

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE PONTA GROSSA
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E DE TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM ALIMENTOS

AMANDA CHEZINI

BAGAÇO DE AMORA (*Rubus* spp.) E SUA APLICAÇÃO EM MATERIAIS
BIODEGRADÁVEIS À BASE DE AMIDO

PONTA GROSSA

2022

AMANDA CHEZINI

BAGAÇO DE AMORA (*Rubus* spp.) E SUA APLICAÇÃO EM MATERIAIS
BIODEGRADÁVEIS À BASE DE AMIDO

Dissertação apresentada para
obtenção do título de Mestre em
Ciência e Tecnologia de Alimentos na
Universidade Estadual de Ponta
Grossa, Área Ciência de Alimentos.

Orientadora: Profa. Dra. Juliana
Bonametti Olivato

PONTA GROSSA

2022

C531 Chezini, Amanda
Bagaço de amora (*Rubus spp.*) e sua aplicação em materiais biodegradáveis
à base de amido / Amanda Chezini. Ponta Grossa, 2022.
82 f.

Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos - Área de
Concentração: Ciências e Tecnologia de Alimentos), Universidade Estadual de
Ponta Grossa.

Orientadora: Profa. Dra. Juliana Bonametti Olivato.

1. Antioxidante. 2. Embalagem ativa. 3. Bagaço seco. I. Olivato, Juliana
Bonametti. II. Universidade Estadual de Ponta Grossa. Ciências e Tecnologia de
Alimentos. III.T.

CDD: 664.2

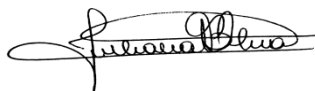
TERMO DE APROVAÇÃO

AMANDA CHEZINI

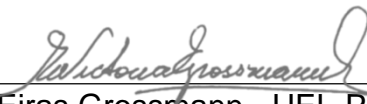
"Bagaço de amora (*Rubus spp.*) e sua aplicação em materiais biodegradáveis à base de amido".

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


Orientador(a): Prof^a. Dra. Juliana Bonametti Olivato



Prof^a. Dra. Juliana Bonametti Olivato - UEPG-PR - Pr



Prof^a. Dra. Maria Victoria Eiras Grossmann - UEL-PR -Membro Titular Externo



Prof. Dr. Alessandro Nogueira - UEPG-PR - Membro Titular Interno

Ponta Grossa, 14 de setembro de 2022.

Esta dissertação é inteiramente dedicada aos meus pais, Jandira Chezini e Roberto Sebastião Chezini. Os dois maiores incentivadores das realizações dos meus sonhos. Muito obrigada!

AGRADECIMENTOS

A DEUS,

Meu senhor e criador, por que me destes a vida dotada de força, saúde e inteligência, para que pudesse realizar este trabalho cumprindo mais uma etapa e sonho da minha vida.

A MEUS PAIS,

Roberto Chezini e Jandira Chezini, por me mostrarem o caminho, me amparando com carinho e amor formando uma estrutura concreta para que eu pudesse vencer com passos firmes alcançando meu objetivo.

A MINHA ORIENTADORA,

Profª Drª. Juliana Bonametti Olivato, por ser uma luz presente a me direcionar através de incentivos, orientações e informações, transmitindo segurança e certeza na realização deste trabalho e consequente obtenção do meu objetivo. Um marco de dedicação, respeito e responsabilidade no exercício da sua profissão e das suas funções. A minha maior e mais profunda gratidão.

AOS PROFESSORES,

A todos os professores que durante minha jornada acadêmica contribuíram de forma significativa para que eu pudesse chegar até aqui.

AOS COLEGAS DE LABORATÓRIO,

Ao Giovani Almeida Camargo que me auxiliou nas análises e no desenvolvimento da pesquisa. A egressa da UEPG Luiza Stolz Cruz pela paciência para me explicar as análises estatísticas. A minha colega de turma Sandra Alves, que esteve presente em vários dias no laboratório, dividindo a ansiedade e por ao longo do trabalho, sempre estar ao meu lado. A minha amiga, comadre e colega de turma, Nadine Ristow, que desde o início se fez presente, minha dupla de vida, de trabalhos e apresentações, obrigada por esses 2 anos, onde dividimos a ambição em ser mestres, mesmo com o trabalho na indústria que muitas vezes nos sobrecarregava. As técnicas de laboratório Maria Aparecida Ribeiro e a Denise Mendes pela amizade, ajuda e paciência. Aos colegas Isabela Maria Macedo Simon

Sola e Matheus Carraro que me auxiliaram na execução de algumas análises e estiveram sempre disponíveis para tirar dúvidas e me ajudar. E em especial a Aline da Silva Justo Machado e Ana Beatriz Klosowski, que me ajudaram no desenvolvimento das análises, não mediram esforços para ir até a universidade me auxiliar e ensinar, vocês marcaram minha trajetória no mestrado.

A todos que contribuíram, direta e indiretamente, para a realização deste trabalho.

Muito obrigada!

RESUMO

A produção de plásticos não biodegradáveis aumentou significativamente devido ao alto consumo, baixo custo e exigência do mercado. O descarte desse material acabou se tornando um grande problema de impacto ambiental, pois o plástico apresenta elevada resistência à degradação natural. Como solução, apresenta-se a utilização de materiais biodegradáveis, como o amido. Compostos antioxidantes e antimicrobianos quando incorporados na embalagem, proporcionam maior durabilidade, preservam a qualidade, reduzem a deterioração e evitam a oxidação lipídica do produto, sendo então chamados de embalagens ativas. Nesse sentido, este trabalho propõe o desenvolvimento de uma embalagem ativa à base de amido e incorporada com bagaço seco de amora, como antioxidante natural. Para obtenção do material biodegradável foi utilizada a técnica de prensagem à quente, sendo testadas quatro formulações que foram compostas de amido de mandioca, glicerol e bagaço seco de amora (RSA). Foi realizada a caracterização centesimal do RSA100 e a determinação das propriedades mecânicas, térmicas, estruturais e de barreira dos materiais biodegradáveis, assim como suas propriedades antioxidantes e teor de compostos fenólicos. A atividade antioxidante do RSA avaliada pelo método ABTS⁺⁺ mostrou resultados de IC₅₀ de 1,64 enquanto a atividade antioxidante pelo método do DPPH[•] mostrou um resultado de 36,05. Em relação à caracterização dos materiais biodegradáveis, o aumento na proporção de RSA resultou em materiais mais densos, mais espessos, com menor permeabilidade ao vapor água e menos solúveis. A análise microestrutural dos materiais indicou que a amostra controle (RSA0) apresentou uma característica contínua, lisa e homogênea, sem poros, rachaduras ou irregularidades. Com inclusão de bagaço seco de amora, a superfície do material tornou-se mais heterogênea e observou-se aumento da rugosidade, sugerindo que concentrações maiores de RSA alteraram a regularidade e homogeneidade da matriz polimérica. O teor de fenólicos dos materiais biodegradáveis aumentou de acordo com a concentração e com o tempo de contato como meio aquoso, resultado em um valor máximo de $38,47 \pm 10,68$ mg EAG.g⁻¹ para 48 horas de liberação na amostra com maior concentração de RSA (RSA10). A inclusão do RSA resultou em materiais biodegradáveis com propriedades físico-químicas e potencial antioxidante promissores, podendo representar uma alternativa à substituição do plástico comercial na embalagem de alimentos.

Palavras-chaves: Antioxidante. Embalagem Ativa. Bagaço seco.

ABSTRACT

The production of non-biodegradable plastics has increased significantly, due to high consumption, low cost and market demand. The disposal of this plastic waste becomes a major environmental problem, due their natural resistance to degradation. Starch represents a potential replacement by biodegradable materials. Antioxidants and antimicrobial components can be used to obtain active biodegradable packaging, which is an alternative to reduce the production of plastics with the ability to provide an increase in shelf-life. The aim of this work was to produce a biodegradable starch-based material containing dried blackberry residue (DBR). A characterization of DBR was carried out and the mechanical, thermal, structural and barrier properties of the biodegradable materials were determined, as well as their antioxidant properties and phenolic compounds content. The ABTS•+ method showed IC₅₀ of 1.64 and by DPPH• a result of 36.05 for DBR. Considering the biodegradable materials, the increase in the proportion of DBR resulted in denser materials, with lower water vapor permeability and less water solubility. A scanning electron microscopy (FEG-SEM) analysis indicated that Control samples surface (RSA0) showed continuous and smooth characteristics, without pores, cracks or irregularities. With the inclusion of DBR, the surface of the material became more heterogeneous, increasing the roughness with higher DBR proportions, changing the regularity and homogeneity of the polymeric matrix. The phenolic content of the biodegradable materials increased in higher concentrations and time in aqueous medium, resulting in a maximum value of 38.47 ± 10.68 mg EAG.g⁻¹ for 48 hours of immersion in the sample with greater DBR (RSA10). The inclusion of dried blackberry residue produced biodegradable materials with promising properties, which may represent an alternative to the replacement of commercial plastic in food packaging.

Keywords: Antioxidant. Active Packaging. Dry residue.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Esquema da estrutura geral da amilose (A) e amilopectina (B).	20
Figura 2 - Amora-tupi.	22
Figura 3 - Bagaço úmido e pós-secagem à 60°C, até peso constante.	27
Figura 4 - Bagaço Seco de Amora-tupi (RSA) triturado.	27
Figura 5 - Alteração após aplicação de temperatura no material prensado.	35
Figura 6 - Materiais biodegradáveis com adição de diferentes concentrações de bagaço seco de amora-tupi.	50
Figura 7 - Imagens de microscopia eletrônica de varredura de alta resolução obtidas para as amostras de amido de mandioca (ampliação 3000x).	64
Figura 8 - Imagem de microscopia eletrônica de varredura de alta resolução obtida para a superfície da amostra de bagaço seco de amora-tupi (RSA) (ampliação 1500x).	65
Figura 9 - Imagens de microscopia eletrônica de varredura de alta resolução obtidas para a superfície das amostras de materiais biodegradáveis (ampliação 2000x).	66
Gráfico 1 - Teor total de fenólicos em relação à concentração do bagaço seco de amora-tupi (RSA).	48
Gráfico 2 - Resultados da espessura dos materiais biodegradáveis.	52
Gráfico 3 - Resultados da análise de opacidade aparente dos materiais biodegradáveis.	53
Gráfico 4 - Resultados da permeabilidade ao vapor de água (PVA) dos materiais biodegradáveis.	55
Gráfico 5 - Resultados da solubilidade em água dos materiais biodegradáveis.	59
Gráfico 6 - TG e dTG do bagaço seco de amora-tupi (RSA).	60
Gráfico 7 - TG e dTG do amido de mandioca.	61
Gráfico 8 - TG e dTG da amostra controle (RSA0).	62
Gráfico 9 - Curvas de TG dos materiais biodegradáveis.	63
Gráfico 10 - dTG dos materiais biodegradáveis.	63
Fluxograma 1 - Obtenção do bagaço seco de amora-tupi.	26
Fluxograma 2 - Análises realizadas com o bagaço seco de Amora-tupi.	28
Fluxograma 3 - Análises para caracterização do material biodegradável.	36
Fluxograma 4 - Demonstração dos resultados em porcentagem da obtenção do bagaço seco de amora-tupi.	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Formulações para produção dos materiais biodegradáveis.....	34
Tabela 2 - Composição química centesimal do bagaço seco de amora-tupi (100).....	43
Tabela 3 - Resultados da análise de cor do bagaço seco de amora-tupi (RSA).	43
Tabela 4 - Atividade antioxidante do bagaço seco de amora-tupi (RSA100) pelo método scavenger de ABTS●+.	44
Tabela 5 - Atividade antioxidante do bagaço seco de amora-tupi (RSA) pelo método scavenger DPPH●.....	45
Tabela 6 - Resultados de FRAP para o bagaço seco de amora-tupi (RSA).....	46
Tabela 7 - Resultados de pH e acidez do suco de amora-tupi.	49
Tabela 8 - Resultados de análise de cor dos materiais biodegradáveis.	51
Tabela 9 - Resistência máxima à tração, alongação e módulo de Young dos materiais biodegradáveis.....	54
Tabela 10 - Resultados da densidade dos materiais biodegradáveis.	57
Tabela 11 - Resultados de ABTS●+ – Porcentagem de inibição e valor de IC50 dos materiais biodegradáveis com diferentes concentrações de bagaço seco de amora-tupi e do padrão Quercetina.	67
Tabela 12 - Resultados de DPPH● – Porcentagem de inibição e valor de IC50 dos materiais biodegradáveis com diferentes concentrações de bagaço seco de amora-tupi e do padrão Quercetina.	68
Tabela 13 - Resultados de FRAP – ($\mu\text{mol TE.g}^{-1}$) dos materiais biodegradáveis com diferentes concentrações de bagaço seco de amora-tupi.	69
Tabela 14 - Teor de compostos fenólicos (mg EAG.g^{-1} de extrato) em função da concentração dos materiais biodegradáveis em solução.	69
Tabela 15 - Teor de fenólicos (mg EAG.g^{-1}) em função do tempo de imersão em água.	70

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	15
2.1	OBJETIVO GERAL	15
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1	RESÍDUOS SÓLIDOS E IMPACTO AMBIENTAL	16
3.2	EMBALAGENS	17
3.2.1	Embalagens Não Biodegradáveis	17
3.2.2	Embalagens Biodegradáveis	17
3.2.3	Embalagens Ativas	18
3.3	AMIDO	20
3.4	AMORA-TUPI	21
3.5	COMPOSTOS FENÓLICOS	23
3.6	ATIVIDADE ANTIOXIDANTE	24
4	MATERIAL E MÉTODOS	26
4.1	MATERIAL	26
4.2	MÉTODOS	26
4.2.1	Obtenção do Bagaço Seco e do Suco de Amora-tupi	26
4.2.2	Caracterização Centesimal do Bagaço Seco de Amora-tupi (RSA)	28
4.2.2.1	Umidade	28
4.2.2.2	Teor de cinzas	29
4.2.2.3	Proteínas	29
4.2.2.4	Lipídeos	30
4.2.2.5	Fibra bruta	30
4.2.3	Estudo da Capacidade Antioxidante do Bagaço Seco de Amora-tupi	30
4.2.3.1	ABTS ^{•+}	30
4.2.3.2	DPPH [•]	31

4.2.3.3	Determinação do poder de redução do íon ferro FRAP	31
4.2.3.4	Determinação do teor de compostos fenólicos	32
4.2.4	Análise Termogravimétrica (TGA)	33
4.2.5	Microscopia Eletrônica de Varredura de Alta Resolução (MEV-FEG).....	33
4.2.6	Cor	33
4.3	PH E ACIDEZ DO SUCO DE AMORA-TUPI	34
4.4	PRODUÇÃO DOS MATERIAIS BIODEGRADÁVEIS	34
4.4.1	Caracterização dos materiais biodegradáveis.....	36
4.4.1.1	Propriedades mecânicas – teste de tração.....	37
4.4.1.2	Permeabilidade ao vapor de água (PVA).....	37
4.4.1.3	Espessura.....	38
4.4.1.4	Cor e opacidade aparente	38
4.4.1.5	Densidade.....	39
4.4.1.6	Solubilidade	39
4.4.1.7	Análise termogravimétrica (TGA).....	39
4.4.1.8	Microscopia eletrônica de varredura de alta resolução (MEV-FEG).....	40
4.4.2	Perfil de Liberação de Compostos Fenólicos e Atividade Antioxidante dos Materiais Biodegradáveis	40
4.4.3	Análise Estatística.....	41
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
5.1	OBTENÇÃO DO BAGAÇO SECO E DO SUCO DE AMORA-TUPI.....	42
5.2	ANÁLISES DO BAGAÇO SECO DE AMORA-TUPI	42
5.2.1	Caracterização Centesimal do Bagaço Seco de Amora-tupi (RSA).....	42
5.2.2	Cor.....	43
5.2.3	Atividade Antioxidante do Bagaço Seco de Amora-tupi (RSA)	44
5.2.4	Compostos Fenólicos.....	47
5.3	PH E ACIDEZ DO SUCO DE AMORA-TUPI	49
5.4	CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS BIODEGRADÁVEIS.....	50

5.4.1	Avaliação Visual	50
5.4.2	Cor.....	50
5.4.3	Espessura.....	51
5.4.4	Opacidade Aparente	52
5.4.5	Propriedades Mecânicas.....	54
5.4.6	Permeabilidade ao Vapor de Água (PVA)	55
5.4.7	Densidade.....	57
5.4.8	Solubilidade	58
5.4.9	Análise Termogravimétrica (TGA)	60
5.4.10	Microscopia Eletrônica de Varredura com Alta Resolução (MEV-FEG).....	64
5.4.11	Estudo da Capacidade Antioxidante dos Materiais Biodegradáveis.....	67
6	CONCLUSÃO	72
	REFERÊNCIAS	73

1 INTRODUÇÃO

A amora é um pequeno fruto com propriedades antioxidantes e anti-inflamatórias, podendo ser consumida in natura e industrializada. Cultivada em diversos estados no Brasil, sendo as principais cultivares a 'Tupi', 'Guarani', 'Negrita', 'Caingangue' e 'Ébano' (ANTUNES, 2002). Altamente nutritiva, com grandes e significativos resultados econômicos e comerciais. Fruto rico em vitamina C, com aproximadamente 85% de água e 10% de carboidratos, sendo uma ótima fonte de ácido elágico e antocianinas (ANTUNES et al., 2002b; MORENO-ALVAREZ et al., 2002).

Diferentes estudos destacam as propriedades nutricionais e formas de uso da amora. Santos, Paraíso e Madrona (2020) analisaram a degradação de antocianina a partir do bagaço da amora; Lameiro *et al.* (2019) apontam as características físico-químicas da amora liofilizada e Machado, Fávero e De Lima (2020) publicam sobre a temperatura e o pH em bebidas lácteas com amora preta. Nesse sentido é importante ressaltar que esses estudos demonstram a utilização da amora na pesquisa acadêmica, de maneira que novos horizontes podem ser pensados, refletidos, comparados, criticados e avaliados para a indústria e o mercado.

A antocianina é amplamente utilizada como corante natural na indústria alimentícia, farmacêutica e cosmética. Apresenta ainda ação antioxidante e propriedades que reduzem o risco de doenças degenerativas (FAVARO, 2008). O uso da antocianina em embalagens que tem contato direto com o produto alimentício ou farmacêutico é permitido pela Legislação Brasileira de acordo com a Resolução n. 44 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (BRASIL, 1977).

Um dos principais interesses na aplicação de polímeros naturais na produção de embalagens flexíveis é exatamente substituir o uso de polímeros sintéticos, reduzindo drasticamente o problema ambiental e acúmulo de lixo de difícil degradação (AIDER, 2010). Na última década, inúmeros estudos têm sido desenvolvidos na busca e produção de filmes biodegradáveis à base de macromoléculas, como o amido (KECHICHIAN et al., 2010). Ademais, verificam-se benefícios em se utilizar o amido, como seu baixo custo, sua abundância, potencial renovável e aspecto biodegradável.

As embalagens ativas, além das funções comuns a todas as embalagens,

promovem a interação de componentes presentes na embalagem com o alimento acondicionado, cujo objetivo é principalmente prolongar a vida útil e manter a qualidade dos produtos. A embalagem ativa funcional é decisiva para a preservação do alimento, pois aditivos naturais agregados mantêm suas características microbiológicas (VEIGA- SANTOS et al., 2005b; VEIGA; DRUZIAN, 2007; MALI et al., 2010; MACHADO et al., 2010). Entre os mais diversos tipos de embalagens ativas, as que exercem efeito antioxidante são fundamentais para conservação dos produtos alimentícios, evitando a degradação por oxidação lipídica (FUKUMOTO; MAZZA, 2000; LOULI et al., 2004; NOURI; NAFCHI, 2014).

A aplicação de produtos naturais para o desenvolvimento de embalagens biodegradáveis deve causar impacto ao consumidor, manter a qualidade do produto, assegurar a preservação e suas características padrões, tais como cor, aroma e sabor. Embalagens biodegradáveis ativas reduzem intensamente a aplicação de polímeros sintéticos e a aplicação de compostos bioativos com ação antioxidante, como as antocianinas, irá colaborar significativamente com a preservação da qualidade do alimento, aliado ao reaproveitamento de bagaços industriais, sendo importante para indústria, benéfica para a sociedade e valiosa para o meio ambiente.

Nesse sentido, o desenvolvimento de uma embalagem ativa a base de amido e bagaço de amora é o direcionamento do presente trabalho. São várias as embalagens ativas e biodegradáveis à base de amido já desenvolvidas no Brasil ou fora dele (ORTIZ, 2013; MACHADO et al., 2018; VEBERIC et al., 2014); mas a extração de compostos bioativos do bagaço de amora é ainda escassamente considerada na literatura. Dessa forma, elaborar uma embalagem biodegradável ativa utilizando como matriz polimérica o amido de mandioca e incorporar com bagaço de amora que possui compostos bioativos (antocianinas em sua maior proporção) alia o prolongamento da vida útil dos alimentos embalados à utilização de um material biodegradável e renovável.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver e avaliar uma embalagem biodegradável ativa utilizando como matriz polimérica o amido de mandioca e incorporada com bagaço de amora (RSA).

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Coletar o fruto da amoreira, realizar a extração do suco e obtenção do bagaço de amora;
- Realizar a composição centesimal do bagaço de amora extraído e seco;
- Quantificar o teor de compostos fenólicos e atividade antioxidante pelos métodos de DPPH•, ABTS•+ e FRAP do bagaço de amora;
- Produzir, por termoformagem, materiais biodegradáveis a base de amido de mandioca, contendo diferentes proporções de bagaço de amora;
- Caracterizar os materiais biodegradáveis quanto às suas propriedades mecânicas, térmicas e de barreira;
- Avaliar a liberação de compostos fenólicos dos materiais biodegradáveis e seu potencial de aplicação como embalagem ativa para alimentos.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 RESÍDUOS SÓLIDOS E IMPACTO AMBIENTAL

O problema relacionado aos bagaços sólidos faz parte de um contexto econômico, político, social e ecológico. A produção de plásticos sintéticos não biodegradáveis derivados do petróleo aumentou sistematicamente nas últimas três décadas, movida não só pelo alto consumo em todos os setores de atividades, mas principalmente pela disponibilidade de matéria-prima e baixo custo, aplicação prática e devido a suas características funcionais resistentes (KAZA et al., 2018).

O Brasil é o quarto país em geração de resíduo plástico no mundo, produção extremamente preocupante. São produzidas cerca de 11,3 milhões de toneladas anualmente, ou seja, aproximadamente 1 kg de lixo plástico por habitante semanalmente, sendo menos de 2% desse resíduo destinado à reciclagem. Análises indicam que ao menos um terço de todo plástico descartado mundialmente, sem a devida reciclagem, são introduzidos de maneira poluente no meio ambiente terrestre e marítimo (THOMPSON et al., 2009; JAMBECK et al., 2015, WWF, 2019).

