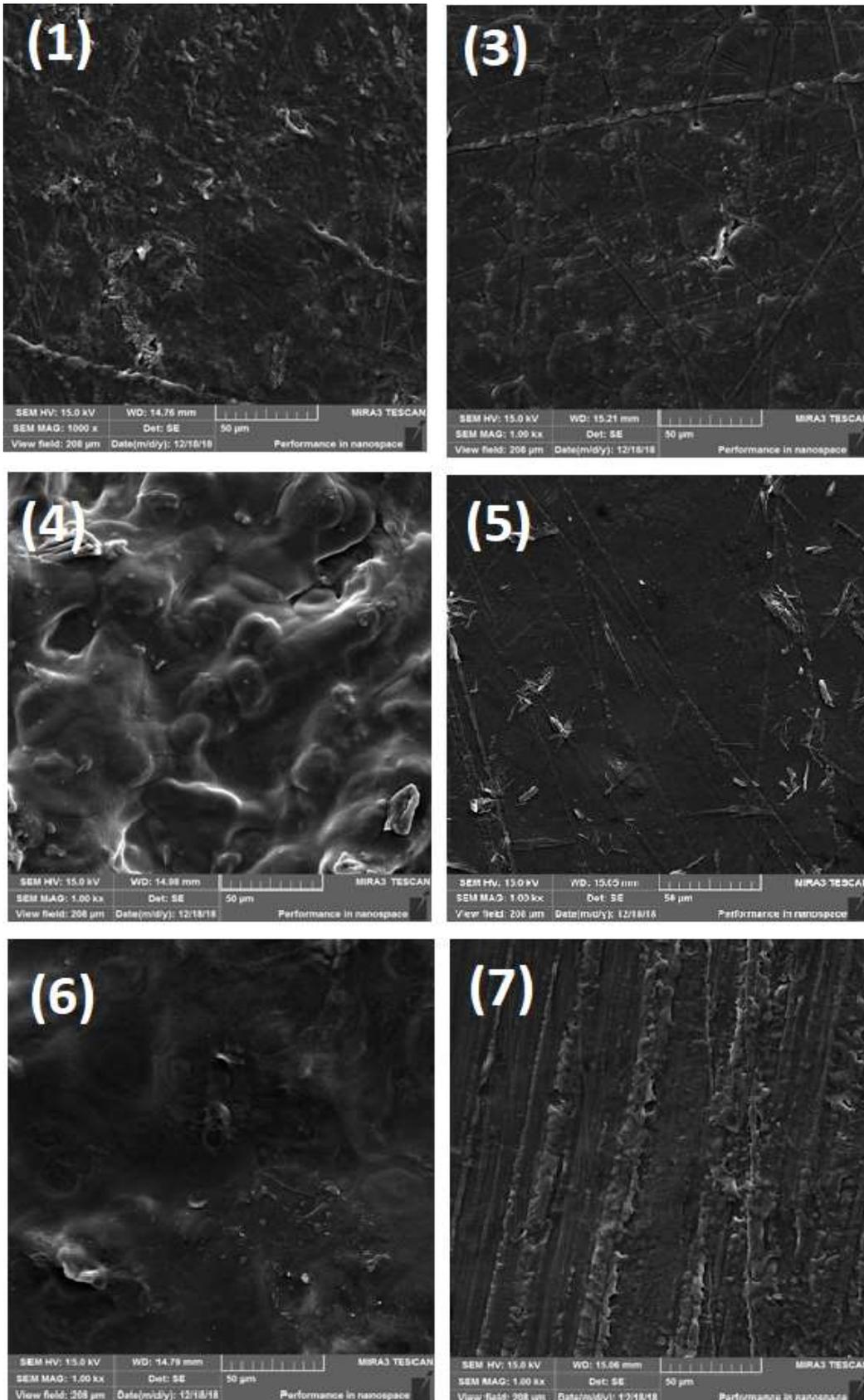
A estrutura microscópica dos filmes formados foi observada através da microscopia eletrônica de varredura por efeito de Campo (MEV-FEG). Os filmes em

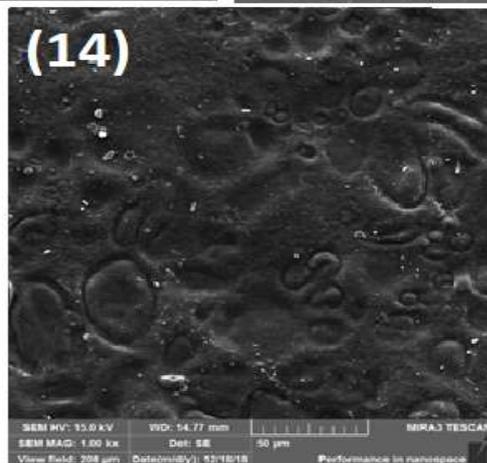
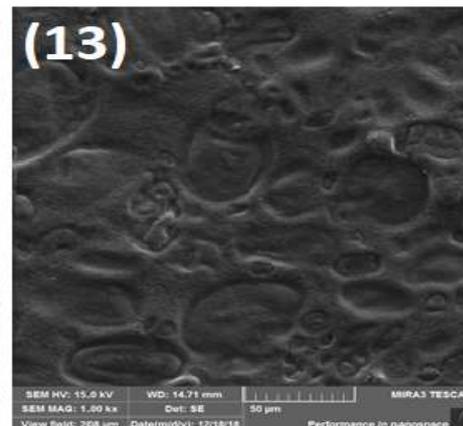
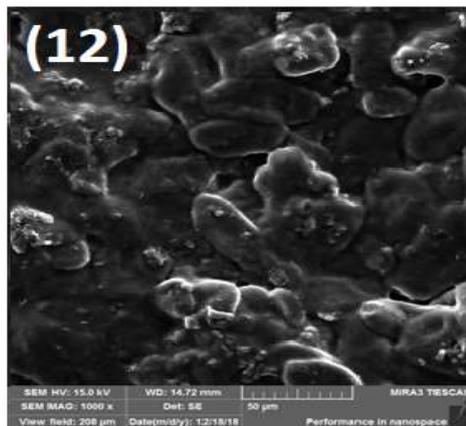
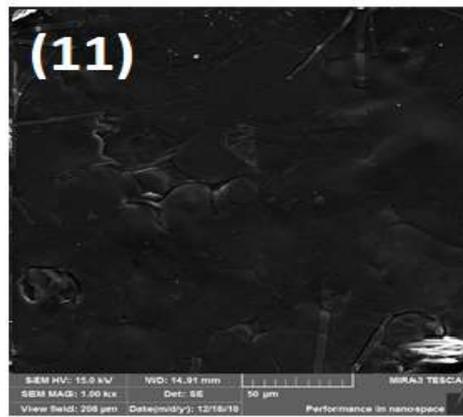
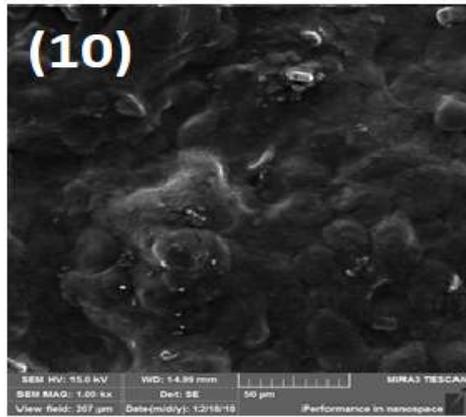
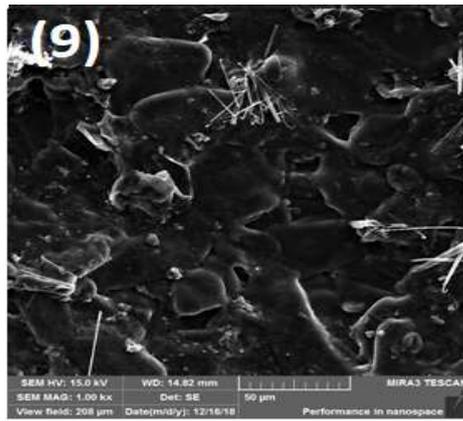
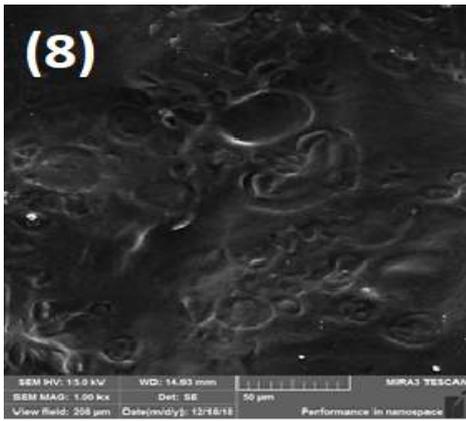
geral apresentaram superfície rugosa e irregular. Abdelwahab et al (2012) e Souza; Santos e Vinhas (2016), ao analisarem filmes biodegradáveis observaram morfologias parecidas.

