



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ – *CAMPUS DE CASCAVEL*
CENTRO DE CIÊNCIAS MÉDICAS E FARMACÊUTICAS – CCMF
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO *STRICTO SENSU* EM CIÊNCIAS
FARMACÊUTICAS – PCF

**CARACTERIZAÇÃO DE FILMES BIOPOLIMÉRICOS À BASE DE BIOMASSA DE
BANANA VERDE E SUA AVALIAÇÃO PARA PRODUÇÃO DE CÁPSULAS**

LUANA VOLKMANN SIQUEIRA

CASCAVEL-PR

2021

LUANA VOLKMANN SIQUEIRA

**CARACTERIZAÇÃO DE FILMES BIOPOLIMÉRICOS À BASE DE BIOMASSA DE
BANANA VERDE E SUA AVALIAÇÃO PARA PRODUÇÃO DE CÁPSULAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Farmacêuticas da Universidade Estadual Oeste do Paraná, *campus* de Cascavel, em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestra em Ciências Farmacêuticas na linha de pesquisa Fármacos e medicamentos.

Orientadora: Profa. Dra. Luciana Oliveira de Fariña.

Coorientador: Prof. Dr. Douglas Cardoso Dragunski.

Coorientadora: Profa. Dra. Juliana Moço Corrêa.

CASCADEL - PR

2021

Ficha de identificação da obra elaborada através do Formulário de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da Unioeste.

Volkman Siqueira, Luana

Caracterização de filmes biopóliméricos à base de biomassa de banana verde e sua avaliação para produção de cápsulas / Luana Volkman Siqueira; orientadora Luciana Oliveira de Fariña; coorientador Douglas Cardoso Dragunski. -- Cascavel, 2021.

89 p.

Dissertação (Mestrado Acadêmico Campus de Cascavel) -- Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Médicas e Farmacêuticas, Programa de Pós-Graduação em Ciências Farmacêuticas, 2021.

1. Biomassa. 2. Filmes biodegradáveis. 3. Banana verde. I. Oliveira de Fariña, Luciana, orient. II. Cardoso Dragunski, Douglas, coorient. III. Título.

LUANA VOLKMANN SIQUEIRA

CARACTERIZAÇÃO DE FILMES BIOPOLIMÉRICOS À BASE DE BIOMASSA DE
BANANA VERDE E SUA AVALIAÇÃO PARA PRODUÇÃO DE CÁPSULAS

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *stricto sensu* em Ciências Farmacêuticas da Universidade Estadual do Oeste do Paraná como pré-requisito para obtenção do título de Mestra em Ciências Farmacêuticas. Área de concentração: Fármacos e Medicamentos.

Orientadora: Profa. Dra. Luciana Oliveira de Fariña.

Coorientador: Prof. Dr. Douglas Cardoso Dragunski.

BANCA EXAMINADORA:



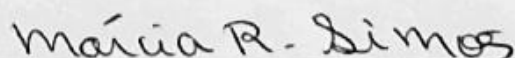
Profa. Dra. Luciana Oliveira de Fariña
Universidade Estadual do Oeste do Paraná
UNIOESTE
Orientadora



Prof. Dr. Classius Ferreira da Silva
Universidade Federal de São Paulo
UNIFESP



Prof. Dr. Juan Arturo Ragazzo Sánchez



Profa. Dra. Márcia Regina Simões
Universidade Estadual do Oeste do Paraná
UNIOESTE

BIOGRAFIA RESUMIDA

Luana Volkmann Siqueira, natural de Guaraniaçu, Paraná, Brasil, nascida em 12 de janeiro de 1996, graduou-se em Farmácia, pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE em 20/01/2020. Trabalha como Farmacêutica no Serviço de Controle de Infecções Hospitalares, no UOPECCAN – Hospital do Câncer de Cascavel. Em março de 2020, iniciou as atividades como aluna bolsista do Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ciências Farmacêuticas e desenvolve projeto experimental de dissertação junto à linha de pesquisa Fármacos e Medicamentos, orientada pela Profa. Dra. Luciana Oliveira de Fariña e coorientada pelo Prof. Dr. Douglas Cardoso Dragunski e pela Profa. Dra. Juliana Moço Corrêa. Atualmente, é aluna de Pós-Graduação *Lato Sensu* em Farmácia Oncológica na Faculdade Venda Nova do Imigrante - FAVENI.

Alguns homens vêem as coisas como
são, e dizem 'Por quê?'
Eu sonho com as coisas que nunca
foram e digo, 'Por que não?'

Geroge Bernard Shaw

DEDICATÓRIA

Dedico esta dissertação à minha progenitora, Marli Ferreira, que não desistiu da minha vida.

Dedico em especial aos meus pais, Edna Volkmann Siqueira e Sandro José Siqueira (*in memoriam*), que sempre foram meu porto seguro nos momentos de maior dificuldade e incentivaram meu estudo para que eu alcançasse os meus objetivos, possibilitando as minhas maiores conquistas, e que sempre foram pais maravilhosos. Agradeço por me ensinarem o significado de dedicação, proteção, amor e cuidado, através de seus exemplos.

Dedico ao meu irmão, Lucas Volkmann Siqueira, que desempenhou com maestria a sua profissão de psicólogo para me auxiliar nos meus momentos de desânimo e que sempre me apoiou nas fases mais importantes da minha vida.

Dedico ao meu marido, Eduardo Barbosa da Silva, que, além de todo suporte emocional, não mediu esforços para me auxiliar a completar cada tarefa necessária para a realização desta pesquisa. Agradeço por todo o carinho e atenção que me deu em meus dias de trabalho e estudo, me impedindo de desistir.

Dedico também à minha amiga, colega de faculdade e mestrado, Maira Gabriela Paetazold, que me ofereceu uma amizade valiosa, me apoiando, me ouvindo, me ajudando a sempre achar alternativas para solucionar os problemas e me fazendo enxergar todo o meu potencial. Agradeço por acreditar em mim, por sua amizade e por todo o seu carinho.

Dedico, por fim, a todos os amigos, colegas e familiares que acompanharam esta trajetória e torceram pelo meu sucesso.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à Dra. Luciana Oliveira de Fariña, minha orientadora, por ter me dado o privilégio de ser sua orientada, pelos seus estimados ensinamentos, por acreditar na minha capacidade, por se preocupar com minha saúde física e mental, por me auxiliar a enxergar além sempre, por “comprar” minha ideia e por me guiar e orientar na produção desta pesquisa.

Agradeço ao Dr. Douglas Cardoso Dragunski, que enriqueceu esta dissertação desde o princípio, com excelentes considerações, e prestou auxílio no desenvolvimento desta pesquisa sem medir esforços.

Agradeço à Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), e a todos os seus colaboradores, que possibilitaram minha graduação e pós-graduação, de forma gratuita e com qualidade. Agradeço ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Farmacêuticas da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (PCF-UNIOESTE). Agradeço a todos os professores, em especial, ao Dr. Alexandre Maller, à Dra. Luciana Oliveira de Fariña, à Dra. Marcia Regina Simões, à Dra. Ana Tereza Bittencourt Guimarães e à Dra. Juliana Moço Correa, que me ofereceram oportunidades de enriquecer minha formação profissional.

Agradeço, por fim, à Coordenação de Aperfeiçoamento Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de mestrado concedida, que permitiu minha dedicação exclusiva ao desenvolvimento desta pesquisa durante meu primeiro ano de mestrado.

CARACTERIZAÇÃO DE FILMES BIOPOLIMÉRICOS À BASE DE BIOMASSA DE BANANA VERDE E SUA AVALIAÇÃO PARA PRODUÇÃO DE CÁPSULAS

RESUMO

A banana é uma das frutas mais consumidas no mundo, tanto na sua forma *in natura* quanto processada; quando ainda verde, é fonte de vitaminas do complexo B (B1, B6), além de alta quantidade de amido resistente (AR) que apresenta comportamento semelhante às fibras dietéticas, no trato gastrointestinal. Este estudo teve como objetivos: avaliar filmes biodegradáveis, produzidos com a biomassa da polpa de banana verde em diferentes concentrações, acrescidos de sorbitol e propilenoglicol em proporções variadas; avaliar suas propriedades e sua capacidade para a produção de cápsula vegetariana. Os filmes produzidos pela técnica de evaporação de solvente “*casting*”, em estufa, foram avaliados quanto às propriedades macroscópicas, de espessura, taxa de transmissão de vapor d’água (TVA), índice de intumescimento, propriedades mecânicas e aplicabilidade para o desenvolvimento de cápsulas. A biomassa mostrou-se como um excelente material para a formulação de filmes, por ser matéria-prima de fonte renovável. Considerando-se os fatores desejáveis: baixa TVA, resistência mecânica, boa flexibilidade, transparência, baixo índice de intumescimento e menor espessura, os filmes à base de biomassa foram avaliados de acordo com estas características. Os filmes biopoliméricos produzidos com sorbitol e biomassa de banana prata apresentaram baixa opacidade, alta maleabilidade e homogeneidade. De acordo com a análise de DRX, foi possível constatar que os filmes avaliados são predominantemente amorfos.

PALAVRAS-CHAVE: Biomassa; Caracterização macroscópica; Filmes biodegradáveis; Propriedade de barreira.

CHARACTERIZATION OF BIOPOLYMERIC FILMS BASED ON GREEN BANANA BIOMASS AND THEIR EVALUATION FOR CAPSULE PRODUCTION

ABSTRACT

Banana is one of the most consumed fruits of the world, both in its fresh and processed form: Green banana is a source of B-complex vitamins (B1, B6) and a high amount of resistant starch (RA), with similar behavior to dietary fibers in the gastrointestinal tract: the essay aimed to evaluate biodegradable films produced with the biomass of green banana pulp in different concentrations, plus sorbitol and propylene glycol in different proportions; to evaluate its properties and its capacity for the production of vegetarian capsules, the films produced by the solvent evaporation technique "casting" in an oven were rated, for macroscopic properties, thickness, water vapor transmission rate (TVA), swelling index, mechanical properties, and applicability for the development of capsules: Biomass proved to be an excellent material for the formulation of biofilms, as it is a raw material from a renewable source, the biomass-based films were rated, according to the desirable factors: low TVA, mechanical strength, good flexibility, transparency, low swelling index, and lower thickness, the biomass-based film these characteristics: the biopolymeric films produced with sorbitol and banana biomass presented low opacity, high malleability, and high homogeneity. In agreement with the XRD analysis, it was possible to verify that the evaluated films are predominantly amorphous.

KEYWORDS: Biomass; Macroscopic characterization; Biodegradable films; Barrier property.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	16
2.	OBJETIVOS	17
2.1	Objetivos gerais	17
2.2	Objetivos específicos	17
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1	Banana (<i>Musa spp</i>)	17
3.2	Banana Verde	21
3.3	Amido Resistente	22
3.4	Filmes biodegradáveis	24
3.5	Cápsulas vegetarianas	26
4.	MATERIAL E MÉTODOS	27
4.1	Caracterização das bananas e confirmação das espécies	27
4.2	Escolha do subgrupo de frutos do gênero <i>Musa sp.</i>	27
4.3	Seleção dos frutos e determinação do grau de maturação	27
4.3.1	Análise visual da casca dos frutos	28
4.4	Preparo das biomassas	28
4.5	Análise da composição química da banana	28
4.5.1	Análise de proteína pelo método de Kjeldahl	29
4.5.2	Análise de Lipídeos	29
4.5.3	Análise de Fibra Bruta	30
4.6	Planejamento experimental	30
4.7	Preparo dos Filmes	32
4.8	Avaliação Macroscópica dos filmes obtidos	32
4.9	Avaliação da variável resposta do planejamento experimental	33
4.9.1	Determinação da espessura dos filmes	33
4.9.2	Avaliação da Transmissão de vapor d'água (TVA)	33
4.9.3	Opacidade dos filmes	34
4.10	Índice de intumescimento	35
4.11	Análises Termogravimétricas (TGA)	36
4.12	Espectrometria por Transformada de Fourier (FTIR)	36
4.13	Análise de difração de raios-X (DRX)	36
4.14	Ensaio Mecânico	36
4.15	Análise estatística	37

5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
5.1	Análise visual da casca dos frutos	37
5.2	Análises físico-químicas da banana	38
5.3	Avaliação Macroscópica dos filmes obtidos	39
5.4	Avaliação da variável resposta do planejamento experimental	42
5.5	Índice de intumescimento	48
5.6	Análises Termogravimétricas (TGA)	49
5.7	Espectrometria por Transformada de Fourier (FTIR)	52
5.8	Análise de difração de raios-X (DRX)	53
5.9	Ensaio mecânico	54
6.	CONCLUSÃO	57
7.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
8.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58
	ANEXO I	65
1	INTRODUÇÃO	72
2	METODOLOGIA	77
2.1.1	Seleção dos frutos e determinação do grau de maturação	77
3	RESULTADOS E DISCUSSÕES	81
4	CONCLUSÃO	85
	REFERÊNCIAS	85

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Classificação da Banana.....	19
Figura 2 Partes componentes da banana.	19
Figura 3 Escala de Maturação de Von Loesecke (1950).....	21
Figura 4 Exemplo da determinação da espessura dos filmes.	33
Figura 5 Cúpulas de permeabilidade.....	34
Figura 6 Defeitos leves.....	37
Figura 7 Defeitos graves.	38
Figura 8 Filmes obtidos a partir do planejamento com Sorbitol.....	41
Figura 9 Gráfico de superfícies de resposta para as variáveis espessura e opacidade.....	44
Figura 10a Gráfico de Pareto para variável espessura.	44
Figura 10b Gráfico de Pareto para variável opacidade.	45
Figura 11 Gráfico de Pareto para variável TVA.....	47
Figura 12 Filme x cápsula após exposição a pH ácido e básico.	49
Figura 13a Gráficos de TGA e derivada do filme 1.	50
Figura 13b Gráficos de TGA e derivada do filme 5.	50
Figura 14 Gráfico de FTIR para os filmes biopoliméricos 1 e 5.....	53
Figura 15 Gráfico de difração de raios-x dos filmes biodegradáveis 1 e 5.	54
Figura 16 Filme 1 e 9 (repetição).	55
Figura 17 Filme 5 e 13 (repetição).	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Composição físico-química e energética de variedades de banana cruas por 100g de parte comestível	20
Tabela 2a Matriz do planejamento fatorial 2 ² para as respostas Espessura, Opacidade e TVA, utilizando o plastificante Sorbitol (SB)	31
Tabela 2b Matriz do planejamento fatorial 2 ² para as respostas Espessura, Opacidade e TVA, utilizando o plastificante Propilenoglicol (PG).....	30
Tabela 3 Resultados da análise físico-química da banana prata	38
Tabela 4 Avaliação Macroscópica dos filmes obtidos a partir do delineamento experimental com plastificante sorbitol.....	40
Tabela 5 Média e desvio padrão das variáveis respostas espessura e opacidade utilizando o plastificante Sorbitol	42
Tabela 6 Efeitos e p-valor nas análises de espessura, opacidade e TVA do planejamento com o plastificante sorbitol.....	43
Tabela 7 Medida da taxa de transmissão de vapor d'água e perda de peso da amostra	47
Tabela 8 Resultados da análise mecânica dos filmes e suas repetições	55

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

ANOVA	Análise de Variância
AR	Amido Resistente
BM	Biomassa
BBM	Biomassa de Banana Maçã
BBP	Biomassa de Banana Prata
DRX	Difração de Raios-x
DSC	Calorimetria Exploratória Diferencial
FDO	Fármacos de Dispersão Oral
FGS	Fluido Gástrico Simulado
FIS	Fluido Intestinal Simulado
FTIR	Espectroscopia por Transformada de Fourier
HPMC	Hidroxipropilmetilcelulose
MEV	Microscopia Eletrônica por Varredura
SB	Sorbitol
SM	Solução-mãe
PG	Propilenoglicol
TGA	Termogravimetria
TVA	Taxa de Transmissão de Vapor D'água
UV-Vis	Ultravioleta - Visível

1. INTRODUÇÃO

A banana é uma fruta com baixo custo comercial e alto valor energético, podendo ser consumida *in natura* ou processada, o que colabora para a sua classificação como uma das frutas mais apreciadas no mundo inteiro, pois pode ser aproveitada em todas as fases de seu amadurecimento. Com o intuito de diminuir o desperdício pós-colheita da fruta, opta-se por utilizá-la em seu estágio 1 de maturação (totalmente verde). A banana, quando ainda verde, vem sendo muito utilizada na forma de biomassa (cozida), por possuir uma alta quantidade de amido resistente (AR) em sua composição.