Embora o uso de plástico apresente diversos benefícios para a sociedade como: facilidade de uso, praticidade de produção, estocagem, transportes e consumo, seus bagaços são extremamente danosos, pois é um produto altamente resistente a degradação natural. Assim, o grande volume de produção e utilização do plástico nos centros populacionais e urbanos, sem um programa adequado para coleta e tratamento, gera um grande volume de bagaços que são levados à deposição e poluição no meio ambiente, agredindo todos os ecossistemas e, por consequência, os seres humanos e demais espécies animais, o solo, oceanos e atmosfera (MACHADO, et al., 2018; WWF 2019).

A produção de materiais poliméricos biodegradáveis é discussão atual e crescente com o objetivo de reduzir o impacto ambiental causado pelo uso do plástico de origem petrolífera. A obtenção desses biopolímeros é de interesse da indústria e de pesquisadores, pois estes podem também ser aplicados em diversos setores (ELIZONDO et al., 2009; BRITO et al., 2011; REUSE, 2019).

3.2 EMBALAGENS

3.2.1 Embalagens Não Biodegradáveis

O crescimento populacional proporciona o aumento de consumo, exigindo cada vez mais o uso de materiais de embalagens para atender as exigências de mercado. As embalagens são partes integrantes e essenciais, devido à praticidade de seu uso no dia a dia das pessoas; possuem um papel fundamental em virtude das suas múltiplas funções, como armazenar, conservar e proteger. A embalagem preserva a qualidade, segurança, atua como barreira a contaminações químicas, físicas e microbiológicas e viabiliza o transporte, estocagem e distribuição de produtos, principalmente alimentícios (JORGE, 2013).

Os materiais aplicados às embalagens são abundantes, resistentes e de baixo custo, normalmente o plástico derivado do petróleo (KARASKI, et al., 2016). O plástico é um material sintético considerado polímero de alto peso molecular, elaborados por processo de transformação de resinas termoplásticas obtidas pela polimerização de monômeros no refino do petróleo (ABDI, 2008; SANTOS; YOSHIDA, 2011).

Embalagens de polímeros não biodegradáveis apresentam como principal característica uma elevada resistência mecânica, servem como barreira contra gases, apresentam resistência à corrosão, são facilmente moldáveis e têm baixo custo de produção, porém apresentam um fator extremamente preocupante quanto a sua ação no meio ambiente, pois sua degradação leva centenas de anos (ANDRADY, 2005; ROCHA; MORAES, 2015).

3.2.2 Embalagens Biodegradáveis

De modo geral, quando se afirmar que algo é "biodegradável", a explanação inicial indica que há menor incidência temporal da embalagem no meio natural, implicando em reconhecer que sua decomposição rápida não é sentida nos impactos ambientais. Porém, Santana *et al.* (2013) ampliam essa visão, argumentando que um material biodegradável é todo aquele que sofre transformação química para biodegradação, ou seja, é preparado por ação de micro-organismos em situações específicas de umidade, oxigenação, temperatura e

iluminação. Para que o material seja considerado como biodegradável é preciso que alguns fatores sejam respeitados, como sua especificação química (sem metais pesados), a relação entre CO₂ em relação à outra amostra, a desintegração com fragmentos menores que 2mm em 90 dias e sua ecotoxicidade.

A prevenção da poluição ambiental e o longo período de degradação dos materiais poliméricos derivados do petróleo incentivam a indústria e a pesquisa a desenvolverem novas opções de embalagens biodegradáveis ofertando a possibilidade e viabilidade em associar a biodegradabilidade com a redução de bagaços (KASEEM; HAMAD; DERI, 2012; GALGANO, *et al.*, 2015).

Recentemente, os polímeros biodegradáveis como o amido têm sido pesquisados continuamente como um material potencial para a produção de embalagens. É comprovado que, para alimentos frescos como as frutas e verduras, o uso de polímeros biodegradáveis é adequado, prevenindo principalmente a desidratação desses alimentos (NOURI; NAFCHI, 2014).

As diversas aplicações do amido na indústria e aumento da disponibilidade deste determina um interesse no seu uso na fabricação de embalagens que irão substituir os materiais sintéticos no caso de filmes biodegradáveis (GARCIA, *et.al.*, 2009), isso aliado ao seu baixo custo, sua abundância, seu potencial renovável e seu aspecto biodegradável.

Os biopolímeros, como os polissacarídeos, apresentam moléculas de cadeia longa de ocorrência natural. Suas propriedades mecânicas são inferiores aos preparados a partir de derivados do petróleo, necessitando de melhorias significativas (DAVIS; SONG, 2006). Materiais biodegradáveis apresentam-se como barreiras não tóxicas e efetivas ao oxigênio e dióxido de carbono, sustentando e preservando a qualidade do alimento, reduzindo o impacto ambiental causado pelos bagaços das embalagens (LECETA, *et.al.*, 2013).

3.2.3 Embalagens Ativas

Em definição, Braga e Silva (2017) salientam que a embalagem ativa é planejada para influir sobre o insumo de modo que haja proteção de seu interior, maior durabilidade, preservação de suas características de visualização, manutenção da qualidade e segurança para o consumidor. A embalagem ativa que

compõe o revestimento produz um efeito positivo à saúde do consumidor podendo eliminar o oxigênio, controlar a umidade, evitar a desidratação, absorver e liberar odores e sabores, realizar absorção do dióxido de carbono, liberar agentes antioxidantes e antimicrobianos (LECETA, *et al.* 2013). Além disso, a maioria das embalagens ativas e biodegradáveis possui efeito de prolongar a vida útil do alimento, evitando, por exemplo, a oxidação, o que faz com que o alimento possa permanecer mais tempo na prateleira do supermercado.

De modo geral, são duas as classificações adotadas pelos autores para as embalagens ativas: sistemas absorvedores e emissores. Os absorvedores removem compostos que não são desejados, pois tais compostos podem reduzir a vida útil do produto. Os emissores trazem compostos à embalagem, com objetivo de liberação gradativa no alimento (MURIEL-GALET *et al.*, 2015).

A embalagem ativa possibilita a liberação dos ativos de forma controlada, pois os mesmos têm a ação direta aos alimentos (MARCOS, *et al.*, 2014). Substâncias naturais como extratos vegetais, incorporados aos filmes plásticos, promovem a proteção e preservação do alimento, atuando como antioxidantes, agentes antimicrobianos e aromatizantes (AVELLA, *et al.*, 2005; NOURI; NAFCHI, 2014).

Alimentos que apresentam em sua composição ácidos graxos insaturados, são passíveis de oxidação lipídica, como óleos vegetais, de peixes ou carnes, produzindo odores e sabores desagradáveis aos produtos e reduzindo drasticamente a qualidade e segurança nutricional. Assim, buscando a manutenção do alimento e controle da oxidação lipídica, continuamente se pesquisa o desenvolvimento e criação de novas opções de embalagens através da incorporação de antioxidantes (GOMEZ-ESTACA *et al.*, 2014; MALI; GROSSMANN; YAMASHITA 2010; BARBOSA-PEREIRA, *et al.*, 2013).

Filmes ativos a base de biopolímeros são considerados uma proteção mecânica contra a deterioração e incorporadores de aditivos funcionais como antioxidantes e agentes antimicrobianos, estendendo a vida útil do alimento (GOMEZ- ESTACA, *et al.*, 2014).

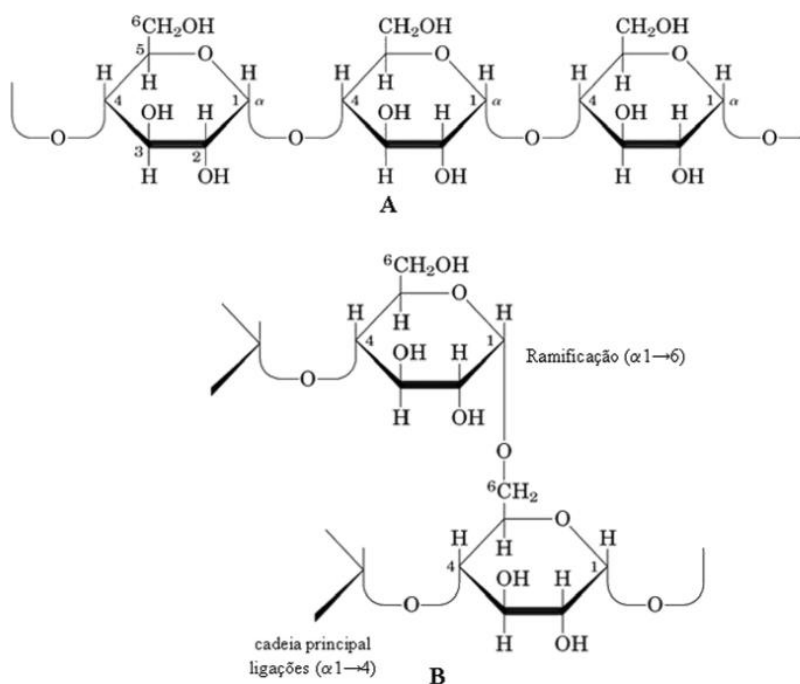
3.3 AMIDO

Amido é definido como um produto amiláceo extraído de cereais, tubérculos e leguminosas, e também de outros grãos, raízes ou rizomas. É um polímero natural abundante, de baixo custo e biodegradável, no qual encontramos uma alternativa para a produção de embalagens biodegradáveis (BRASIL, 2005; KASEEM; HAMAD; DERI, 2012).

Trata-se de uma substância semicristalina encontrada na maioria das plantas, insolúvel em água fria, álcool e éter, carboidrato não redutor constituído por anéis intercalados de amilose e amilopectina, sendo que o teor dessas duas macromoléculas é variável e depende da fonte botânica (AVELLA *et al.*, 2005; RAGUIN; EBENHOH, 2017).

A amilose é um polímero com estrutura essencialmente linear, constituída por bagaços de α -(1, 4) D- glucopiranosil e a amilopectina, com estrutura ramificada, possuindo ligações do tipo α -(1, 6) D-glucopiranosil, responsável por manter a estrutura do grânulo e controlar a solubilidade do amido em água (APLEVICZ, 2006; FENNEMA *et al.*, 2008). Na Figura 1 estão representadas as estruturas da amilose e amilopectina.

Figura 1 - Esquema da estrutura geral da amilose (A) e amilopectina (B).



Fonte: Junior (2008).

O Estado do Paraná possui destaque na produção de amido de mandioca, com a segunda maior carga quantitativa de produção, atrás apenas do Pará. Assim, o Paraná possui relevância na produção industrial do amido de mandioca, com foco no mercado local, mas também na exportação, sendo responsável por empregos diretos e indiretos, visto que a colheita é feita, em grande parte, de forma manual.

Dentro do Estado do Paraná, algumas macrorregiões destacam-se no cultivo da mandioca, como o Noroeste, o Oeste e o Centro-Oeste do estado. No ano de 2019, o Brasil produziu cerca de 510 mil toneladas de amido de mandioca, de maneira que 70% desse quantitativo saíram do Paraná. Historicamente, o Paraná não é produtor antigo da mandioca e foi somente no ano de 1975 que começou a ingressar a cultura no local. Os motivos da chegada da mandioca são advindos de uma cultura do café em declínio, grandes quantidades de terra e efetivo profissional suficiente para o início do processo.

Mediante dados do próprio Sindicato dos industriais da mandioca no Paraná, o Estado possui 50 fábricas, a maioria dedicada à produção de tapioca e farinha. Segundo Roesler *et al.* (2008), existem vantagens interessantes na produção de amido em escala industrial. Uma delas é a autossuficiência, pois há grande aproveitamento do produto e, ao mesmo tempo, a própria água da lavagem é levada para a produção de biogás e, se reutilizada, ainda pode servir como adubo. De acordo com a RDC n. 263 (2005), o amido de mandioca possui padrão de umidade em 18% como limite e sua extração direta é definida como nativa.

3.4 AMORA-TUPI

A amora-tupi (Figura 2) é mundialmente cultivada, apresenta baixo custo, é rustica, de fácil manejo e não necessita de aplicação de grandes quantidades de defensivos agrícolas. Este fruto pode ser cultivado em várias regiões do Brasil, em pequenas propriedades agrícolas e independente da estação climática, pois é cultivada até mesmo no inverno rigoroso (ANTUNES, 2014).

A amora-tupi, cujo nome científico é *Rubus* spp., possui linearidade familiar com o pêssego, a maçã e a ameixa, assim como outros frutos. Sua proveniência original é da América, mas com formas de cultivo aplicadas no Brasil. O país vem se

destacando gradativamente, no comércio internacional, com o produto, principalmente pelas formas naturais de produção e cultivo (MOTA, 2006).

Figura 2 - Amora-tupi.



Fonte: A autora.

A muda de amora-tupi possui cerca de 30 centímetros e pode apresentar ou não espinhos, possui maior facilidade de inserção em regiões com clima temperado e não pode ficar com escassez de água, já que precisa de irrigação cotidiana. A amora-tupi (*Rubus* spp.) apresenta em sua composição a cor avermelhada proveniente da presença da antocianina, gosto ácido a doce-ácido (MOTA, 2006). Na sua forma *in natura*, apresenta 85% de água e 10% de carboidratos, minerais, vitaminas e compostos bioativos como os flavonoides, ácidos fenólicos e antocianinas.

Em bagaços de frutas e vegetais nota-se a presença de compostos bioativos. Os bagaços agroindustriais, como o bagaço de amora, indicam a viável criação de alimento funcional, pois o seu processamento produz de 20 a 60% de subprodutos como cascas, sementes, caules e polpas de onde se extrai os compostos bioativos (MACHADO *et al.*, 2018).

Encontra-se na amora os fotoquímicos, promotores de saúde, porém com estruturas frágeis e de curta durabilidade após a colheita. Sendo assim, estes são processados e/ou industrializados, obtendo-se subprodutos como geleias, sucos, sorvetes e iogurte (VEBERIC *et.al*, 2014). Polifenóis estão presentes em abundância nos vegetais e estudos indicam que estes são vitais a saúde, atuando como reguladores do metabolismo, do peso, de doenças crônicas e de proliferação celular (LAVEFVE; HOWARD; CARBONERO, 2020).

Para Antunes (2004), a amora-tupi pode ser utilizada para finalidades diversas, inclusive para uso de embalagens biodegradáveis. Este autor avaliou o revestimento das amoras com amido de mandioca, salientando que os frutos tiveram menor perda de massa fresca, em relação aos outros. Nas amoras em que houve aplicação do revestimento, a perda de massa fresca chegou a 7,5%. Nos produtos sem a aplicação, a perda foi de 12,56%.

3.5 COMPOSTOS FENÓLICOS

Os compostos fenólicos são antioxidantes que agem como defesa contra o estresse oxidativo. São metabólicos secundários, originados em reações de defesa das plantas contra agressões da natureza ou meio ambiente, ou pigmentos coloridos, habitualmente referidos como polifenóis. Estes compostos fazem parte do consumo humano, pois estão presentes na maioria das plantas, frutas e hortaliças. Os frutos representam as principais fontes alimentares de compostos fenólicos, sendo diferenciados pelo cultivo, variedade e maturação que são determinadas pelas regiões geográficas (REYNERSTON, *et al.*, 2008; TRESSERA-RIMBAU; LAMUELA-RAVENTOS; MORENO, 2018).

Os compostos fenólicos são altamente polimerizados, contendo um grupo hidroxila ligado aos anéis aromáticos, variando de moléculas simples, como ácidos fenólicos, até compostos polimerizados como os taninos. Foram identificadas e classificadas aproximadamente 8.000 substâncias, conforme sua estrutura, número e posição nos grupos hidroxilas ou substituintes (COSTA, *et al.*, 2015).

Uma característica dos compostos fenólicos é apresentar atividade antioxidante, combatendo e interrompendo a propagação de radicais livres na oxidação lipídica. Apresentam também atividade antimicrobiana que está diretamente relacionada com sua capacidade de penetrar em membranas biológicas (DAVIDSON; NAIDU, 2000), apontando importante relação entre compostos fenólicos e atividade antimicrobiana (GOUDA; KAVITHA; SARADA, 2015). Esses compostos contêm elevado potencial antioxidante e atuam restaurando, conservando e reparando danos celulares. A indústria alimentícia pesquisa e estuda o desenvolvimento de produtos utilizando compostos fenólicos como antioxidantes, para inibir a oxidação de ingredientes do alimento, principalmente lipídeos, visando

melhorias na qualidade e valor nutricional (CAROCHO; FERREIRA, 2013; HUANG; OU; PRIOR, 2005).

Estudos baseados em metodologias para separar, identificar e quantificar compostos fenólicos em alimentos encontram muitos obstáculos, pois seus compostos apresentam muitas substâncias com alta polaridade, reativos e susceptíveis às ações enzimáticas (ANGELO; JORGE, 2007).

3.6 ATIVIDADE ANTIOXIDANTE

Antioxidante é um composto capaz de diminuir, prevenir e impedir a oxidação de outra substância, como compostos fenólicos, enzimas antioxidantes, ligações de ferro e proteínas (COSTA *et al.*, 2015).

Um dos principais agentes que determinam a deterioração de alimentos e frutas são os radicais livres. Isto determina a diminuição da vida útil e perda da qualidade, que é perceptível ao consumidor através da alteração da cor, sabor, aroma, textura e aparência dos alimentos. Além disso, leva a alterações nos macronutrientes como carboidratos, lipídeos e proteínas (FERNANDES, 2019)

Dentre os antioxidantes utilizados na indústria de alimentos, destacam-se os sintéticos, pois oferecem estabilidade aos diferentes tipos de alimentos e possuem menor custo. Alguns estudos mostram que estes antioxidantes trazem risco a saúde quando o consumo ocorre em grande quantidade e com frequência. Isto determina a incansável busca por compostos antioxidantes naturais (FERNANDES, 2019).

Alguns produtos naturais podem atuar no combate da oxidação através das seguintes formas: como antioxidante primário, atuando na eliminação dos radicais livres e como o antioxidante secundário, onde atua por um mecanismo que não envolve uma atividade sequestrante direta por radicais livres (FERNANDES, 2019).

A oxidação inicia-se na superfície do produto e o uso de embalagem biodegradável com agentes antioxidantes naturais protege o alimento contra a deterioração (JONGJAREONRAK *et al.*, 2008). Extratos vegetais contendo compostos fenólicos, utilizados em embalagens, atrasam e previnem a oxidação dos alimentos (REIS *et. al.*, 2015).

Alguns métodos que avaliam a capacidade antioxidante *in vitro* de extratos e/ou substâncias isoladas, estão presentes na literatura. O método DPPH• esta

dentre os mais populares, pois é simples, possui baixo custo e é eficiente, devido a sua alta sensibilidade (ALVES *et al.*, 2010; KANDI; CHARLES, 2019). Este método baseia-se na captura do radical livre DPPH• (2,2-difenil-1-picril-hidrazil) por antioxidantes, que gera um decréscimo da absorbância a 515 nm. O radical (DPPH•) apresenta uma cor púrpura que altera para amarelo após reação com antioxidantes, e é comumente usado para determinar a capacidade antioxidante de compostos bioativos em diferentes amostras (BRAHAM *et al.*, 2019).

A capacidade de eliminação da atividade antioxidante é determinada pelo ensaio ABTS através da reação com um forte agente antioxidante na presença de sal ABTS^{•+} (2,2'-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6-ácidosulfônico). O ABTS é uma substância utilizada em vários ensaios enzimáticos como marcador de reação. No entanto, recentemente vem sendo empregado em ensaios colorimétricos para estimar o potencial antioxidante de substâncias ou misturas. Nessa aplicação, o ABTS, de cor verde clara, reage com o persulfato de potássio e forma o radical catiônico ABTS^{•+} de coloração verde/azulada (SRIDHAR; CHARLES, 2019).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 MATERIAL

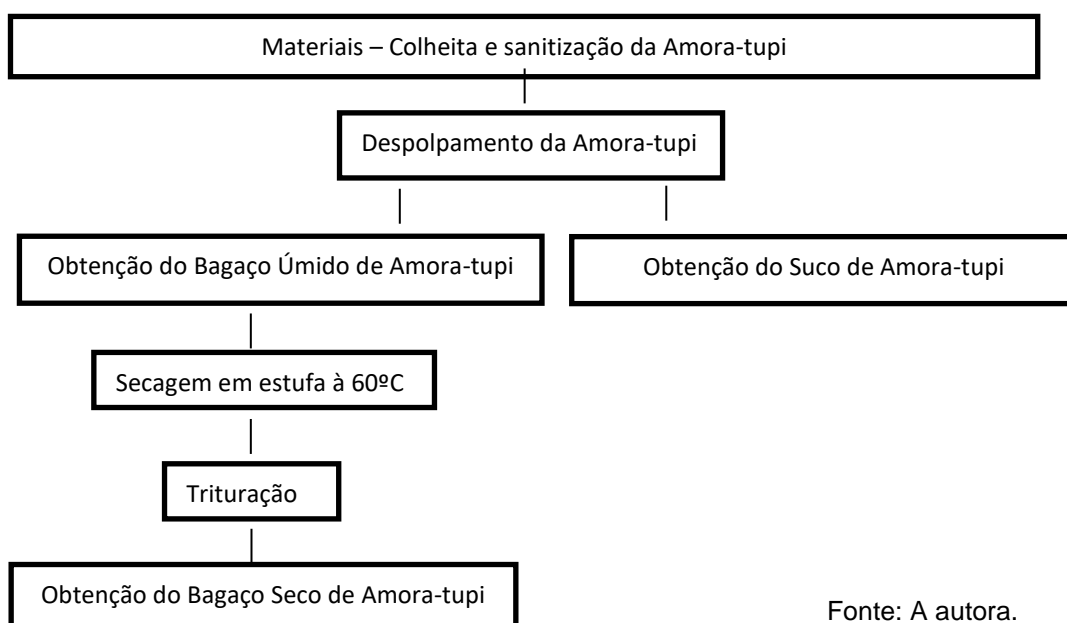
As amoras-tupi foram colhidas em outubro de 2020 na cidade de Ponta Grossa- PR. Imediatamente após o recebimento, as amostras foram lavadas em água corrente, identificadas e armazenadas em freezer doméstico em temperatura de -18°C até a realização dos experimentos. O amido de mandioca foi obtido do grupo Agrícola Horizonte (Mal. Cândido Rondon – PR), o glicerol adquirido da Reagen Produtos para Laboratório LTDA (Colombo – PR).

4.2 MÉTODOS

4.2.1 Obtenção do Bagaço Seco e do Suco de Amora-tupi

O bagaço seco de amora-tupi, tratado nesse trabalho pela sigla RSA, foi obtido após o processamento dos frutos para obtenção de bebidas. Neste processo foi realizado o despolpamento, na despolpeadeira de frutas linha nobre DES-60. Em seguida obteve-se o bagaço úmido que foi seco em estufa a 60°C até o peso constante, de aproximadamente 8 horas e o suco de amora-tupi, seguindo as etapas do Fluxograma 1.