As imagens comprovam a gelatinização completa do amido, ao comparar com as imagens obtidas nas matérias primas. Houve uma destruição da estrutura granular, e boa adesão no processo de plastificação entre glicerol e amido. Estrutura similar à encontrada por Basiak; Debeaufor; Lenart (2016), os quais ao analisar filmes de amido de trigo, notaram superfície morfológica coerente.

As imagens microscópicas estão representadas pela figura 22.

Figura 22: Imagem morfológica das amostras de filmes biodegradáveis numeradas de acordo com a tabela 1.





Fonte: A autora.

Amostra 1: farinha de caroço de abacate, amostra 3: amido de extração aquosa e farinha, amostra 4: amido de extração aquosa e bagaço de mandioca, amostra 5: amido de extração alcalina e farinha, amostra 6: amido de extração alcalina e bagaço, amostra 7: amido de extração ácida e farinha, amostra 8: amido de extração ácida e bagaço, amostra 9: amido de extração aquosa, farinha e bagaço, amostra 10: amido de extração alcalina, farinha e bagaço, amostra 11: amido de extração ácida, farinha e bagaço, amostra 12: amido de extração aquosa, amostra 13: amido de extração alcalina, amostra 14: amido de extração ácida.

É possível observar a formação de altos relevos dos filmes, e também a quebra da estrutura granular do amido, transformando-o em material termoplástico. Os filmes com adição de fibras apresentaram uma estrutura mais compacta e sem poros. Bonilla et al. (2012) aponta que a fibra de mandioca é um polímero miscível, preenchendo os poros formados por amostras que contêm apenas amido em sua composição.

As amostras que continham fibras em sua composição ao serem observadas morfologicamente, indicam porções fibrosas que não foram solubilizadas com a gelatinização do amido. Melo; Aouada e Moura (2017) ao estudar filmes biodegradáveis de amido com adição de bionanocompósitos obtiveram melhorias significativas nas imagens microscópicas ao adicionar o nano elemento. No estudo é relatada a diminuição de quantidade de poros formados nos filmes produzidos, aumentando sua compactação e servindo como reforço mecânico. A diferença no tamanho da partícula fibrosa mostra-se um fator de importância ao testar melhorias de filmes biodegradáveis com adição das mesmas.

5.2.5 Permeabilidade ao vapor d'água

Os dados referentes à permeabilidade ao vapor d'água das amostras se encontram na tabela 10. Houve variação de 1.27×10^{-08} a 1.04×10^{-08} $\text{g.Pa}^{-1}.\text{s}^{-1}.\text{m}^{-1}$. Valores maiores que encontrados por Bedin (2014), que encontrou permeabilidade em filmes biodegradáveis feitos a partir de amido de feijão próxima a 2.76×10^{-10} $\text{g.Pa}^{-1}.\text{s}^{-1}.\text{m}^{-1}$. Belibi et al. (2013) também encontrou valores inferiores de permeabilidade para filmes produzidos a partir de amido de mandioca, com valores aproximados de 3.02×10^{-10} .

Tabela 10: Valores de Permeabilidade ao vapor d'água dos filmes.

Amostra	PVA (g.Pa ⁻¹ .s ⁻¹ .m ⁻¹)
1	1.22x10 ^{-08a}
3	1.21x10 ^{-08ab}
4	1.14x10 ^{-08c}
5	1.09x10 ^{-08e}
6	1.27x10 ^{-08a}
7	1.22x10 ^{-08a}
8	1.20x10 ^{-08b}
9	1.16x10 ^{-08c}
10	1.25x10 ^{-08a}
11	1.21x10 ^{-08ab}
12	1.20x10 ^{-08b}
13	1.10x10 ^{-08d}
14	1.04x10 ^{-08e}

Fonte: A autora.

Amostra 1: farinha de caroço de abacate, amostra 3: amido de extração aquosa e farinha, amostra 4: amido de extração aquosa e bagaço de mandioca, amostra 5: amido de extração alcalina e farinha, amostra 6: amido de extração alcalina e bagaço, amostra 7: amido de extração ácida e farinha, amostra 8: amido de extração ácida e bagaço, amostra 9: amido de extração aquosa, farinha e bagaço, amostra 10: amido de extração alcalina, farinha e bagaço, amostra 11: amido de extração ácida, farinha e bagaço, amostra 12: amido de extração aquosa, amostra 13: amido de extração alcalina, amostra 14: amido de extração ácida.

*Letras diferentes na mesma coluna representam diferença significativa de acordo com o teste de Tukey (P<0.05).

Obs: A amostra de número 2, formada apenas por bagaço de mandioca não formou filme, não podendo ser analisada assim como as demais.

Os valores encontrados apresentam diferença significativa entre si, ao passo que, a amostra que apresentou menor valor de permeabilidade ao vapor d'água é a 14, a qual não possui fibra de bagaço de mandioca nem farinha integral de caroço de abacate em sua composição. Já as amostras mais suscetíveis às trocas de gases (vapor), são as de número 1, 3, 6, 7, 10 e 11, as quais contem em sua composição mistura de amido de diferentes tipos de extrações e farinha integral de caroço de abacate, exceto a amostra 6, que contem bagaço de mandioca.

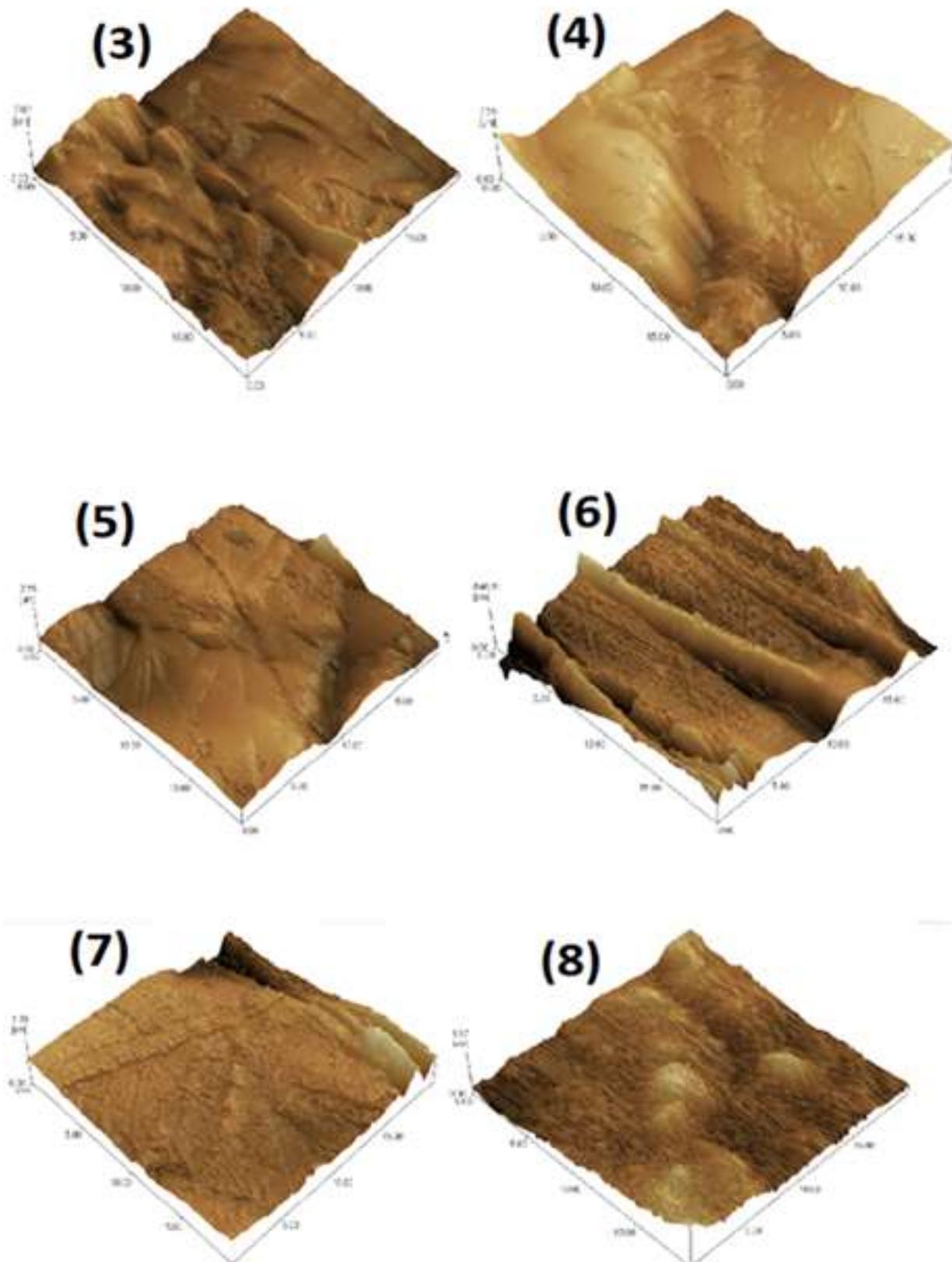
Souza et al. (2012) estudou a influência da permeabilidade ao vapor d'água em diferentes proporções de agente plastificante nos filmes biodegradáveis, concluindo que quanto mais glicerol, maior a permeabilidade do material ao vapor d'água. O que