O amido resistente é um carboidrato de reserva potencialmente digerível no tubo digestível, pela ação das enzimas amilolíticas; por essa razão, apresenta importância nutricional e industrial. Os efeitos do amido resistente podem ser similares aos da fibra alimentar, servindo de substrato para o crescimento de microrganismos probióticos, agindo como potencial agente prebiótico. Além disso, o amido vem sendo estudado e aplicado na substituição do plástico convencional, em aplicações específicas como fonte de recursos renováveis e biodegradáveis.

Os filmes biopoliméricos se apresentam como uma das formas de substituir a utilização de plásticos e materiais sintéticos na formulação de produtos, em uma tentativa de diminuir os danos causados ao meio ambiente. Assim, pode-se empregar o amido acrescido de agentes plastificantes para a obtenção desses filmes biodegradáveis.

Os filmes biodegradáveis possuem características semelhantes aos filmes produzidos a partir de plásticos sintéticos. Devem apresentar transparência, maleabilidade e homogeneidade. Além disso, devem possuir capacidade de barreira ao oxigênio, boa resistência à permeação ao vapor d'água, baixa espessura e uma continuidade de superfície.

Os plásticos biodegradáveis podem ser utilizados em diversas aplicações, na obtenção de filmes para proteção de alimentos, na produção de pratos e copos descartáveis e na preparação de cápsulas.

As cápsulas são formas farmacêuticas utilizadas como invólucro proposto para veiculação de fármacos. Suas características variam de acordo com o processo de sua produção, composição e fins terapêuticos, podendo se apresentar em sua forma

dura ou mole. No desenvolvimento de uma cápsula dura, o invólucro é composto por duas partes cilíndricas abertas em uma das extremidades, apresentando fundo arredondado. Comumente, as formulações para esse tipo de invólucro contêm, em sua maioria, substâncias como gelatina, glicerina e água, bem como outros adjuvantes.

As cápsulas vegetarianas disponíveis atualmente no mercado têm elevada comercialização, sendo estas à base de algas, o que restringe seu consumo. Diante disso, optou-se pela utilização da banana verde como matéria-prima, a fim de desenvolver um produto com preço acessível, visando à diminuição de perdas pós-colheitas, bem como sua fácil comercialização.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivos gerais

Caracterizar filmes produzidos à base de biomassa da polpa de banana verde e verificar sua aplicabilidade no desenvolvimento de cápsula.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar a composição química da polpa da banana verde;
- Verificar as características físicas e de barreira dos filmes à base de banana verde;
- Realizar análise macroscópica, verificando os aspectos visuais dos filmes;
- Avaliar a influência da concentração e proporção de biomassa e de agente plastificante na espessura, opacidade e na Taxa de Transmissão de Vapor d'água dos filmes biodegradáveis;
- Testar os filmes quanto à utilização na produção de cápsula dura.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Banana (*Musa spp*)

As bananeiras são plantas monocotiledôneas, pertencentes à ordem Scitamineae, em que se inclui a família *Musaceae*, gênero *Musa*, que compreende de

24 a 30 espécies, das quais se originam todas as cultivares produtoras de frutos comestíveis (ASMAR et al., 2013; MEDINA; BLEINROTH; DE MARTIN, 1985).

Existe uma grande quantidade de variedades de banana no Brasil, sendo as cultivares mais difundidas dos tipos: “Prata” – Prata, Pacovan e Prata Anã –; “Maçã” (do tipo Mysore); “Cavendish” – Nanica, Nanicão e Grande Naine –; e as do tipo “Terra” – Terra e D’Angola (LEDO; AZEVEDO, 1997; SILVA; FLORES; LIMA NETO, 2002).

A banana (*Musa spp*) é uma das frutas mais consumidas e produzidas no mundo, sendo a segunda maior produção nacional, com 6,7 milhões de toneladas colhidas, que corresponde a 16,5% do volume total das frutas. No estado de São Paulo, no ano de 2018, colheu-se 1,1 milhão de toneladas, classificando como líder nas colheitas nacionais. Juntamente com a Bahia (825,4 mil toneladas) e Minas Gerais (773,2 mil toneladas) participam com 39,3% do volume de banana produzido em 2018 (DERAL, 2020).

No Brasil, o cultivo é realizado em todas as regiões do país, sendo que a região que apresenta maior taxa de produção é a Sudeste, com 2.332.896 toneladas no ano de 2018. No Paraná, a banana é a segunda fruta mais produzida, sendo responsável por 13,2% do volume total da fruticultura, totalizando 195,3 mil toneladas produzidas em 8,5 mil hectares de área plantada em 2018 (EMBRAPA, 2019; ROBERTO; GUEDES, 2019).

Ainda que o Brasil seja um dos maiores produtores de banana, a sua participação no mercado internacional é praticamente insignificante. Isso ocorre por diversos fatores, sendo eles fisiológicos, físicos (a baixa qualidade na produção e os danos após a colheita) e microbiológicos (LOPES, 2018). As perdas na cadeia produtiva da banana alcançam até 60% da produção total, causada por técnicas inadequadas de colheita, falha na armazenagem dos frutos, transporte inadequado, falhas na distribuição e dificuldade de inserção no mercado (CENCI et al., 1997; SPAGNOL et al., 2018).

De acordo com Carvalho et al. (2015), a variedade de banana maçã destaca-se com uma alta aceitação no mercado, devido ao seu sabor adocicado ser mais acentuado do que nas demais variedades.

Mundialmente, a banana é consumida normalmente em sua forma fresca – *in natura*. Entretanto, diversos produtos podem ser obtidos da banana, e produzidos a

partir da banana (SOUZA et al., 2004). A Cartilha de Classificação da Banana pelo CEAGESP, em 2006, retrata a banana como: fruto carnoso, simples, do tipo baga alongada e trilocular e a classifica quanto à morfologia, partes e quantidade, conforme apresentado nas Figuras 1 e 2.



Figura 1 Classificação da Banana.

Fonte: (CEAGESP, 2006).

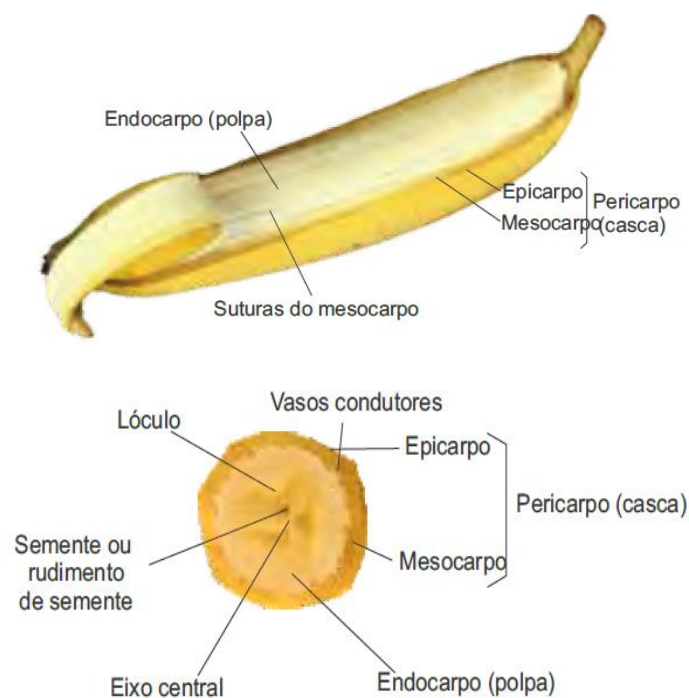


Figura 2 Partes componentes da banana.

Fonte: (CEAGESP, 2006).

Por existir uma grande variedade de genótipos de bananeiras, variações entre os frutos são esperadas, sendo elas variação de tamanho, diâmetro, cor, aspecto da

polpa, sabor, entre outras. Essas alterações podem gerar dúvidas para o consumidor final no momento da escolha do produto (SILVA et al., 2012).

As bananas são fontes de minerais (potássio, magnésio, fósforo, manganês), fibras, amido e vitamina B6 (TSAMO et al., 2014). Além disso, quando maduras, têm alta presença de compostos bioativos, como carotenoides, fenólicos, amins e fitoesteróis, que promovem efeitos positivos na saúde e no bem-estar humanos, e por isso são compostos desejáveis na dieta (SINGH et al., 2016).

A boa aceitação da banana madura é atribuída aos seus aspectos sensoriais e ao seu alto valor nutricional, devido à presença de carboidratos, proteínas, minerais (potássio) e vitaminas, constituindo, assim, uma fonte energética (Tabela 1). A casca da banana possui atividade de proteção à polpa, com fácil remoção, o que torna o consumo prático e conveniente (SOUZA et al., 2004).

Além da sua composição altamente nutritiva, por ser uma fruta “colorida”, constitui-se em fonte rica de carotenoides, pigmentos vegetais, que fornecem benefícios à saúde por seu papel antioxidante, atuando na redução do risco de doenças, particularmente certos tipos de câncer (BERG et al., 2000).

Tabela 1 Composição físico-química e energética de variedades de banana cruas por 100g de parte comestível

Variedade	Energia (Kcal)	Proteínas (g)	Lipídeos (g)	Carboidratos (g)	Fibra Alimentar (g)
Banana da Terra	128	1,4	0,2	33,7	1,5
Banana Maçã	87	1,8	0,1	22,3	2,6
Banana Nanica	92	1,4	0,1	23,8	1,9
Banana Prata	98	1,3	0,1	26,0	2,0

Fonte: (NEPA-UNICAMP, 2011).

Durante todo o processo de maturação, ocorrem transformações na banana, afetando sua composição nutricional. Dentre as características observadas no amadurecimento, a alteração da cor da casca é uma das principais observadas como importante indicativo de sua vida de prateleira. Sendo assim, Von Loesecke determinou uma escala de categoria 1 a 7, para caracterizar (subjetivamente) o

estágio de maturação da banana, por meio de comparação do grau de coloração da casca, como apresentado na Figura 3 (CEAGESP, 2006).

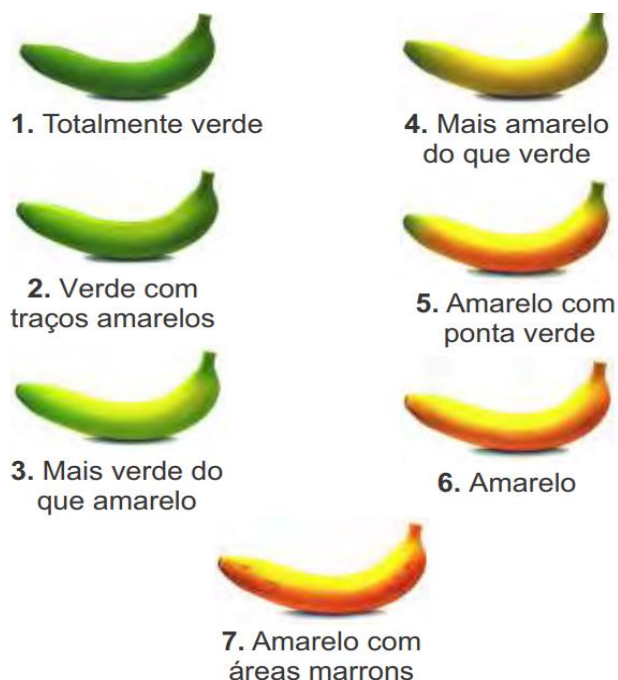


Figura 3 Escala de Maturação de Von Loesecke (1950).

Fonte: (CEAGESP, 2006).

As plantas têm sido uma fonte valiosa de produtos naturais, como alternativa terapêutica para a manutenção da saúde humana. Estudos demonstram que têm sido utilizados os frutos, as cascas, folhas, e caule da bananeira como ingredientes para tratamento de tosse, febre, asma, diarreia, indigestão e doenças de pele (KARUPPIAH; MUSTAFFA 2013; KHOO et al., 2016).

3.2 Banana Verde

Embora a preferência no consumo da banana seja na sua forma fresca e no estágio maduro, o seu consumo quando ainda verde pode ser realizado por meio do processamento da fruta; uma das formas se dá pela produção de biomassa (RANIERI; DELANI, 2014).

Devido ao grande desperdício da fruta pós-colheita, uma das alternativas para minimizar essas perdas de banana seria o consumo do fruto ainda verde, na forma de farinha ou biomassa, produzida a partir da polpa da fruta. Isso permite sua adição em vários tipos de alimentos, como pães, massas e outros produtos, aprimorando a

qualidade nutricional e proporcionando ações fisiológicas ao organismo (RAMOS, 2009; SILVA; JUNIOR; BARBOSA, 2015).

Em seu estágio 1 de amadurecimento, o fruto possui uma dureza típica e elevada adstringência causada pela presença de compostos fenólicos e taninos solúveis (SILVA; JUNIOR; BARBOSA, 2015). Também é possível identificar uma alta concentração de amido resistente (AR), cerca de 84% (DE MARIA BORGES et al., 2009; FREITAS; TAVARES, 2005).

A biomassa da banana verde pode ser obtida por meio do processamento da polpa, casca ou da polpa com a casca, podendo ser utilizada em uma vasta multiplicidade de preparações alimentares, como na produção de farinhas, bolos e pães, sem provocar alterações nos atributos sensoriais (OI et al., 2012).

Mesmo com poucos estudos sobre a utilização de biomassa de banana verde em alimentos funcionais, apresenta-se como uma potencial matéria-prima na elaboração de novos produtos, sendo viável economicamente devido à diminuição no desperdício pós-colheita (SIQUEIRA et al., 2020).

Quando transformada em biomassa, os taninos presentes na banana verde são removidos, diminuindo, assim, a adstringência, o que facilita a introdução nos alimentos, não modificando o sabor. Sua incorporação ainda melhora a qualidade dos produtos (OI et al. 2010; RANIERI; DELANI, 2014).

A biomassa de banana verde é utilizada como ingrediente principal das formulações alimentícias, mas também pode ser empregada como coadjuvante funcional, como substitutivo dos espessantes (devido ao alto teor de amido, 70 a 80%), produzidos à base de trigo, soja e fécula de mandioca (OI et al., 2010; RANIERI; DELANI, 2014).

3.3 Amido Resistente

O amido apresenta grande importância nutricional e industrial e está distribuído como carboidrato de reserva, em diversas espécies vegetais. Pode ser encontrado em grãos, cereais, tubérculos e na banana verde (WALTER; SILVA; EMANUELLI, 2005).

A amilose e amilopectina são os dois complexos macromoleculares do amido. A massa molar da amilose varia de acordo com as fontes botânicas e forma de

extração, podendo comportar de 200 a 2000 unidades de glicose agrupadas por ligações glicosídicas α -alfa (1-4), dando origem a uma cadeia linear. A amilopectina é composta por unidades de glicose acopladas em α (1 \rightarrow 4) e α (1 \rightarrow 6), constituindo uma estrutura ramificada. O estágio de maturação da planta interfere na dimensão em que essas estruturas se manifestam, influenciando nas propriedades físico-químicas (AI; JANE, 2015; ALTAN et al., 2009; JOSHI et al., 2013).

O amido resistente (AR) pode ser classificado em quatro tipos: AR1, AR2, AR3 e AR4. O tipo AR1 está presente em grãos e sementes que são parcialmente trituráveis devido à presença de paredes celulares rígidas, por isso é fisicamente inacessível. O tipo AR2 encontra-se em batatas cruas e bananas verdes. Já o AR3 aparece como consequência do processo de retrogradação do amido, bem comum em alimentos processados, cozidos e resfriados. E o tipo AR4 constitui-se do amido quimicamente modificado (FONTINHA; CORREIA, 2010; SALGADO et al., 2005).

Embora os tipos de amido incidam naturalmente na dieta humana, podendo coincidir em um mesmo alimento (CHAMP; FAISANT, 1996), o AR3, além de ser o mais comum, é o mais importante em se tratando do desenvolvimento tecnológico, por sua obtenção ser resultante do processamento do alimento (GARCÍA-ALONSO et al., 1998).

O amido resistente (AR) é um polímero natural proveniente de várias fontes, incluindo a banana quando ainda verde, podendo ser obtido por um processo de produção de biomassa. Sua eficácia consiste na inibição da ação de enzimas hidrolíticas gastrintestinais, o que permite a sua chegada até o intestino, onde é fermentado pela microbiota intestinal endógena, apresentando-se como um prebiótico (SOLABIA, 2014).

Dessa forma, pode atuar servindo de substrato para as bactérias intestinais, contribuindo para o aumento do volume das fezes (MOORE et al., 2015), redução no tempo do trânsito intestinal e redução do desenvolvimento de lesões cancerosas no intestino de modelos animais (ZHAO et al., 2011).

O amido resistente é definido fisiologicamente como a soma do amido e o produto de sua degradação, não sendo digerido no intestino delgado de indivíduos saudáveis. Desse modo, esta fração do amido apresenta comportamento semelhante ao da fibra alimentar (LOBO; SILVA, 2003; RAMOS et al., 2009).