Fluxograma 1 - Obtenção do bagaço seco de amora-tupi.



Fonte: A autora.

O bagaço úmido foi seco, conforme ilustrado na Figura 3.

Figura 3 - Bagaço úmido e pós-secagem à 60°C, até peso constante.



Fonte: A autora.

Posteriormente o bagaço seco de amora (RSA) foi triturado em liquidificador doméstico e armazenado em frascos de vidro envoltos em papel alumínio, protegidos da luz, em freezer (-18 °C) até a sua utilização, conforme Figura 4.

Figura 4 - Bagaço Seco de Amora-tupi (RSA) triturado.

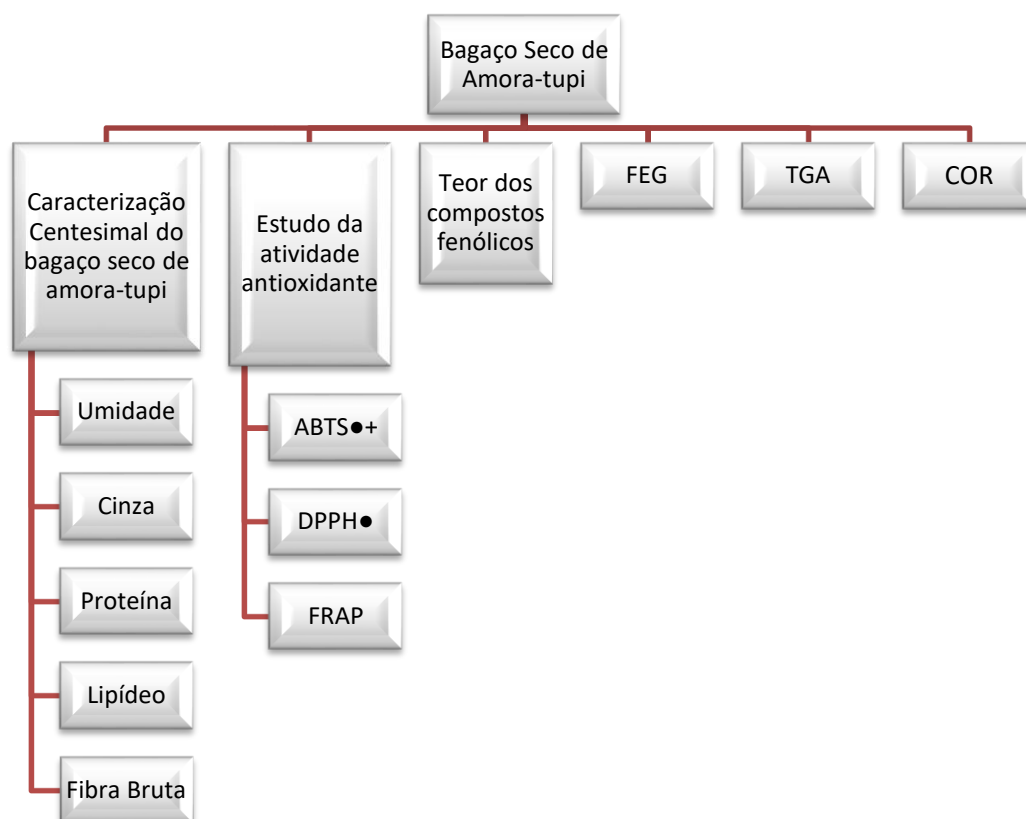


Fonte: A autora.

4.2.2 Caracterização Centesimal do Bagaço Seco de Amora-tupi (RSA)

O RSA (Bagaço Seco de Amora-tupi) foi caracterizado quanto à sua composição centesimal, estabilidade térmica, características microscópicas e atividade antioxidante. O Fluxograma 2, apresenta de forma clara o desenvolvimento das análises do bagaço seco de amora obtido da amora-tupi.

Fluxograma 2 - Análises realizadas com o bagaço seco de Amora-tupi.



Fonte: A autora.

Nota: FEG (Microscopia Eletrônica de Varredura), TGA (Análise Termogravimétrica).

4.2.2.1. Umidade

A umidade foi determinada de acordo com a metodologia descrita no Manual do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008). Foram pesados 5 g de amostra em cadinhos de alumínio, previamente tarados e resfriados em dessecador. Foi realizada secagem em estufa a 105 °C, até o peso constante da amostra. A umidade foi calculada pela diferença de massa e o resultado expresso em porcentagem, conforme Equação 1.

$$\text{Teor de umidade} = \frac{\text{peso da amostra inicial} - \text{peso da amostra final}}{\text{peso da amostra inicial}} \times 100 \quad (\text{Eq. 1})$$

4.2.2.2. Teor de cinzas

O teor de cinzas foi determinado de acordo com a metodologia descrita no Manual do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008). Foram pesados 5 g de amostra em cadinhos previamente calcinados na mufla (Fornos Jung Ltda – Blumenau/SC) a 550 °C. A amostra foi carbonizada em chapa de aquecimento, seguido de incineração completa em mufla a 550 °C por 6 horas. O teor de cinzas foi calculado de acordo com a Equação 2.

$$\text{Teor de cinzas} = \frac{\text{peso do cadinho com as cinzas} - \text{peso do cadinho}}{\text{peso da amostra}} \times 100 \quad (\text{Eq. 2})$$

4.2.2.3. Proteínas

O teor de nitrogênio total foi determinado de acordo com a metodologia de Kjeldahl, descrita no Manual do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008). Em tubos Kjeldahl foram pesados 0,5 g de amostra e posteriormente foi adicionado catalisador (sulfato de cobre + sulfato de potássio) e ácido sulfúrico concentrado, para a etapa de digestão ácida em bloco digestor, de 50°C aumentando de forma gradual até atingir 350°C. Foi realizada então a destilação em destilador Kjeldahl, após alcalinização com hidróxido de sódio a 50% (m.v⁻¹). Foi coletado aproximadamente 100 mL de destilado em um erlenmeyer contendo 20mL de ácido bórico e então foi titulado com ácido clorídrico 0,1 mol L⁻¹. A quantidade de proteína bruta foi calculada pela Equação 3, utilizando 6,25 como fator de conversão de nitrogênio para proteína.

$$\text{Proteína total (\%)} = \frac{V \times fc \times 0,14008 \times 6,25 \times 100}{P} \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde V é o volume gasto de ácido clorídrico, fc o fator de correção do HCl e P a massa da amostra.

4.2.2.4. Lipídeos

A fração lipídica foi determinada pela extração por solvente à quente com extrator de Soxhlet, sendo que a extração lipídica da amostra foi realizada com hexano, seguindo a metodologia descrita no Manual do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008). Em um cartucho feito com papel de filtro, foram pesados 5 g de amostra, em seguida foi colocado no extrator de Soxhlet. O extrator foi acoplado em um balão contendo 200 mL de solvente hexano e mantido sob aquecimento. O conjunto permaneceu em refluxo durante 6 horas. O teor de lipídeos foi determinado por diferença de peso e expressa em porcentagem, de acordo com a Equação 4.

$$\text{Lipídeos (\%)} = \frac{\text{balão com gordura (g)} - \text{balão vazio (g)}}{\text{massa amostra (g)}} \times 100 \quad (\text{Eq. 4})$$

4.2.2.5. Fibra bruta

O teor de fibra bruta foi realizado conforme descrito no Manual do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008). Foi realizado uma digestão com 0,255 mol L⁻¹ H₂SO₄ e 0,313 mol L⁻¹ NaOH no Digestor de fibras Marconi (MA-444/CI – Piracicaba/SP) e posteriormente foi obtido um bagaço orgânico correspondente a fibra bruta.

4.2.3 Estudo da Capacidade Antioxidante do Bagaço Seco de Amora-tupi

Para avaliação da atividade antioxidante do bagaço seco de amora-tupi, a amostra foi solubilizada em metanol:acetona, 50:50 na concentração inicial de 1 mg mL⁻¹ por 24 horas, para o método ABTS•⁺ foram feitas as diluições após o período de extração para concentrações de 0,1 mg mL⁻¹, 0,01 mg mL⁻¹ e 0,001 mg mL⁻¹. Para os métodos de DPPH• e FRAP, a amostra não foi diluída, usou-se a concentração de 1 mg mL⁻¹.

4.2.3.1 ABTS•⁺

Para preparar o radical catiônico ABTS•⁺ (2,2'-azinobis(3-etilbenzotiazolina-6-ácidosulfônico), foi utilizado 5 mL de solução aquosa de ABTS (7 mM) com 88 µL de

persulfato de potássio (2,46 mM, Sigma-Aldrich®), onde a reação ocorreu em temperatura ambiente, ao abrigo da luz, por um tempo de 12 a 16 horas antes do uso (RE *et al.*, 1999). Antes do ensaio, a solução de ABTS•+ foi diluída com tampão fosfato de sódio 10 mM (1:20, v / v). A amostra de bagaço seco de amora-tupi, em concentrações de 0,1; 0,01 e 0,001 mg mL⁻¹ em triplicata, foi adicionada nas proporções de 20, 40 e 80 µL, juntamente com 150 µL de ABTS•+ e completada com tampão fosfato de sódio até um volume final de 500 µL de meio reacional. A solução foi incubada durante 15 minutos a 25° C ao abrigo da luz e posteriormente foi realizada a leitura 734 nm em leitor de microplacas multimodo híbrido Synergy™ H1 com software Gen5.2 (BioTek®, USA).

4.2.3.2 DPPH•

Para determinar a ação *scavenger* sobre DPPH• (2,2-difenil-1-picrilihidrazil Sigma-Aldrich®) o meio foi composto de uma amostra de bagaço seco de amora-tupi, que foi solubilizada em metanol:acetona 50:50 com concentração de 1 mg mL⁻¹ na proporção de 125 µL, 110 µL, 100 µL, 85 µL, 75 µL, 60 µL, 50 µL, 35 µL e 25 µL, juntamente com 300 µL de solução de DPPH• 60mM e o meio reacional foi completado com etanol absoluto até um volume final de 1000 µL, em triplicata. A mistura foi incubada por 15 minutos a 25° C em um ambiente protegido da luz. A atividade antioxidante foi observada pelo decréscimo da absorbância em $\lambda = 517$ nm em leitor de microplacas multi-modo híbrido Synergy™ H1 com software Gen5.2 (BioTek®, USA) (SOARES *et al.*, 1997).

4.2.3.3 Determinação do poder de redução do íon ferro FRAP

O ensaio FRAP foi realizado segundo metodologia de Benzie e Strain (1996). A solução tampão de acetato de sódio a 300 mM foi realizada adicionando 1,87 g de C₂H₃NaO₂ (acetato de sódio anidro) em 16 mL C₂H₄O₂ (ácido acético glacial) completando com água destilada o meio reacional para 1000 mL (pH 3,6). O preparo da solução 10 mM TPTZ (2, 4, 6 solução de tripiridil-s-triazina, Sigma-Aldrich®) foi realizado adicionando a massa de 0,03121g de TPTZ em 10 mL de HCl (ácido clorídrico) 40 mM. Seguindo o

preparo da solução $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (cloreto de ferro, Biotec®) 20 mM. A nova solução de trabalho foi preparada misturando 60 mL de tampão acetato, 6 mL da solução de TPTZ e 6 mL de solução $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Para o preparo da amostra, a solução metanol:acetona 50:50 com o bagaço seco de amora-tupi foi levada ao Ultrassom (Ultrasonic Cleaner, USA) por 20 minutos e posteriormente ao Evaporador Rotativo (TE-211 / Tecnal) por 1 hora, em pressão de 300 bar, para que o solvente fosse volatilizado. Foi verificado o volume inicial e após o processo de rotoevaporação, verificou-se o volume e a massa do solvente final, para que posteriormente fosse realizado o cálculo de diluição, os resultados do RSA100, RSA10, RSA5 e RSA2.5 foram multiplicados pela diluição, com exceção do RSA0, pois o resultado da leitura deu menor que os resultados obtidos no intervalo da curva. Após o processo de rotoevaporação, foi pipetado 10 μL de amostra concentrada, em seis repetições, e deixado reagir por 30 minutos com 290 μL da solução FRAP na condição escura. As leituras (complexo ferroso de tripiridiltriazina) foram então realizadas em $\lambda = 595 \text{ nm}$ em espectrofotômetro (BioTek® modelo ELx808 com agitador). O padrão Trolox foi utilizado para o desenvolvimento da curva de calibração ($0\text{-}1000 \mu\text{mol.L}^{-1}$), os resultados foram expressos em $\mu\text{mol TE.g}^{-1}$.

4.2.3.4. Determinação do teor de compostos fenólicos

A determinação do teor de fenólicos totais foi realizada em triplicata de acordo com o método de Folin-Ciocalteu (Dinâmica®). A amostra foi dissolvida em metanol:acetona 50:50 na concentração inicial de 1 mg mL^{-1} por 24 horas. A partir desta solução, foram transferidos em triplicata alíquotas de 20 μL , 40 μL , 80 μL , 120 μL , 160 μL e 200 μL para um tubo de ensaio, combinando com 7 mL de água destilada, 500 μL do reagente Folin-Ciocalteu e depois de 30 s, foram adicionados 2,5 mL de Na_2CO_3 10,6% (m.v^{-1}) (PA, Biotec®). Após 5 min de incubação à temperatura de 50°C , a absorbância foi medida em $\lambda = 715 \text{ nm}$ em leitor de microplacas multi-modo híbrido Synergy™ H1 com software Gen5.2 (BioTek®, USA). As soluções padrão de ácido gálico (Merck®) 50, 100, 200, 400, 600 e 800 $\mu\text{g.mL}^{-1}$ foram utilizadas para o desenvolvimento da curva de calibração (MUNHOZ

et al., 2014; SWAIN; HILLS, 1959). Os resultados do teor de compostos fenólicos totais foram expressos como equivalentes de ácido gálico (mg AG.g⁻¹).

4.2.4 Análise Termogravimétrica (TGA)

Para a realização das análises termogravimétricas seguiu-se a metodologia descrita por BET *et al.* (2018) e foi utilizado o equipamento PerkinElmer (STA 6000 – Simultaneous Thermal Analyzer). O bagaço seco de amora e o amido de mandioca foram acondicionados em dessecador UR 0% por 7 dias antes de serem analisadas. Durante a análise, aproximadamente 5 mg das amostras foram colocadas em cadinhos de platina e submetidas a uma razão de aquecimento de 20°C.min⁻¹, a faixa de temperatura analisada foi de 20°C a 600°C, sob fluxo de ar comprimido de 150 mL.min⁻¹. As porcentagens referentes à perda de massa das amostras e as curvas dTG foram obtidas por meio do software de análise de dados TA-60 WS.

4.2.5 Microscopia Eletrônica de Varredura de Alta Resolução (MEV-FEG)

A microestrutura do bagaço seco de amora e do amido de mandioca foi avaliada por meio da microscopia eletrônica de varredura de alta resolução (FEG), utilizando um microscópio eletrônico FEI Quanta 200. Como preparação das amostras, elas foram acondicionadas em dessecador (UR=0%) com cloreto de cálcio por sete dias antes da análise. As amostras secas foram então revestidas com ouro utilizando-se um Sputter Coater BAL-TEC SCD 050. A tensão de aceleração determinada foi de 15 kV e a ampliação de 1500x, 2000x e 3000x.

4.2.6 Cor

A cor de cada ensaio foi determinada por meio de um colorímetro (BYK GardnerUSA) em um ângulo de 10° usando o iluminante D65 (luz do dia). As leituras foram realizadas no sistema CIELAB (L*, a* e b*). Para cada ensaio, foram realizadas três leituras. Antes da realização de cada análise, foi realizada a calibração do aparelho.

4.3 PH E ACIDEZ DO SUCO DE AMORA-TUPI

O pH do suco foi medido por pHmetro digital. O extrato utilizado para obtenção da acidez titulável foi preparado a partir de 10 mL de suco diluídos em 100 mL de água destilada e submetido à agitação. A acidez titulável total foi determinada por titulação com NaOH 0,1 mol L⁻¹, utilizando uma solução de fenolftaleína 1% como indicador e expressa em mL de NaOH 0,1 mol L⁻¹ por 100 gramas de amostra (AOAC, 1990).

4.4 PRODUÇÃO DOS MATERIAIS BIODEGRADÁVEIS

A obtenção dos materiais biodegradáveis foi realizada utilizando-se a técnica de prensagem a quente, com o objetivo de obtenção de bandejas. Para tal técnica foi utilizada uma prensa térmica doméstica (Sanduicheira Easy Meal – *Cadence*), com temperatura média de 175°C. As bandejas foram compostas de amido de mandioca, glicerol e bagaço seco de amora (RSA) (Tabela 1). Também foi adicionado 0,5 g de benzoato de sódio nas formulações RSA2.5; RSA5 e RSA10 e 100mL de água destilada em todas as formulações.

Tabela 1- Formulações para produção dos materiais biodegradáveis.

Formulações	Amido (g.100g ⁻¹)	Glicerol (g.100g ⁻¹)	RSA* (g.100g ⁻¹)	Benzoato de Sódio (g.100g ⁻¹)	Água (g.100g ⁻¹)
RSA0	90,0	9,1	0,0	0,0	100,0
RSA2.5	88,2	9,0	2,3	0,5	100,0
RSA5	86,0	9,0	4,5	0,5	100,0
RSA10	81,5	9,0	9,0	0,5	100,0

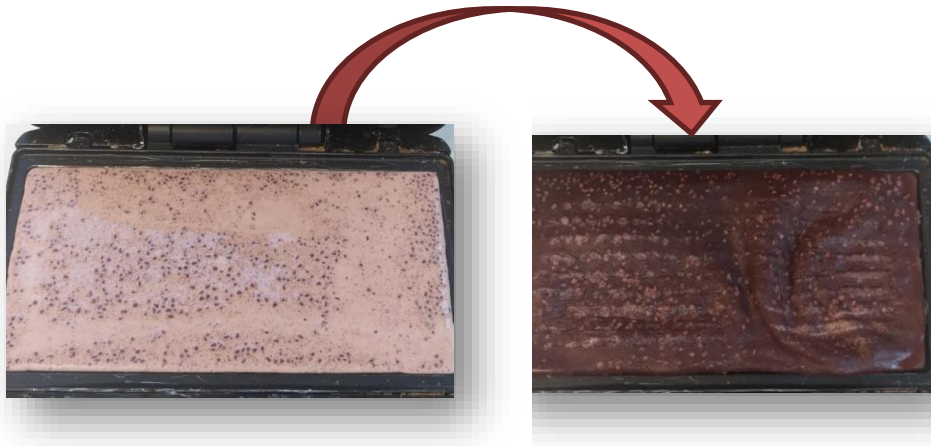
Fonte: A Autora.

Legenda: * RSA (Bagaço seco de amora). O número após a sigla refere-se à concentração de RSA em cada formulação, em porcentagem.

Para obtenção das bandejas pesou-se primeiro o amido de mandioca, depois o bagaço seco de amora, depois o benzoato de sódio e por último colocou-se 100mL de água destilada em cada formulação. Posteriormente misturou-se bem cada formulação, até ficar homogêneo. Pesou aproximadamente 115 g de cada

formulação e colocou-se na termoformadora já aquecida, deixando por 8 minutos. O material foi removido com auxílio de uma espátula e deixado sobre papel alumínio, sendo armazenado na BOD à 25°C. Na Figura 5 está ilustrada a obtenção do produto após passar pela termoformagem.

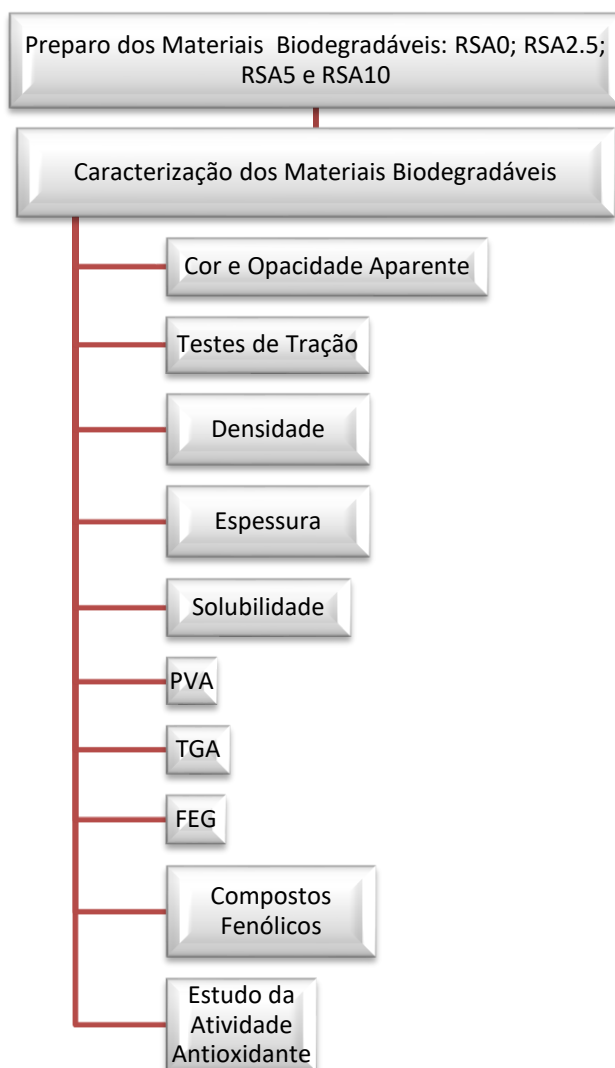
Figura 5 - Alteração após aplicação de temperatura no material prensado.



Fonte: A autora.

No Fluxograma 3 estão demonstradas as análises de caracterização dos materiais biodegradáveis, obtidos a partir da técnica termoformagem.

Fluxograma 3 - Análises para caracterização do material biodegradável.



Fonte: A autora.

Nota: FEG (Microscopia Eletrônica de Varredura), TGA (Análise Termogravimétrica), PVA (Permeabilidade ao vapor de água).

4.4.1 Caracterização dos Materiais Biodegradáveis

Os materiais foram caracterizados quanto à sua propriedade mecânica (testes de tração), permeabilidade ao vapor de água (PVA), espessura, cor, opacidade aparente, densidade, solubilidade em água, análise termogravimétrica (TGA), características estruturais por microscopia eletrônica de varredura de alta resolução (MEV-FEG), teor de compostos fenólicos e atividade antioxidante.

4.4.1.1 Propriedades mecânicas – teste de tração

As análises de tração foram realizadas de acordo com o método da *American Society for Testing and Material* (ASTM D-882-91, 1996), com auxílio de um equipamento universal de ensaios, marca Shimadzu. As amostras previamente cortadas com 50 mm x 20 mm foram condicionadas em UR 53% pelo período de 48 horas antes de serem analisadas. Foram utilizadas 8 amostras para cada formulação. Durante a análise, as amostras foram ajustadas às garras pneumáticas do equipamento sendo a distância estabelecida entre as garras de 30 mm e velocidade de tração de $0,8 \text{ mm.s}^{-1}$. As seguintes propriedades de tração foram determinadas: resistência máxima à tração (MPa), alongação (%) e módulo de Young (MPa).