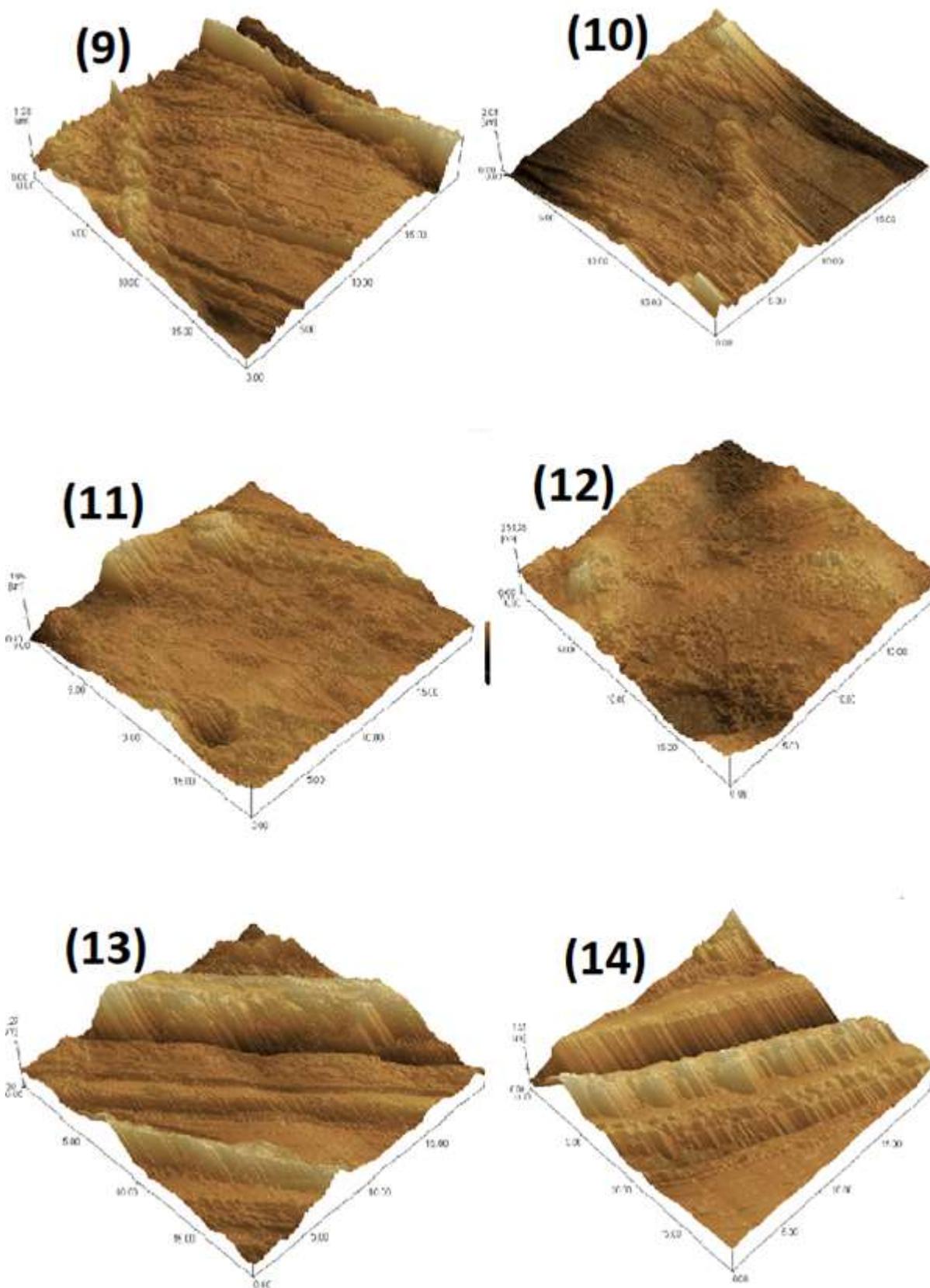
justifica os valores encontrados serem maiores que na literatura, visto que a quantidade de agente plastificante utilizada foi maior para que formasse o filme a partir do amido de caroço de abacate.

5.2.6 Microscopia de Força Atômica – AFM

A microscopia de força atômica foi utilizada para mapear as superfícies dos filmes biodegradáveis. A imagem de AFM permite visualizar depressões microscópicas, diferentemente das imagens obtidas por topografia (WADUGE et al., 2013). A figura 23 apresenta as imagens de micrografias de força atômica em três dimensões dos filmes.

Figura 23: Imagem em três dimensões de Microscopia de Força Atômica das amostras de filmes biodegradáveis numeradas de acordo com a tabela 1.





Fonte: A autora.

Amostra 3: amido de extração aquosa e farinha, amostra 4: amido de extração aquosa e bagaço de mandioca, amostra 5: amido de extração alcalina e farinha, amostra 6: amido de extração alcalina e

bagaço, amostra 7: amido de extração ácida e farinha, amostra 8: amido de extração ácida e bagaço, amostra 9: amido de extração aquosa, farinha e bagaço, amostra 10: amido de extração alcalina, farinha e bagaço, amostra 11: amido de extração ácida, farinha e bagaço, amostra 12: amido de extração aquosa, amostra 13: amido de extração alcalina, amostra 14: amido de extração ácida.

A amostra 1, a qual continha 100 % de farinha de caroço de abacate em sua composição, não permitiu que o equipamento fizesse a leitura da imagem devido à sua fragilidade mecânica, assim como a amostra 2, a qual continha 100 % de bagaço de mandioca em sua composição.

As imagens apresentam no geral, filmes com estruturas irregulares. As regiões mais escuras representam as profundezas das amostras e as mais claras, os altos relevos formados. Bhushan (2001), considera essa diferença de altura aceitável, pois até as superfícies mais lisas dos materiais apresentam irregularidades.

Através das imagens não é possível diferenciar as amostras entre as que continham adição de fibras e as que eram formadas somente por amido, apesar dos valores de rugosidade serem em média maiores para as amostras que continham fibras.

Assim como na Microscopia Eletrônica de Varredura por Efeito de Campo – MEV/FEG, as amostras em geral apresentaram boa superfície microscópica e boa adesão das fibras na solução filmogênica. Esses resultados sugerem que houve interação entre os componentes da formulação, gerando valores satisfatórios de rugosidade nos diferentes tipos de amostras (SUEIRO et al., 2016).

A tabela 11 apresenta os valores de rugosidade das amostras de filmes biodegradáveis, sobre uma área de medida de 20 x 20 µm, numerados de acordo com a tabela 1.

Tabela 11: Valores de rugosidade dos filmes biodegradáveis.

Amostra	Rugosidade (nm)
3	151.078
4	289.792
5	215.493
6	74.322
7	111.331
8	185.654
9	122.570
10	266.900
11	131.748
12	25.829
13	152.604
14	178.804

Fonte: A autora.

Amostra 3: amido de extração aquosa e farinha, amostra 4: amido de extração aquosa e bagaço de mandioca, amostra 5: amido de extração alcalina e farinha, amostra 6: amido de extração alcalina e bagaço, amostra 7: amido de extração ácida e farinha, amostra 8: amido de extração ácida e bagaço, amostra 9: amido de extração aquosa, farinha e bagaço, amostra 10: amido de extração alcalina, farinha e bagaço, amostra 11: amido de extração ácida, farinha e bagaço, amostra 12: amido de extração aquosa, amostra 13: amido de extração alcalina, amostra 14: amido de extração ácida.

Obs: As amostras de número 1 e 2, formadas respectivamente por farinha de caroço de abacate e bagaço de mandioca não puderam ser analisadas na AFM.

Os filmes formados em geral, apresentaram valores de rugosidade mais elevados que Tajik et al. (2013), os quais analisaram filmes produzidos a partir de amido de soja, e encontraram valores próximos a 28 nm e 66 nm. Cano et al. (2014) sugerem que filmes produzidos a partir de diferentes fontes botânicas apresentam valores de rugosidade distintos, por exemplo, filme de amido de mandioca possui superfície mais lisa que filme de amido de batata.