Apresenta-se como um dos principais componentes da banana verde por possuir características semelhantes às fibras insolúveis (prebióticos), estimula a melhor atividade do intestino e auxilia na prevenção da constipação intestinal (NAVARRO et al., 2018).

Estudos destacam que o consumo rotineiro do amido resistente pode contribuir na redução dos níveis de colesterol LDL (WALTER, 2011). O seu consumo está atrelado à redução da gordura corporal, pois pode aumentar naturalmente a secreção de hormônios gastrointestinais, diminuindo o peso corporal (SILVA et al., 2006).

A metabolização desse carboidrato pelas bactérias da microbiota intestinal, por meio da fermentação, produz ácidos graxos de cadeia curta, como acetato, propionato e butirato; gás carbônico, hidrogênio e metano; ocasionando a diminuição do pH do cólon (CHAMP; FAISANT, 1996). Esses compostos atuam na prevenção de doenças inflamatórias do intestino e auxiliam na conservação da integridade do epitélio intestinal (JENKINS et al., 1998). Devido a essas características, o AR atua na prevenção do desenvolvimento do câncer.

Sabendo que a alimentação representa a maior interação entre o homem e o meio ambiente, todo alimento ingerido, a partir da absorção de seus nutrientes, pode ocasionar um potencial benéfico ou um risco para o sistema gastrointestinal. O estado nutricional concomitantemente à condição do corpo pode auxiliar no combate à doença, ou ocasionar uma maior susceptibilidade a ela (HESKETH et al., 2006).

Além das características que contribuem para a manutenção da saúde, devido ao grande impacto ambiental provocado pelo resíduo de plásticos sintéticos, o amido vem sendo empregado como fonte de polissacarídeos para a produção de filmes biodegradáveis. Trata-se de um produto que se destaca pela alta disponibilidade e baixo custo (ROSSETO et al., 2021), com fonte de obtenção diversificada, podendo ser proveniente do milho, batata doce, mandioca, trigo, banana, entre outros (DAI et al., 2019).

3.4 Filmes biodegradáveis

Os polímeros sintéticos foram propostos inicialmente devido à sua alta durabilidade e resistência à biodegradação, prevenindo as ações química e biológica, garantindo suas propriedades por períodos longos. No entanto, o impacto ambiental

provocado pelo uso de materiais sintéticos, na forma de plásticos, vem estimulando o desenvolvimento de embalagens biodegradáveis de fontes naturais (AIDER, 2010; ENRÍQUEZ et al., 2012; ROCHA et al., 2014).

O descarte de materiais sintéticos no meio ambiente prejudica a degradação da matéria orgânica. Dessa forma, o uso de polímeros biodegradáveis e biomateriais mostram-se como possível solução para as consequências ambientais causadas pelo descarte inadequado dos polímeros e plásticos convencionais (ENRÍQUEZ et al., 2012).

Filmes formados por polímeros de fonte vegetal, principalmente amido, são quebradiços e minimamente flexíveis. Assim, faz-se necessária a adição de plastificante à base polimérica, com o intuito de melhorar as características, pela redução das interações entre as moléculas adjuntas, aumentando a flexibilidade (COUPLAND et al., 2000).

A preparação de filmes biodegradáveis ocorre por meio da utilização de um agente formador de filme, normalmente uma macromolécula, um solvente (água, etanol, entre outros), e um agente plastificante (glicerol, sorbitol etc.), podendo ainda ser adicionados aditivos (ARAÚJO et al., 2012).

Para a aplicação de um plastificante, é de extrema importância que haja compatibilidade adequada com o polímero utilizado e, ainda, uma definição da proporcionalidade entre os componentes, a fim de adequar a composição final à aplicação desejada (MADALENO et al., 2009).

O método de evaporação de solventes “*casting*” empregado na produção de filmes consiste no preparo de uma solução contendo a macromolécula (solução filmogênica) e sua deposição em um suporte adequado para secagem posterior do solvente (LAPA et al., 2021).

O uso de plastificantes possibilita uma melhor aderência da composição, característica atribuída à capacidade dos plastificantes em reduzir a temperatura de transição vítrea, proporcionando um equilíbrio entre as temperaturas em que o amido se encontra macio e/ou duro e frágil, o que amplia a mobilidade das cadeias poliméricas e melhora a propriedade mecânica dos filmes (ROCHA et al., 2014).

Alguns plastificantes, como o Glicerol, proporcionam benefícios relevantes na utilização de diversas aplicações. Destaca-se a aplicação na área farmacêutica para a produção de medicamentos e como agente plastificante para cápsulas de

medicamentos. Além disso, os plastificantes atuam como solvente, adoçante e agente conservante (TAN; AZIZ; AROUA, 2013).

Estudos indicam que filmes biopoliméricos podem ser usados em várias aplicações, tanto na indústria alimentícia quanto na indústria farmacêutica, como revestimentos de frutas, embalagens biodegradáveis, curativos para feridas crônicas, e trata-se de um produto potencial para o desenvolvimento de cápsulas para veiculação de fármacos.

3.5 Cápsulas vegetarianas

As cápsulas normalmente utilizadas para a administração de medicamentos são produzidas essencialmente de gelatina. A gelatina é originada a partir da hidrólise parcial do colágeno retirado da pele, ossos e tecidos conjuntivos de animais, como gado domesticado, cavalos, galinhas, porcos e peixes (AUGSBURGER, 1995).

As cápsulas vegetarianas, além de serem uma opção para consumidores vegetarianos e veganos, também são aceitáveis por motivos religiosos para hindus e jainistas. Essas formulações possuem disponibilidade de diversas cores e tamanhos, e boa compatibilidade com fármacos de composição líquida e semissólida. A primeira cápsula vegetal de hidroxipropilmetilcelulose (HPMC) foi desenvolvida em 1989 pela GS Technologies Inc. com nome comercial “Vegicaps” (TABAKHA, 2010).

Além disso, não são conhecidos riscos potenciais para a saúde, pelo consumo das cápsulas vegetais, mesmo quando utilizadas em longo prazo, por serem em sua totalidade naturais e não tóxicas (CAPSULE DEPOT).

Estudos da caracterização da matéria-prima vegetal e de pré-formulação para a obtenção de forma farmacêutica sólida (cápsula) de *Libidibia férrea* demonstraram que o extrato seco do caule com diferentes excipientes foi satisfatório para as formulações determinadas, evidenciando o potencial da *Libidibia férrea* no desenvolvimento de fitoterápicos novos (DOS SANTOS LIMA, 2020).

Acerca dos estudos, o uso de biomassa de banana para a produção de filmes biopoliméricos, para a produção de cápsulas para medicamentos, representa uma alternativa vegana para a substituição de cápsulas à base de gelatina.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização das bananas e confirmação das espécies

No período de setembro a novembro de 2017, foi realizada a coleta das amostras no município de Boa Vista da Aparecida, Paraná, Brasil, em uma propriedade rural com prática de agricultura familiar orgânica, denominada Sítio São Sebastião, localizada no Lote 40/A01- PR 180, pertencente à comarca de Capitão Leônidas Marques/PR. A área possui limites e confrontações: Norte 90°36'00 - Leste 05°26'00 - Sul 91°32'00 - Oeste 186°49'00.

As estruturas recolhidas de *Musa* spp. foram coletadas em plantas com altura de 3-7 metros e as partes extraídas foram folhas jovens, cacho e o coração anexo íntegro, sem sinal de apodrecimento ou deformação.

Para confirmação da identidade das espécies das bananas, tanto a folha como o coração das variedades escolhidas foram encaminhadas ao herbário UNOP da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE/*Campus* de Cascavel.

Esse reconhecimento é necessário para a confirmação das subespécies utilizadas, visto que as bananas são de uma mesma espécie, mas, por sofrerem variações genômicas, possuem diferentes variedades. O depósito foi designado sob registros UNOP8920 – variedade prata e UNOP8922 - variedade maçã.

4.2 Escolha do subgrupo de frutos do gênero *Musa* sp.

Os cachos de bananas verdes foram doados conforme produção da propriedade supracitada. A escolha do subgrupo utilizado na preparação da cápsula foi realizada de acordo com a variedade que apresentou formulação com a caracterização necessária para um filme biopolimérico funcional.

4.3 Seleção dos frutos e determinação do grau de maturação

O grau de maturação da banana foi avaliado conforme proposto na escala de maturação de Von Loesecke, que possibilitou a determinação e escolha do fruto com grau totalmente verde, por meio de comparação da coloração do fruto com a escala por semelhança.

4.3.1 Análise visual da casca dos frutos

Realizou-se a inspeção visual das cascas dos frutos, verificando a ocorrência e a intensidade de defeitos, utilizando a classificação descrita nas Normas de Classificação de Banana-Ceagesp 2006 (CEAGESP, 2006).

Para essa análise, foram adotadas as premissas: Defeitos leves, não prejudiciais, utilizando a polpa dos frutos que apresentaram esses defeitos e a casca descartada, e defeitos graves, prejudiciais ao consumo e, portanto, frutos com esses defeitos foram descartados.

4.4 Preparo das biomassas

As bananas foram desmembradas de cachos em pencas e de pencas em dedos. Após isso, foram limpas com água corrente, detergente neutro, esponja e deixadas em hipoclorito de sódio 10% por dez minutos. Logo em seguida, foram cozidas por 10 minutos, com volume suficiente para cobri-las de água destilada, em panela de pressão doméstica (IZIDORO et al., 2008).

Após o cozimento, as cascas foram retiradas e a polpa foi processada ainda quente em liquidificador caseiro, formando uma pasta homogênea. Essa pasta processada foi diluída com água destilada, formando a solução-mãe na concentração de 30% m/v, para então prosseguir com as análises.

4.5 Análise da composição química da banana

A composição química de um alimento demonstra de forma simples o valor nutritivo, bem como a proporção de componentes que aparecem em 100g de produto (GONÇALVES et al., 2017).

As análises físico-químicas do fruto *in natura*, detalhadas abaixo, seguiram as metodologias descritas no manual de Métodos Físico-químicos para Análise de Alimentos do Instituto Adolfo Lutz, 2008 (LUTZ, 2008).

4.5.1 Análise de proteína pelo método de Kjeldahl

A Análise de proteína pelo método de Kjeldahl foi realizada utilizando 0,5 g de amostra, em tubo digestor, acrescidas de 1,5 g de mistura catalítica e 5mL de ácido sulfúrico concentrado.

Após preparada, a mistura foi levada ao digestor de proteínas. Aumentando gradativamente a temperatura até 400°C até a obtenção de uma amostra translúcida e sem resíduos carbonizados. Após esse processo, realizou-se a destilação e recolhimento em solução ácida (IAL nº 036/IV).

O cálculo da porcentagem de proteínas foi realizado utilizando o peso equivalente do nitrogênio, a molaridade do ácido clorídrico e o peso da amostra, com o fator apropriado, como demonstrado na equação 1.

Equação 1 Cálculo da porcentagem de proteínas

$$\frac{V \times 0,14 \times F}{P} = \text{PROTÍDIOS POR CENTO M/M}$$

Em que: V = diferença entre o nº de mL de ácido sulfúrico 0,05 M e o nº de mL de hidróxido de sódio 0,1 M gastos na titulação; P = nº de g da amostra; e f = fator de conversão (6,25).

4.5.2 Análise de Lipídeos

Após o preparo dos balões (com álcool) e secagem em estufa por 2 horas a 105°C, foram pesados 5 g da amostra em um béquer e levados à estufa para retirada da umidade.

Em seguida, a amostra foi colocada em um cartucho de extração de gordura e 250mL de éter de petróleo foram adicionados à amostra. Após o período de seis horas, o solvente foi extraído e o balão foi colocado na estufa para secar. Ao final do processo, o sistema balão mais a gordura foi pesado (IAL nº 032/IV). A análise foi realizada em triplicata com repetição.

Calculou-se a porcentagem de gordura presente na amostra, seguindo a equação 2, demonstrada a seguir.

Equação 2 Cálculo da porcentagem de gordura

$$\% \text{ de gordura} = \frac{(A-B)}{C} \times 100.$$

Em que: A = peso do balão + gordura; B = peso do balão vazio; e C = peso da amostra.

4.5.3 Análise de Fibra Bruta

Essa metodologia foi realizada em parceria com o laboratório de água e alimentos da Fundação para o Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Fundetec, devido à falta de equipamento necessário na Universidade.

Após a extração de gordura na análise de lipídeos, o cadinho utilizado foi preparado em mufla (temperatura de 550°C/3 horas). Após a preparação do sistema, realizou-se a técnica descrita pelo Instituto Adolfo Lutz, utilizando 0,3 g da amostra para a extração contínua em aparelho de Soxhlet, usando éter como solvente. Após esse processo, levou-se a amostra à estufa a 105°C por 2 horas, resfriando em sequência em dessecador até peso constante, em que a perda de peso equivale à quantidade de fibra bruta (IAL nº 044/IV).

O cálculo da porcentagem de fibra bruta foi realizado conforme a equação 3, abaixo.

Equação 3 Cálculo da porcentagem de fibra bruta

$$\% \text{ de fibra bruta} = (A - B - C) - D \times 100/P.$$

Em que: A = peso do cadinho + papel filtro + amostra; B = peso do cadinho; C = peso do papel filtro; D = peso das cinzas; e P = nº de gramas da amostra.

4.6 Planejamento experimental

Para auxiliar no processo de obtenção dos filmes biopoliméricos, foi utilizado um planejamento fatorial 2² com duas variáveis independentes: variedade de banana

e proporção (biomassa: plastificante) com as seguintes variáveis resposta: Espessura (mm), Opacidade (Abs.nm^{-1}) e TVA ($\text{g/m}^2/24\text{h}$).

Foi realizado um planejamento experimental para cada plastificante (sorbitol e propilenoglicol), conforme resultados obtidos em testes preliminares, visando à elaboração de filmes com qualidades mecânicas, segundo Tabelas 2a e 2b.

Foram fixados dois fatores do processo: Temperatura de secagem na estufa com circulação de ar (40°C) e tempo de secagem (24h). A temperatura e o tempo são fatores determinantes, pois influenciam significativamente no processo de secagem e estes favorecem a degradação do biofilme, sobretudo por ser uma matéria-prima rica em nutrientes (OLIVEIRA et al., 2009).

Tabela 2a Matriz do planejamento fatorial 2^2 para as respostas Espessura, Opacidade e TVA, utilizando o plastificante Sorbitol (SB)

Tratamento	Valores codificados		Valores reais	
	Banana	Proporção	Banana	Proporção
1	-1	-1	Prata	97.5:02.5
2	1	-1	Maçã	97.5:02.5
5	-1	1	Prata	95:05
6	1	1	Maçã	95:05
9	-1	-1	Prata	97.5:02.5
10	1	-1	Maçã	97.5:02.5
13	-1	1	Prata	95:05
14	1	1	Maçã	95:05

Temperatura 40°C ; tempo de secagem 24h.

Fonte: o autor, 2021.

Tabela 2b Matriz do planejamento fatorial 2^2 para as respostas Espessura, Opacidade e TVA, utilizando o plastificante Propilenoglicol (PG)

Tratamento	Valores codificados		Valores reais	
	Banana	Proporção	Banana	Proporção
3	-1	-1	Prata	75:25

4	1	-1	Maçã	75:25
7	-1	1	Prata	85:15
8	1	1	Maçã	85:15
11	-1	-1	Prata	75:25
12	1	-1	Maçã	75:25
15	-1	1	Prata	85:15
16	1	1	Maçã	85:15

Temperatura 40°C; tempo de secagem 24h.

Fonte: o autor, 2021.

4.7 Preparo dos filmes

Os filmes foram preparados a partir da concentração de 30% (m/v) da Solução-Mãe (SM) de Biomassa (BM) de banana verde contendo amido resistente, utilizando Propilenoglicol (PG) no volume de 15 e 25% ou Sorbitol (SB), de 2,5 a 5%, como plastificante, formando uma dispersão com concentração final de 100% (v/v). Foram utilizadas diferentes proporções de biomassa/plastificante, constituindo os tratamentos a serem avaliados, conforme apresentado nas Tabelas 2a e 2b, de planejamento experimental.

As dispersões de biomassa obtidas foram agitadas a 4 rpm, com aquecimento a 90°C durante 10 minutos em agitador magnético (Fisatom 752A), acrescentando o plastificante lentamente, obtendo um volume final de 30mL (CAVALCANTI et al., 2002; PELISSARI et al., 2012; SANTOS, 2010).

As misturas de 30 mL foram, em seguida, espalhadas sobre as placas de Teflon® (de aproximadamente 7 cm², após filtração em TNT, e levadas à estufa de secagem (Orion-520), por 24h a 40°C, para a evaporação do solvente “*casting*”, resultando na formação do filme desejado (YONG et al., 2006).