4.4.1.2 Permeabilidade ao vapor de água (PVA)

A permeabilidade ao vapor de água foi determinada pelo método gravimétrico de acordo com a *American Society for Testing and Material* (ASTM E-96-95, 1995). O filme previamente condicionado em umidade relativa (UR) de 53%, durante o período de uma semana, foi posicionado na abertura circular de 60 mm de diâmetro da célula de permeação e selado, utilizando-se cola epóxi para garantir que a migração de umidade ocorrerá exclusivamente através do material biodegradável. O interior da célula foi previamente preenchido utilizando-se cloreto de cálcio anidro ($\text{UR} \approx 0$) e o sistema foi introduzido em dessecador contendo solução saturada de NaCl, que corresponde à UR de 75%, ou seja, maior que a do interior da cápsula (gradiente 0 - 75). Isso vai criar um gradiente de umidade relativa, forçando a passagem de vapor de água para o interior da cápsula.

Sucessivas pesagens foram realizadas, a cada hora, por um intervalo de tempo de 12 horas e após 24 horas, com a finalidade de registrar o ganho de massa sofrido pela amostra. O ganho de massa (m) foi plotado em função do tempo (t) sendo determinado o coeficiente angular através da equação de reta, obtida por regressão linear e a taxa de permeabilidade ao vapor de água ($TPVA$) calculada através da Equação 5:

$$TPVA = m/t \times 1/A \quad (\text{Eq. 5})$$

Onde A é a área de permeação do corpo de prova (m^2).

Para cada formulação desenvolvida, o ensaio foi realizado em duplicata a uma temperatura de $23 \pm 2^\circ\text{C}$. A permeabilidade ao vapor d'água foi calculada através da Equação 6:

$$PVA = (TPVA \times e) / p_s \times (UR_1 - UR_2) \quad (\text{Eq. 6})$$

Onde e é a espessura média do corpo de prova (m), p_s pressão de saturação de vapor à temperatura do ensaio (Pa), UR_1 é a umidade relativa no interior do dessecador e UR_2 é a umidade relativa no interior da cápsula. Os valores de umidade relativa utilizados na equação foram divididos por 100.

4.4.1.3 Espessura

A espessura dos materiais biodegradáveis foi determinada utilizando-se um micrômetro manual (Digimess, capacidade 0-25 mm, resolução 0,001 mm). A espessura final foi fixada como sendo a média aritmética de cerca de 10 medidas aleatórias realizadas de cada material (MÜLLER; YAMASHITA; LAURINDO, 2008).

4.4.1.4 Cor e opacidade aparente

A cor de cada ensaio foi determinada seguindo a mesma metodologia descrita no item 4.2.6.

A opacidade aparente foi determinada com auxílio do mesmo calorímetro, empregando-se iluminante D_{65} (luz do dia) e ângulo visual de 10° . A metodologia foi baseada na descrita por Sobral (2001) na qual o cálculo da opacidade (Y) foi realizado em relação à luminosidade da amostra sobre um padrão branco (Y_b) e um preto (Y_p), conforme a Equação 7.

$$Y = \frac{(Y_p / Y_b) \times 100}{e} \quad (\text{Eq. 7})$$

Onde Y é a opacidade aparente, Y_p é a luminosidade da amostra medida sobre um padrão preto, Y_b é a luminosidade da amostra medida sobre um padrão branco e e é a média da espessura. O resultado foi dividido pela espessura, pois essa influência significativamente a opacidade das amostras, e expresso utilizando-se uma escala arbitrária (0 – 1 %/ μm). As amostras foram analisadas em triplicata

4.4.1.5 Densidade

Para a determinação da densidade das amostras dos materiais biodegradáveis estas foram cortadas com dimensões de 20 mm x 20 mm (triplicata) e acondicionados por 20 dias em dessecador contendo cloreto de cálcio anidro (CaCl_2) para serem desidratados. Posteriormente, as amostras foram pesadas e, em seguida, sua massa e volume foram determinados. Os resultados obtidos foram utilizados para o cálculo da densidade (gramatura) dos materiais, sendo expressos em g/cm^3 (MÜLLER; YAMASHITA; LAURINDO, 2008).

4.4.1.6 Solubilidade

As amostras foram previamente secas em dessecador contendo cloreto de cálcio anidro por 7 dias. Após esse período foram pesadas e imersas em água destilada (proporção 30:1 – água:amostra) por 48h a 25°C. Após esse período, a água em excesso foi removida e os materiais foram secos em estufa a 105°C até massa constante. A solubilidade foi calculada como a diferença de massa das amostras antes e depois do tratamento e a análise foi conduzida em triplicata.

4.4.1.7 Análise termogravimétrica (TGA)

Para a realização da análise termogravimétrica os materiais biodegradáveis foram moídos com auxílio de uma faca, até se obter um pó e posteriormente foram submetidos a condições descritas no item 4.2.4.

4.4.1.8 Microscopia eletrônica de varredura de alta resolução (MEV-FEG)

Para avaliar a microestrutura dos materiais biodegradáveis estes foram preparados em dimensões 1mmx1mm, congelados em freezer à -18 °C e após 24 horas foram fraturados, posteriormente os materiais foram submetidos às mesmas condições descritas no item 4.2.5.

4.4.2 Perfil de Liberação de Compostos Fenólicos e Atividade Antioxidante dos Materiais Biodegradáveis

Para determinar o teor de liberação de compostos fenólicos totais dos materiais biodegradáveis, o material foi deixado imerso em água destilada por até 48 horas, na concentração 1:10, sendo 1g de amostra e 10mL de água. Foram retiradas alíquotas de 1 mL nos intervalos de tempo: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 24 e 48 horas. As alíquotas foram guardadas na geladeira, em temperatura de refrigeração à 5°C e protegidas da luz. No dia seguinte, foram transferidos em triplicata alíquotas de 200 µL de cada tempo para um tubo de ensaio, combinando com 7 mL de água destilada, 500 µL do reagente Folin-Ciocalteu e depois de 30 s, foram adicionados 2,5 mL de Na₂CO₃ 10,6% (m.v⁻¹) (PA, Biotec®). Após 5 min de incubação à temperatura de 50°C, a absorbância foi medida em $\lambda = 715$ nm em leitor de microplacas multi-modo híbrido Synergy™ H1 com software Gen5.2(BioTek®, USA). Os resultados do teor de compostos fenólicos totais foram expressos como equivalentes de ácido gálico (mg AG.g⁻¹).

Foi determinado também o teor de compostos fenólicos em diferentes concentrações de amostras. Para isso as amostras dos materiais biodegradáveis foram trituradas, com auxílio de uma faca e posteriormente foram dissolvidas em metanol:acetona 50:50 na concentração inicial de 1 mg mL⁻¹ por 24 horas. A partir desta solução, foram transferidos em triplicata alíquotas de 20 µL, 40 µL, 80 µL, 120 µL, 160 µL e 200 µL para um tubo de ensaio, combinando com 7 mL de água destilada, 500 µL do reagente Folin-Ciocalteu e depois de 30 s, foram adicionados 2,5 mL de Na₂CO₃ 10,6% (m.v⁻¹) (PA, Biotec®). Após 5 min de incubação à temperatura de 50°C, a absorbância foi medida em $\lambda = 715$ nm em leitor de

microplacas multi-modo híbrido Synergy™ H1 com software Gen5.2 (BioTek®, USA).

Para determinar a ação *scavenger* sobre DPPH• (2,2-difenil-1-picrilhidrazil Sigma-Aldrich®), os materiais biodegradáveis RSA0, RSA2.5, RSA5 e RSA10, foram triturados com auxílio de uma faca e deixados imersos, na concentração 1:1, sendo 60mg de amostra e 60mL de solvente 50:50 (metanol: acetona). Posteriormente foram colocados no eppendorf na proporção de 250 µL, 220 µL, 200 µL, 170 µL, 150 µL, 120 µL, 100 µL, 70 µL e 50 µL, juntamente com 300 µL de solução de DPPH• 60mM e o meio reacional foi completado com etanol absoluto até um volume final de 1000 µL, em triplicata. A mistura foi incubada por 15 minutos a 25° C em um ambiente protegido da luz. A atividade antioxidante foi observada pelo decréscimo da absorbância em $\lambda = 517$ nm em leitor de microplacas multi-modo híbrido Synergy™ H1 com software Gen5.2 (BioTek®, USA) (SOARES *et al.*, 1997).

Foram também realizadas análises de atividade antioxidante pelo método ABTS•⁺ e FRAP, conforme descritos nos itens 4.2.3.1 e 4.2.3.3.

4.4.3 Análise Estatística

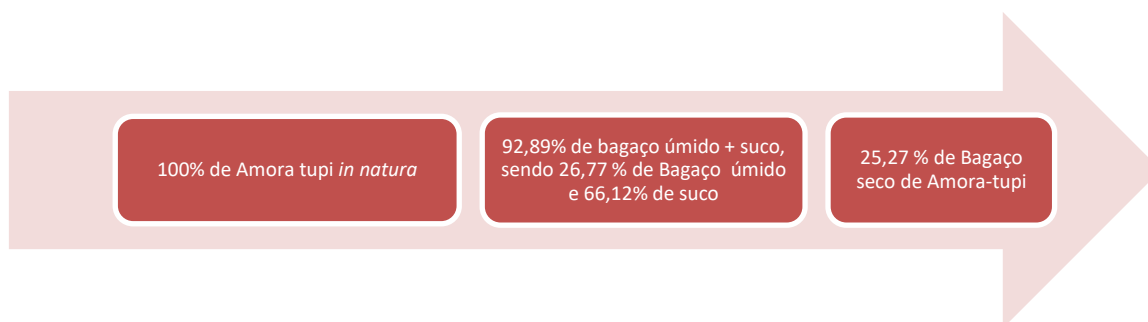
Os dados foram analisados pelo método de análise de variância (ANOVA) de uma via ou duas vias, seguido de pós teste de Tukey ou de Bonferroni, respectivamente. Foram considerados significativos valores de $p < 0,05$. Valores de IC₅₀ foram calculados por regressão linear (software GraphPad Prism v. 5.01). As análises foram realizadas em triplicatas e os valores apresentados em média \pm desvio padrão.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 OBTENÇÃO DO BAGAÇO SECO E DO SUCO DE AMORA-TUPI

Inicialmente tinham 3,07 kg de amora e após o despolpamento realizado na Despolpadeira de Frutas Linha nobre DES-60, foi obtido um rendimento de 0,822 kg de bagaço úmido e 2,03 kg de suco. Após a secagem deste bagaço úmido, foi obtido de bagaço seco de amora-tupi de 0,776 kg, exemplificado no Fluxograma 4.

Fluxograma 4 - Demonstração dos resultados em porcentagem da obtenção do bagaço seco de amora-tupi.



Fonte: A autora.

5.2 ANÁLISES DO BAGAÇO SECO DE AMORA-TUPI

5.2.1 Caracterização Centesimal do Bagaço Seco de Amora-tupi (RSA)

Os resultados da composição química centesimal do bagaço seco de amora-tupi em base seca (b.s.) são apresentados na Tabela 2.

É importante mencionar que o material residual seco retirado da amora-tupi trouxe escasso quantitativo de água, o que foi reiterado pelas consequências da umidade. Também se percebeu que elevadas taxas de gorduras e proteínas, assim como efetivo significativo de cinzas foi observado, delimitando os minerais encontrados no fruto. O bagaço possui uma grande quantidade de sementes e

casca, o que pode ser comprovado pelo resultado da proporção de fibras brutas, que se mostrou mais expressiva. Este resultado é positivo, pois quando é adicionado um bagaço com alto teor de fibras em materiais biodegradáveis, estes tendem a apresentar melhores características mecânicas, contribuindo para sua aplicação.

Tabela 2 - Composição química centesimal do bagaço seco de amora-tupi (100).

Amostra	Umidade ^(a) (g 100g⁻¹)	Cinzas ^(a) (g 100g⁻¹)	Proteína^(a) (g 100g⁻¹)	Lipídeos ^(a) (g 100g⁻¹)	Fibra Bruta^(a) (g 100g⁻¹)	Carboidrato^(b) (g 100g⁻¹)
RSA	2,8±0,14	2,5±0,13	9,8±0,22	9,9±0,24	43,3±2,03	31,7

Fonte: A autora.

Legenda: ^(a) Os resultados são a média ± desvio padrão (n=3). ^(b) Calculados por diferença (100 –(proteínas, lipídeos, cinzas, fibra bruta e umidade)).

Diante dessas considerações, Souza (2016) reitera que os resultados obtidos podem ter similaridade com a produção de farinha da casca de jabuticaba, pois em sua pesquisa, também houve quantidade de água escassa, grandes percentuais de proteína e gordura, assim como cinzas. No caso desse estudo, os dados demonstram-se importantes para verificação centesimal do bagaço seco.

5.2.2 Cor

Os resultados da análise de cor do bagaço seco de amora-tupi (RSA) são mostrados na Tabela 3.

Tabela 3 - Resultados da análise de cor do bagaço seco de amora-tupi (RSA).

Amostra	L*	a*	b*
RSA	15,99±0,09	40,44±0,05	26,67±0,62

Fonte: A autora.

Nota: Dados expressos como média ± desvio padrão (n=3).

Os resultados da análise de cor foram expressos de acordo com a escala CIELAB. O bagaço seco de amora-tupi (RSA) apresentou valor acima de 40,00 na coordenada a*, indicando a coloração mais avermelhada.

5.2.3 Atividade Antioxidante do Bagaço Seco de Amora-tupi (RSA)

A atividade antioxidante dos materiais prolonga evita a oxidação lipídica dos alimentos, prolongando sua vida útil. Para a indústria alimentícia, um material de embalagem que possua essas funções se torna interessante no mercado.

Na Tabela 4, estão expressos os resultados da % de inibição do radical ABTS^{•+} avaliado para o RSA. Pode-se observar nos resultados apresentados na Tabela 4 que o bagaço seco de amora-tupi apresentou ação antioxidante e mesmo em baixas concentrações, o bagaço apresentou % de inibição. Este fator é positivo para a aplicação pretendida para as embalagens biodegradáveis ativas com adição de RSA.

Tabela 4 - Atividade antioxidante do bagaço seco de amora-tupi (RSA100) pelo método scavenger de ABTS^{•+}.

Concentração ($\mu\text{g.mL}^{-1}$)	RSA (% de inibição)	Quercetina (% de inibição)
0,04	10,06 \pm 0,98	13,73 \pm 17,95
0,08	24,83 \pm 2,55	34,45 \pm 25,00
0,16	31,50 \pm 1,19**	47,95 \pm 2,50
0,4	32,02 \pm 7,46***	67,06 \pm 2,34
0,8	45,22 \pm 4,19***	94,45 \pm 1,58
1,6	50,84 \pm 4,72***	97,43 \pm 2,18
4	57,51 \pm 4,02***	99,51 \pm 2,16
8	78,95 \pm 1,26***	99,67 \pm 0,27
16	87,18 \pm 2,75*	100,80 \pm 1,82
IC ₅₀ ($\mu\text{g.mL}^{-1}$)	1,64	0,34

Fonte: A autora.

Nota: Dados expressos como média \pm desvio padrão (n=3). Valor de IC₅₀ calculado por regressão linear. * Significa diferença estatística em relação à quercetina, sendo * p<0,05, ** p<0,01, *** p<0,001.

Diante da mudança de coloração do teste em relação ao início, pode-se afirmar que o radical ABTS^{•+} foi reduzido. De acordo com os resultados da Tabela 4, foi possível perceber que o teste de ABTS^{•+} apresentou uma tendência crescente de atividade antioxidante em relação à concentração de extrato utilizada no experimento, variando de 10,06 a 87,18% de inibição.

O IC₅₀ representa a quantidade de antioxidante necessária para reduzir 50% da quantidade inicial de radical, obtida a partir da razão entre o valor de IC₅₀ e da concentração inicial do radical, ou seja, quanto menor o IC₅₀ maior a atividade antioxidante. O resultado obtido para o bagaço seco de amora-tupi na ação

scavenger de ABTS^{•+} foi de 1,64 $\mu\text{g.mL}^{-1}$ (Tabela 4), comprovando a atividade antioxidante do bagaço de amora. Este resultado é superior ao IC₅₀ da quercetina, o que é esperado, visto que a quercetina é tida como padrão para a atividade antioxidante.

Segundo Bennmann *et al.* (2018) o valor obtido do IC₅₀ para o radical ABTS^{•+} de farinhas de bagaço de diferentes cultivares de uva, foram de: 39,52 $\mu\text{g.mL}^{-1}$ (Merlot), 72,98 $\mu\text{g.mL}^{-1}$ (Cabernet Sauvignon), 93,18 $\mu\text{g.mL}^{-1}$ (Sangiovese) e 105,48 $\mu\text{g.mL}^{-1}$ (Sauvignon Blanc) e com base nestes resultados, conclui-se que o valor obtidos nesse trabalho para o RSA100 foi muito promissor.

Na Tabela 5, estão expressos os resultados da % de inibição e do IC₅₀ obtidos através do método *scavenger* DPPH[•].

Tabela 5 - Atividade antioxidante do bagaço seco de amora-tupi (RSA) pelo método *scavenger* DPPH[•].

Concentração ($\mu\text{g.mL}^{-1}$)	RSA (% de inibição)	Quercetina (% de inibição)
125	95,71 \pm 1,70	
110	90,11 \pm 1,84	
100	87,76 \pm 0,61	
85	87,66 \pm 0,76	
75	81,04 \pm 0,91	
60	69,21 \pm 0,98	
50	67,07 \pm 0,93	
35	45,05 \pm 1,15	
25	36,90 \pm 2,56	
16		92,31 \pm 0,78
8		47,57 \pm 2,54
4		20,33 \pm 1,01
1,6		4,40 \pm 0,58
0,8		1,58 \pm 0,19
0,4		1,24 \pm 0,39
0,16		0,90 \pm 0,19
0,08		0,56 \pm 0,51
0,04		0,22 \pm 0,19
IC ₅₀ ($\mu\text{g.mL}^{-1}$)	36,05	8,76

Fonte: A autora.

Nota: Dados expressos como média \pm desvio padrão (n=3). Valor de IC₅₀ calculado por regressão linear.

Em virtude das diferenças metodológicas entre os testes foram necessárias concentrações maiores de RSA para avaliação da atividade antioxidante pelo método de DPPH[•], iniciando 25 ($\mu\text{g.mL}^{-1}$), quando comparados ao radical ABTS^{•+}.

De forma similar aos resultados obtidos para o ensaio ABTS^{•+}, a % de inibição observada no método *scavenger* DPPH[•] apresentou uma tendência crescente em relação à concentração do bagaço seco de amora-tupi.

No estudo realizado por Almeida (2014) foi demonstrado a atividade antioxidante do bagaço de malte, através dos métodos ABTS^{•+} e DPPH[•], onde o método DPPH[•] apresentou IC₅₀ menor, quando comparado com o método ABTS^{•+}. Diferentemente do desenvolvido neste trabalho, onde a atividade antioxidante do bagaço de amora analisado apresentou melhores resultados de IC₅₀ para o método ABTS^{•+}.

Os resultados obtidos nesse estudo podem ser comparados com as análises feitas por Machado *et al.* (2015). Os autores também estudam a respeito da atividade antioxidante do extrato do bagaço de amora, com resultados relacionados aos fenólicos totais, antocianinas monoméricas e a própria atividade antioxidante. Utilizando o PLE (extração de líquidos pressurizados), a partir água e etanol como solventes, e concentração (18,0 Kg solvente/ Kg bagaço fresco), obtiveram % de inibição, avaliada pelo método ABTS^{•+} de 21,26 ± 0,74 para água e 31,07 ± 4,60 para o etanol; e % de inibição, avaliada pelo método DPPH[•] 14,25 ± 0,74 com água e 36,61 ± 0,24 com etanol. Diante disso, concluíram que o bagaço da amora é fonte adequada para compostos bioativos e que possui potencial antioxidante elevado que pode ser utilizado em forma distinta, seja no ramo alimentar ou mesmo cosmético.

O teste de FRAP mostra a habilidade de um composto em produzir Fe²⁺ a partir de Fe³⁺, no qual define a sua força antioxidante (PRIOR; WU; SCHAICH, 2005). Com relação à atividade antioxidante avaliada pelo método de FRAP é possível observar na Tabela 6 os resultados obtidos para o bagaço seco de amora-tupi (RSA100).

Tabela 6 - Resultados de FRAP para o bagaço seco de amora-tupi (RSA).

	FRAP (μmol TE.g ⁻¹)
RSA	74.485,66 ± 12.935,88

Fonte: A autora.

Nota: Dados expressos como média ± desvio padrão (n=6).

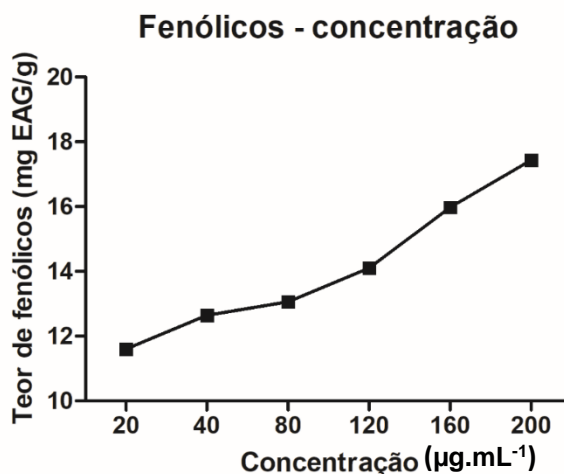
Os resultados obtidos a partir do teste de FRAP confirmam a atividade antioxidante do RSA. Em um trabalho desenvolvido por Goltz *et al.* (2010) foi

avaliado o teor de FRAP em frutos de amoras tipo Brazos e Tupi em diferentes estágios de maturação (roxa, vermelha e verde). Os resultados de FRAP para a amora Tupi no estágio de maturação roxa foi de $16282,87 \pm 375,04 \mu\text{Mol de TE.g}^{-1}$ de frutas, valor menor ao observado neste trabalho provavelmente devido à diferença na metodologia adotada. Ainda é possível notar que no trabalho realizado por Goltz et al (2010) foram utilizados os frutos inteiros, enquanto o objeto desta pesquisa foram os bagaços (cascas e sementes), fato que pode interferir nos resultados observados para a atividade antioxidante.

5.2.4 Compostos Fenólicos

O teor de compostos fenólicos totais do bagaço seco de amora-tupi (RSA) está apresentado no Gráfico 1. Inicialmente foi determinada uma faixa de linearidade, com o intuito de determinar a absorbância pelas concentrações testadas. Para tanto, a curva de calibração de ácido gálico foi preparada e se apresentou linear no intervalo proposto, com equação da reta $y = 0,0016x + 0,0271$. Após a determinação da curva de calibração para o ácido gálico, buscou-se avaliar o bagaço. Graficamente é possível observar que o valor do teor de fenólicos totais no bagaço de amora, expresso como equivalentes de ácido gálico (EAG) por grama de amostra, aumentou em função da concentração, variando de $11,60 \pm 1,30$ (mg EAG.g⁻¹) na concentração de $20 \mu\text{g.mL}^{-1}$ à $17,43 \pm 0,62$ (mg EAG.g⁻¹) na concentração de $200 \mu\text{g.mL}^{-1}$.