As amostras que apresentaram um valor de rugosidade mais elevado são as amostras 4 e 10, respectivamente. A amostra 4 é composta por 50 % de bagaço de mandioca e 50 % de amido obtido pela extração aquosa, já a amostra 10 é formada pelas proporções iguais de amido obtido pela extração alcalina, farinha integral do caroço de abacate e bagaço de mandioca. A amostra 12, a qual é formada somente

por amido obtido pela extração aquosa, foi a que apresentou uma menor rugosidade, a adição de fibras nos filmes, seja com farinha de caroço de abacate ou bagaço de mandioca interferiram nos resultados de rugosidade, fazendo com que os filmes apresentem características menos lisas que as amostras que continham somente amido em sua composição.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O amido extraído do caroço de abacate apresenta boa aplicabilidade para formação de filmes biodegradáveis devido ao seu grande teor de amilose encontrado. Diferentes tipos de extrações do amido não apresentaram grande influência nas propriedades dos filmes de amidos, entretanto, para os grânulos, as extrações químicas ajudaram a purificar o material, de acordo com as imagens microscópicas observadas.

As análises térmicas para os filmes apresentaram maior estabilidade que as encontradas na literatura. Com relação à morfologia dos materiais, nota-se a diferença dos grânulos de amido (matérias primas) com o amido termoplástico formado na confecção dos filmes biodegradáveis.

Para todas as análises, não houve destaque de nenhuma amostra adicionada de fibra com relação ao método de extração. As amostras que não continham fibras (amostras de número 12, 13 e 14) foram as que apresentaram melhores valores nas análises mecânicas, térmicas e de permeabilidade ao vapor d'água. Sendo a amostra de número 14, a que continha apenas amido extraído de forma ácida, a que possuiu melhores resultados em quase todas as análises.

A formação dos filmes biodegradáveis com adição de fibras, influenciou negativamente a resistência mecânica dos mesmos, devido à carência de material termoplástico na composição das formulações.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABDELWAHAB, M. A.; FLYNN, A.; CHIOU, B. S.; IMAM, S.; ORTS, W., & CHIELLINI, E. Thermal, mechanical and morphological characterization of plasticized PLA-PHB blends. **Polymer Degradation & Stability**, v. 97, n. 9, p. 1822-1828, 2012.
- AHMAD, M., HANI, N. M., NIRMAL, N. P., FAZIAL, F. F., MOHTAR, N. F., ROMLI, S. R. Optical and thermo-mechanical properties of composite films based on fish gelatin/rice flour fabricated by casting technique. **Progress in Organic Coatings**, v. 84, p. 115–127, 2015.
- AI, Y.; JANE, J. L. Gelatinization and rheological properties of starch. **Starch/Stärke**, v.67, p. 213-224, 2015.
- AJIYA, D. A.; JUKAN, S. S.; TALIP, B. H. A.; BADARULZAMAN, N. A.; MATIAS-PERALTA, H. M.; DERAWI, D.; YAHAYA, S. The influence of glycerol on mechanical, thermal and morphological properties of Thermoplastic Tapioca Starch Film. **Journal of Science and Technology**, v. 9, n. 4, p. 24-29, 2017.
- ALMEIDA, D. M.; WOICIECHOWSKI, A.; WOSIACKI, G.; PRESTES, R. A. Propriedades Físicas, Químicas e de Barreira em Filme Formados por blends de Celulose bacteriana e fécula de batata. **Polímeros**, v. 23, p. 538-546, 2013.
- APRIANITA, A. VASILJEVIC, T.; BANNIKOVA, A.; KASAPIS, S. Physicochemical properties of flours and starches derived from traditional Indonesian tubers and roots. **Journal of Food Science and Technology**, v. 51, p. 3669-3679, 2014.
- ARNS, B.; BARTZ, J.; RADNUZ, M.; EVANGELHO, J. A.; PINTO, V. Z.; ZAVAREZE, E. R.; DIAS, A. R. G. Impact of heat-moisture treatment on rice starch, applied directly in grain paddy rice or in isolated starch. **Food Science and Technology**, v. 60, p. 708-713, 2015.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS INTERNATIONAL - AOAC. **Official methods of analysis Chemists**. 16. ed. Washington, 2005.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS INTERNATIONAL - AOAC. **Official methods of analysis Chemists**. Arlington. c. 33, p. 10 – 12, 1995.
- ÁVILA, R.; ASCHERI, D. P. R.; ASCHERI, J. R. L. Caracterização dos Rizomas filhos e da Fécula do Mangarito (*Xanthosoma Mafaffa Schott*) e elaboração de Filmes Biodegradáveis. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 30, n. 1, p. 35-52, 2012.
- BARROS, T. T. **Produção e caracterização de filmes de polpa de mamão com adições de nanoestruturas, processados em modo batelada**. 85 f. (Dissertação de Mestrado). Mestrado em Biotecnologia – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2016.
- BASIAK, E.; DEBEAUFORT, F.; LENART, A. Effect of oil lamination between plasticized starch layers on film properties. **Food Chemistry**, v. 15, n. 195, p. 56-63, 2016.
- BEDIN, A. C. **Caracterização de misturas de amido de feijão e tuberosas (mandioca e batata-doce) e sua aplicação na obtenção de biofilmes**. 148 f.

(Dissertação de Mestrado). Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos – Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2014.

BELIBI, P. C.; DAOU, T. J.; NDJAKA, J. M. B.; MICHELIN, L.; BRENDLE, J. Tensile and water barrier properties of cassava starch composite films reinforced by synthetic zeolite and beidellite. **Journal of Food Engineering**, v. 115, n.3, p. 339-346, 2013.

BENADUCCI, D.; BRANCIFORTI, M. C. Estudo da estabilidade térmica e propriedades mecânicas de nanocompósitos de poliamida 6,6 com nanofibras de celulose. **Revista Matéria**, v. 21, n. 4, p. 898-905, 2016.

BENESI, I. R. M.; LABUSCHAGNE, M. T.; HERSELMAN, L.; MAHUNGU, N. M.; SAKA, J. K. The effect of genotype, location and season on cassava starch extraction. **Euphytica**, v.160, p.59-74. 2008.

BENINCA, C.; DEMIATE, I. M.; LACERDA, L. G.; CARVALHO FILHO, M. A. S.; IONASHIRO, M.; SCHNITZLER, E. Thermal behavior of corn starch granules modified by acid treatment at 30 and 50 °C. **Ecletica Química**, v. 33, n. 3, p. 13-18, 2008.

BERTOLINI, A. C. Characterization, properties and applications. Boca Raton: Taylor and Francis Group. **Starches** p. 271, 2010.

BET, C. D.; CORDOBAL, L. P.; RIBEIRO, L. S.; SCHNITZLER, E. Common Vetch (*Vicia sativa*) as a New Starch Source: Its Thermal, Rheological and Structural Properties After Acid Hydrolysis. **Food Biophysics**, v. 11, p. 275–282, 2016.

BHUSHAN, B. Surface Roughness Analysis and Measurement Techniques. **The Ohio State University: CRC Press LLC**, 2001.

BONILLA. J.; ATARÉS, L.; VARGAS, M.; CHIRALT, A. Edible films and coatings to prevent the detrimental effect of oxygen on food quality: Possibilities and limitations. **Journal of Food Engineering**, v. 110, n. 2, p. 208–213, 2012.

BRASIL. **Ministério da Saúde**. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Resolução RDC n. 263, de 22 de setembro de 2005. Disponível em: <<http://portal.anvisa.gov.br/legislacao#/visualizar/27619>>. Acesso em: 10 de novembro de 2018.

BUILDERS, P. F.; NURUM, A.; MBACH, C.; ATTAMA, A. A.; MANEK, R. The physicochemical and binder properties of starch from *Persea americana Miller (Lauraceae)*. **Starch/Staerke**, v. 62, p. 309-320, 2010.

BUKZEM, A. L.; SANTOS, D. M.; ASCHERI, D. P. R. Filmes biodegradáveis a base de fécula de mandioca e bagaço de cevada obtidos por extrusão termoplástica. **Revista Agrotecnológica**, v. 33, n.2, p. 89-107, 2012.

CAMARGO K. F.; LEONEL, M.; MISCHAN M. M. Produção de biscoitos extrusados de polvilho azedo com fibras: efeito de parâmetros operacionais sobre as propriedades físicas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 3, p. 586-591, 2008.

CANO, A.; JIMENEZ, A.; CHÁFER, M.; GONZALEZ, C.; CHIRALT, A. Effect of amylose: amylopectin ratio and rice bran addition on starch films properties. **Carbohydrate Polymers**, v. 111, p. 543–555, 2014.

CARDOSO, R. M.; CAMPOS, J.; HILL, D. L.; SILVA, J. F. C. Efeito da substituição gradativa do milho pela raspa de mandioca, na produção de leite. **Revista Ceres**, v. 14, p. 308-330, 2006.

CARMO, K. P. **Desenvolvimento e caracterização de filmes poliméricos de amido de milho nativo e modificado com incorporação de fibras de bagaço de cana e óleos vegetais**. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Materiais), 2016. 101f. Universidade Federal de São Carlos/Ciência dos Materiais, Sorocaba, 2016.