4.8 Avaliação Macroscópica dos filmes obtidos

Realizou-se a inspeção visual dos filmes obtidos, para avaliação das características macroscópicas quanto à presença de bolhas de ar e rachaduras, análise de flexibilidade, homogeneidade e transparência, classificando-os qualitativamente (em cruzes), segundo os parâmetros observados.

4.9 Avaliação da variável resposta do planejamento experimental

As análises das variáveis respostas foram realizadas com os filmes biopoliméricos obtidos em ambos os planejamentos experimentais, determinando espessura (mm), opacidade (Abs.nm^{-1}) e taxa de transmissão de vapor d'água ($\text{g/m}^2/24\text{h}$), para os dezesseis filmes produzidos. Para essas análises, os filmes foram acondicionados em dessecador, contendo sílica gel até o momento do uso.

4.9.1 Determinação da espessura dos filmes

A espessura pode influenciar as propriedades dos filmes, como a capacidade de barreira a gases e umidade e a resistência mecânica do material (HENRIQUE; CEREDA; SARMENTO, 2008).

A espessura dos filmes foi determinada utilizando-se um micrômetro digital com escala de 0-150mm e precisão de 0,001mm, em 5 pontos diferentes e equidistantes (Figura 4), considerando-se a espessura como a média entre as 5 leituras, seguindo a ASTM F2251 – 13 (SPECIMENS, 2004).

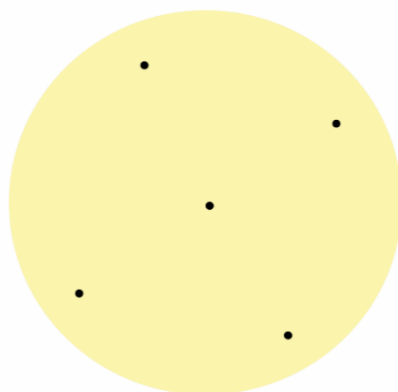


Figura 4 Exemplo da determinação da espessura dos filmes.

Fonte: o autor, 2021.

4.9.2 Avaliação da Transmissão de vapor d'água (TVA)

A avaliação da TVA foi realizada de acordo com o método B da ASTM E95-96 (ASTM, 1995), adicionando no interior de cúpulas de permeabilidade (Figura 5) 10mL

de água destilada e fixando em cada uma de suas aberturas o filme obtido, contendo uma área de aproximadamente 10 cm².

O conjunto (cúpula + água destilada + filme) foi pesado no tempo zero, em balança analítica (Bioprecisa FA-2104N) e armazenado à temperatura ambiente em dessecador contendo sílica gel. Após os intervalos de tempo de 24, 48, 72, 96 e 120 horas, os sistemas foram novamente pesados. Os resultados foram utilizados para calcular a taxa de TVA através dos filmes, conforme equação a seguir (OLIVEIRA et al., 2011; SANTOS et al., 2013).

Equação 4 Cálculo da transmissão de vapor d'água

$$\text{TVA} = \frac{g \ 24}{t \ a}$$

Em que: g = perda de peso (gramas); t = tempo (horas) durante o qual o peso foi perdido e a representa a área do filme (m²).



Figura 5 Cúpulas de permeabilidade.

Fonte: ZANIN et al., 2016.

4.9.3 Opacidade dos filmes

A opacidade do filme foi determinada em espectrofotômetro UV-Vis, conforme descrito por Rocha et al. (2014). O filme foi cortado e fixado à parede externa de uma cubeta de quartzo. O valor do “branco” foi usado pela leitura da cubeta sem filme. O

comprimento de ondas utilizado foi 600nm. A opacidade foi determinada conforme a equação 5.

Equação 5 Cálculo da opacidade aparente.

$$\text{Opacidade} = \frac{\text{Abs600}}{T}$$

Em que: Abs600 = resultado da leitura (em 600nm); e T = espessura média do filme biopolimérico (mm).

4.10 Índice de intumescimento

O índice de intumescimento em meio ácido (pH 1,8) e alcalino (pH 8,0) foi realizado conforme proposto por Blanchon et al. (1991), cortando os filmes obtidos com área de aproximadamente 1 cm² (corpos de prova).

Considerando a massa inicial obtida após secagem a aproximadamente 50°C por 2 horas, em seguida, os corpos de prova foram imersos separadamente em solução de Fluido Gástrico Simulado (FGS), contendo ácido clorídrico, com pH 1,8 e solução de Fluido Intestinal Simulado (FIS), contendo bicarbonato de sódio, com pH 8,0, por períodos de tempos de 1, 10, 30 e 60 minutos.

Após os intervalos pré-determinados, foram removidos das soluções e o excesso de água foi absorvido em papel filtro, por 1 minuto. Os filmes hidratados passaram por nova pesagem e o índice de intumescimento (Ii) foi calculado conforme equação 6, com resultados expressos em porcentagem (%).

Equação 6 Cálculo da porcentagem de Índice de intumescimento

$$Ii (\%) = \frac{(Mf - Mi)}{Mi} \times 100$$

Em que: Mf = massa final do filme hidratado; Mi = massa inicial do filme seco.

Essa análise foi realizada em comparação com cápsulas de liberação entérica, a fim de identificar a resistência ao pH gástrico da cápsula e verificar se o filme contendo AR possui a mesma característica.

4.11 Análises Termogravimétricas (TGA)

A estabilidade térmica dos filmes foi realizada para verificar a temperatura de degradação dos filmes poliméricos, analisando a variação de massa pela variação de temperatura à qual a amostra foi submetida. As análises foram realizadas em Analisador Térmico Perkin Elmer STA 6000, em condição de atmosfera de gás nitrogênio (N₂) com vazão de 50 mL/min, com aquecimento de 10°C/min, em faixa de temperatura de 30 a 900°C, e massa de amostra entre 0,6 e 12,49 mg, utilizando cadinhos de cerâmica (PEREIRA; MORALES, 2014; ROSENBERGER et al., 2020a).

4.12 Espectrometria por Transformada de Fourier (FTIR)

Essa variação da técnica de espectroscopia por infravermelho utiliza dois feixes de radiação eletromagnética, com o objetivo de se obter um interferograma, gerando um sinal através do caminho dos feixes. A distância do comprimento óptico pode ser convertida para o valor da frequência de radiação, utilizando os cálculos da transformada de Fourier.

Essa técnica será utilizada para observar as fibras da blenda polimérica, com a utilização do módulo de Refletância Total Atenuada (ATR). As análises serão realizadas em temperatura ambiente, na região de 600 a 4000 cm⁻¹, com resolução de 1 cm⁻¹ em um Espectrômetro Perkin-Elmer FTIR (ROSENBERGER et al., 2020a; 2020b).

4.13 Análise de difração de raios-X (DRX)

A fim de determinar o grau de cristalinidade das amostras de filmes produzidos, foi utilizado um Difratorômetro Bruker®, com difração em ângulo de 2 θ , variação de 5 a 60°, resolução de 0,01°, e radiação CuK α de $\lambda=1,5406 \text{ \AA}$, com monocromador de grafite (ROSENBERGER et al., 2020a).

4.14 Ensaio Mecânico

Diversos fatores têm influência sobre as características mecânicas dos materiais poliméricos, podendo ser estruturais ou de processamento. São eles: grau

de cristalinidade, Massa molar, estiramento (pré-deformação) e tratamentos térmicos. Foram investigadas as propriedades mecânicas por análises de resistência à tração mecânica, pela qual foram obtidas curvas de tensão-deformação para os filmes.

As análises foram realizadas de acordo com a norma técnica ASTM-D882-12, utilizando o equipamento texturômetro TA HD Plus (Stable Micro Systems) com célula de carga de 5Kg, até o rompimento completo dos filmes, e razão de tração nos corpos de carga de 1mm s^{-1} , os filmes biopoliméricos foram fracionados em 1 cm de largura e 6 cm de comprimento (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 2018).

4.15 Análise estatística

Para a comparação entre as médias das variáveis respostas do delineamento experimental, foi realizada análise efeitos do planejamento experimental, em que as diferenças significativas foram determinadas pelo teste de Pareto assumindo um nível de significância de 5% ($p \leq 0,05$), usando o software STATISTICA 7®.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análise visual da casca dos frutos

Após a separação em dedos das bananas, foram classificadas em defeitos leves (Figura 6), e defeitos graves (Figura 7). Utilizando as bananas com defeitos leves e descartando as com defeitos graves.



Figura 6 Defeitos leves.

Fonte: o autor, 2021.



Figura 7 Defeitos graves.

Fonte: o autor, 2021.

5.2 Análises físico-químicas da banana

Para a realização dessas análises, foi utilizada somente a variedade Prata, devido às condições climáticas terem desfavorecido a produção dos frutos na propriedade rural que forneceu as amostras para este estudo. Além disso, foi necessário realizar o congelamento das bananas, para preservar o grau 1 de maturação da fruta.

Após as análises serem realizadas em triplicata com repetição, foi obtido o valor percentual de proteínas, lipídeos e fibra bruta (Tabela 3), presentes na banana.

Tabela 3 Resultados da análise físico-química da banana prata

	Proteínas	Lipídeos	Fibra bruta
Amostra	Média (%)	Média (%)	Média (%)
1	2,34 ± 0,53	0,071 ± 0,07	2,07 ± 0,07
2	1,55 ± 0,90	0,067 ± 0,03	2,06 ± 0,10

Análise realizada em triplicata com repetição (amostra 2 corresponde à repetição), média ± desvio padrão.

Fonte: o autor, 2021.

Os resultados alcançados permitem observar a quantidade de proteínas, lipídeos e fibra bruta presente na banana prata utilizada no estudo. Esses dados

indicam que a banana prata é um material de interesse para o desenvolvimento de produtos ricos em proteínas e fibras, podendo ser utilizada na indústria alimentícia.

Ao comparar os resultados obtidos na análise centesimal com a Tabela brasileira de composição de alimentos (NEPA-UNICAMP, 2011), é possível observar que as medidas encontradas para banana prata são semelhantes, em que Nepa (2011) caracteriza 1,3, 0,1 e 2,0 para proteínas, lipídeos e fibra bruta, respectivamente.

Santos et al. (2010), ao medirem o percentual de proteína em banana prata em grau de II de maturação, encontraram porcentagem média de 1,87%, valor próximo ao encontrado no presente estudo.

Santos et al. (2010) relataram valor de lipídeos equivalente a 0,3% na matéria-prima (banana prata) em estágio II de maturação.

Ao analisar proteínas, lipídeos e fibra bruta, presentes na banana prata, Reis et al. (2019) obtiveram as seguintes porcentagens: 3,74% de conteúdo proteico, 0,71% lipídeos e 5,46% de fibra bruta.

Dentre os fatores que podem estar relacionados às divergências encontradas, a composição do solo da bananeira escolhida para análise pode contribuir com a alteração da composição dos frutos.

5.3 Avaliação Macroscópica dos filmes obtidos

O planejamento experimental foi alterado após ensaios preliminares, possibilitando determinar as diferentes proporções utilizadas. Na primeira tentativa de realizar um único delineamento, foi possível observar que o plastificante sorbitol apresentou características que dificultaram a maleabilidade do biofilme nas mesmas proporções que o propilenoglicol.

Ao analisar os efeitos e a interação dos fatores no delineamento experimental com propilenoglicol, observou-se que o R^2 das análises foi insatisfatório (8%), indicando que o desvio padrão das amostras foi muito elevado. Sendo assim, o planejamento com o plastificante propilenoglicol foi desconsiderado para as análises posteriores.

Após a obtenção dos filmes realizados de acordo com delineamento experimental (utilizando sorbitol), estes foram analisados macroscopicamente, a fim de caracterizar qualitativamente quanto à flexibilidade, homogeneidade, transparência, presença de bolhas de ar e rachaduras (Tabela 4).

Tabela 4 Avaliação Macroscópica dos filmes obtidos a partir do delineamento experimental com plastificante sorbitol

Tratamento	Flexibilidade	Homogeneidade	Transparência	Bolhas de ar	Rachaduras
1	+++	+++	+++	0	0
2	+++	+++	++	0	0
5	+++	+++	+++	0	0
6	+++	+++	+++	0	0
9	+++	+++	+++	0	0
10	+++	+++	++	0	0
13	+++	+++	+++	0	0
14	+++	+++	+++	0	0

NOTA 1: 0, sem mudanças observadas; +, baixa presença; ++, presença moderada; +++, presença alta.

NOTA 2: Os números correspondem aos filmes nas respectivas formulações: (1) BBP+SB 97,5:2,5; (2) BBM+SB 97,5:2,5; (5) BBP+SB 95:05; (6) BBM+SB 95:05; (9) BBP+SB 97,5:2,5; (10) BBM+SB 97,5:2,5; (13) BBP+SB 95:05; (14) BBM:SB 95:05.

Fonte: o autor, 2021.

Ao comparar os dados de transparência obtidos nos tratamentos 5, 6, 9, 13 e 14, foi possível relacionar a menor opacidade com os dados qualitativos em cruzes, demonstrados na Figura 8.

Destes, cinco tratamentos do planejamento utilizam o plastificante sorbitol.

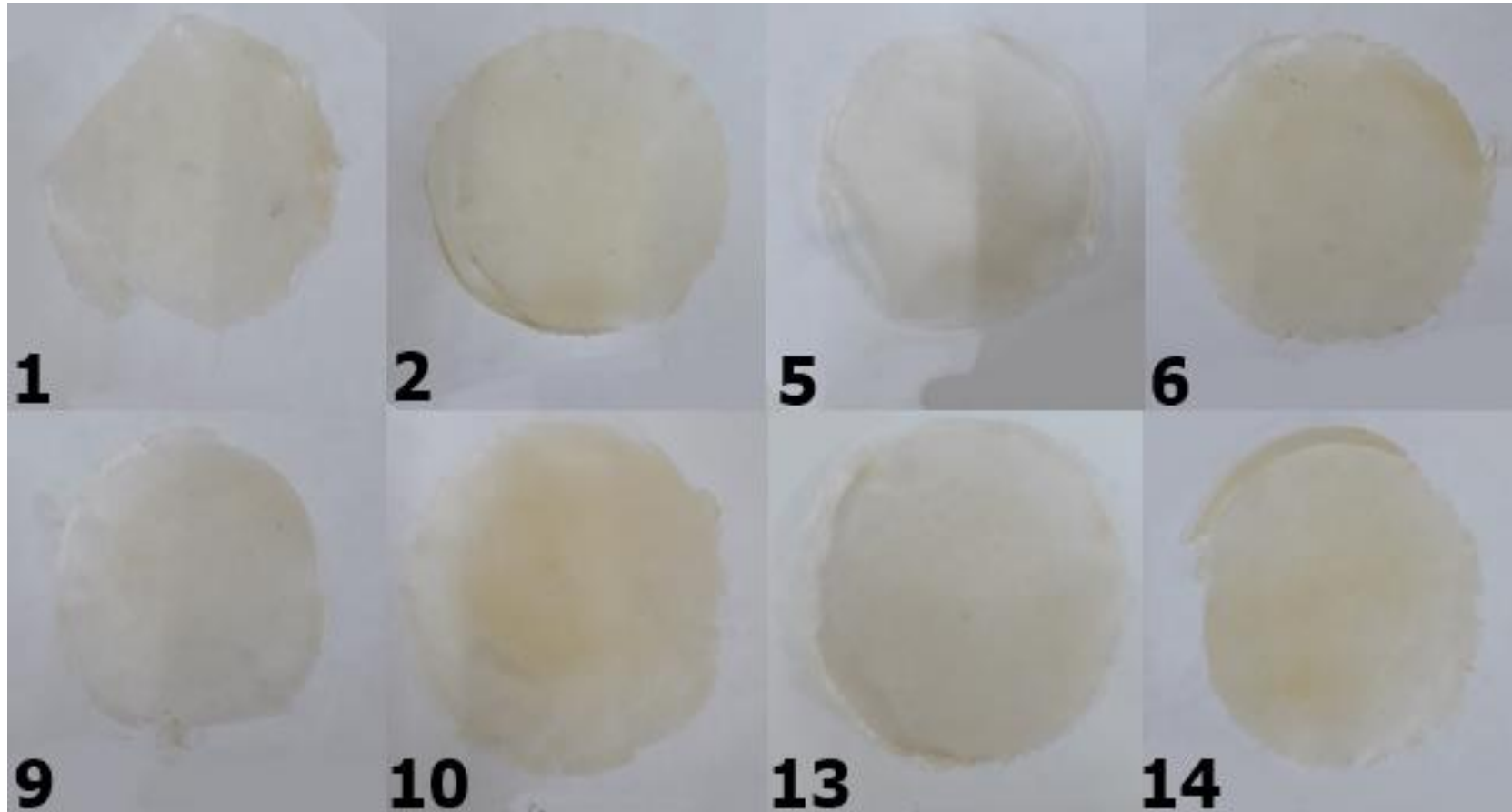


Figura 8 Filmes obtidos a partir do planejamento com Sorbitol.