Gráfico 1 - Teor total de fenólicos em relação à concentração do bagaço seco de amora-tupi (RSA).



Fonte: A autora.

Nota: Dados expressos como média \pm desvio padrão (n=3).

Conforme verificado acima, o teor de fenólicos aumenta proporcionalmente à concentração do RSA. Para Moura *et al.* (2020), essa concentração pode variar se houver congelamento no fruto da amora-preta. O produto *in natura*, sem congelamento, leva a um maior teor de compostos fenólicos, o que traz atividade antioxidante mais efetiva. Quando há depreciação de teor de compostos fenólicos, também ocorre menor atividade antioxidante.

Da mesma maneira, quando há redução de antocianinas, percebe-se diminuição de potencial antioxidante, levando à percepção da responsabilidade destas no combate à oxidação. No caso dos estudos de Moura *et al.* (2020) a temperatura de congelamento é um fator determinante e que pode ter total influência nos resultados ou, por lesar as membranas celulares ou, por não inibir a atividade celular do vegetal. O teor de fenólicos e a concentração, no entanto, mantém a mesma lógica do presente nesse estudo. No presente estudo o fruto foi congelado, o que pode resultar em um menor teor de fenólicos nos resultados, vale ressaltar que a quantificação dos compostos fenólicos não foi realizada no fruto total, apenas nos bagaços, que apresentam um imenso potencial de ingrediente ativo.

Segundo Lameiro *et al.* (2019), o teor fenólico pode ser menor em concentração reduzida e meio aquoso, com apresentação de menor acidez e maior pH, na medida em que há maior grau de diluição da amora.

Com base nos resultados observados é possível estabelecer uma relação direta entre a ação antioxidante do RSA, avaliada por diferentes metodologias, e o teor de compostos fenólicos do bagaço, sendo a presença destes compostos crucial para a atividade antioxidante do bagaço.

5.3 PH E ACIDEZ DO SUCO DE AMORA-TUPI

De acordo com a Tabela 7, os valores de pH observados para o suco de amora-tupi foi de 2,59 e a acidez total titulável foi calculada em relação ao ácido cítrico, apresentando resultado de 1,17%, considerando a constante de 0,064 de ácido cítrico.

Tabela 7 - Resultados de pH e acidez do suco de amora-tupi.

Suco de Amora-tupi	
pH	2,59±0,05
Acidez (g.100mL ⁻¹)	1,17±0,24

Fonte: A autora.

Nota: Dados expressos como média ± desvio padrão (n=3).

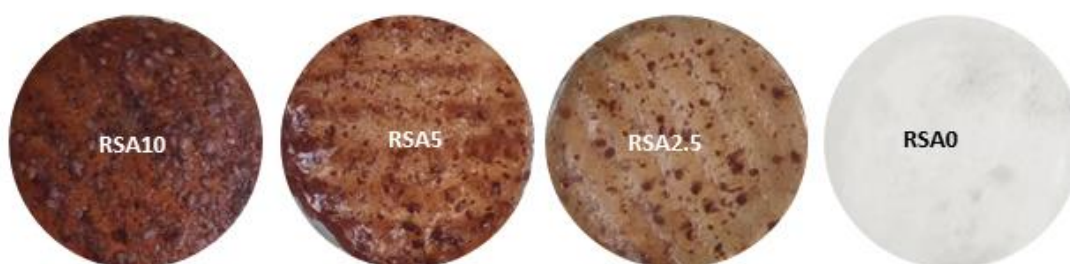
Hirsch *et al.* (2012) apresentou em seu trabalho valores de pH para amora-preta na faixa entre 2,78 e 3,08, não havendo diferença significativa entre os distintos genótipos. Independente do genótipo, a amora-preta apresentou valores de pH baixos, conforme esperado, devido as suas características naturais de sabor ácido a doce/ácido. Esta é uma característica desejável para a industrialização da fruta e as amoras-pretas avaliadas neste estudo se mostraram boas matérias-primas para a fabricação de sucos e polpas, com acidez titulável entre 1,30 g.100mL⁻¹ a 1,58 g.100mL⁻¹ de ácido cítrico, sem diferença significativa entre as amostras. Os resultados apresentados pela amora-tupi foram similares aos encontrados no estudo de Hirsch *et al.* (2012).

5.4 CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS BIODEGRADÁVEIS

5.4.1 Avaliação Visual

Na Figura 6 é demonstrada a aparência visual dos materiais biodegradáveis, a partir das quatro formulações após o processo de termoformagem.

Figura 6 - Materiais biodegradáveis com adição de diferentes concentrações de bagaço seco de amora-tupi.



Fonte: A autora.

Com base na Figura 6 pode-se observar diferença nas colorações de cada material biodegradável, onde o RSA0 apresentou coloração esbranquiçada devido ao amido, que em sua composição foi o componente de maior proporção. A adição de RSA alterou a coloração dos materiais, onde estes adquiriram coloração marrom-avermelhada que se intensifica com o aumento da proporção de bagaço nas formulações, podendo-se observar uma coloração mais intensa da amostra de maior concentração de bagaço, a RSA10. As amostras apresentaram uma boa maleabilidade, ou seja, não se rompem com facilidade, sendo uma resposta positiva e comprovando que o processamento dos materiais foi satisfatório.

5.4.2 Cor

Os resultados da análise de cor dos materiais biodegradáveis são mostrados na Tabela 8.

Tabela 8 - Resultados de análise de cor dos materiais biodegradáveis.

Amostra	L*	a*	b*
RSA0	77,65±0,16	-0,79±0,07	7,31±0,40
RSA2.5	46,08±0,91***aaabbb	14,11±0,58***bb	20,56±0,39***aaabb
RSA5	39,10±1,06***aaa	14,47±1,08***	17,63±0,95***aaa
RSA10	25,60±1,25***	17,15±0,64***aa	9,29 ±0,88*

Fonte: A autora.

Nota: Dados expressos como média ± desvio padrão (n=3). * Diferença estatística em relação ao RSA0, sendo *p<0,05 e ***p<0,001. ^a Diferença estatística em relação ao RSA10, sendo ^{aa}p<0,01 e ^{aaa}p<0,001. ^b Diferença estatística em relação ao RSA5, sendo ^{bb}p<0,01 e ^{bbb}p<0,001.

Os resultados da análise de cor foram expressos de acordo com a escada CIELAB. O resultado de L* obtido para o RSA0 confirma a claridade da amostra, que tem em sua formulação a predominância do amido de mandioca, pois indica a tendência de coloração clara/branca, sendo os valores obtidos mais próximos de 100.

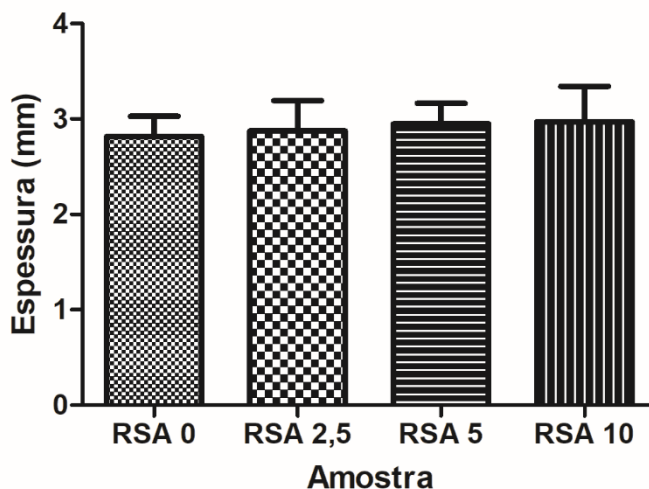
A formulação RSA10, que possui a maior porcentagem de bagaço em sua composição, apresentou o menor valor de luminosidade, indicando uma coloração mais escura que as RSA2.5 e RSA5. A coordenada a* indica a coloração mais avermelhada, sendo que os resultados para essa coordenada foram crescentes de acordo com o aumento da concentração de RSA para cada formulação.

Na pesquisa de Nakatsukasa (2021) foi analisado a coloração de filmes de amido de mandioca com o pó do bagaço do suco de uva, com resultados da análise realizada na amostra padrão (filme seco) demonstraram L* de 44,4 ± 0,6, a* de 8,7 ± 0,04 e b* de 9,7 ± 0,03. Comparando esses resultados com o trabalho apresentado, pode-se concluir que o resultado de L* foi similar e quando comparado os valores de a* observa-se que material adicionado de bagaço de amora levou a um resultado de a* maior, devido à cor mais avermelhada que este apresenta.

5.4.3 Espessura

A espessura dos materiais biodegradáveis variou de 2,816 a 2,972 mm. Uma tendência de aumento na espessura do material com a inclusão do bagaço de seco de amora foi observada (Gráfico 2), embora não seja observada diferença estatística entre os valores.

Gráfico 2 - Resultados da espessura dos materiais biodegradáveis.



Fonte: A autora.

Nota: Dados expressos como média \pm desvio padrão (n=10).

É válido ressaltar que, quanto maior o percentual de sólidos acrescidos na formulação, maior será a espessura do composto após a secagem (ROSAS, 2021).

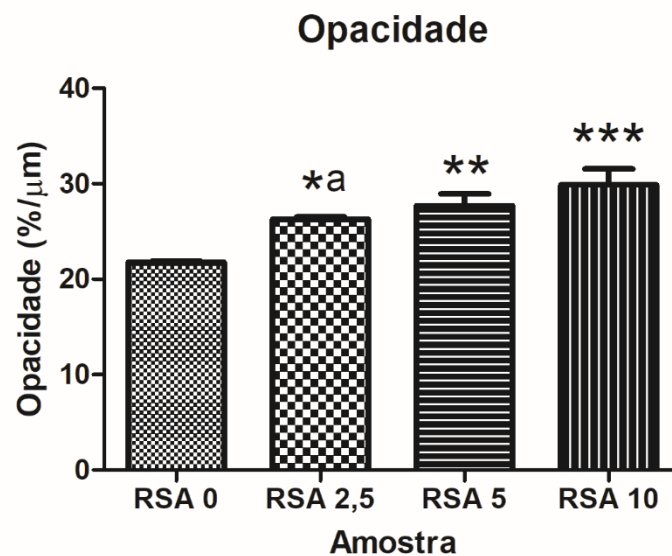
Estudos que antecedem essa pesquisa, como os de Müller; Yamashita; Laurindo (2008) demonstraram que “os plastificantes influenciam os resultados das espessuras dos materiais” (MÜLLER; YAMASHITA; LAURINDO, 2008). Assim, a partir dos resultados dos autores, na comparação com essa pesquisa, reitera-se que nesse estudo, o quantitativo de glicerol adicionado a todas as formulações foi constante e a intervenção deste aditivo na espessura dos produtos não foi percebida.

5.4.4 Opacidade Aparente

Os processos óticos que estão diretamente vinculados com os materiais biodegradáveis referem-se à opacidade, coloração e brilho, de maneira que se encontram estreitamente remetidos à imagem do produto. O fator da opacidade possui performance importante, de modo que alguns produtos, em geral, ligados ao setor de alimentos, estão mais vulneráveis para a ocorrência de fotodegradação, o que permite pensar que a embalagem é uma ferramenta singular de contenção da ação da radiação ultravioleta (MARCOS *et al.*, 2014). Os resultados da opacidade aparente dos materiais biodegradáveis são mostrados no Gráfico 3. A opacidade

está diretamente associada com o quantitativo de luminosidade que é absorvida por conta do espalhamento dos compostos na matriz de polímeros, de maneira que a aparência e a coloração se encontram em grau expressivo de dependência da opacidade. Ademais, é importante considerar que a opacidade é influenciada pela espessura, e devido a isso os resultados são apresentados no Gráfico 3 em função da espessura (FADINI *et al.*, 2013).

Gráfico 3 - Resultados da análise de opacidade aparente dos materiais biodegradáveis.



Fonte: A autora.

Nota: Dados expressos como média \pm desvio padrão (n=3). * Significa diferença estatística em relação ao RSA0, sendo *p<0,05, **p<0,01 e ***p<0,001.^a Significa diferença estatística em relação ao RSA10, sendo a p<0,05.

A formulação RSA10 apresentou maiores valores de opacidade, sendo observado um aumento na opacidade de acordo com a adição de RSA. Em um estudo realizado por Ludka (2022) também ocorreu uma leve tendência ao aumento da opacidade com maiores concentrações de bagaço seco de malte nos materiais, resultando em valores de opacidade de $32,5 \pm 5,2$ %/μm para o filme com 5% de bagaço de malte, similares aos observados para a amostra RSA10 que foi de $29,90 \pm 1,64$ %/μm.

5.4.5 Propriedades Mecânicas

As propriedades mecânicas dos materiais desenvolvidos foram avaliadas quanto à resistência máxima à tração, alongação e módulo de Young, cujos dados são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 - Resistência máxima à tração, alongação e módulo de Young dos materiais biodegradáveis.

Formulação	Tração (MPa)	Elongação (%)	Módulo de Young (MPa)
RSA0	1,57 ± 0,43	21,04 ± 5,38	9,70 ± 2,75
RSA2.5	0,68 ± 0,35**	15,17 ± 4,73	7,21 ± 2,29
RSA5	0,54 ± 0,11**	17,80 ± 2,65	4,36 ± 0,81 ^a
RSA10	0,47 ± 0,13**	14,95 ± 4,08	5,17 ± 1,07*

Fonte: A autora.

Nota: Dados expressos como média ± desvio padrão (n=8). * Diferença estatística em relação ao RSA0, sendo * p<0,01 e ** p<0,001.^a Diferença estatística em relação ao RSA2.5, sendo ^a p<0,05.

A resistência à tração está diretamente relacionada com a resistência que o produto demonstra quando passa por alongamento até seu rompimento (PASTOR *et al.*, 2010). Diante dessas considerações, os resultados apontam diferença significativa dos produtos com a adição de RSA, levando à redução da resistência máxima à tração dos materiais. Neste sentido, é válido perceber que não houve distinção expressiva da resistência máxima à tração e alongação entre os materiais com adição de RSA, o que ressalta um ponto positivo, visto que havendo acréscimo nas proporções de bagaço de amora dos materiais, não foram percebidas mudanças em relação à sua resistência e sua flexibilidade foi sustentada.

Em filmes distintos que foram adicionados de extrato de própolis foi observado que a adição do extrato também não modificou a resistência à tração dos filmes (PASTOR *et al.*, 2010). Esse comparativo torna-se fundamental para delimitar que os resultados observados no estudo de Pastor *et al.* (2010) encontram-se de acordo com essa pesquisa. No mesmo estudo, materiais acrescidos de distintas concentrações de extrato de própolis (0 a 1,5%), apresentaram redução da alongação com o aumento da quantidade do extrato. Nesse estudo, a concentração do RSA nas formulações não influenciou este parâmetro.

O módulo de Young, também denominado módulo elástico, está relacionado à rigidez dos materiais, isto é, se o módulo de Young for maior, mais rígido será o produto. O módulo de Young dos materiais à base de amido e RSA (Tabela 9) não

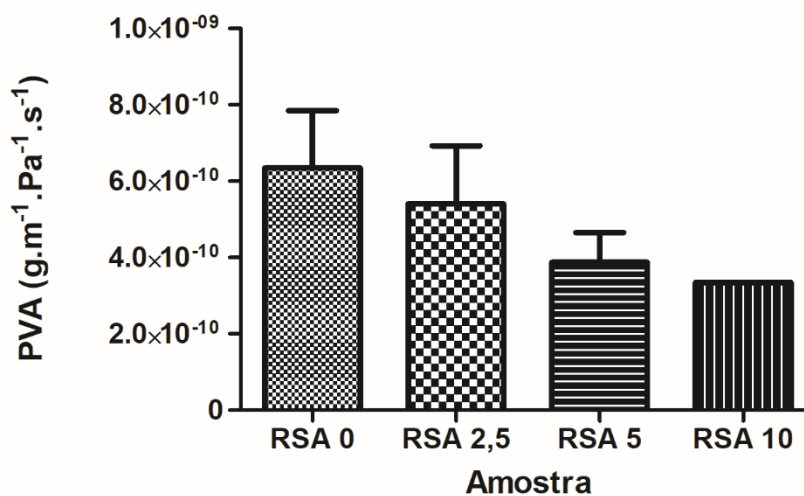
apontaram para distinção expressiva entre si, salientando que a rigidez do material permaneceu inalterada com a adição do RSA, independentemente de sua concentração.

Ademais, as pesquisas de Knapp (2017) enfatizam que, mediante a caracterização de filmes biodegradáveis de amido com extrato de erva-mate, houve redução do módulo de Young conforme foi incrementada a concentração de extrato de erva-mate, uma evidência de possível efeito plastificante do extrato, fato este não observado no presente estudo.

5.4.6 Permeabilidade ao Vapor de Água (PVA)

No Gráfico 4 são apresentados os resultados da permeabilidade ao vapor de água (PVA) dos materiais biodegradáveis.

Gráfico 4 - Resultados da permeabilidade ao vapor de água (PVA) dos materiais biodegradáveis



Fonte: A autora.

De modo geral, não houve diferença significativa na permeabilidade ao vapor de água dos materiais biodegradáveis, porém o gráfico mostra uma tendência de redução, o que é interessante, visto que para aplicação em embalagem é desejado um material menos permeável a água.

O plastificante pode influenciar diretamente na no processo de permeação, além de impactar sobre os fatores qualitativos e caracterizações das matérias-primas usadas (CARISSIMI, 2017). Aliás, é válido considerar que, quanto maior for o

percentual de plastificante, maior permeabilidade terá o filme, visto que ele mobiliza as cadeias poliméricas e traz mais acessibilidade na passagem de água. No presente estudo não foram notadas interferências visto que a quantidade de plastificante utilizada foi constante em todas as amostras.

Rachtanapun *et al.* (2021) demonstraram que a permeabilidade ao vapor da água de filmes de quitosana incorporados com diferentes concentrações de extrato de curcumina foi reduzida se comparado com os mesmos filmes sem extrato. Esse resultado observado pelos autores traz implicações importantes para esse estudo, pois pode ser explicado por conta de prováveis ligações cruzadas que ocorrem entre a matriz e os compostos fenólicos que se encontram no extrato. Esse fenômeno também foi responsável pelos resultados para a densidade e microestrutura dos materiais, conforme discutido adiante.

Rubilar *et al.* (2013) também possuem contribuições para diálogo com esse estudo ao apresentarem maior permeabilidade ao vapor da água quando houve incorporação de material hidrofóbico (carvacrol- monoterpene fenólico que pode ser encontrado no óleo de tomilho) nos filmes. Esse acréscimo interferiu no equilíbrio hidrofóbico/hidrofílico do filme, resultando em mais posições livres de hidroxilas para se ligar à água (RUBILAR *et al.*, 2013).

Outro estudo de fundamental importância para essa discussão provém do trabalho efetuado por Pastor *et al.* (2010), no qual efetivou relato a respeito das concentrações de extrato de própolis (0,125 a 1,5%) e sua significativa minimização da permeabilidade ao vapor de água. Para eles, “o processo de permeabilidade é afetado pela afinidade da água e do material do filme e a resistência do movimento da água na matriz da rede polimérica” (PASTOR *et al.*, 2010). Diante disso, os pesquisadores observaram que a inserção de extrato de própolis em filmes também traz modificações no contato da água com a matriz polimérica, provavelmente por conta da diminuição na higroscopicidade dos filmes, oportunizada pelos componentes hidrofóbicos encontrados.

Ojagh *et al.* (2010) abordaram a diminuição da permeabilidade em todas as concentrações avaliadas, quando foi acrescentado ao filme de quitosana óleo essencial de canela (0,4% a 2%). Os resultados verificados podem ser esclarecidos a partir da interação da matriz polimérica com meio aquoso.

Mediante as observações relatadas pelos autores citados é possível considerar que a inserção dos bioativos do bagaço seco de amora que estão presentes no bagaço traz influxo sobre a higroscopicidade dos materiais. Porém, por ser aplicado em concentrações reduzidas, esse efeito não supriu as demandas para alteração significativa das propriedades de barreira dos materiais.

5.4.7 Densidade

Os resultados da densidade dos materiais biodegradáveis estão apresentados na Tabela 10, sendo observado um acréscimo desta propriedade de acordo com a concentração de sólidos totais nas formulações. A proporção de bagaço seco de amora nos materiais biodegradáveis não foi suficiente para influenciar significativamente a espessura, mas contribuiu para o aumento da densidade.

Tabela 10 - Resultados da densidade dos materiais biodegradáveis.

	RSA0	RSA2.5	RSA5	RSA10
Densidade	8,30 ± 1,42	8,43 ± 0,30	9,30 ± 0,49	12,08 ± 3,24*

Fonte: A autora.

Nota: Dados expressos como média ± desvio padrão (n=3). * Diferença estatística em relação ao RSA0, sendo *p<0,05.

A densidade é a relação entre massa e volume, o que também leva em conta a temperatura e pressão. Quando o plastificante é inserido, traz algumas alterações na organização das moléculas, ampliando o volume livre molecular. O glicerol se constitui de molécula pequena com potencial de modificar o material biodegradável e as interações amido-plastificante, reduzindo a massa volumar (REIS *et al.*, 2011). No presente estudo, a quantidade de glicerol acrescida nos materiais foi contínua e torna-se possível atribuir ao bagaço, inserido de forma crescente, a função no aprimoramento da densidade.

Filmes biodegradáveis que possuem compostos bioativos das cascas de *Euphorbia umbellata* (Pax) Bruyns (jamaúba) geraram maiores densidades com acréscimo de extrato das cascas da *Euphorbia* (ROSAS, 2021), efeito similar aos resultados desse estudo.