CHAI, Y.; WANG, M.; ZHANG, G. Interaction between amylose and Tea Polyphenols modulates the Postprandial Glycemic Response to High amylose maize starch. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 61, p. 8608-8615, 2013.

CHEL-GUERRERO, L.; BARBOSA-MARTÍN, E.; MARTÍNEZ-ANTONIO, A.; GONZALEZ-MONDRAG, E.; BETANCUR-ANCONA, D. Some physicochemical and rheological properties of starch isolated from avocado seeds. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 86, p. 302-308, 2016.

COLMAN, T. A. D.; DEMIATE, I. M.; SCHNITZLER, E. The effect of microwave radiation on some thermal, rheological and structural properties of cassava starch. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 115, n. 3, p. 2245-2252, 2014.

CONTO, L. C. **Extração, caracterização e modificação química por oxidação de amido de pinhão (*Araucaria angustifolia*)**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos), 2009. 132f. Universidade Estadual de Campinas/Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas, 2009.

COPELAND, L.; BLAZEK, J.; SALMAN, H.; TANG, M. C. Form and functionality of starch. **Food Hydrocolloids**, v. 23, n. 6, p. 1527-1534, 2009.

CORRADINI, E.; LOTTI, C.; MEDEIROS, E. S.; CARVALHO, A. J. F.; CURVELO, A. A. S.; MATTOSO, L. H. C. Estudo comparativo de amidos termoplásticos derivados do milho com diferentes teores de amilose. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 15, n. 4, p. 268-273, 2005.

COSTA, D. M. A.; SANTOS, A. F.; SILVA, E. D.; SILVA, I. A. Desenvolvimento e caracterização de filmes à base de amido de feijão macáçar (*Vigna unguiculata* (L.) Wap). **Holos**, v.7, p. 1-15, 2017.

DAIUTO, E.R.; SIMON, J.W.; VIEITES, R.L.; CARVALHO, L.R.; RUSSO, V.C. Aceitabilidade e viabilidade tecnológica da elaboração de dois produtos de abacate 'Hass'. **Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha**, v. 13, n.1, p.66-75, 2012.

DANTAS, E. A.; COSTA, S. S.; SANTOS, C. L.; BRAMONT, W. B.; COSTA, A. S.; DRUZIAN, F. F.; PADILHA, J. I. MACHADO, B. A. S. Characterization and evaluation

of the antioxidante properties of biodegradable films incorporated with tropical fruit pulps. **Ciência Rural**, v. 45, n.1, p. 142-149, 2015.

DELLA LUCIA, S.M.; MINIM, V.P.R.; SILVA, C.H.O.; MINIM, L.A. Fatores da embalagem de café orgânico torrado e moído na intenção de compra do consumidor. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, p. 485- 491, 2007.

DELINSKI, B. C.; WAIGA, L. H.; OLIVEIRA, C. S.; LACERDA, L. G.; SCHNITZLER, E. Morphological and Thermoanalytical study of Modified Avocado Seeds Starch with Lactic Acid. **Chemistry Journal of Moldova**, v. 12, n. 2, p. 13-18, 2017.

DEMIATE, I. M.; DUPUY, N.; HUVENNE, J. P.; CEREDA, M. P.; WOSIACKI, G. Relationship between baking behavior of modified cassava starches and starch chemical structure determined by FTIR spectroscopy. **Carbohydrate Polymers**, v. 42, n. 2, p. 149-158, 2006.

DENARDIN, C. C.; SILVA, P. L. Starch granules structure and its regards with physicochemical properties. **Ciência Rural**, v. 39, n. 3, p. 945-954, 2009.

DUGMORE, T.; CLARK, J.; BUSTAMANTE, J.; HOUGHTON, J.; MATHARU, A. Valorisation of Biowastes for the Production of Green Materials Using Chemical Methods. **Topics in Current Chemistry (Journal)**, v.46, p. 375-377, 2017.

ELIASSON, A.C. Structure, function and applications. **Starch in food**, p. 605, 2004.

EMBUSCADO, M. E.; HUBER, K. C. Edible films and coatings for food applications. **Springer Science**, p.416, 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – **mandioca e fruticultura 2013**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/mandioca-e-fruticultura>>. Acessado em 04/09/2017.

ESPITIA, P. J. P.; DU, W.; AVENA-BUSTILLOS, R. J.; SOARES, N. F. F.; McHUGH, T. H. Edible films from pectin: physical-mechanical and antimicrobial properties – A review. **Food Hydrocolloids**, v. 35, n. 1, p. 287-296, 2013.

FERNANDES, A. P. S.; COSTA, J. B.; SOARES, D. S. B.; MOURA, C. J.; SOUZA, A. R. M. Aplicação de filmes biodegradáveis produzidos a partir de concentrado proteico de soro de leite irradiado. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 45, n. 2; p. 192-199, 2015.

FERNÁNDEZ, E. H.; GUTIÉRREZ, P. K. C.; RODRÍGUEZ, L. C.; PANCORBO, A. C.; GUTIÉRREZ, A. F. Merging a sensitive capillary electrophoresis-ultraviolet detection method with chemometric exploratory data analysis for the determination of phenolic acids and subsequeute characterization of avocado fruit. **Food Chemistry**, v. 141. p. 3492-3503, 2013.

FERRAZ, C. A.; SILVA, R. L.; FONTES, G. C.; ROCHA, M. H. M. MODIFICAÇÃO QUÍMICA DO AMIDO EXTRAÍDO DO RESÍDUO DO PROCESSAMENTO

AGROINDUSTRIAL DA MANGA (*Mangifera indica* L.) VAR. UBÁ. **XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química**, Florianópolis, 2014.

FERREIRA, D.; LOPES, J. A. S.; CONCEICAO, S. G. P.; DELGADILLO, I.; COIMBRA, M. A. Effect of sun-drying on microstructure and texture of S. Bartolomeu pears (*Pyrus communis* L.). **European Food Research and Technology**, v. 226, p. 1545–1552, 2008.

FIGUEROA, A. M.; LACERDA, L. G.; SCHNITZLER, E. DEMIATE, I. M. Caracterização das propriedades de pasta e térmicas de amidos de feijão branco, Carioca, Fradinho e Preto. **Brazilian Journal of Thermal Analysis**, v.4, n.3, p. 12-16, 2015.

FONSECA, L. M.; GONÇALVES, J. R.; HALAL, S. L. M.; PINTO, V. Z.; DIAS, A. R. G.; JACQUES, A. C.; ZAVAREZE, E. R. Oxidation of potato starch with diferente sodium hypochlorite concentrations and its effect on biodegradable films. **Food Science and Technology**, v. 60, p. 714-720, 2015.

Food and Agriculture Organization of the United Nations – **FAOSTAT**. Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/339/default.aspx>>. Acessado em 27 de julho de 2018.

FUKUDA, W. M. G.; IGLESIAS, C.; SILVA, S. O. Melhoramento de Mandioca. Cruz das Almas. **Embrapa Mandioca e Fruticultura**. p. 53, 2006.

GALDEANO, M. C.; WILHELM, A. E.; MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E. Influence of Thicknss on Properties of Plasticized Oat Starch Films. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 56, p. 637-644, 2013.

GARCÍA, N. L.; RIBBA, L.; DUFRESNE, A.; ARANGUREND, M.; GOYANESA, S. Effect of glycerol on the morphology of nanocomposites made from thermoplastic starch and starch nanocrystals. **Carbohydrate Polymers**, v. 84, p. 203–210, 2011.

GARCIA, R. C.; PEREZ, L. A. B.; AGUIRRE-CRUZ, A.; HERNANDEZ, J. T.; CRUZ, A. C.; RAMIREZ, A. J. Effect of ultrasonic treatment on the morphological, physicochemical, functional, and rheological properties of starches with different granule size. **Starch/Stärke**, v. 68, p. 972–979, 2016.

GARRIDO, T.; ETXABIDE, A.; PENALBA, M.; LA CABA, K.; GUERREIRO, P. Preparation and Characterization of soy protein thin films: Processing-properties correlation. **Materials Letters**, v. 105, p. 110-112, 2013.

GILFILLAN, W. N.; NGUYEN, D. M. T.; SOPADEB, P. A.; DOHERTY, W. O. S. Preparation and characterisation of composites from starch and sugar cane fibre. **Industrial Crops and Products**, v. 40, p. 45-54, 2012.

GOBBO, L. A. **Aplicação de raios X e método de Rietveld no estudo de cimento Portland**. 2009. 273f. Tese (Doutorado em Recursos Minerais de Hidrogeologia), Universidade de São Paulo, Instituto de Geociências, São Paulo, 2009.