Os números correspondem aos filmes biolíquidos nas respectivas formulações: (1) BBP+SB 97,5:2,5; (2) BBM+SB 97,5:2,5; (5) BBP+SB 95:05; (6) BBM+SB 95:05; (9) BBP+SB 97,5:2,5; (10) BBM+SB 97,5:2,5; (13) BBP+SB 95:05; (14) BBM:SB 95:05.

Fonte: o autor, 2021.

Em estudo anterior sobre o desenvolvimento e caracterização de filmes à base de biomassa de banana verde (SIQUEIRA et al., 2021), utilizando o plastificante propilenoglicol nas proporções 10, 15 e 25%, a flexibilidade dos filmes foi menor quando comparado com este estudo, apresentando flexibilidade avaliada em 2 cruzes.

Isso pode ser justificado pela maior temperatura utilizada na secagem dos filmes (50°C), fator que contribuiu para a degradação da matéria orgânica, e também pela escolha do plastificante utilizado.

No estudo supracitado (SIQUEIRA et al., 2021), houve maior presença de rachaduras nos filmes preparados com 10% de plastificante. Essa diferença pode ser explicada pela interação entre a biomassa e o propilenoglicol.

5.4 Avaliação da variável resposta do planejamento experimental

A tabela a seguir mostra os efeitos das variáveis (tipo de banana e proporção) em relação às respostas: espessura, opacidade (Tabela 5).

Tabela 5 Média e desvio padrão das variáveis respostas espessura e opacidade utilizando o plastificante Sorbitol

Filme (tratamento)	Espessura (mm)	Opacidade (Abs.nm ⁻¹)
1	0,07 ± 0,07	4,00 ± 0,04
2	0,07 ± 0,02	6,36 ± 0,35
5	0,12 ± 0,01	2,12 ± 0,06
6	0,09 ± 0,02	3,45 ± 0,13
9	0,09 ± 0,04	3,47 ± 0,07
10	0,07 ± 0,02	5,04 ± 0,03
13	0,16 ± 0,01	1,88 ± 0,03
14	0,12 ± 0,02	2,42 ± 0,15

Média ± desvio padrão.

Os números correspondem aos filmes nas respectivas formulações: (1) BBP+SB 97,5:2,5; (2) BBM+SB 97,5:2,5; (5) BBP+SB 95:05; (6) BBM+SB 95:05; (9) BBP+SB 97,5:2,5; (10) BBM+SB 97,5:2,5; (13) BBP+SB 95:05; (14) BBM:SB 95:05.

Fonte: o autor, 2021.

Rocha et al. (2014) encontraram opacidade de 2,16 a 4,88, em filmes produzidos a partir de amido de mandioca e proteína de soja, sendo o filme mais opaco aquele com maior medida de opacidade. Apesar de utilizarem matéria-prima com amido, a leitura dessa análise ocorreu em 500nm de comprimento de onda.

A partir do delineamento, foi possível determinar os dados e verificar a associação estatisticamente significativa entre a variável resposta (opacidade, espessura e TVA) e os fatores (Tabela 6).

Tabela 6 Efeitos e p-valor nas análises de espessura, opacidade e TVA do planejamento com o plastificante sorbitol

	Espessura		Opacidade		TVA	
	Efeito	p	Efeito	P	Efeito	P
Média	0,0995*	0,0001*	3,5738*	0,0001*	1524,8	0,0000
(1) Banana	-0,0250	0,1367	1,3875*	0,0281*	-229,84	0,1627
(2) Proporção	0,0490*	0,0219*	-2,2275*	0,0057*	313,33	0,0803
1 com 2	-0,0150	0,3273	-0,4675	0,3199	-0,9600	0,9946
R ²	81,70%		91,28%		67,60%	

*Diferenças significativas ($p \leq 0,05$).

Fonte: o autor, 2021.

Ao observar a tabela de efeitos, é possível notar que a espessura, quando passa do menor nível para o maior da proporção, aumenta em média 0,049. Sendo assim, a proporção 95:05 é indicada para obter maior espessura.

Com relação à opacidade, esses resultados demonstram que essa resposta diminui em média 2,227, quando passa do menor nível da proporção (97,5:2,5) para o maior (95:05). E que aumenta em média 1,387, quando passa do menor nível do fator banana (Prata) para o maior (Maçã), conforme evidenciado nos gráficos de superfícies de resposta (Figura 9).

Os resultados demonstram que com o aumento da porcentagem de plastificante ocorre a diminuição da opacidade. É possível correlacionar esses dados com a significância estatística para as variáveis respostas (espessura e opacidade), por meio da análise de Pareto, conforme apresentado nas Figuras 10a e 10b.

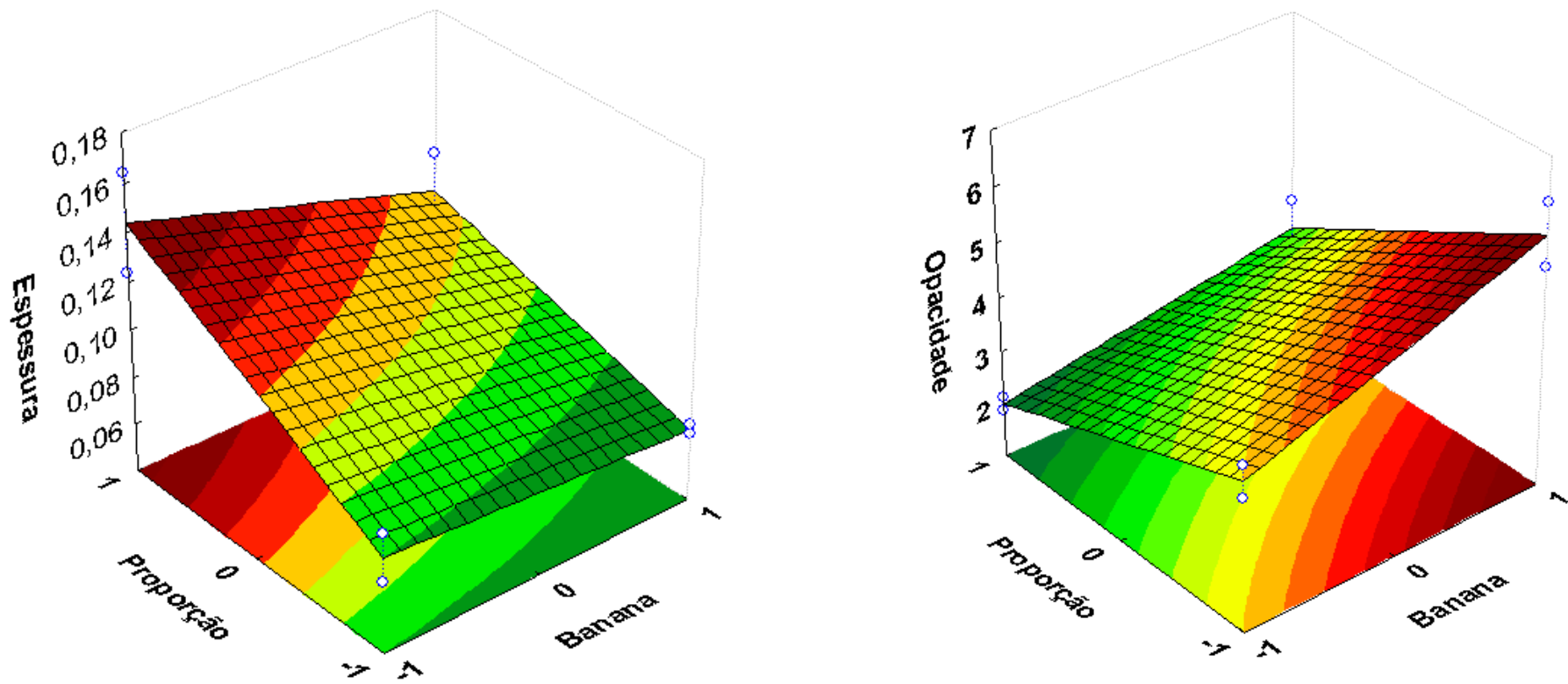


Figura 9 Gráfico de superfícies de resposta para as variáveis espessura e opacidade.

Os gráficos correspondem aos efeitos das variáveis espessura e opacidade dos filmes obtidos a partir do delineamento experimental com plastificante Sorbitol.

Fonte: o autor, 2021.

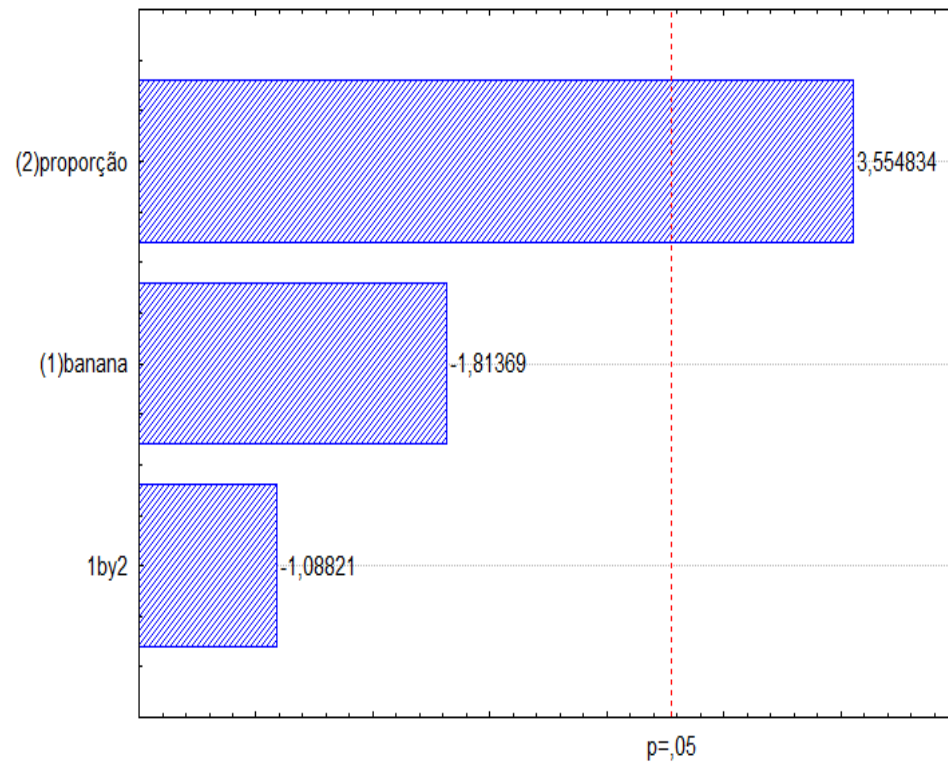


Figura 10a Gráfico de Pareto para variável espessura.

Variável proporção foi significativa, conforme demonstra o gráfico de Pareto, estimando o efeito de 3,55, promovido sobre a espessura.
Fonte: o autor, 2021.

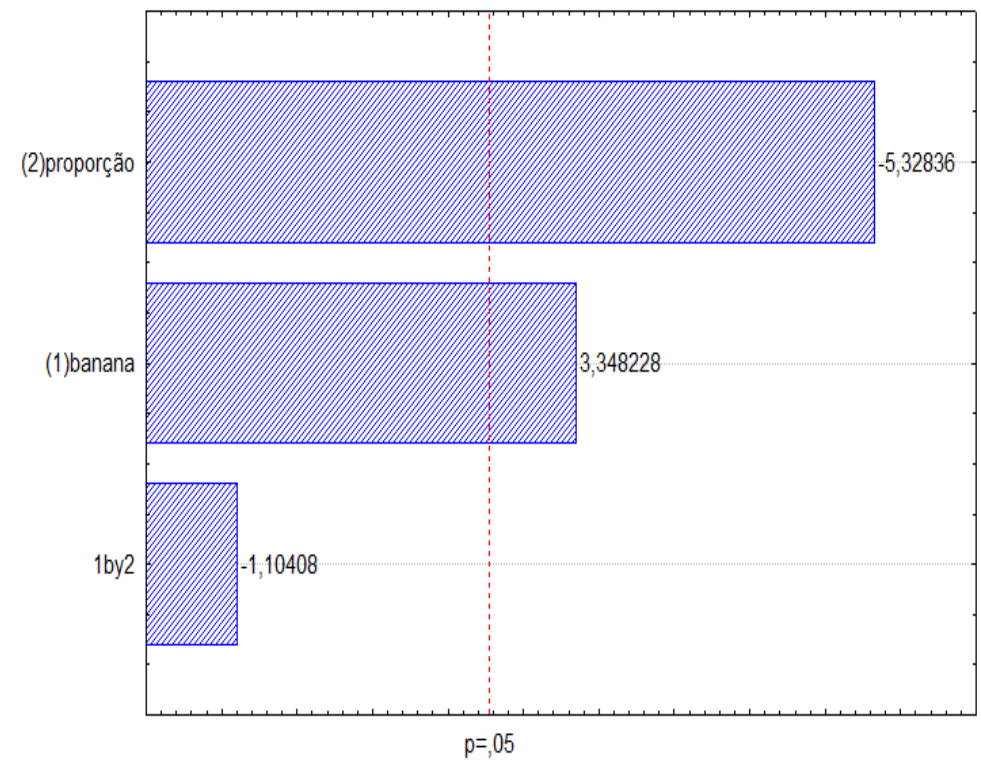


Figura 10b Gráfico de Pareto para variável opacidade.

Variáveis proporção e banana foram significativas conforme demonstra o gráfico de Pareto, estimando o efeito promovido sobre a opacidade.
Fonte: o autor, 2021.

A espessura dos filmes variou de 0,072 a 0,164mm. Os resultados obtidos demonstram que essa medida pode se alterar, de acordo com a proporção biomassa:plastificante.

Após a leitura da absorvância a 600nm, em espectrofotômetro UV-Vis, a opacidade foi determinada em Abs.nm^{-1} e foi possível constatar que os filmes biopoliméricos produzidos apresentaram baixa opacidade.

Esses resultados necessitam ser associados com a finalidade do filme, assim como a espessura. Para uma cápsula que pode ser colorida e opaca, não há problemas em ser fosca. Entretanto, se a finalidade for utilizar os filmes para revestimentos ou películas protetoras, o ideal é buscar utilizar aqueles com maior transparência.

Deve-se considerar a finalidade do filme para avaliar a espessura adequada. Sabendo que, para o desenvolvimento de uma cápsula, espera-se que o invólucro seja mais espesso, foi possível categorizar os filmes 5, 13 e 14 como os com valores mais satisfatórios para esse fim.

Se o objetivo for empregar os filmes biopoliméricos como revestimento de alimentos, películas de proteção, seria mais adequado escolher aqueles com menor espessura. Conseqüentemente, os filmes 1, 2, 6, 9 e 10 seriam os mais adequados para essa finalidade.

Em estudo sobre o desenvolvimento de bioplásticos à base de cascas de bananas e de ovos (SILVA BEZERRA; DE ANDRADE, 2021), a espessura apresentou variação, de 0,456 a 0,618mm. Uma das causas de apresentar maior espessura, em comparação com este estudo, pode ser justificada pela presença da casca de ovo e pela composição da casca da banana conter maior quantidade de fibras. Além disso, a forma de processamento pode ter influência nessa medida.

Pellá et al. (2020), em pesquisa para avaliar o efeito da adição de gelatina e caseína em filmes biodegradáveis comestíveis de amido para revestimento de frutas, obtiveram faixa de espessura entre 0,70 e 0,91mm.

Essa divergência com este estudo pode ser justificada pela composição diferente do material componente do filme, como os diferentes plastificantes e bananas, e também pela quantidade de solução filmogênica adicionada à placa.

A taxa da TVA foi determinada após o tempo de 120 horas, e os dados foram tabulados e calculados, conforme demonstrado na Tabela 7. A taxa de transmissão de vapor d'água apresentou variação de 1215,00 a 1932,46 g/m²/24h.

Tabela 7 Medida da taxa de transmissão de vapor d'água e perda de peso da amostra

Filme	Perda de peso (g/120h)	TVA (g/m ² /24h)	g/h
1	132,4055	1378,36	1,10
2	124,7360	1292,44	1,04
5	126,1203	1661,32	1,05
6	124,1315	1770,10	1,03
9	131,5137	1586,84	1,09
10	124,5794	1215,00	1,04
13	129,6917	1932,46	1,08
14	126,1954	1362,08	1,05

Dados dos filmes biodegradáveis obtidos a partir do planejamento experimental com plastificante sorbitol.