5.4.8 Solubilidade

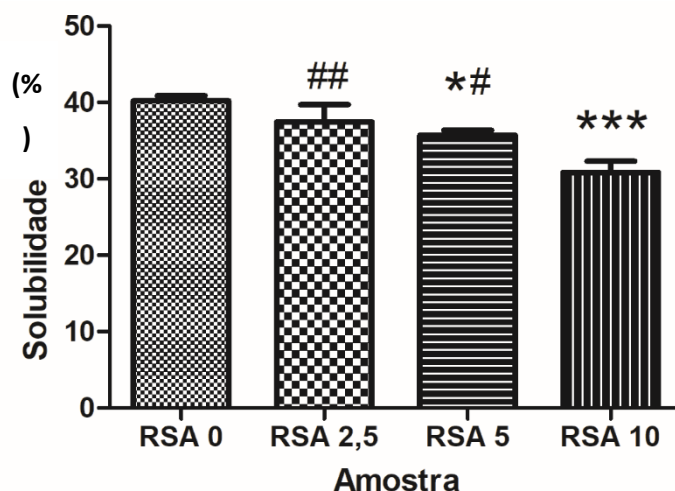
O índice de solubilidade em água está diretamente vinculado com o quantitativo de sólidos solúveis, oportunizando averiguação do grau de austeridade do tratamento, em função da degradação, gelatinização, dextrinização e solubilização do amido (CARVALHO, *et al.*, 2002; ASCHERI *et al.*, 2006). O acúmulo de material hidrossolúvel que se encontra no produto analisado e a sua tumefação está diretamente ligada com a dissolução deste em água. Este teste busca ofertar conhecimentos relevante a respeito da integridade da amostra pós-imersa em meio aquoso, sendo diretamente sugestionada pelos componentes da formulação, de maneira que, “para sua aplicação como uma embalagem biodegradável, é necessário conhecer a resistência e o comportamento do material à água” (LEE *et al.* 2004).

O Gráfico 5 apresenta a porcentagem de solubilidade em água dos materiais, mostrando uma variação de 30,83 a 40,24% para este parâmetro. Pode-se observar que a adição do bagaço de amora reduziu a solubilidade do material. O comportamento verificado está diretamente relacionado com a composição físico-química do material residual, sendo formado por fibras vegetais, a qual traz impactos para a interação entre as moléculas e a água (DEBIAGI, *et al.*, 2010). Para os autores, esse aspecto beneficia a utilização aplicada do RSA100 em embalagens biodegradáveis, visto que há expectativa que o material do recipiente tenha estabilidade para a umidade originária do alimento. No que diz respeito a embalagens à base de amido, o decaimento da solubilidade em água pode ser visto como uma indicação significativa da maior constância desses materiais às distintas condições do meio ambiente, o que é almejado mediante inserção do bagaço de amora.

Segundo Vercelheze *et al.* (2012) menores valores de densidade estão relacionados com maior solubilidade, fato explicado pela alta porosidade, a qual aumenta a capacidade de absorção de compostos líquidos. Os resultados nesse estudo encontram-se acordados com o postulado por Vercelheze *et al.* (2012). Isso porque a densidade precisa estar diretamente vinculada com o quantitativo de bagaço inserido na formulação, o que também foi apontado no nosso estudo, no

qual o aumento da adição do bagaço trouxe também maior densidade e menor solubilidade.

Gráfico 5 - Resultados da solubilidade em água dos materiais biodegradáveis



Fonte: A autora.

Nota: Dados expressos como média \pm desvio padrão ($n=3$). * Diferença estatística em relação ao controle, sendo $*p<0,05$ e $***p<0,001$. # Diferença estatística em relação a RSA10, sendo $\#p<0,05$ e $##p<0,01$.

Para Knapp (2017) a solubilidade está diretamente vinculada com a hidrofiliicidade do composto. Em sua pesquisa, o pesquisador efetuou análise sobre o desenvolvimento e diferenciação de filme biodegradável ativo, baseado no extrato de resquícios do processamento industrial de laranja, e verificou que a solubilidade em meio aquoso do filme é maior por conta das qualidades hidrofílicas do glicerol, que permitem o transporte mais fácil e influência mútua das moléculas de água na matriz de polímeros. Knapp (2017) acrescentou extrato de laranja nos filmes e houve alterações nos intercâmbios da água com os grupos hidrofílicos do extrato, alterando a solubilidade dos materiais (KNAPP, 2017).

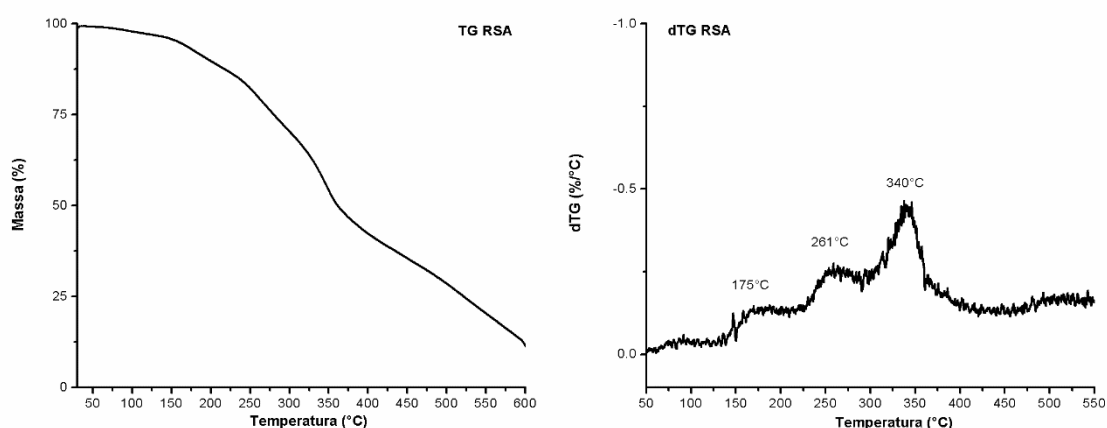
Lopes *et al.* (2018) evidenciaram que ao inserir extrato de barbatimão e caseína aos filmes de amido, a solubilidade foi reduzida, o que pode ser esclarecido também pela relação do barbatimão que forma ligações hidrofóbicas com materiais proteicos e polissacarídeos. Ghelejlú; Esmaili e Almasi (2016) observaram que o valor da solubilidade diminuiu de modo expressivo com maior concentração de extratos vegetais, conclusões que condizem aos deste estudo, no qual efetua-se a incorporação de bagaço de amora.

5.4.9 Análise Termogravimétrica (TGA)

A análise termogravimétrica relativa a produtos biodegradáveis oportuniza ao analisador verificar a troca de massa de uma amostra em relação à temperatura ou tempo, de modo que pode ser verificada a sua estabilidade térmica (WORANUCH; YOKSAN, 2013). Ademais, também é possível observar a delimitação de conteúdo de umidade e de bagaços, pesquisas de cinética de deterioração, análise de sistemas de copolímeros, constância à oxidação e temperaturas de degradação.

O Gráfico 6 aponta os resultados obtidos de TG e dTG do bagaço seco de amora-tupi (RSA).

Gráfico 6 - TG e dTG do bagaço seco de amora-tupi (RSA).



Fonte: A autora.

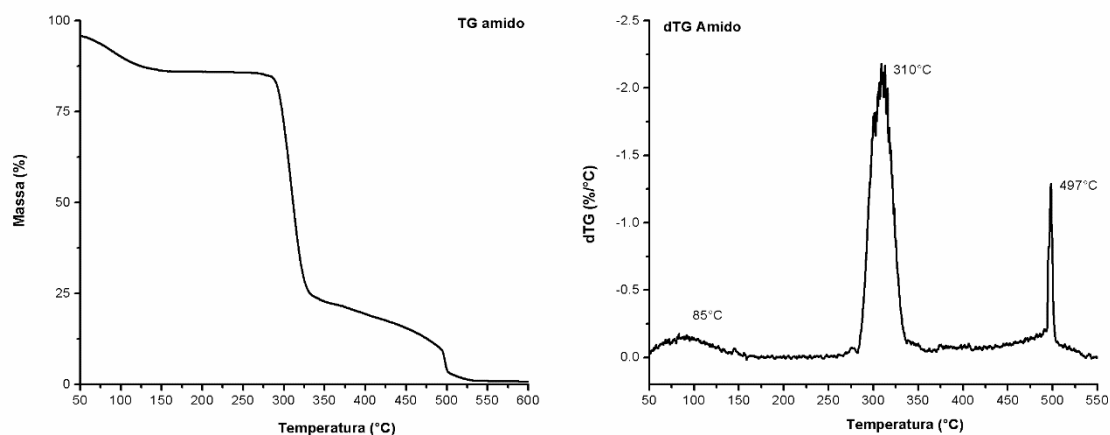
Nas curvas apresentadas no Gráfico 6 pode-se verificar três estágios de degradação térmica, com temperaturas de máxima degradação em 175°C, 261°C e 340°C.

A primeira etapa de degradação, registrada como variação da massa da amostra em torno de 100°C, está relacionada à saída dos materiais voláteis e de umidade. O segundo estágio, com temperaturas entre 175 e 303°C, relacionam-se com a decomposição da hemicelulose e celulose, polímeros que se degradam com uma menor quantidade de energia. O terceiro e último estágio, com temperatura máxima de 340°C, é relacionado com a degradação da lignina, polímero que necessita de uma maior quantidade de energia para quebrar suas ligações. Ao final,

encontra-se a massa de material que não pode entrar em combustão e as cinzas resultantes do processo (GROTTO, *et al.*, 2021).

A avaliação termogravimétrica (TG e dTG) do amido de mandioca é apresentada no Gráfico 7.

Gráfico 7 - TG e dTG do amido de mandioca.



Fonte: A autora.

Os dados evidenciam três estágios de degradação, com o primeiro estágio de degradação observado em 85°C que corresponde à perda de água residual das amostras. O segundo estágio ocorre entre 280 e 340°C, com máxima degradação à temperatura de 310°C, e está associado à despolimerização da amilose e amilopectina (COSTA *et al.*, 2021). No último estágio de degradação (T_{máx} 497°C) está relacionado à oxidação da matéria orgânica, considerando que a análise não foi conduzida em atmosfera inerte (JANKOVIĆ, B., 2013)

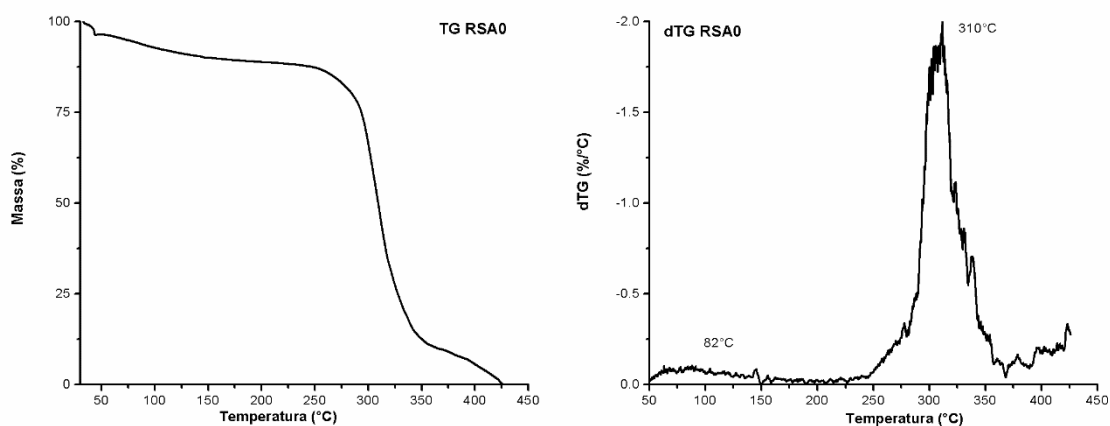
Em comparação aos estudos apresentados por Nóbrega (2021), a degradação apresentada pelo amido está relacionada com a perda de água, a decomposição de materiais e o surgimento das cinzas, sendo o estudo conduzido por atmosfera inerte.

O Gráfico 8 representa as curvas de TG e dTG da amostra RSA0, que não possui em sua composição o bagaço seco de amora.

O comportamento observado para a amostra RSA0 é similar ao do amido de mandioca puro, o que era esperado, pois a essa amostra possui em sua composição apenas amido, acrescentada de glicerol e água. Assim como a amostra de amido de

mandioca puro, este também teve o primeiro estágio de degradação em 82°C e o segundo estágio em 310°C. O gráfico não apresentou mais leitura para valores de temperatura acima de 450°C.

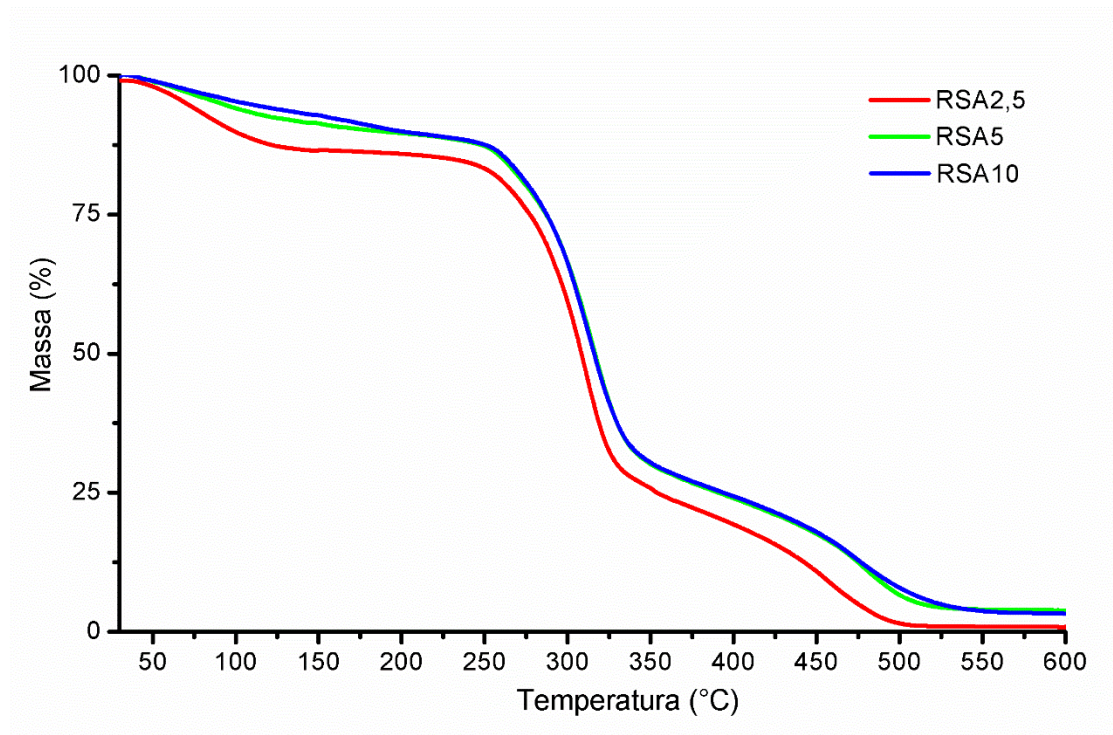
Gráfico 8 - TG e dTG da amostra controle (RSA0)



Fonte: A autora.

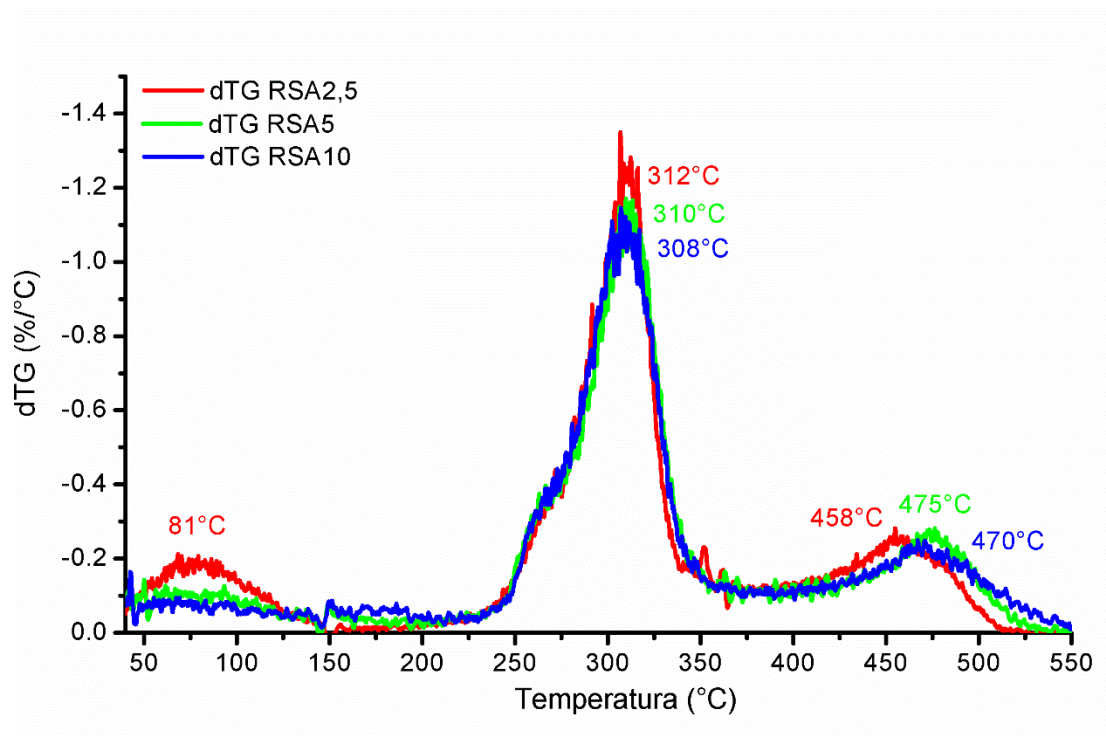
O Gráfico 9 retrata as curvas de TG dos materiais biodegradáveis contendo bagaço seco de amora em diferentes proporções, sendo evidente perda de massa em três etapas, com variação entre temperaturas de 60°C até 500°C, uma combinação das curvas obtidas para o bagaço seco de amora e do amido apresentadas anteriormente.

Gráfico 9 - Curvas de TG dos materiais biodegradáveis.



Fonte: A autora.

Gráfico 10 - dTG dos materiais biodegradáveis.



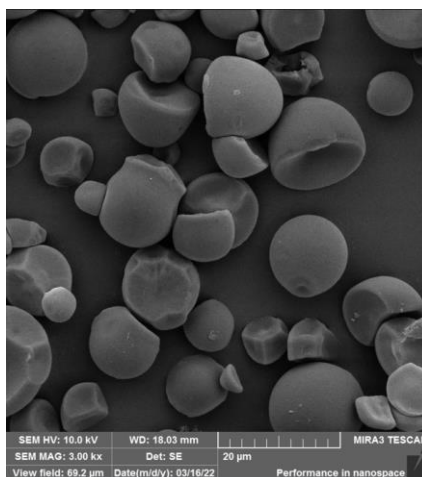
Fonte: A autora.

É possível observar no Gráfico 9 e 10 que o primeiro estágio de degradação ocorreu entre 75 e 170°C, no qual ocorreu a perda gradual de água dos materiais; o segundo estágio ocorreu entre 27°C a 325°C e está relacionado à decomposição do amido (amilose + amilopectina). O terceiro estágio entre 375° a 500°C pode ser atribuído à relacionado à oxidação da matéria orgânica. Nas curvas dTG dos materiais biodegradáveis (Gráfico 10) observou-se que a temperatura máxima de degradação foi de 312°C para o RSA2.5, 310°C para RSA5 e 308°C para RSA10, valores similares aos observados na amostra RSA0 e referentes à degradação do amido. O aumento do teor de sólidos nas formulações e/ou as interações de hidrogênio entre as moléculas pode alterar a estabilidade térmica dos materiais (GARCIA *et al.*, 2009), entretanto essa influência não foi observada no presente estudo.

5.4.10 Microscopia Eletrônica de Varredura Com Alta Resolução (MEV-FEG)

A análise de microscopia eletrônica de varredura de alta resolução (MEV-FEG) foi realizada para o amido de mandioca (Figura 7), para o bagaço seco de amora-tupi (Figura 8) e nas áreas de superfície dos materiais e incorporados com diferentes concentrações de RSA (Figuras 9) buscando identificar características como: homogeneidade do material, estrutura das camadas, espaços vazios e suavidade da superfície.

Figura 7 - Imagens de microscopia eletrônica de varredura de alta resolução obtidas para as amostras de amido de mandioca (ampliação 3000x).

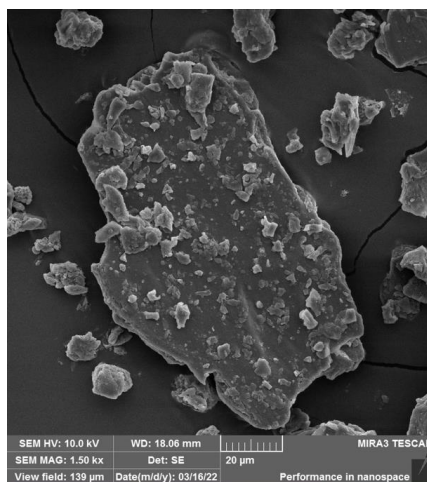


Fonte: A autora.

Como observado na Figura 7, a morfologia dos grânulos de amido de mandioca apresentou-se com tamanhos que variam entre grandes e pequenos, característicos de amido de mandioca, justificados pelo processo de tuberização da raiz a partir de um câmbio central (FIORDA et al., 2013). Para o amido de mandioca, grande parte dos grânulos apresentou forma poligonal, globular, ligeiramente achatada em uma das extremidades e com superfície lisa. É possível observar que a superfície de alguns grânulos apresentou alguns desníveis na superfície, atribuindo um aspecto e formato irregular, este aspecto também foi encontrado por Ronko (2020).

O bagaço seco de amora (RSA) passou pela moagem e padronização do tamanho de partícula, a qual é mostrada na Figura 8. Existem diferentes tipos de fibras, com tamanhos e espessuras diferentes. Gonçalves (2021), apresentou em seu trabalho resultados similares em relação à microscopia de bagaço de malte in natura após o processamento de moagem e peneiramento.

Figura 8 - Imagem de microscopia eletrônica de varredura de alta resolução obtida para a superfície da amostra de bagaço seco de amora-tupi (RSA) (ampliação 1500x).



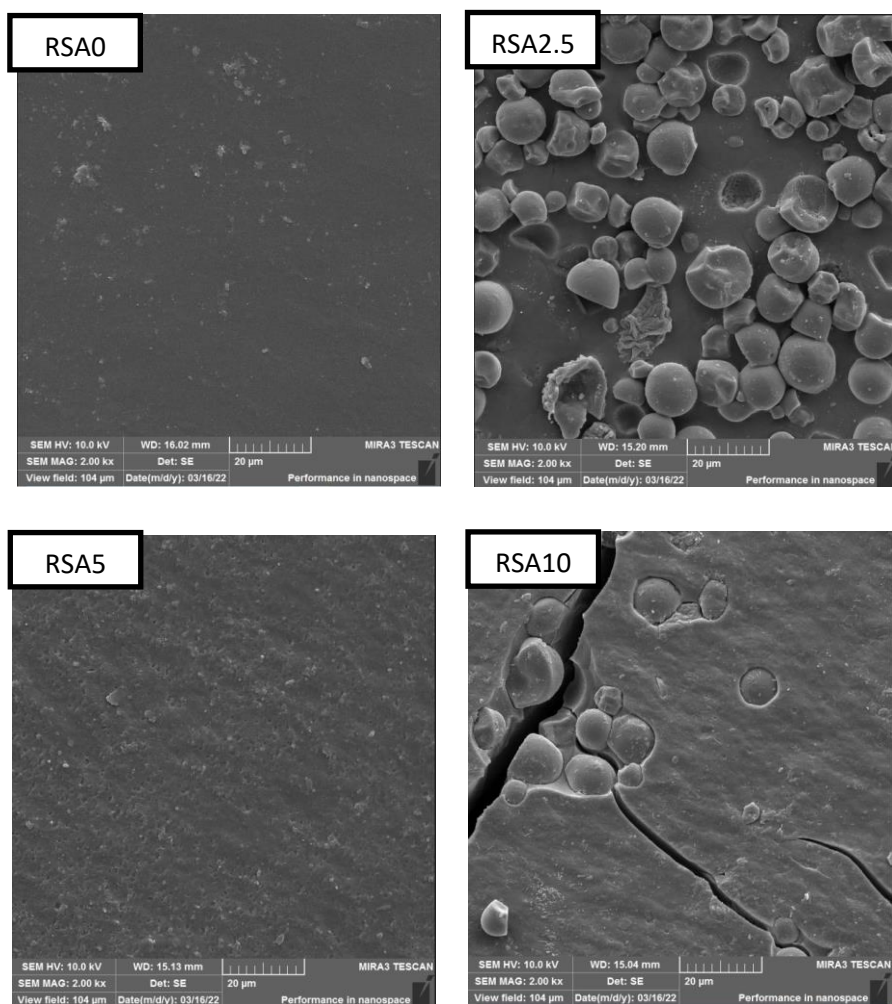
Fonte: A autora.