GUNARATNE, A.; HOOVER, R. Effect of heat-moisture treatment on the structure and physicochemical properties of tuber and root starches. **Carbohydrate Polymers**, v. 49, p. 425-437, 2002.

HALSEY, M. E. Reproductive Biology of Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) and Isolation of Experimental Field Trials. **Crop Science**, v. 48, p. 49-58, 2008.

HENRIQUE, C. M.; CEREDA, M. P.; SARMENTO, S. B. S. Características físicas de filmes biodegradáveis produzidos a partir de amidos modificados de mandioca. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.28, n.1, p. 231-240, 2008.

HUO, W.; XIE, G.; ZHANG, W.; WANG, W.; SHAN, J. Preparation of a novel chitosan-microcapsules/starch blend film and the study of its drug-release mechanism. **International Journal of Biological macromolecules**, v. 87, p. 114-122, 2016.

HU, Y.; WANG, Q.; TANG, M. Preparation and properties of Starch-g-PLA/poly (vinyl alcohol) composite film. **Carbohydrate Polymers**, v. 96, p. 384-388, 2013.

IAL. Métodos químicos e físicos para análise de alimentos. In. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz**. 3. São Paulo: IMESP, v.1, p. 42 – 43, 2008.

IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA). **Produção agrícola municipal**, 2017. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 22 julho de 2018.

IONASHIRO, M.; CAIRES, F. J.; GOMES, D. J. C. **Giolito**: Fundamentos da Termogravimetria e análise térmica diferencial/calorimetria exploratória diferencial: 2.ed. São Paulo: Giz Editorial, 2014.

IPEA (INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA). Dados sobre a reciclagem no Brasil e a forma de organização dos trabalhadores desse segmento. **Relatório de Pesquisa**. Brasília: Ipea, 2017. Disponível em: <<http://www.ipea.gov.br/>>. Acesso em: 06 de setembro de 2018.

JIMÉNEZ, A.; FABRA, M. J.; TALENS, P.; CHIRALT, A. Edible and Biodegradable Starch Films: a review. **Food Bioprocess Technology**, v. 5, n. 6, p. 2058-2076, 2012.

JOHN, J. K.; RAJA, K. C. M.; RANI, S.; MOORTHY, S. N.; ELIASSON, A. Properties of arrowroot starch treated with aqueous HCl at ambient temperature. **Journal of Food Science**, v. 67, p. 10-14, 2002.

JOSHI, M.; ALDRED, P.; MCKNIGHT, S.; PANOZZO, J. F.; KASAPIS, S.; ADHIKARI, R.; ADHIKARI, B. Physicochemical and functional characteristics of lentil starch. **Carbohydrate Polymers**, v. 92, p. 1484-1496, 2013.

KARIM, A. A.; NADIHA, M.Z.; CHEN, F. K.; PHUAH, Y. P.; CHUI, Y. M.; FAZILAH, A. Pasting and retrogradation properties of álcali-treated sago starch. **Food Hydrocolloids**, v. 22, p. 1044-1053, 2008.

KIM, J.; REN, C.; SHIN, M. Physicochemical properties of starch isolated from eight different varieties of Korean sweet potatoes. **Starch – Starke**, v. 65, p. 923-930, 2013.

KOLLER, O. C. **Abacaticultura**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, p. 138, 1984.

KOWALSKI, R. L.; SHNEIDER, V. S.; MORETTO, J.; GOMES, L. F. S. PRODUÇÃO DE ETANO DE SEGUNDA GERAÇÃO A PARTIR DE CAROÇO DE ABACATE (*Persea americana* Mill). **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 6, n. 4, p. 665-667, 2017.

KRASNOVA, I.; DUKAĪŠKA, L.; SEGLIÒA, D.; MIÐINA, I.; KĀRKLIÒA, D. Influence Of Anti-Browning Inhibitors And Biodegradable Packaging On The Quality Of Fresh-Cut Pears **Proceedings Of The Latvian Academy Of Sciences**, v. 67, p. 167–173, 2013.

KUBIAKI, F. T.; FIGUEROA, A. M.; OLIVEIRA, C. S.; DEMIATE, I. M.; SCHNITZLER, E.; LACERDA, L. G. Effect of acid-alcoholic treatment on the thermal, structural and pastin characteristics of European chestnut (*Castanea sativa*, Mill) starch. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 131, n. 1, p. 587-594, 2016.

LACERDA, L. G.; COLMAN, T. A. D.; BAUAB, T.; SILVA, C. F. M. A.; DEMIATE, I. M.; VASCONCELOS, E. C.; SCHNITZLER, E. Thermal, structural and rheological properties of starch from avocado seeds (*Persea americana*, Miller) modified with standard sodium hypochlorite solutions. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 115, p. 1893-1899, 2014.

LACERDA, L. G.; DEMIATE, I. M. Caracterização das propriedades de pasta e térmicas de amidos de feijão branco, carioca, fradinho e preto. **Brasilian Journal of Thermal Analysis**, v. 4, n. 3, p. 12-16, 2015.

LI, W.; RUI, G.; YONG, L.; YI, Z.; WEI, X.; & ZHANG, Y. Preparation and properties of cellulose nanocrystals reinforced collagen composite films. **Journal of Biomedical Materials Research Part A**, v.102, p. 1131–1139, 2014.

LIN, S. Y.; WANG, S.L. Advances in simultaneous DSC-FTIR micro spectroscopy for rapid solid-state chemical stability studies: Some dipeptide drugs as examples. **Advanced Drug Delivery Reviews**, v. 64, p. 461-478, 2012.

LIPORSCCI, J. S. N.; MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E. Effects of extration method on chemical composition and functional properties of yam starch (*Dioscorea alata*). **Semina: Ciências Agrárias**, v. 26, n. 3, p. 345-352, 2005.

LIU, X.; WANG, Y. YU, L.; TONG, Z.; CHEN, L.; LIU, H.; LI, X. Thermal degradation and stability of starch under different processing conditions. **Starch/Starke**, v. 65, p. 48-60, 2013.

LIYANAGE, S.; ABIDI, N.; AULD, D.; MOUSSA, H. Chemical and physical characterization of galactomannan extracted from guar cultivars (*Cyamopsis tetragonolobus* L.). **Industrial Crops & Products**, v. 74, p. 388– 396, 2015.

LOREVICE, M.V.; DE MOURA, M.R.; MATTOSO, L.H.C., Nanocompósito de polpa de mamão e nanopartículas de quitosana para aplicação em embalagens. **Química Nova**, v. 37, n. 6, p. 931, 2014.

LUBIS, M. HARAHAP, M. B.; GINTING, M. H. S.; SARTIKA, M.; AZMI, H. Production of bioplastic from avocado seed starch reinforced with microcrystalline cellulose from sugar palm fibers. **Journal of Engineering Science and Technology**, v. 13, n. 2, p. 381-393, 2018.

LUCENA, C. A. A.; COSTA, S. C.; ELEMEN, G. R. A.; MENDONÇA, E. A. M.; OLIVEIRA, E. E. Development of xylan and xylan/gelatina biofilms for production of biodegradable packages. **Polímeros**, v. 27, p. 35-41, 2017.

MACHADO, B. A. S.; REIS, J. H. O.; SILVA, J. B.; CRUZ, L. S.; NUNES, I. L.; PEREIRA, F. V.; DRUZIAN, J. Obtenção de nanocelulose da fibra de coco verde e incorporação em filmes biodegradáveis de amido plastificados com glicerol. **Química Nova**, v. 37, n. 8, p. 1275-1282, 2014.

MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E.; GRACIA, M. A.; MARTINO, M. N.; ARITZKY, N. E. Barrier, mechanical and optical properties of plasticized yam starch films. **Carbohydrate Polymers**, v. 56, p. 129-135, 2004.

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

MALUCELLI, L. C.; LACERDA, L. G.; FILHO, M. A. S. C.; FERNANDEZ, D. E. R.; DEMIATE, I. M.; OLIVEIRA, C. S.; SCHNITZLER, E. Porous waxy maize starch: Thermal, structural and viscographic properties of modified granules obtained by enzyme treatment. **Journal Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 120, p. 525-532, 2015.

MARAN, J. P.; SIVAKUMAR, V.; SRIDHAR, R.; THIRUGNASAMBANDHAM, K. Development of model for barrier and optical properties of tapioca starch based edible films. **Carbohydrate Polymers**, v. 92, n. 2, p. 1335-1347, 2013.

MARTINEZ, O.; PÉREZ, B. L.; WHITNEY, K.; DÍAZ, O. P.; SIMSEK, S. Starch characteristics of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) grown in different localities. **Carbohydrate Polymers**, v. 85, p. 54-64, 2011.

MATSUGUMA, L. S.; LACERDA, L. G.; SCHNITZLER, E.; CARVALHO FILHO, M. A. S.; FRANCO, C. M. L.; DEMIATE, I. M. Characterization of native and Oxidized Starches of two varieties of Peruvian Carrot (*Arracacia xanthorrhiza*, B.) From two Production Areas of Paraná State, Brazil. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 52, n. 3, p. 701-713, 2009.