Os números correspondem aos filmes nas respectivas formulações: (1) BBP+SB 97,5:2,5; (2) BBM+SB 97,5:2,5; (5) BBP+SB 95:05; (6) BBM+SB 95:05; (9) BBP+SB 97,5:2,5; (10) BBM+SB 97,5:2,5; (13) BBP+SB 95:05; (14) BBM:SB 95:05.

Fonte: o autor, 2021.

É possível correlacionar esses dados com a análise de significância estatística para a variável resposta (TVA), por meio da análise de Pareto, conforme apresentado na Figura 11.

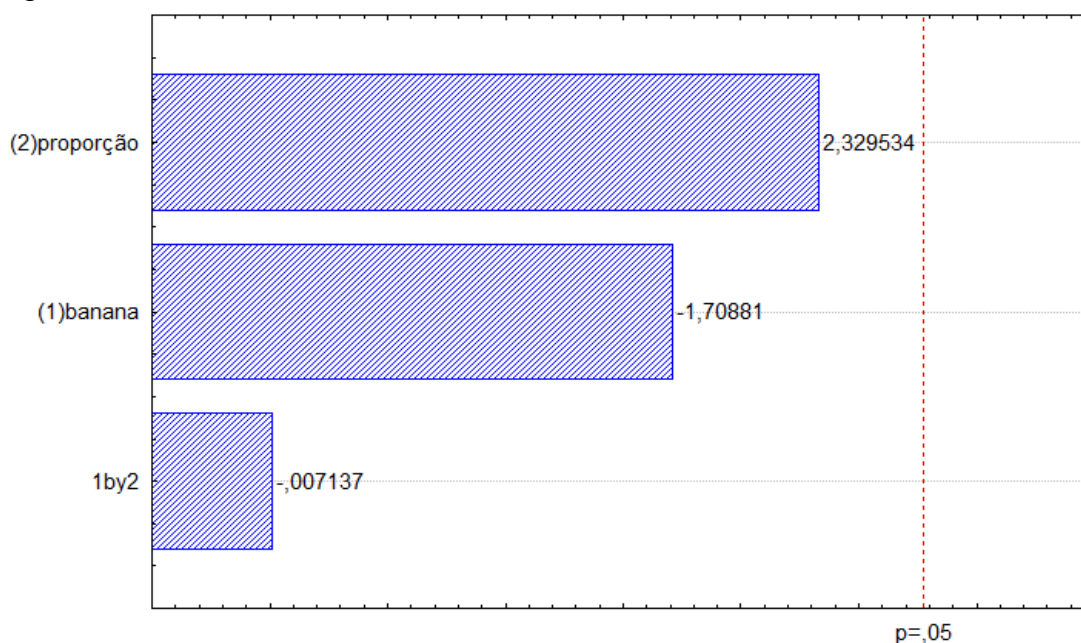


Figura 11 Gráfico de Pareto para variável TVA.

Variáveis proporção e banana não apresentaram efeito sobre a variável TVA.
Fonte: o autor, 2021.

Estudo precedente para avaliar a influência do sulfato de condroitina na formação de filmes isolados de polimetacrilato (BUNHAK et al., 2007) apresentou medidas de TVA de 269,0 a 764,3 g/m²/24h. Nessa mesma pesquisa, observou-se que a taxa de transmissão de vapor d'água sofreu alteração de acordo com a composição do filme.

5.5 Índice de intumescimento

Essa análise e as demais foram realizadas após a obtenção das respostas dos planejamentos experimentais com apenas dois tratamentos, considerando aqueles com características mais adequadas para avaliar a capacidade de serem utilizados no desenvolvimento de cápsula vegana, sendo eles, filmes 1 e 5.

Considerando a alta quantidade de AR presente na banana, a cápsula desenvolvida a partir dos filmes teria o potencial de liberação retardada, no intestino. Considerando essa informação, essa análise foi realizada em comparação com uma cápsula de liberação entérica. Após avaliado em FGS e FIS, foi possível verificar que o filme apresenta resistência equivalente em pH intestinal (8,0) e em pH gástrico (1,8).

Quando correlacionados com as cápsulas de liberação intestinal, os biofilmes demonstraram baixa resistência e pouca semelhança com a cápsula, na dissolução em meio ácido e básico. Enquanto as cápsulas preservaram sua forma e coloração após passarem uma hora em FGS, os filmes biopoliméricos foram perdendo sua forma e desintegrando em 10 minutos de exposição ao pH ácido (Figura12).

O filme 1 (BBP+S 97,5:2,5), quando comparado com o filme 5 (BBP+S 95:05), apresentou pouca diferença em FGS e menor durabilidade em fluido intestinal simulado, sendo dissolvido com pouco mais de 10 minutos em pH ácido e básico.

O filme 5 foi completamente dissolvido após 30 minutos em FIS. Em relação à cápsula de liberação entérica, ambos os biofilmes analisados se mostraram muito mais susceptíveis à ação do pH intestinal e gástrico, descartando a possibilidade de serem utilizados na elaboração de uma cápsula.

Não foi realizado o cálculo do índice de intumescimento, devido ao fato de os filmes terem sofrido degradação antecipadamente, como demonstrado na Figura 12, em que, enquanto a cápsula continuou íntegra, o filme apresentou dissolução quase completa.

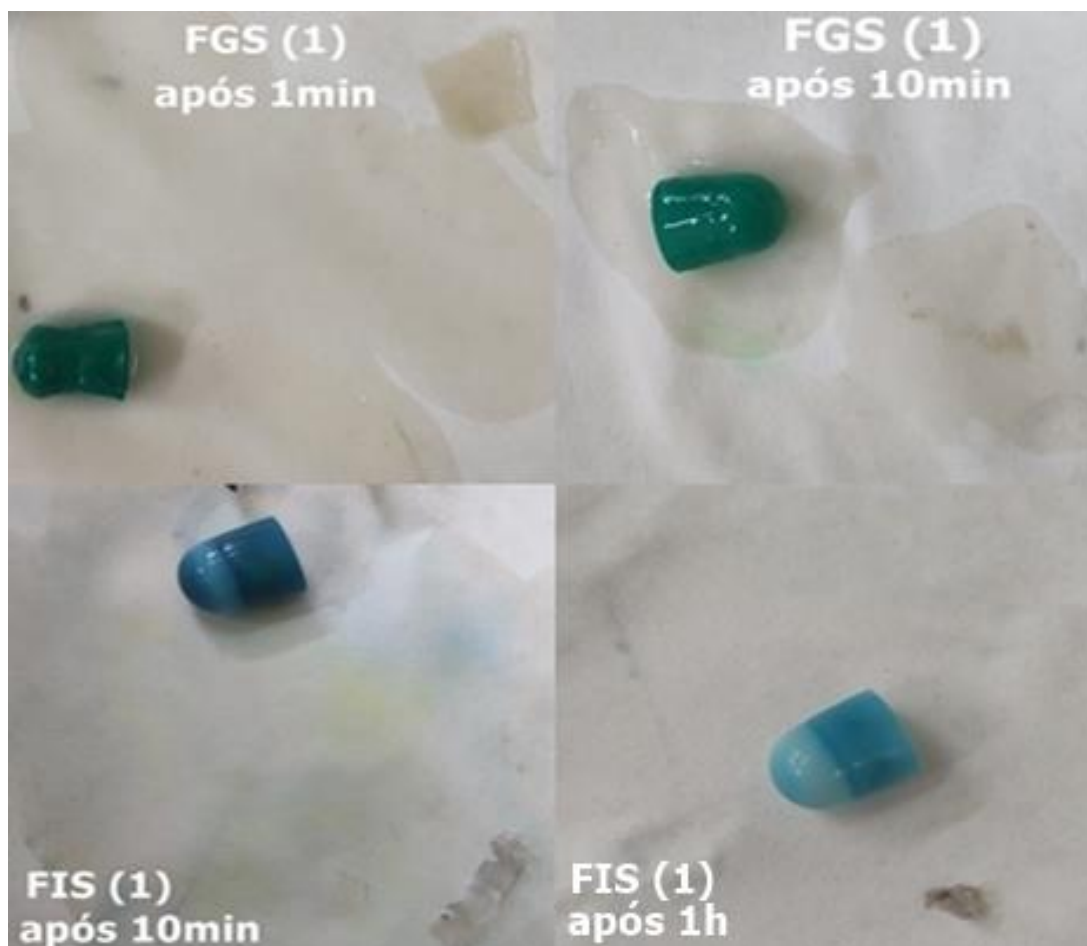


Figura 12 Filme x cápsula após exposição a pH ácido e básico.

Fonte: o autor, 2021.

5.6 Análises Termogravimétricas (TGA)

Com a análise termogravimétrica realizada, foi possível observar que os filmes sofreram três degradações principais com o aumento da temperatura, como explanado nas Figuras 13a e 13b.

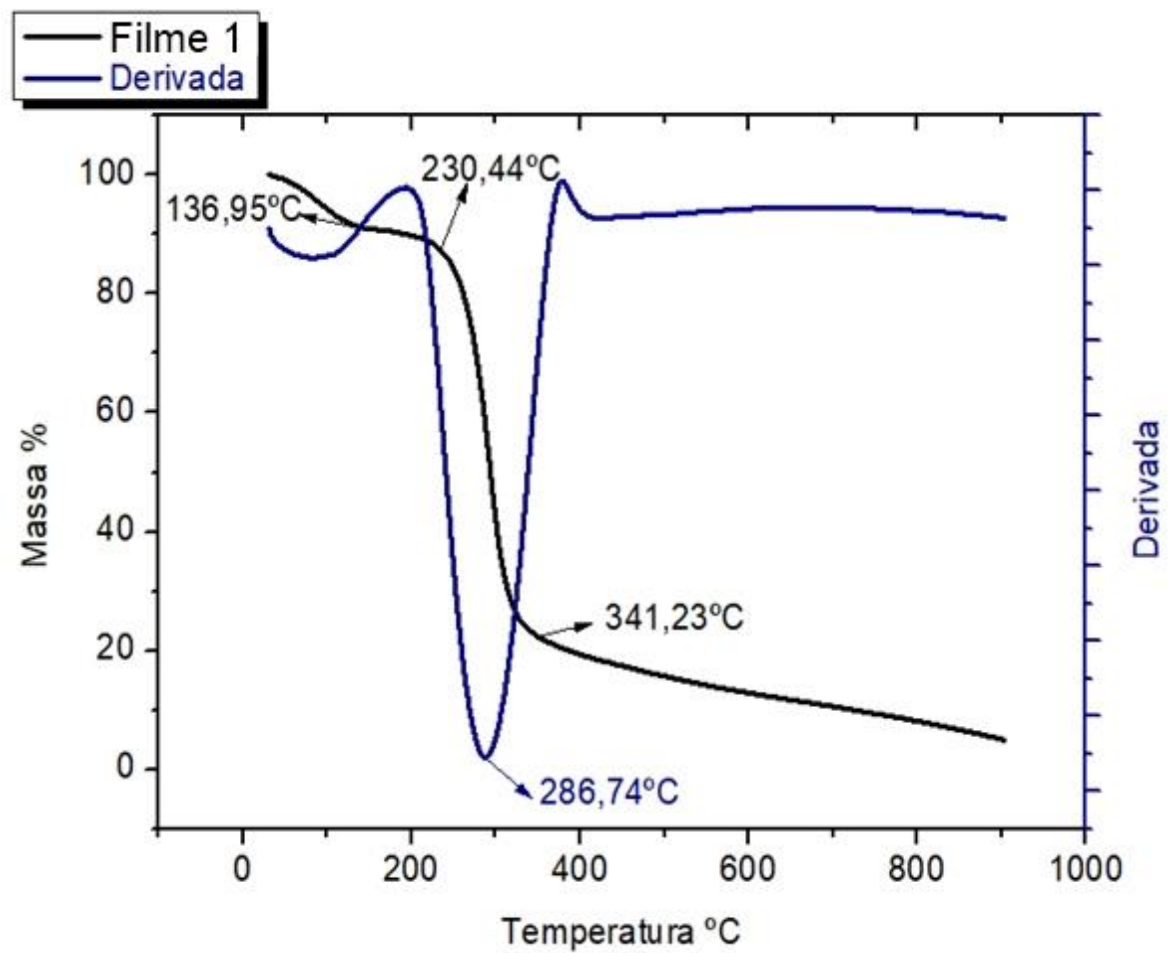


Figura 13a Gráficos de TGA e derivada do filme 1.

Fonte: o autor, 2021.

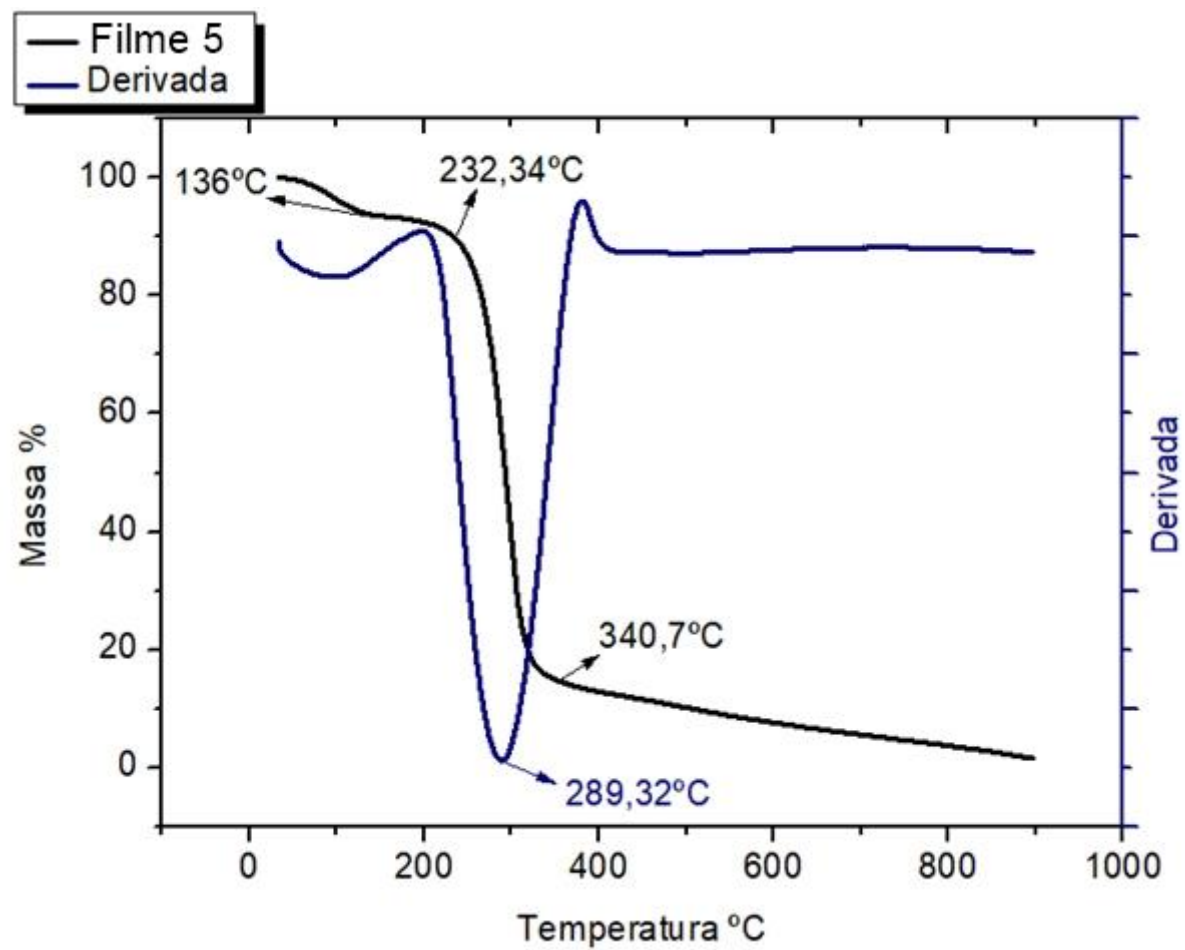


Figura 13b Gráficos de TGA e derivada do filme 5.

Fonte: o autor, 2021.

As diferentes associações de filme e plastificante revelam similaridade em relação às curvas da decomposição térmica representativas, em que a primeira inflexão da curva (em 136°C) representa a perda de água da amostra e, à temperatura de 230,44 – 232,34°C, corresponde às etapas de decomposição inicial e caracteriza uma perda percentual de massa de 87,85%, para o filme 1, e 90,16%, para o filme 5.

O terceiro evento térmico verificado em 341,23 e 340,7°C para os filmes 1 e 5, respectivamente, está associado à decomposição final do material polimérico envolvendo a perda de massa de 23,23% (filme 1) e 15,63% (filme 5). O maior pico da derivada representa a taxa máxima da degradação dos materiais, na faixa de temperatura de 286,74 a 289,32°C.