Na Figura 9 é possível observar que a formulação controle (RSA0) apresentou superfície compacta e regular, a qual foi visualmente modificada após a adição do bagaço de amora em concentrações de 2,5%, 5% e 10%. As micrografias da superfície dos materiais demonstraram que a amostra controle (RSA0) (m/m) apresentou uma característica contínua, lisa e homogênea, sem poros, rachaduras ou irregularidades. Com o aumento da concentração de RSA, a superfície do

material tornou-se mais heterogênea e observou-se aumento da característica rugosa, sugerindo que a adição de maiores concentrações de bagaço pode alterar a regularidade da matriz polimérica e influenciar na sua homogeneidade.

Observa-se na Figura 9 que a formulação RSA2.5 com menor teor de bagaço de amora não favoreceu o processo de gelatinização do amido, sendo observados grânulos não gelatinizados na composição dos materiais. O aumento da concentração de bagaço de amora favoreceu a gelatinização, observando-se materiais mais homogêneos na formulação RSA5. Entretanto, elevadas proporções de bagaço levaram ao reaparecimento de grânulos de amido intactos na estrutura, como observado na amostra RSA10.

Figura 9 - Imagens de microscopia eletrônica de varredura de alta resolução obtidas para a superfície das amostras de materiais biodegradáveis (ampliação 2000x).



Fonte: A autora.

Em um estudo realizado por Ota (2021), com filmes incorporados com extratos de bagaço de amora e de bagaço de malte, foi observado nas imagens de microscopia eletrônica de varredura que os filmes com bagaço de amora possuem melhor integridade estrutural se comparado ao filme com extrato de bagaço de malte.

Lopes e colaboradores (2018) descreveram a influência da incorporação do extrato de barbatimão em filmes de amido e caseína e notaram que a adição do extrato de barbatimão tornou a superfície do filme mais áspera e heterogênea, resultado semelhante ao observado no presente trabalho.

5.4.10 Estudo da Capacidade Antioxidante dos Materiais Biodegradáveis

Na Tabela 11 estão expressos os resultados da atividade antioxidante avaliada pelo método *scavenger* ABTS^{•+} dos materiais biodegradáveis e da quercetina.

Tabela 11 - Resultados de ABTS^{•+} – Porcentagem de inibição e valor de IC₅₀ dos materiais biodegradáveis com diferentes concentrações de bagaço seco de amora-tupi e do padrão Quercetina.

Concentração ($\mu\text{g.mL}^{-1}$)	RSA0	RSA2.5	RSA5	RSA10	Quercetina
0,04	0,59 \pm 0,43	0,59 \pm 0,42*	1,29 \pm 0,69*	5,76 \pm 0,79	13,73 \pm 17,95
0,08	1,53 \pm 0,95**	1,53 \pm 0,81**	1,07 \pm 0,69**	9,88 \pm 2,43**	34,45 \pm 25,00
0,16	2,85 \pm 0,79**	5,27 \pm 1,48**	4,63 \pm 0,38**	12,75 \pm 1,99**	47,95 \pm 2,50
0,40	2,93 \pm 1,17**	10,71 \pm 1,17**	8,30 \pm 1,83**	12,82 \pm 0,38**	67,06 \pm 2,34
0,80	3,95 \pm 2,35**	11,55 \pm 5,80**	14,65 \pm 1,54**	18,56 \pm 2,29** ^{aa}	94,45 \pm 1,58
1,60	3,98 \pm 0,55**	11,36 \pm 4,96**	15,43 \pm 0,84** ^a	20,32 \pm 3,68** ^{aaa}	97,43 \pm 2,18
4,00	4,26 \pm 0,81**	12,96 \pm 0,81** [#]	16,43 \pm 2,54** ^{aab}	35,48 \pm 3,42** ^{aaa}	99,51 \pm 2,16
8,00	4,52 \pm 1,95**	13,24 \pm 2,03** ^{ab}	16,32 \pm 1,57** ^{aab}	43,86 \pm 1,62** ^{aaa}	99,67 \pm 0,27
16,00	4,98 \pm 0,59**	13,89 \pm 1,91** ^{aab}	18,99 \pm 2,69** ^{aaab}	44,53 \pm 3,67** ^{aaa}	100,80 \pm 1,82
IC ₅₀ ($\mu\text{g.mL}^{-1}$)	>16 (41.591,06)	>16 (69,66)	>16 (40,64)	15,20	0,34

Fonte: A autora.

Nota: Dados expressos como média \pm desvio padrão (n=3). Valor de IC₅₀ calculado por regressão linear. * Diferença estatística em relação à quercetina, sendo * p<0,01 e ** p<0,001. ^a Diferença estatística em relação a RSA0, sendo ^a p<0,05, ^{aa} p<0,01 e ^{aaa} p<0,001. ^b Diferença estatística em relação à RSA10, sendo ^b p<0,001.

O IC₅₀ calculado para o RSA0, RSA2.5 e RSA5 foi acima da maior concentração testada. Como não foram testadas concentrações maiores é indicado que o resultado é uma extrapolação do teste estatístico. Conforme esperado, quanto maior a concentração de bagaço de amora nas formulações, maior a % de inibição e menor o IC₅₀. Esse fato se deve ao teor de compostos fenólicos com comprovada ação antioxidante existentes no bagaço de amora, como comprovado neste estudo.

De forma similar, o potencial antioxidante avaliado pelo método de DPPH[•] também foi mais favorável nas maiores concentrações de RSA, conforme apresentado na Tabela 12. O IC₅₀ observado para as amostras dos materiais biodegradáveis foram maiores que o da quercetina, pois esta é um composto padrão de alta atividade antioxidante, não necessitando de alta concentração para obter % de inibição satisfatória.

Tabela 12 - Resultados de DPPH[•] – Porcentagem de inibição e valor de IC₅₀ dos materiais biodegradáveis com diferentes concentrações de bagaço seco de amora-tupi e do padrão Quercetina.

Concentração (µg.mL ⁻¹)	RSA0	RSA2.5	RSA5	RSA10	Quercetina
250	30,70 ± 0,87	33,53 ± 1,74 ^b	37,10 ± 1,71 ^{aab}	84,98 ± 0,84 ^{aaa}	
220	30,40 ± 1,01	33,43 ± 1,36 ^b	37,01 ± 1,22 ^{aaab}	83,06 ± 0,95 ^{aaa}	
200	29,82 ± 1,77	32,13 ± 3,77 ^b	35,64 ± 1,66 ^{aab}	79,97 ± 2,12 ^{aaa}	
170	29,63 ± 3,38	32,03 ± 4,07 ^b	33,58 ± 0,94 ^b	65,81 ± 0,55 ^{aaa}	
150	28,55 ± 3,28	30,04 ± 2,53 ^b	33,48 ± 0,61 ^{ab}	65,38 ± 0,66 ^{aaa}	
120	28,26 ± 0,89	29,45 ± 2,67 ^b	31,14 ± 0,16 ^b	60,27 ± 1,44 ^{aaa}	
100	26,60 ± 0,77	29,25 ± 1,66 ^b	30,84 ± 2,37 ^b	55,59 ± 0,55 ^{aaa}	
70	25,14 ± 0,77	29,15 ± 2,09 ^b	29,67 ± 1,79 ^b	45,89 ± 3,20 ^{aaa}	
50	24,85 ± 1,17	24,57 ± 0,68 ^b	27,96 ± 1,41 ^b	45,26 ± 1,92 ^{aaa}	
16					92,31 ± 0,78
8					47,57 ± 2,54
4					20,33 ± 1,01
1,6					4,40 ± 0,58
0,8					1,58 ± 0,19
0,4					1,24 ± 0,39
0,16					0,90 ± 0,19
0,08					0,56 ± 0,51
0,04					0,22 ± 0,19
IC ₅₀ (µg.mL ⁻¹)	>250 (5984,11)	>250 (2344,28)	>250 (1216,18)	71,61	8,76

Fonte: A autora.

Nota: Dados expressos como média ± desvio padrão (n=3). Valor de IC₅₀ calculado por regressão linear. ^a Diferença estatística em relação ao RSA0, sendo ^a p<0,05, ^{aa} p<0,01 e ^{aaa} p<0,001. ^b Diferença estatística em relação ao RSA10, sendo ^b p<0,001.

Os resultados da atividade antioxidante dos materiais biodegradáveis avaliados pelo método do FRAP estão expressos na Tabela 13. Os métodos de avaliação da atividade antioxidante apontam para um potencial de aplicação da

formulação RSA10, com maior concentração de bagaço seco de amora em sua composição. Ainda, a tendência crescente de atividade antioxidante em relação ao teor de bagaço direciona o desenvolvimento de novas formulações, visando avaliar concentrações superiores do bagaço em sua composição, otimizando a atividade antioxidante e favorecendo o emprego das embalagens biodegradáveis ativas comercialmente.

Tabela 13 - Resultados de FRAP – ($\mu\text{mol TE.g}^{-1}$) dos materiais biodegradáveis com diferentes concentrações de bagaço seco de amora-tupi.

	RSA0	RSA2.5	RSA5	RSA10
FRAP ($\mu\text{mol TE.g}^{-1}$)	31,53 \pm 4,24	273,36 \pm 4,49 ^a	4356,28 \pm 745,19 ^a	56783,52 \pm 9194,32*

Fonte: A autora.

Nota: Dados expressos como média \pm desvio padrão (n=6). * Diferença estatística em relação ao RSA0, sendo * p<0,001. ^a Diferença estatística em relação às amostras RSA10, sendo a p<0,001.

Os resultados do teor dos compostos fenólicos em função da concentração dos materiais biodegradáveis estão expressos na Tabela 14.

Tabela 14 - Teor de compostos fenólicos (mg EAG.g⁻¹ de extrato) em função da concentração dos materiais biodegradáveis em solução.

Concentração ($\mu\text{g.mL}^{-1}$)	RSA0	RSA2.5	RSA5	RSA10
20	8,68 \pm 1,87	10,14 \pm 0,72	10,97 \pm 1,30	10,77 \pm 0,95
40	8,84 \pm 0,27	10,14 \pm 0,72	12,22 \pm 1,30	12,64 \pm 0,72
80	10,14 \pm 0,72	10,56 \pm 1,08	12,64 \pm 1,44	13,68 \pm 3,30
120	10,14 \pm 0,36	11,81 \pm 0,62	13,47 \pm 0,95	14,31 \pm 2,72
160	10,35 \pm 0,36	12,22 \pm 1,30	13,68 \pm 1,25	14,31 \pm 1,65
200	10,56 \pm 1,08	12,43 \pm 0,62 [#]	14,31 \pm 4,37	17,22 \pm 7,76*

Fonte: A autora.

Nota: Dados expressos como média \pm desvio padrão (n=3). *Diferença estatística em relação ao controle em mesmo período de tempo, sendo * p<0,01. # Diferença estatística em relação à RSA10, sendo # p<0,05.

Assim como os resultados do teor de compostos fenólicos para o RSA aumentou proporcionalmente à sua a concentração, para os materiais biodegradáveis ocorreu de forma similar. Esse comportamento também está de acordo com os resultados da sua capacidade antioxidante. Para o material que

possui maior % de bagaço de amora, que é a formulação RSA10, os valores do teor de fenólicos na concentração de 200 $\mu\text{g.mL}^{-1}$ foram de 17,22 mg EAG.g⁻¹.

Na Tabela 15 estão expressos os resultados do teor de compostos fenólicos de acordo com o tempo de imersão em água, para simular a liberação em alimentos.

Tabela 15 - Teor de fenólicos (mg EAG.g⁻¹) em função do tempo de imersão em água.

Tempo (hora)	RSA0	RSA2.5	RSA5	RSA10
0	8,68±1,25	8,68 ± 0,62	17,43 ± 0,62*#	19,31 ± 2,25*#
1	10,56 ± 0,62	12,22 ± 0,72	22,64 ± 2,00*#	22,64 ± 2,00*#
2	11,81 ± 0,62	12,64 ± 0,72	23,06 ± 0,00*#	25,56 ± 2,25*#
3	12,22 ± 0,36	13,47 ± 0,36	23,27 ± 1,57*#	26,18 ± 3,30*#
4	12,85 ± 0,95	15,35 ± 0,95	25,14 ± 1,30*#	26,81 ± 1,08*#
5	13,68 ± 1,87	15,97 ± 0,95	25,97 ± 2,52*#	26,81 ± 1,25*#
6	14,52 ± 0,36	16,18 ± 1,25	25,97 ± 0,95*#	28,06 ± 0,62*#
24	14,52 ± 0,36	17,02 ± 1,30	30,14 ± 2,00*#	28,47 ± 0,95*#
48	16,18 ± 1,87	17,85 ± 1,80	32,43 ± 0,62*#	38,47 ± 10,68*#

Fonte: A autora.

Nota: Dados expressos como média ± desvio padrão (n=3). * Significa diferença estatística em relação ao controle em mesmo período de tempo, sendo * p<0,001. # Significa diferença estatística em relação à RSA2.5, sendo # p<0,001.

Nos resultados do teor de compostos fenólicos dos materiais biodegradáveis demonstrados a partir da imersão em água, percebeu-se maior percentual no quantitativo de fenólicos liberados pelo filme na passagem do tempo, alcançando valores de 38,47 mg EAG.g⁻¹ para o RSA10 ao final de 48 horas. Esse teste foi conduzido com o objetivo de avaliar o potencial de migração dos compostos bioativos incorporados na embalagem, tornando-a um sistema ativo. Dessa forma, os resultados observados foram bastante promissores, comprovando a atuação dos materiais biodegradáveis a base de amido e incorporados com RSA como embalagem ativa, com liberação contínua e prolongada de antioxidantes.

Nos estudos de Lemes (2016) são encontradas demonstrações de que “a atividade antioxidante das membranas de quitosana com extrato das cascas da *Euphorbia umbellata* (avaliadas frente ao ABTS•⁺) mostraram melhor potencial antioxidante para as amostras incorporadas com maior concentração de extrato”. O estudo é importante para demonstrar o potencial antioxidante a partir de concentrações mais elevadas do extrato.

Da mesma maneira, é fundamental considerar os estudos feitos por Queiroz *et al.* (2021). Os pesquisadores demonstraram que o extrato de jamelão possui ação antioxidante aprimorada pela aparição dos materiais bioativos, como fenólicos e flavonoides. Em suas palavras, “quanto maior a concentração de extrato de jamelão adicionada aos filmes, maior a presença de compostos fenólicos e consequentemente maior a atividade antioxidante”.

Silva *et al.* (2019) corroboram com esse posicionamento ao enfatizarem, em um estudo com extrato de araucária em filmes biodegradáveis, que houve maior e melhor atividade antioxidante, desde que os experimentos se voltarem para maior teor de extrato de araucária.

Por fim, Souza *et al.* (2015) enfatizaram que “a capacidade antioxidante foi proporcional a quantidade de extrato de própolis adicionada aos filmes de amido estando associada à presença de compostos fenólicos”. Dessa forma, a pesquisa feita por eles é essencial para entender a proporcionalidade e a concentração que leva ao aumento dos compostos fenólicos.

6 CONCLUSÃO

A produção de materiais biodegradáveis pelo método de termoformagem a partir de amido de mandioca e incorporados com bagaço seco de amora-tupi (RSA), em diferentes concentrações, foi eficiente, apresentando boa maleabilidade e características visuais. A utilização do RSA nos materiais biodegradáveis reduziu sua resistência mecânica à tração, quando comparados à amostra sem bagaço (RSA0), entretanto não houve diferença neste parâmetro com o aumento na concentração de RSA incorporada aos materiais. Em relação às características microestruturais, a amostra RSA0 apresentou uma superfície homogênea, sem rugosidades e, com a adição do bagaço, os materiais ficaram com a superfície rugosa e mais heterogênea, independente da concentração do RSA adicionada, possivelmente devido às interações dos compostos fenólicos com a matriz polimérica. Essas interações também podem ser as responsáveis pelo aumento na densidade dos materiais quando houve a adição do RSA.

A boa compatibilidade entre bagaço e matriz garantiu que os resultados apresentados para a permeabilidade ao vapor de água dos materiais adicionados de RSA fossem similares aos da amostra controle (RSA0), sem diferença significativa, mas foi observado uma tendência à redução da permeabilidade, o que é interessante do ponto de vista da aplicação dos materiais na embalagem de alimentos. Dessa forma os materiais biodegradáveis foram promissores para aplicação alimentícia, apresentando integridade estrutural e ausência de poros.

A partir das metodologias aplicadas (ABTS•+, DPPH•, FRAP e teor de fenólicos), a atividade antioxidante do RSA e dos materiais biodegradáveis adicionados do bagaço foi comprovada, sendo superior nas amostras com maior concentração do bagaço (RSA10) e evidenciando o papel das amostras como embalagens ativas, proporcionando a liberação controlada e prolongada de antioxidantes.

Assim, conclui-se que os materiais biodegradáveis com incorporação de bagaço seco de amora, oriundos de bagaços originados da indústria de alimentos, podem ser uma alternativa para a obtenção de embalagens ativas, que previnam a oxidação dos alimentos, além de ser um apelo sustentável e promover a valorização deste subproduto.

REFERÊNCIAS

ABDI – Associação Brasileira de Desenvolvimento Industrial. **Relatório de Acompanhamento Setorial Transformados Plásticos**. UNICAMP, v. 1, 2008.

Disponível em:

https://www.eco.unicamp.br/Neit/images/stories/arquivos/RelatorioABDI/transformatosplasticos_vol-I_dezembro2007.pdf>. Acesso em 27 jan 2021.

AIDER, M. Chitosan application for active bio-based films production and potential in the food industry. **Food Science and Technology** London. v.43, n.1, p.837-842, 2010.

ALVES C.Q.; DAVID J. M.; DAVID J.P.; BAHIA M. V.; AGUIAR R.M. 2010. Métodos para determinação da atividade antioxidante in vitro em substratos orgânicos. **Química Nova**. Rio de Janeiro, v.33 n.10, p. 2202-2210, 2010.

ANDRADY, L. Plastics and the Environment. **Food Science and Technology** New Jersey: John Wiley; Sons, Inc.,v.21, p.764, 2005.

ANGELO, P.M.; JORGE, N. Compostos Fenólicos em Alimentos. **Revista do Instituto Adolfo Lutz**. São Paulo, v. 66, n.1, 2007.

ANTUNES, L. E. C. Produção de amoreira-preta no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**. Jaboticaba, v. 36, n. 1, p.100-111, 2014

ANTUNES, L. E. C. Amora-preta: nova opção de cultivo no Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 32, n. 1, p. 151-158, 2002. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext;pid=S0103-84782002000100026;lng=en;nrm=iso>. Acesso em 21 Dez. 2020.

ANTUNES, L. E. C. **Aspectos técnicos da cultura da amora-preta**. Embrapa Clima Temperado-Documents. São Paulo. (INFOTECA-E), 2004.

APLEVICZ, K. S. **Caracterização de produtos panificados à base de féculas de mandioca nativas e modificadas**. 2006, 131 fls. Tese (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) — Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2006.

ASCHERI, D. P. R.; ASCHERI, J. L.R.; CARVALHO, C. W. P. Caracterização da farinha de bagaço de jaboticaba e propriedades funcionais dos extrusados. London. **Food Science and Technology**, v. 26, p.897-905, 2006.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists**. v. 2, ed. 15, Washington, 1990.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard test methods for water vapor transmission of material – E-96-95, Philadelphia: ASTM, 1995.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Test methods for tensile properties of thin plastic sheeting - D-882-91. Annual book of ASTM. Philadelphia: ASTM, 1996.

AVELLA, M.; VLIEGER, J. J. De; ERRICO, M. E.; FISCHER, S.; VACCA, P.; VOLPE, M. G. Biodegradable starch/clay nanocomposites films for food packaging applications. **Food Chemistry**, Washington, v. 93, n.3, p. 467-474, 2005.

BARBOSA-PEREIRA, L. et al. Development of antioxidant active films containing tocopherols to extend the shelf life of fish. **Food Control**, v. 31, n. 1, p. 236–243, 2013.

BENNEMANN, G. D. et al. Compostos bioativos e atividade antirradicalar em farinhas de bagaço de uvas de diferentes cultivares desidratadas em liofilizador e estufa. **Brazilian journal of food technology**, v. 21, n. 0, 2018b, 2018.

BENZIE, I. F. F.; STRAIN, J. J. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: the FRAP assay. **Analytical Biochemistry**, New York, v. 239, n. 1, p.70-76, 1996.

BET, C. D.; OLIVEIRA, C. S.; COLMAN, T. A. D.; MARINHO, M. T.; LACERDA, L. G.; RAMOS A. P.; SCHNITZLER, E. Organic amaranth starch: a study of its technological properties after heat moisture treatment. **Food Chemistry**, Ponta Grossa, v. 42, n.1, p. 264-435, 2018.

BRAGA, L. R.; SILVA, F. M. Embalagens ativas: uma nova abordagem para embalagens alimentícias. **Brazilian Journal of Food Research**, Campo Mourão, v.8, n. 4, p. 170-186, 2017.

BRAHAM, F. CARVALHO, D. O., ALMEIDA, C. M. R., ZAIDI, F., MAGALHÃES, J. M. C. S., GUIDO, L. F., GONÇALVES, M. P. Online HPLC-DPPH screening method for evaluation of radical scavenging phenols extracted from *Moringa oleifera* leaves. **South African Journal of Botany**, Porto, Portugal, v.129, p. 146-154, 2019.

BRASIL. **Resolução n. 44, de 25 de novembro de 1977**. Estabelece condições gerais de elaboração, classificação, apresentação, designação, composição e fatores essenciais de qualidade dos corantes empregados na produção de alimentos (e bebidas)”. Ministério da Saúde. Diário Oficial da União. Brasília, 1977.