MELO, P. T.; AOUADA, F. A.; MOURA, M. R. Fabricação de filmes bionanocompósitos à base de pectina e polpa de cacau com potencial uso como embalagem para alimentos. **Química Nova**, v. 40, n. 3, p. 247-251, 2017.

MENDES, J. F.; PASCHOALIN, R. T.; CARMONA, V. B.; SENA NETO, A. R.; MARQUES, A. C. P.; MARCONCINI, J. M.; MATTOSO, L. H. C.; MEDEIROS, E. S.; OLIVEIRA, J. E. Biodegradable polymer blends based on corn starch and thermoplastic chitosan processed by extrusion. **Carbohydrate Polymers**, v. 137, p. 452-458, 2016.

OLIVEIRA, A. A.; REIS, R. C.; VIANA, E. S.; SANTOS, B. J. R.; JESUS, J. L. Determinação dos teores de amilose e amilopectina do amido de bananas e plátanos. *In: 10a JORNADA CIENTÍFICA EMBRAPA MANDIOCA E FRUTICULTURA*, 10. Cruz das Almas. 2016. Anais. Cruz das Almas: EMBRAPA, 2016.

OLIVEIRA, A. P.; GUIMARÃES, I. C.; MENEZES, E. G. T. Characterization of avocado pulp (*Persea americana* MILL) of the alto Paranaíba region. **The Journal of Engineering and Exact Sciences**, v. 03, n. 06, p. 813-818, 2017.

OLIVEIRA, J. E. Biodegradable polymer blends based on corn starch and thermoplastic chitosan processed by extrusion. **Carbohydrate Polymers**, v. 137, p. 452–458, 2016.

MIRANDA, N. L.; RECK, I. M.; CLEMENTE, E. Utilização de polpa de abacate em formulações de bebidas lácteas probióticas. **Revista Uningá Review**, v. 26, n. 3, p. 35-39, 2016.

MITIC, Z.; STOLIC, A.; STOJANOVIC, S.; NAJMAN, S.; IGNJATOVIC, N.; NIKOLIC, G.; TRAJANOVIC, M. Instrumental methods and techniques for structural and physicochemical characterization of biomaterials and bone tissue: A review. **Materials Science and Engineering**, v. 79, p. 930-949, 2017.

MOLAVI, H.; RAZAVI, S. M. A.; FARHOOSH, R. Impact of hydrothermal modifications on the physicochemical, morphology, crystallinity, pasting and thermal properties of acorn starch. **Food Chemistry**, v. 245, p. 385-393, 2018.

MORAES, J. O.; SCHEIBE, A. S.; AUGUSTO, B.; CARCIOFI, M.; LAURINDO, J. B. Conductive drying Of starch-fiber films prepared by tape *casting*: drying rates and film properties. **Food Science and Technology**, v. 64, n. 1, p. 356-366, 2015.

NADIHA, M. N.; FAZILAH, A.; BHAT, R.; KARIM, A. A. Comparative susceptibilities of sago, potato and corn starches to alkali treatment. **Food chemistry**, v. 121, n. 4, p. 1053-1059, 2010.

NASCIMENTO, M. R. F.; SOUZA, V. F.; MARINHO, A. F.; ASCHERI, J. L. R.; MELEIRO, C. H. de A. Composição centesimal e minerais de farinha do caroço de abacate (*Persea gratissima*, Gaertner f). **XXV Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Gramado, RS, 2016.

NAKAZAWA, Y.; WANG, Y. J. Effect of annealing on starch-palmitic acid interaction. **Carbohydrate Polymers**, v. 57, n.3, p. 327-335, 2004.

OLIVEIRA, C. S.; COLMAN, T. A. D.; WALGAL, L.; BET, C. D.; SCHNITZLER, E. Thermal, Morphological and pasting properties of Binary Mixtures of Starches. **Brazilian Journal of Thermal Analysis**, vol. 6, n. 1, p. 26-31, 2017.

OLIVEIRA, S. L. Aspectos socioeconômicos e agrônômicos da mandioca. Cruz das Almas. **Embrapa mandioca e fruticultura tropical**. p. 292-300, 2006.

OLIVEIRA, S. P. Efeito da poda e de épocas de colheita sobre características agronômicas da mandioca. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 32, n. 01, p. 99-108, 2010.

PAULI, R. B.; QUAST, L. B.; DEMIATE, I. M.; SAKANAKA, L. S. Production and characterization os oxidized cassava starch (manihot esculenta Crantz) biodegradable films. **Starch – starke**, v. 63, p. 595-603, 2011.

PELISSARI, F. M.; YAMASHITA, F.; GARCIA, M. A.; MARTINO, M. N.; ZARITZKY, N. E.; GROSSMANN. Constrained mixture design applied to the development of cassava starch – chitosan blown films. **Journal of Food Engineering**, v. 108, p.262-267, 2012.

PÉREZ, E.E.; BREENE, W.M.; BAHNASSEY, Y.A. Variations in the gelatinization profiles of cassava, sagu and arrowroot native starches as measured with different thermal and mechanical methods. **Starch/Stärke**, v. 50, n. 2-3, p. 70-72, 1998.

PIYADA, K.; WARANYOU, S.; THAWIEN, W. Mechanical, thermal and structural properties of rice starch films reinforced with rice starch nanocrystals. **International Food Research Journal**, v. 20, n. 1, p. 439–449, 2013.

RAMOS-JERZ. Phytochemical analysis of avocado seeds (*Persea americana* Mill., c.v. Hass). **Gottingen**: Cuvillier. 2007.

RECHSTEINER, M. S. **Desenvolvimento de amidos fosfatados de batata-doce e mandioca e aplicação como substitutos de gordura em sorvetes**. 2009. 167f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura), Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Bocatú, 2009.

RENGSUTTHI, K.; CHAROENREIN, S. Physico-chemical properties of jackfruit seed starch (*Artocarpus heterophyllus*) and its application as a thickener and stabilizer in chili sauce. **Food Science and Technology**, v. 44, p. 1309-1313, 2011.

REVISTA DA FRUTA, publicado em 22 de janeiro de 2017. Disponível em: <<http://site.revistadafruta.com.br/>>. Acesso em 23 de julho de 2017.

RIBEIRO, A. E. C.; ASCHERI, D. P. R.; ASCHERI, J. L. R. Amidos fosfatados da *swartzia burchelli*: Propriedades físicas e físico-químicas. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 35, n. 1, p.1-17, 2017.

RODRIGUES, J. P. M.; CALIARI, M.; ASQUIERI, E. R. Caracterização e análise sensorial de biscoitos de polvilho elaborados com diferentes níveis de Farelo de mandioca. **Ciência Rural**, v. 41, n. 12, p. 2196-2202, 2011.

ROCHA, T. S.; DEMIATE, I. M.; FRANCO, C. M. L. Características estruturais e físico-químicas de amidos de mandioquinha-salsa (*Arracacia xanthorrhiza*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 3, p. 620-628, 2008.

SANDHU, K.S.; SINGH, N. Some properties of corn starches II: Physicochemical, gelatinization, retrogradation, pasting and gel textural properties. **Food Chemistry**, v. 101, n. 4, p. 1499-1507, 2007.

SANDHYA. Modified atmosphere packaging of fresh produce: Current status and future needs. **Food Science Technology**, v. 43, p. 381–392, 2010.

SANTANA, R.; BET, C. D.; OLIVEIRA, C. S.; WAIGA, L.; LACERDA, L. G.; SCHINTZLER, E. Thermal, structural and pasting properties of Brazilian ginger (*Zingiber officinale* Roscoe) starch. **Ukrainian Food Journal**, v. 12, p. 13-18, 2017.

SANTOS, D. M.; ASCHERI, D. P. R.; BUKZEM, A. L.; MORAIS, C. C.; CARVALHO, C. W. P.; ASCHERI, J. L. R. Physicochemical Properties of Starch from Avocado seed (*persea americana* Mill). **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 34, n. 2, 2016.

SCHEIBE, A. S.; MORAES, J. O.; LAURINDO, J. B. Production and characterization of bags from biocomposite films of starch-vegetal fibers prepared by tape *casting*. **Journal of Food Process Engineering**, v. 37, n. 5, p. 482-492, 2014.

SCHOCH, J.C. Iodimetric determination of amylose. Potentiometric titration: Standard method. In R. L. Whistler (Ed.), **Methods in Carbohydrate Chemistry**, v. 4, p. 157-160, 1964.

SCHONHERR, H.; HAIN, N.; WALCZYK, W.; WESNER, D.; DRUZHININ, S. I. Surface nanobubbles studied by atomic force microscopy techniques: Facts, fiction and open questions. **Japanese Journal of Applied Physics**, v. 55, n. 8, p. 1-10, 2016.