Sgorla (2017) observou dois estágios de decomposição ao analisar os filmes produzidos com Etilcelulose, que representam as etapas inicial e final de decomposição do polímero sintético. O primeiro estágio ocorreu em 319,50°C, com perda de massa de 78,88%, e o segundo evento térmico foi observado em 360,20°C, representando perda de massa de 3,24%.

Ao comparar os dados de Sgorla (2017) com os deste estudo, é possível afirmar que os polímeros sintéticos possuem maior resistência térmica do que os polímeros naturais, como o amido resistente presente na biomassa de banana verde. Isso pode justificar o uso desse composto na produção de fármacos com liberação retardada.

Considerando que a cápsula produzida a partir da biomassa de banana verde apresentaria potencial de liberação retardada, a comparação com os filmes de etilcelulose demonstram parâmetros importantes com relação à menor resistência térmica, quando utilizada uma matéria-prima orgânica.

5.7 Espectrometria por Transformada de Fourier (FTIR)

A leitura de FTIR para o filme 1 foi de 710 cm⁻¹ a 3285 cm⁻¹ e de 760cm⁻¹ a 3285cm⁻¹ para o filme 5, como demonstrado na Figura 14. Kowsik e Mazumder (2018) destacam que o pico de onda centrado em torno de 3.200 cm⁻¹ representa o grupamento OH, enquanto o pico próximo a 2.930 cm⁻¹ indica a ligação C–H (encontrada na glicose).

A absorbância próxima a 1638 cm^{-1} corresponde ao grupo O-H, sendo uma deformação da molécula de água residual (KACZMARSKA et al., 2018; ZHANG et al., 2020). A banda mais intensa, próxima a 1000 cm^{-1} , pode ser representativa da curvatura C-H (ZHANG et al., 2020).

Segundo estudo de et al. (2021), as bandas acentuadas em torno de 1000 cm^{-1} (Figura 14) podem estar associadas a características de cristais amorfos e cristalinos de amido. Uma observação espectral FTIR similar foi realizada em estudos anteriores com amido extraído de amostras agroindustriais (DANKAR et al., 2018; FERRAZ et al., 2019; ZHANG et al., 2020).

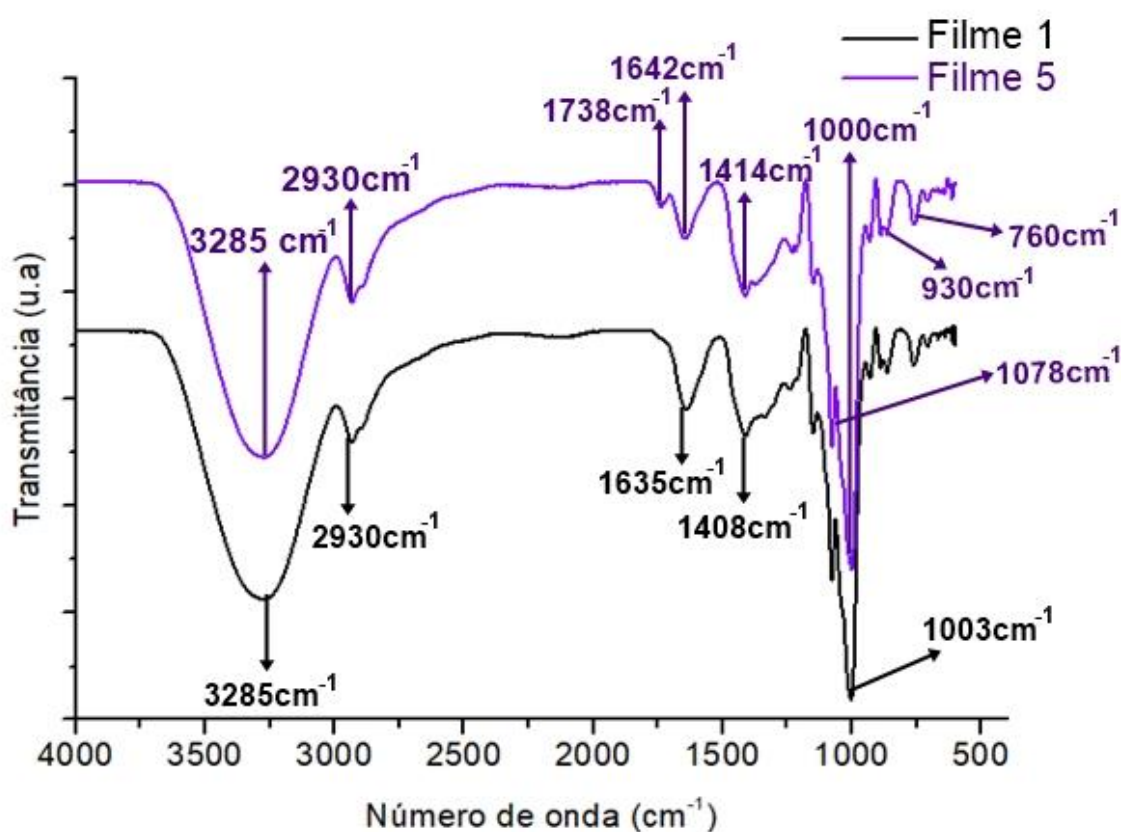


Figura 14 Gráfico de FTIR para os filmes biopoliméricos 1 e 5.

Os números correspondem aos filmes nas respectivas formulações: (1) BBP+SB 97,5:2,5; (5) BBP+SB 95:05;

Fonte: o autor, 2021.

5.8 Análise de difração de raios-X (DRX)

Ao determinar o grau de cristalinidade das amostras, foi possível observar que os filmes são predominantemente amorfos, não havendo a formação de cristais específicos, segundo análise de difração de raios-X, conforme Figura 15.

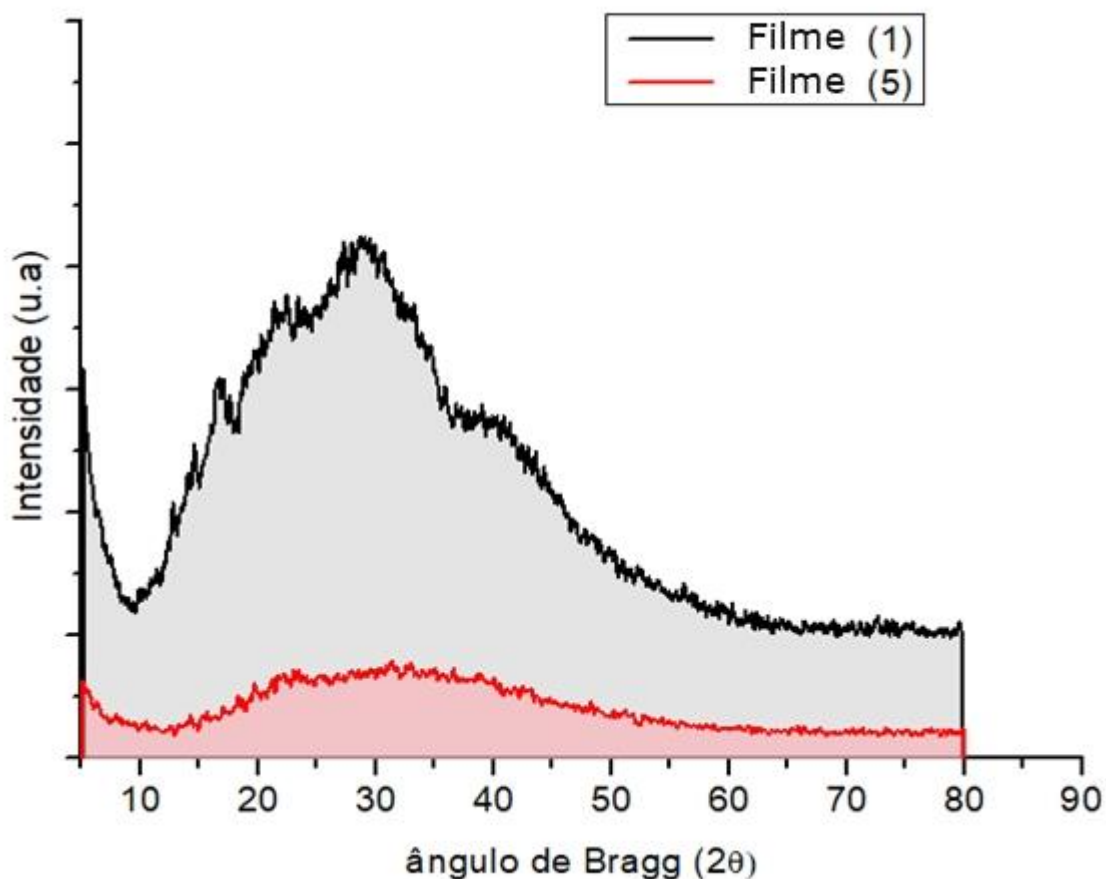


Figura 15 Gráfico de difração de raios-x dos filmes biodegradáveis 1 e 5.

Os números correspondem aos filmes nas respectivas formulações: (1) BBP+SB 97,5:2,5; (5) BBP+SB 95:05;

Fonte: o autor, 2021.

5.9 Ensaio mecânico

Para essa análise, é possível avaliar onde as cadeias vão se deformando e se ajustando, conforme o filme vai esticando, perceptível na curva crescente dos gráficos das Figuras 16 e 17. Equação da reta: $y = a + b \cdot x$, com R^2 de 0,99.

O módulo de elasticidade demonstra quanto de tensão em MPa é necessária para realizar a movimentação de cadeia. Ao se comparar o módulo de Young do filme 1 (20) com o do filme 9 (1) (Figura 16), indica-se que, para o tratamento 9, a rigidez do material foi maior (Tabela 8).

Tabela 8 Resultados da análise mecânica dos filmes e suas repetições

Filme	Tensão máx (MPa)	Alongamento (%)	Módulo de Young
1	1,01	11,76	20
5	0,61	19,87	5
9	1,92	12,35	37
13	0,71	11,53	12

Os números correspondem aos filmes nas respectivas formulações: (1) BBP+SB 97,5:2,5; (5) BBP+SB 95:05; (9) BBP+SB 97,5:2,5; (13) BBP+SB 95:05.

Fonte: o autor, 2021.

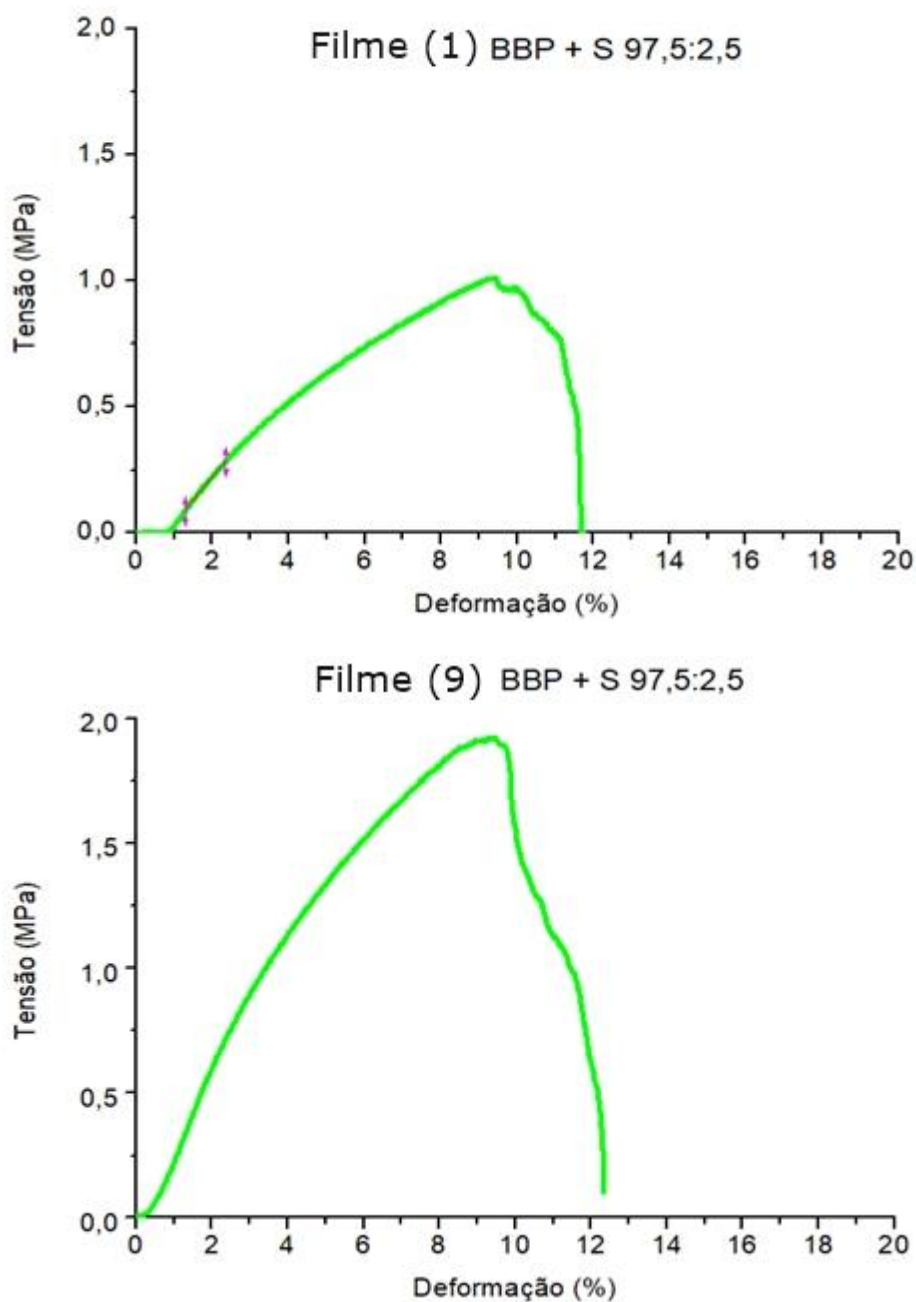


Figura 16 Filme 1 e 9 (repetição).

Fonte: o autor, 2021.

O filme biopolimérico 5 demonstra menor módulo de elasticidade (Young); isso indica que esse tratamento produziu um filme mais flexível, fato confirmado pela porcentagem de alongamento de 19,8% (Figura 17). Essa maior elasticidade pode ser explicada pela maior quantidade de plastificante, sendo 5% de sorbitol.

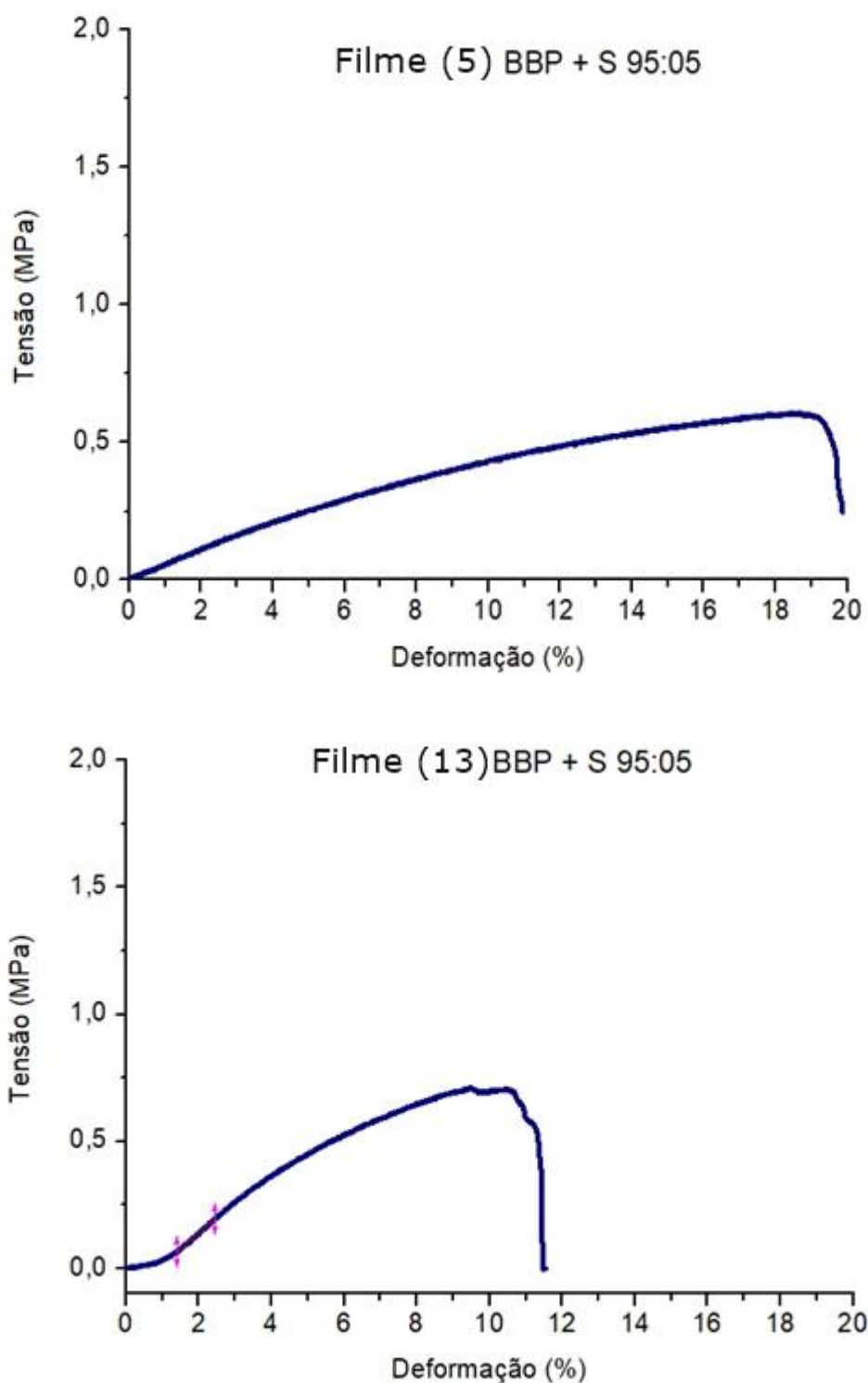


Figura 17 Filme 5 e 13 (repetição).