BRASIL. **Resolução, n. 263 de setembro 2005**. Comissão Nacional de Normas e Padrões para Alimentos. Ministério da Saúde. Diário Oficial da União, Brasília, p. 368-369.

BRITO, G. F.; AGRAWAL, P.; ARAÚJO, E. M.; MÉLO, T. J. A. Biopolímeros, Polímeros Biodegradáveis e Polímeros Verdes. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v. 6.2, p. 127- 139, 2011.

CARISSIMI, M. **Desenvolvimento e aplicação de filmes biodegradáveis a partir de amido de mandioca e microalga verde**. 2017, 89 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2017.

CAROCHO, M., FERREIRA I.C.F.R. A review on antioxidants, prooxidants and related controversy: Natural and synthetic compounds, screening and analysis

methodologies and future perspectives. **Food and Chemical Toxicology**, Bragança, Portugal, v. 51, p.15–25, 2013.

COSTA, B. P. Thermal, structural, morphological and bioactive characterization of acid and neutral modified loquat (*Eriobotrya japonica* lindl.) seed starch and its by-products. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, [s. l.], 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10973-021-10965-2>

COSTA, D. C. Advances in phenolic compounds analysis of aromatic plants and their potential applications. Trends in Food Science; **Technology**, v.45, p.336-354, 2015.

DAINELLI, D.; Gontard, N.; Spyropoulos, D.; Zondervan, E. ; Tobback, P. - Trends **Food Sci. Technol.**, 19, p.S103 (2008). Pmid:21299575. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2008.09.011>

DAVIDSON, P. M.; NAIDU, A. S. Phyto-phenol. In: Naidu, AS.(Ed.) **Natural Food Antimicrobial Systems**. Boca Raton, FL, p. 265-294, 2000.

DAVIS, G.; SONG, J. H. Biodegradable packaging based on raw materials from crops and their impact on waste management. **Industrial Crops and Products**, v.23, p. 147-161, 2006.

DEBIAGI, F. Efeito de fibras vegetais nas propriedades de compósitos biodegradáveis de amido de mandioca produzidos via extrusão. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, p. 1522-1529, 2010.

DI-MEDEIROS, M. C. B. et al. Rheological and biochemical properties of *Solanum lycocarpum* starch. **Carbohydrate Polymers**, [s. l.], v. 104, n. 1, p. 66–72, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2014.01.023>

ELIZONDO, N. J.; SOBRAL, P. J. A.; MENEGALLI, F. C. Development of films based on blends of *Amaranthus cruentus* flour and poly (vinyl alcohol). **Revista Carbohydrate Polymers**, v. 75, p. 592-595, 2009.

FADINI, A. L.; ROCHA, F. S.; ALVIM, I. D.; SADAHIRA, M. S.; QUEIROZ, M. B.; ALVES, R. M. V.; SILVA, L. B. Mechanical properties and water vapor permeability of hydrolyzed collagen-cocoa butter edible films plasticized with sucrose. **Food Hydrocolloids**, v. 30, n. 2, p. 625–631, 2013.

FAVARO, M. M. A. **Extração, estabilidade e quantificação de antocianinas de frutas típicas brasileiras para aplicação industrial como corantes**. 2008, 75f. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2008.

FENNEMA, O. R.; DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L. **Química de Alimentos de Fennema**. São Paulo: Artmed, 2008, 899p.

FERNANDES, L de. A. **Antioxidantes naturais em aplicação em alimentos**. 2019, 81f. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia de Alimentos, Faculdade de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia. 2019.

- FIORDA, F. A.; JÚNIOR, M. S. S.; DA SILVA, F. A.; SOUTO, L. R. F.; GROSSMANN, M. V. E. Farinha de bagaço de mandioca: aproveitamento de subproduto e comparação com fécula de mandioca. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 43, n. 4, p. 408- 416, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1983-40632013000400005>
- FUKUMOTO, L. R.; MAZZA, G. Assessing Antioxidant and Prooxidant Activities of Phenolic Compounds. J. Agric. **Food Chem.** v.48, p. 3597–3604, 2000
- GALGANO, F.; CONDELLI, N.; FAVA, F. T.; BIANCO, V. DI.; PERRETT, G.; CARUSO, M. C. Biodegradable packaging and edible coating for fresh-cut fruits and vegetables. **Italian Journal of Food Science**, v. 27, n.1, p. 1-20, 2015.
- GARCIA, N. L. Physico-Mechanical Properties of Biodegradable Starch Nanocomposites. Macromolecular Materials and Engineering, **Macromolecular Journals**, Weinheim, v.1, n.3, p. 169–177, 2009.
- GHELEJLU, S. B.; ESMAILI, M.; ALMASI, H. Characterization of chitosan - nanoclay/bionanocomposite active films containing milk thistle extract. **Macromolecules**, v. 86, n.1, p. 613-621, 2016.
- GOLTZ, C. Amora-Preta: Benefício Funcional. In: EAIC – XIX Encontro Anual de Iniciação Científica, 1., 2010, Guarapuava, **Anais**, UNICENTRO – Guarapuava, p. 1-4, 2010.
- GOMEZ-ESTACA, J. G.; DICASTILLO, C. L.; MUNOZ, P. H. A.; GAVARA, R. C. R. Advances in antioxidant active food packaging. **Trends in Food Science e Technology**, v. 35, p. 42-51, 2014.
- GONÇALVES, L. M. **Desenvolvimento de compósitos de polipropileno (PP) combagaço de malte e argila organofílica**. 2021. 72 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Materiais) — Instituto Politécnico, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Nova Friburgo, 2021.
- GOUDA, K. G. M.; KAVITHA, M. D.; SARADA, R. Antihyperglycemic, antioxidant and antimicrobial activities of the butanol extract from *Spirulina platensis*. **Journal of Food Biochemistry**, v. 39, n. 5, p. 594–602, 2015.
- GROTTO, C. G. L.; COSTA, A. M. F. C.; COLARES, C. J. G.; PEREIRA, D. H. Caracterização da biomassa de bagaço de cana-de-açúcar com vistas energéticas, **ForScience**, Formiga, v. 9, n. 1, p. 928, 2021
- HIRSCH, G. E. Caracterização físico-química de variedades de amora-preta da região sul do Brasil. **Ciencia rural**, v. 42, n. 5, p. 942–947, 2012.
- HUANG, D.; OU, B.; PRIOR, R. L. The chemistry behind antioxidant capacity assays. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 53, p.1841–1856, 2005.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. Ed. 4. Versão eletrônica. Coordenadores Odair Zenebon, Neus Sadocco Pascuet e Paulo Tiglea -- São Paulo, p. 1020, 2008.
- JAMBECK, J. R. Plastic waste inputs from land into the ocean. **Science**, v.347, p. 768– 771, 2015.

JANKOVIĆ, B. Thermal characterization and detailed kinetic analysis of Cassava starch thermo-oxidative degradation. **Carbohydrate Polymers**, v. 95, n. 2, p. 621-629, 2013.

JARAMILLO, M. C. Biodegradability and plasticizing effect of yerba mate extract on cassava starch edible films. **Carbohydrate Polymers**, v. 151, p. 150–159, 2016.

JONGJAREONRAKA, A.; BENJAKULA, S.; WONNOP VISESSANGUANB, W. e TANAKAC, M. Antioxidative activity and properties of fish skin gelatin films incorporated with BHT and α -tocopherol. **Food Hydrocolloids**, v. 22, p. 449–458, 2008.

JORGE, N. **Embalagens para alimentos**. São Paulo: Cultura Acadêmica, 2013.

JUNIOR, W. E. F. Carboidratos: Estrutura, propriedades e funções. **Química Nova na Escola**, 2008. Disponível em: <QNInt :: Home (sbq.org.br)>. Acesso em: 04 fev. 2021.

KANDI, S.; CHARLES, A. L. Statistical comparative study between the conventional DPPH spectrophotometric and dropping DPPH analytical method without spectrophotometer: Evaluation for the advancement of antioxidant activity 85 analysis. **Food Chemistry**, v. 287, p. 338–345, 30 jul. 2019.

KARASKI, U. T., RIBEIRO, M. F., PEREIRA, R. B., ARTEAGA, S. P. Embalagem e sustentabilidade: desafios e orientações no contexto da economia circular. 2016, 1ª Ed. São Paulo, **ABRE - Associação Brasileira de Embalagem**. Disponível em: embalagem_sustentabilidade.pdf (abre.org.br). Acesso em: 22 jan. 2021.

KASEEM, M.; HAMAD, K.; DERI, F. Thermoplastic Starch Blends: A Review of Recent Works1 ISSN 0965545X, **Polymer Science**, v. 54, n. 2, p. 165–176, 2012.

KAZA, S.; YAO, L.; BHADA-TATA, P.; VAN WOERDEN, F. What a Waste 2.0 A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. **Urban Development Series**, World Bank, Washington DC. 2018.

KEBELMANN K, HORNUNG A, KARSTEN U, GRIFFITHS G. Intermediate pyrolysis and product identification by TGA and Py-GC/MS of green microalgae and their extracted protein and lipid components. **Biomass and bioenergy**. V.49, p.38-48, 2013.

KECHICHIAN, V. Natural antimicrobial ingredients incorporated in biodegradable films based on cassava starch. **LWT - Food Science and Technology**, v. 43, n. 7, p. 1088-1094, 2010. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2010.02.014>. Acesso em: 29 ago. 2022.

KNAPP, M. A. **Caracterização de filmes biodegradáveis de amido com extrato de erva mate**. 2017, 66p. Monografia de graduação em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal da Fronteira Sul, Laranjeiras do Sul, 2017.

LAMEIRO, M. G. S. características físico-químicas da amora- preta (*rubusfruticosus*) e mirtilo (*vacciniumasheireade*) em seus produtos liofilizados. **Global Science and Technology**, v. 12, n. 1, p.121, 2019.

LAVEFVE, L.; HOWARD, L. R.; CARBONERO, F. Berry polyphenols metabolism and impact on human gut microbiota and health. **Royal Society of Chemistry (RSC)**. Food; Function, [s.l.], v.11, n. 1, p.45-65, 2020.

LECETA, I.; GUERRERO, P.; CABEZUDO, S.; CABA, K. D. La. Environmental assessment of chitosan-based films. **Journal of Cleaner Production**, v. 41, p. 312-318, 2013.

LEE C.H. A coating for use as an antimicrobial and antioxidative packaging material incorporating nisin and á-tocopherol. **Journal of Food Engineering**, V. 62, p.323-329, 2004.

LEMES, B. M. **Membranas de quitosana contendo fração metanólica de Euphorbia umbellata (Pax) Bruyns (Euphorbiaceae): Desenvolvimento, caracterização e avaliação**. 2016. Mestrado em Ciências Farmacêuticas, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2016.

LOPES, A. R. Influência da incorporação do extrato de barbatimão em filmes de amido e caseína. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v.8, n.2, p.100-105, 2018.

LOULI, V. Recovery of phenolic antioxidants from wine industry by-products. **Bioresource Technology**, v.92, p.201-208, 2004. Disponível em: <<https://www-sciencedirect.ez82.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S096085240300227X?via%3Dihub>> . Acesso em: 08 nov 2020. doi: 0.1016/j.biortech.2003.06.002.

LUDKA, F. R. **Filmes biodegradáveis contendo extrato de bagaço demalte: desenvolvimento e potencial antioxidante**. 2022, 81p. Dissertação. (Mestradoem Ciências Farmaceuticas) - Universidade Estadual de Ponta Grossa. Ponta Grossa. 2022.

MACHADO, A. A. S.; KLOAS, W.; ZARFL, C.; HEMPEL, S.; RILLIG, M. C. Microplastics as an emerging threat to terrestrial ecosystems. **Global Change Biology**, v. 24, p. 1405–1416, 2018.

MACHADO, A. P. F. Encapsulation of anthocyanin-rich extract from blackberry residues by spray-drying, freeze-drying and supercritical antisolvent. **Powder Technology**, v.340, p. 553-562, 2018.

MACHADO, A. P. F. Extração de fitoquímicos do bagaço da amora-preta empregando a técnica limpa de extração com líquido pressurizado. **Blucher Chemical Engineering Proceedings**, v. 1, n. 2, p.4760-4767, 2015.

MACHADO, B. A. S. et al. Processo para a preparação de nanobiocompósitos tipo filmes flexíveis reforçados com nanopartículas de celulose tipo nanowhiskers. Santa Maria, **Ciência Rural**, v.42, n.11, p.2085-2091, nov, 2010.

MACHADO, D; FAVERO, D. M.; DE LIMA, K. P. Influência do ph e temperatura na quantidade de compostos bioativos em fermentado alcoólico misto de maçã

(*Pyrusmalus L.*) e amora preta (*Rubus sp.*). **Revista Mundi Meio Ambiente e Agrárias** (ISSN: 2525-4790), v. 5, n. 2, 2020.

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

MARCOS, B Development of biodegradable films with antioxidant properties based on 75 polyesters containing a-tocopherol and olive leaf extract for food packaging applications, **Food Packaging and Shelf Life**, v. 1, p. 140-150, 2014.

MORENO-ALVAREZ, M. J. et al . Estabilidad de antocianinas en jugos pasteurizados de mora (*Rubus glaucus Benth*). **ALAN**, Caracas , v. 52, n. 2, p. 181-186, June 2002 . Disponível em:
<http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext;pid=S0004-06222002000200010;lng=en;nrm=iso>. access on 09 Nov. 2020.

MOTA, R. V. Caracterização física e química de geléia de amora-preta.Ciência e Tecnologia de Alimentos, **FapUNIFESP**, [s.l.], v. 26, n. 3, p.539-543, set. 2006. (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0101-20612006000300009>.

MOURA, J. G. L. Avaliação da influência do tempo de congelamento no potencial antioxidante e teor de cianidina-3-glicosídeo em frutos de amora-preta. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 3, p. 15096-15113, 2020.

MÜLLER, C. M. O.; YAMASHITA, F.; LAURINDO, J. B. Evaluation of the effects of glycerol and sorbitol concentration and water activity on the water barrier properties of cassava starch films through a solubility approach. **Carbohydrate Polymers**, v. 72, n. 1, p. 82–87, 2008.

MURIEL-GALET Antioxidant and antimicrobial properties of ethylene vinyl alcohol copolymer films based on the release of oregano essential oil and green tea extract components. **Journal of Food Engineering**, v. 149, p. 9-16, 2015.

NAKATSUKASA, J. **Produção e caracterização de filmes inteligentes a partir do bagaço da produção do suco de uva**. 69f. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Curso de Engenharia Química. 2021. Monografia de graduação.

NÓBREGA, R. Q. **Síntese e caracterização de carvão ativado do bagaço do cacau (Theobroma cacao) para a remoção de furfural**. 2021, 88f. Dissertação de Mestrado. Engenharia Química. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, 2021.

NOURI, L. E.; NAFCHI, A. M. Antibacterial, mechanical, and barrier properties of sagostarch film incorporated with betel leaves extract. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 66, p. 254–259, 2014.

OJAGH, S. M. Development and evaluation of a novel biodegradable film made from chitosan and cinnamon essential oil with low affinity toward water. **Food Chemistry**, v. 122, n. 1, p. 161-166, 2010.

ORTIZ, J. A. R. **Desenvolvimento e caracterização de bioplásticos de amidos por extrusão termoplástica e termoprensagem**. 2013, 173 f. Tese de doutorado. Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

OTA, B. Y. **Produção e caracterização de embalagens biodegradáveis ativas utilizando bagaços da indústria de alimentos**. 2021, 67p. Monografia de graduação. Graduação em Farmácia, Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa, 2021.

PASTOR, C. Physical and antifungal properties of hydroxypropylmethylcellulose based films containing propolis as affected by moisture content. **Carbohydrate Polymers**, v. 82, n. 4, p. 1174-1183, 2010.

PRIOR, R. L.; WU, X.; SCHAICH, K. Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. **Journal of agricultural and food chemistry**, v. 53, n. 10, p. 4290-4302, 2005.

QUEIROZ, E. L. Propriedades químicas e mecânicas de filme bioativo deamido de mandioca com adição de extrato de jamelão (*Syzygium cumini* L.). **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 24, 2021.

RACHTANAPUN, P. Characterization of chitosan film incorporated with curcumin extract. New York. **Polymers**, v. 13, n. 6, 2021.

RAGUIN, A.; EBENHOH, O. Design starch: stochastic modeling of starch granule biogenesis. **Biochemical Society Transactions**, 2017 DOI: 10.1042/BST20160407

REIS, L. C. B.; SOUZA, C. O.; SILVA, J. B. A.; MARTINS, A. C.; NUNES, I. L. e DRUZIAN, J. I. Active biocomposites of cassava starch: The effect of yerba mate extract and mango pulp as antioxidant additives on the properties and the stability of a packaged product. **Food and Bioproducts Processing**. v. 94, p. 382–391, 2015.

REIS, L. et al. Filme biodegradável incorporado com glicerol e aditivos naturais. **Cadernos de Prospecção**, v. 4, n. 4, p. 23–32, 2011.

REUSE. **Rethinking Packaging**. Ellen McArthur Foundation, 2019. Disponível em: <https://ellenmacarthurfoundation.org/reuse-rethinking-packaging>. Acesso em: 23 jan. 2021.

REYNERSTON, K. A. Quantitative analysis of antiradical phenolics constituents from fourteen edible Myrtaceae fruits. **Food Chemistry**, v. 109, p. 883-890, 2008.

ROCHA, M. C. G.; MORAES, L. R. C. Low Density Polyethylene (LDPE) blends based on Poly(3-Hydroxy-Butyrate) (PHB) and Guar Gum (GG) biodegradable polymers. **Polímeros**, v. 25, p. 42–48, 2015.

ROESLER, P. V. S. O. Produção e qualidade de raiz tuberosa de cultivares de batata-doce no oeste do Paraná. *Acta Scientiarum*. **Agronomy**, v. 30, n. 1, p. 117-122, 2008.

RONKO, L. Z.; TRAVALINI, A. P.; DEMIATE, I. M. Amido e bagaço de mandioca (*Manihot esculenta* C.): obtenção e caracterização de diferentes variedades. **Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial**, v. 14, n.1, 2020.

ROSAS, M. R. Starch-based biodegradable active packaging with *Euphorbia umbellata* (PAX) Bruyns bioactive extract. **Journal of Packaging Technology and Research**, v. 5, n. 2, p. 97-106, 2021.

RUBILAR, J. F. Physico-mechanical properties of chitosan films with carvacrol and grape seed extract. **Journal of Food Engineering**, v. 115, n. 4, p. 466-474, 2013.

SANTANA, M. C. C. B. Incorporação de urucum como aditivo antioxidante em embalagens biodegradáveis a base de quitosana. **Ciência Rural**, v. 43, n. 3, p. 544-550, 2013.

SANTOS, A. M. P.; YOSHIDA, C. M. P. **Embalagem**. E-Tec Brasil. CODAI/UFRPE.152p., 2011.

SANTOS, A. M.; RASEIRA, M. C. B. **Lançamento de cultivares de amoreira-preta**. Pelotas: EMBRAPA - CNPFT, 1988. n.p. (EMBRAPA: Informativo 23).

SANTOS, S. S.; PARAÍSO, C. M.; MADRONA, G. S. Microesferas de bagaço de amora-preta: Uma abordagem sobre a degradação de antocianina. São Paulo, **Ciência e Agrotecnologia**, v. 44, n.2, 2020.

SILVA, T. B. V. *Araucaria angustifolia* (Bertol.) Kuntze extract as a source of phenolic compounds in TPS/PBAT active films. **Food and Function**, v. 10, n. 2, 2019.

SOARES, J. R. Antioxidant activities of some extracts of *Thymus zygis*. **Free Radical Research**. v. 26, p. 469-478, 1997.

SOUZA, D. G. **Caracterização da farinha da casca de jabuticaba e uso em bebidas lácteas saborizadas com mamão**. 2016. 78f. Instituto Federal de Goiás. Departamento de Zootecnia. Dissertação de Mestrado.

SOUZA, S. J. Propriedades Antioxidantes e antimicrobianas de filmes de amido contendo extrato de própolis. In: **Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica**, 11, Campinas. Anais [...], Unicamp: Campinas, v. 1, n. 3, 2015.

SRIDHAR, K.; CHARLES, A. L. In vitro antioxidant activity of Kyoho grape extracts in DPPH and ABTS assays: Estimation methods for EC50 using advanced statistical programs. **Food Chemistry**, v. 275, p. 41–49, 1 mar. 2019.

THOMPSON, R. C.; MOORE, C. J.; VOM SAAL, F. S.; SWAN, S. H. Plastics, the environment and human health: current consensus and future trends. **The Royal Society Publishing**, v. 364, p. 2153–2166, 2009.

TRESSERA-RIMBAU, A.; LAMUELA-RAVENTOS, R. M.; MORENO, J. J. Polyphenols, food and pharma. Current knowledge and directions for future research. **Biochemical Pharmacology**, v.156, p.186–195, 2018.

VEBERIC, R. et al. Changes in the Contents of Anthocyanins and Other Compounds in Blackberry Fruits Due to Freezing and Long-Term Frozen Storage. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, 62(29), 6926–6935, 2014.

VEIGA, P. S.; DRUZIAN, J. I. Absorvedores de umidade/ antiembaçantes biodegradáveis a base de amido/fécula para serem aplicados em produtos de higiene pessoal, alimentícios ou farmacêuticos. **Patente protocolizada no INPI**, 2007.

VEIGA-SANTOS, P. Microstructure and color of starch-gum films: Effect of additives and deacetylated xanthan gum. Part 2. **Food Hydrocolloids**, v.19, n.6, p.1064-1073, 2005b. Disponível em: <[https://www-sciencedirect.ez82.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0268005X05000408? via%3DiHub](https://www-sciencedirect.ez82.periodicos.capes.gov.br/science/article/pii/S0268005X05000408?via%3DiHub)> Acesso em: 06 nov 2020. doi: 0.1016/j.foodhyd.2005.02.007.

VERCELHEZE, A. E. S. Properties of baked foams based on cassava starch, sugarcane bagasse fibers and montmorillonite. **Carbohydrate Polymers**, v. 87, n. 2, p. 1302–1310, 2012.

WORANUCH, S.; YOKSAN, R. Eugenol-loaded chitosan nanoparticles: I. Thermal stability improvement of eugenol through encapsulation. **Carbohydrate polymers**, v. 96, n. 2, p. 578-585, 2013.

WWF. **Solucionar a poluição plástica**: transparência e responsabilização. Relatório. Domínio Público. 2019. Disponível em: <Solucionar a Poluição Plástica: Transparência e Responsabilização (wwf.org.br)> Acesso em: 25 jan. 2021.

ZHANG, H.; ZHAO, Y. Preparation, characterization and evaluation of tea polyphenol e Zn complex loaded b -chitosan nanoparticles. **Food hydrocolloids**, v.48, p. 260–273, 2015.