SCHONS, A.; STRECK, N. A.; STORCK, L.; BURIOL, G. A.; ZANON, A. J.; PINHEIRO, D. G.; KRAULICH, B. Arranjos de plantas de mandioca e milho em cultivo solteiro e consorciado: crescimento, desenvolvimento e produtividade. **Bragantia**, v. 68, p.165-177, 2009.

SEO, T. R.; KIM J. Y.; LIM, S. T. Preparation and characterization of crystalline complexes between amylose and C18 fatty acids. **Food Science and Technology**, v. 64 p. 889- 897, 2015.

SHIMAZU, A. A.; MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E. Plasticizing and antiplasticizing effects of glycerol and sorbitol on biodegradable cassava starch films. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 28, n. 01, p. 79-88, 2007.

SILVA, I. G.; SPILLER, A. L.; ARAUJO, R. M. R.; CACAU, L. T.; ANDRADE, A. P. C. Elaboração e análise da composição centesimal da farinha do caroço de abacate. *In: Anais da Mostra de Pesquisa em Ciência e Tecnologia 2017*. Anais Fortaleza (CE) Brasil - Damásio - Ibmec, 2017. Disponível em: <<https://www.even3.com.br/anais/mpct2017/45872-ELABORACAO-E-ANALISE-DA-COMPOSICAO-CENTESIMAL-DA-FARINHA-DO-CAROCO-DE-ABACATE>>. Acesso em: 25/09/2018 17:30

SILVA, I. R. A.; ALBUQUERQUE, F. S. M.; AQUINO, J. S.; NETO, V. Q. Efeito da modificação química por reação de cross-linking nas propriedades do amido de semente de abacate (*Persea americana* Miller). **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 31. p. 295-308, 2013.

SILVA, J. B.; PEREIRA, F. V.; DRUZIAN, J. Filmes à base de amido de mandioca plastificados com sacarose e açúcar invertido e reforçados com nanocristais de celulose. **Journal Food Science**, v. 77, p. 14, 2012.

SILVA, M. H. L.; SILVA, C. O. Caracterização Parcial de amido de Banana-nanica (*Musa sp.* AAA Cavendish). **Revista Ceres**, v. 52, p. 751-762, 2005.

SILVA, R. M.; FERREIRA, G. F.; SHIRAI, M. A.; HAAS, A.; SHCERER, M. L.; FRANCO, C. M. L.; DEMIATE, I. M. Características físico-químicas de amidos modificados com permanganato de potássio/ácido láctico e hipoclorito de sódio/ácido láctico. **Food Science and Technology**, v. 28, p. 66-67, 2008.

SILVA, I. R. A.; MAGNANI, M.; ALBUQUERQUE, F. S. M.; BATISTA, K. S.; AQUINO, J. S.; NETO, V. Q. Characterization of the chemical and structural properties of native and acetylates starches from avocado (*Persea americana* Mill) seeds. **International Journal of Food Properties**, v. 20, p. 279-289, 2017.

SIMKOVA, D.; LACHMAN, J.; HAMOUZ, K.; VOKAL, B. Effect of cultivar, location and year on total starch, amylose, phosphorus content and starch grain size of high starch potato cultivars for food and industrial processing. **Food Chemistry**, v. 141, p. 3872-3880, 2013.

SIQUEIRA, G. L. A.; BET, C. D.; CORDOBA, L. P.; LAZZAROTTO, M.; SCHNITZLER, E. Caracterização térmica de amido e bagaço de *Amaranthus cruentus*. **VII SIAT - Simpósio de Análise Térmica**, p. 189-192, 2015.

SOUZA, A. C.; BENZE, R.; FERRÃO, E. S.; DITCHFIELD, C.; COELHO, A. C. V.; TADINI, C. C. Cassava starch biodegradable films: Influence of glycerol and clay nanoparticles content on tensile and barrier properties and glass transition temperature. **Food Science and Technology**, v. 46, p. 110-117, 2012.

SOUZA, D. **Obtenção e caracterização de concentrados e hidrolisados proteicos a partir do coproduto arroz quebrado: da extração alcalina aos processos de separação por membranas.** (2016). 168 f. (Tese de Doutorado) Doutorado em Engenharia Química. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre – RS.

SOUZA, G.; SANTOS, A.; VINHAS, G. Avaliação das propriedades da blenda de poli (3-hidroxibutirato) / quitosana após esterilização térmica ou radiolítica. **Polímeros**, v. 26, n. 4, p. 352-359, 2016.

SRISHUWONG, S.; SUNARTI, T.; MISHIMA, I. N.; HISAMATSU, M. Starches from diferente botanical sources: Contribution of starch structure to swelling and pasting properties. **Carbohydrate Polymers**, v. 62, p. 25-34, 2005.

SUEIRO, A. C.; FARIA-TISCHER, P. C. S.; LONNI, A. A. S. G.; MAL, S. Filmes biodegradáveis de amido de mandioca, pululana e celulosa bacteriana. **Química Nova**, v. 39, n. 9, p. 1059-1064, 2016.

TABOADAI, O. M.; CARVALHO, R. A.; SOBRAL, P. J. A.; Dynamic-mechanical analysis: applications in edible film technology, **Química Nova**, v. 31, n. 2, p. 384-393, 2008.

TAJIK, S.; MAGHSOUDLOU, Y.; KHODAIYAN, F.; JAFARI, S. M.; GHASEMLU, M.; AALAMI, M. Soluble soybean polysaccharide: a new carbohydrate to make a biodegradable film for sustainable green packaging. **Carbohydrate polymers**, v. 97, n. 2, p. 817–24, 12, 2013.

TAPIA, M. S.; PEREZ, E. RODRIGUEZ, P. E.; GUZMÁN, R. DUCAMP-COLLIN, M. N.; TRAN, T. ROLLAND-SABATE, A. Some properties of starch and starch edible films from underutilized roots and tubers from the Venezuelan Amazons. **Journal of Cellular Plastics**, p. 12, 2012.

TIRONI, L. F.; UHLMANN, L. O.; STRECK, N. A.; SAMBORANHA, F. K.; FREITAS, C. P. de O.; SILVA, M. R. Performance of cassava cultivars in subtropical environment. **Bragantia**, v. 74, n. 1, p. 58-66, 2015.

TRAVALINI, A. P. **Extração, modificação e aplicação da fibra do bagaço de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz)**. (2015). 131f (Dissertação de Mestrado) Mestrado em Ciências e Tecnologia de Alimentos. Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa - PR.

VANDEPUTTE, G. E.; VERMEYLEN, R.; GEEROMS, J.; DELCOUR, J. A. Rice starches. I. Structural aspects provide insight into crystallinity characteristics and gelatinisation behavior of granular starch. **Journal of Cereal Science**, v. 38, n. 1, p. 43-52, 2003.

VANIER, N. L.; HALAL, S. L. M. E.; DIAS, A. R. G.; ZAVAREZE, E. R. Molecular structure, functionality and applications of oxidized starches: A review. **Food Chemistry**, v. 221, p. 1546–1559, 2017.

VERSINO, F.; LÓPEZ, O. V.; GARCIA, M. A. Sustainable use of cassava (*Manihot esculenta*) roots as raw material for biocomposites development. **Industrial Crops and Products**, v. 65, p. 79-89, 2015.

VIEGAS, L. P. **Preparação e caracterização de filmes biodegradáveis a partir de amido com quitosana para aplicação em embalagens de alimentos**. 90 f. (Dissertação de Mestrado). Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro, 2016.

WANG, S.; COPELAND, L. Molecular disassembly of starch granules during gelatinization and its effect on starch digestibility: a review. **Food & Function**, v. 4, n. 11, p. 1564-1580, 2013.

WANG, W.; TERRELL, R.; BOSTIC, L.G. Antioxidant capacities, procyanidins and pigments in avocados of different strains and cultivars. **Food Chemistry**, Barking, v.122, p.1193-1198, 2010.

WANG, L.; WANG, Y. J. Structures and physicochemical properties of acid-thinned corn, potato and rice starches. **Starch/Starke**, v. 53, p. 570-576, 2001.

WILLIAMS, R. D.; OLMSTED, W. H. A biochemical method for determining indigestible residue (crude fiber) in feces: lignin, cellulose, and non-water-soluble hemicelluloses. **Journal of Biological Chemistry**, v. 108, p. 653-666, 1935.

WURZBURG, O. B. **Modified Starches**: Properties and uses. Boca Raton: CRC Press Inc., cap 1, p. 4-15, 1989.

ZANELLA, F.; MORAES, R. A.; LIMA, N. B.; LIMA, A. L.S. Sacolas oxibiodegradáveis: degradação em decorrência da condição de descarte. **Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade**, v. 5, p. 133-140, 2018.