Fonte: o autor, 2021.

A partir dessa análise, pode-se afirmar que os filmes apresentaram comportamentos que se ajustariam às necessidades de uma cápsula dura.

Porém, quando se relaciona esses dados da resistência mecânica com o índice de intumescimento, percebe-se que, pelos filmes biopoliméricos não demonstrarem uma resistência mínima ao pH, esperada em uma cápsula, inviabiliza a produção desse invólucro. Entretanto, a utilização do filme para revestimento de outros materiais, como frutas, seria mais aplicável.

6. CONCLUSÃO

Este estudo demonstra que a banana prata se apresenta como um material de interesse para o desenvolvimento de produtos ricos em proteínas e fibras, podendo ser utilizada na indústria alimentícia.

Considerando os resultados obtidos, é possível concluir que os filmes biopoliméricos produzidos a partir da biomassa de banana verde demonstram pouca capacidade no desenvolvimento de cápsula dura. Porém, em se tratando das aplicações para revestimento de frutas e utilização como bioplástico, apresenta características adequadas para essa finalidade.

Para o desenvolvimento de uma cápsula dura vegetariana, o processo de obtenção desse material pela técnica de “*casting*”, utilizado na elaboração dos filmes biodegradáveis, não apresenta eficácia para o desenvolvimento desse produto.

Novos estudos são necessários para avaliar a possibilidade de utilização da banana verde no desenvolvimento de cápsula vegetariana, a fim de estabelecer novas técnicas de preparo.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Algumas limitações no uso de equipamentos e recursos devido à pandemia impossibilitaram o desenvolvimento de análises de caracterização importantes, como a determinação do amido resistente presente na banana verde, a microscopia eletrônica por varredura (MEV) e a calorimetria exploratória diferencial (DSC).

Essas análises seriam importantes para a caracterização dos filmes biopoliméricos, considerando que as propriedades do amido resistente influenciam diretamente na característica do filme pronto.

A calorimetria exploratória diferencial demonstra a interação entre o plastificante e o polímero e avalia a maleabilidade do filme biodegradável. Para avaliar um filme muito maleável, é necessário resfriar o material a baixas temperaturas (-100°C) para então aquecê-lo. Considerando que o amido possui baixa termogravimetria, o que dificulta a identificação de picos de alterações, é necessário um recipiente maior do que o disponível no equipamento, para obter uma maior quantidade de massa e facilitar a identificação dessas alterações.

Considerando que as condições climáticas alteraram a produção das bananas, não seria viável realizar os estudos sem conseguir prever o tempo necessário para a produção normalizada dos frutos, assim como realizar os estudos de MEV e DSC tardiamente, a partir dos filmes produzidos com sorbitol, pois, após o armazenamento desses filmes, em um tempo de 1 a 2 meses, os filmes biopoliméricos apresentaram crescimento de fungos.

Para os próximos estudos, pode-se utilizar um planejamento experimental com ambos os plastificantes, para verificar se a adição de propilenoglicol nos filmes apresentam maior resistência e durabilidade quando armazenados.

Considerando a alta dissolução dos filmes biopoliméricos produzidos, é possível identificar que a utilização na elaboração de outros produtos, como fármacos de dispersão oral e adesivos transdérmicos, pode ser uma alternativa do uso dessa matéria-prima.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Standard Test Method for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting, ASTM International. **Www.Astm.Org**, v. 14, p. 1-12, 2018.

AMORIM, E. P. Promising green banana and plantain genotypes for making flour. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 54, p. 01303, 2019.

ANDRADE, B. A. et al. Produção de farinha de banana verde (*Musa spp.*) para aplicação em pão de trigo integral. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 21, 2017.

ARAÚJO, K. S. S. et al. Physicochemical properties and antioxidant capacity of propolis of stingless bees (Meliponinae) and Apis from two regions of Tocantins, Brazil. **Acta Amazonica**, v. 46, p. 61-68, 2016.

ASMAR, S. A. et al. Changes in leaf anatomy and photosynthesis of micropropagated banana plantlets under different silicon sources. **Scientia Horticulturae**, v. 161, n. September, p. 328-332, 2013.

ASTM E 95-96. Standard Test Methods for Water Vapor Transmission of Materials (E96-E95). **Annual Books of ASTM Standards**, v. 552, p. 785-792, 1995.

BERG, H. V. D. et al. The potential for the improvement of carotenoid levels in foods and the likely systemic effects. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 80, n. 7, 2000.

BLANCHON, S. et al. Permeability of progesterone and a synthetic progestin through methacrylic films. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 72, n. 1, p. 1-10, 1991.

BUNHAK, É. J. et al. Influência do sulfato de condroitina na formação de filmes isolados de polimetacrilato: avaliação do índice de intumescimento e permeabilidade ao vapor d'água. **Química nova**, v. 30, n. 2, p. 312-317, 2007.

CARVALHO, J. L. M. et al. Perdas na comercialização de frutas, legumes e verduras: os casos da banana e da cebola no Mercado do Produtor de Juazeiro (BA). In: **V Congresso Brasileiro de Engenharia de Produção**, Ponta Grossa (PR). 2015.

CEAGESP. **Normas de Classificação de Banana**. São Paulo: [s.n.].

CENCI, S. A.; SOARES, A. G.; FREIRE JUNIOR, M. **Manual de perdas pós-colheita em frutos e hortaliças**. 1997.

CHAMP, M.; FAISANT, N. Resistant starch: analytical and physiological aspects. **Boletim da Sociedade Brasileira de Ciencia e Tecnologia de Alimentos (Brazil)**, 1996.

COUPLAND, J.N., SHAW, N.B., MONAHAN, F.J., O'RIORDAN, E.D., O'SULLIVAN, M.. Modeling the effect of glycerol on the moisture sorption behavior of wheyprotein edible films. **Journal of Food Engineering**, v. 43, p. 25, 2000.

DA FRANCA, L. G. et al. Elaboração e caracterização de farinhas de banana verde. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, p. e271973798-e271973798, 2020.

DAI, L.; ZHANG, J.; CHENG, F. Effects of starches from different botanical sources and modification methods on physicochemical properties of starch-based edible films. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 132, p. 897-905, 2019.

DANKAR, I. et al. Characterization of food additive-potato starch complexes by FTIR and X-ray diffraction. **Food Chemistry**, v. 260, p. 7, 2018.

DERAL. Departamento de Economia Rural. **DERAL PROGNÓSTICO 2020**

FRUTICULTURA. Análise da Conjuntura 1 – PANORAMA MUNDIAL. Responsável: Engenheiro Agrônomo Paulo Fernando de Souza Andrade Rural. n. 41, 2020.

Desenvolvimento de bioplásticos à base de cascas de bananas e de ovos. *In:* da Silva Bezerra, Égla; de Andrade, Priscyla Lima. **Ciência e engenharia de materiais: conceitos, fundamentos e aplicação.** Editora científica digital, 2021. p. 216-229. Disponível em: <https://www.editoracientifica.org/articles/code/210705567>. Acesso em 24/02/2022.

DOS SANTOS LIMA, M. J.; FREITAS, T. P.; DE OLIVEIRA, R. S.; ROLIM, L. A.; NETO, P. J. R.; MAIA, M. B. S.; DA SILVA, R. M. F. Desenvolvimento tecnológico de cápsulas à base de *Libidibia Ferrea* para terapia Antihiperlipemiantes. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 12, p. 95271-95288, 2020.

FERRAZ, C. A. et al. Extraction, Modification, and Chemical, Thermal and Morphological Characterization of Starch From the Agro-Industrial Residue of Mango (*Mangifera indica* L) var. Ubá. **Starch-Stärke**, v. 71, p. 1800023, 2019.

FONTINHA, C.; CORREIA, P. Amido resistente em diversas fontes não convencionais de amido. **Millenium**, v. 38, p. 67, 2010.

FREITAS, M. C. J.; TAVARES, D. D. Q. Caracterização do grânulo de amido de bananas (*Musa AAA-Nanicão* e *Musa AAB-Terra*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 2, p. 217-222, 2005.

GARCÍA-ALONSO, A.; SAURA-CALIXTO, F.; DELCOUR, J. A. Influence of botanical source and processing on formation of resistant starch type III. **Cereal Chemistry**, v. 75, n. 6, p. 802-804, 1998.

GOVINDARAJU, I. et al. Structure and Morphological Properties of Starch Macromolecule Using Biophysical Techniques. **Starch-Stärke** v. 73, p. 1, 2021.

HENRIQUE, C. M.; CEREDA, M. P.; SARMENTO, S. B. S. Características físicas de filmes biodegradáveis produzidos a partir de amidos modificados de mandioca. **Food Science and Technology**, v. 28, p. 231, 2008.

HESKETH, J. et al. Nutrient–gene interactions in benefit–risk analysis. **British Journal of Nutrition**, v. 95, n. 6, p. 1232-1236, 2006.

IZIDORO, D. R. et al. Influence of green banana pulp on the rheological behaviour and chemical characteristics of emulsions (mayonnaises). **LWT - Food Science and Technology**, v. 41, n. 6, p. 1018-1028, 2008.

JENKINS, D. J. A. et al. Physiological effects of resistant starches on fecal bulk, short chain fatty acids, blood lipids and glycemic index. **Journal of the American College of Nutrition**, v. 17, n. 6, p. 609-616, 1998.

KACZMARSKA, K. et al. Effect of microwave treatment on structure of binders based on sodium carboxymethyl starch: FT-IR, FT-Raman and XRD investigations. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, v. 199, p. 387, 2018.

KARUPPIAH, P.; MUSTAFFA, M. Antibacterial and antioxidant activities of *Musa*

sp. leaf extracts against multidrug resistant clinical pathogens causing nosocomial infection. **Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine**, v. 3, n. 9, p. 737-742, 2013.

KHOO, H. E. et al. Phytochemicals and medicinal properties of indigenous tropical fruits with potential for commercial development. **Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine**, v. 2016, 2016.

KOWSIK, P. V.; Mazumder, N. Structural and chemical characterization of rice and potato starch granules using microscopy and spectroscopy. **Microscopy research and technique**, v. 81, p. 1533, 2018.

LAPA, L. S. S. et al. Avaliação das propriedades mecânicas de filmes biodegradáveis e sua aplicação em embalagens para acondicionamento de plantas. **ForScience**, v. 9, n. 2, p. e00970-e00970, 2021.

LEDO, A. S.; AZEVEDO, F. F. Avaliação preliminar de genótipos de banana (*Musa spp.*) em Rio Branco (AC). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Cruz das Almas, v. 19, p. 51- 56, 1997.

LOPES, C. B. **Diferentes lâminas de irrigação no cultivo da bananeira prata anã em Missão Velha – CE**. [s.l: s.n.].

LUTZ, I. A. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 1. ed. digital. p. 1020, 2008.

MADALENO, Emerson et al. Estudo do uso de plastificantes de fontes renovável em composições de PVC. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 19, n. 4, p. 263-270, 2009.

MEDINA, J. C.; BLEINROTH, E. W.; DE MARTIN, Z. J. **Banana**: cultura, matéria-prima, processamento e aspectos econômicos. Campinas: ITAL, cap.1. (ITAL. Sér ed. [s.l: s.n.].

MOORE, S. A. et al. Effects of alpha-amylase reaction mechanisms on analysis of resistant-starch contents. **Carbohydrate Polymers**, v. 115, p. 465-471, 2015.

MULLER, J.; GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, C.; CHIRALT, A. Combination Of Poly(lactic) acid and starch for biodegradable food packaging. **Materials**, v. 10, n. 8, p. 1-22, 2017.

OI, R. K.; MORAES J. R. D.; TAMBOURGI, E. B. Estudo de viabilidade para produção da farinha de banana verde em spray dryer. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 14, n. 4, p. 317-322, 2012.

OLIVEIRA, E. G. et al. Characterization of thin layer drying of *Spirulina platensis* utilizing perpendicular air flow. **Bioresource technology**, v. 100, n. 3, p. 1297-1303, 2009.

OLIVEIRA, L. S. et al. Free films containing acrylic polymer and B-cyclodextrin as potential material for colonic delivery: permeability, swelling property, and physicochemical analyses. **Latin American Journal of Pharmacy**, v. 30, 2011.

PELISSARI, F. M. et al. Comparative study on the properties of flour and starch

films of plantain bananas (*Musa paradisiaca*). **Food Hydrocolloids**, v. 30, n. 2, p. 681-690, 2013.

PELLÁ, M. C. G. et al. Effect of gelatin and casein additions on starch edible biodegradable films for fruit surface coating. **Food Chemistry**, v. 309, n. October 2019, p. 125764, 2020.

PEREIRA, R. B.; MORALES, A. R. Estudo do comportamento térmico e mecânico do PLA modificado com aditivo nucleante e modificador de impacto. **Polímeros**, v. 24, n. 2, p. 198-202, 2014.

RAMOS, D. P. Amido resistente em farinhas de banana verde. **Alim. Nutr.**, v. 20, n. 3, p. 479-483, jul./set. 2009.

RANIERI, L. M.; DELANI, T. C. O. Banana verde (*musa spp*): obtenção da biomassa e ações fisiológicas do amido resistente. **Revista UNINGÁ Review**, v. 20, n. 3, p. 43-49, 2014.

REIS, R. C.; VIANA, E. S.; ASSIS, S. L.; SENA, L. O.; SOUZA, A. S.; AMORIM, E. P. Promising green banana and plantain genotypes for making flour. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 54, e01303, 2019.

ROBERTO, P.; GUEDES, N. **Indicadores IBGE Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. 2019.

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

ROSENBERGER, A. G. et al. Use of experimental design to obtain polymeric microfibers with carbon nanotubes. **Advanced Manufacturing: Polymer and Composites Science**, v. 6, n. 3, p. 115-126, 2020a.

ROSENBERGER, A. G. et al. Electrospinning in the preparation of an electrochemical sensor based on carbon nanotubes. **Journal of Molecular Liquids**, v. 298, p. 112068, 2020b.

ROSSETO, M. et al. Accelerated Aging of Starch-Gelatin Films with Enzymatic Treatment. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 29, n. 4, p. 1063-1075, 2021.

SANTOS, J. C. et al. Processamento e avaliação da estabilidade da farinha de banana verde. **Exacta**, v. 8, n. 2, p. 219-224, 2010.

SGORLA, D. **Desenvolvimento e caracterização de novos materiais destinados à liberação modificada de ativos farmacoterapêuticos**. 2017. 150 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Farmacêuticas) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2017.

SILVA, A. D. A.; JUNIOR, J. L. B.; BARBOSA, M. I. M. J. Farinha de banana verde como ingrediente funcional em produtos alimentícios. **Ciência Rural**, v. 45, p. 2252-2258, 2015.

SILVA, F. M.; MELLO, V. D. F. de. Índice glicêmico e carga glicêmica no manejo do diabetes melito. **Revista HCPA**, Porto Alegre, v. 26, n. 2, p. 73-81, 2006.

SILVA, S. O. E.; FLORES, J. C. O.; LIMA NETO, F. P. Avaliação de cultivares e híbridos de bananeira em quatro ciclos de produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 11, p. 1567-1574, 2002.

SILVA, T. N. et al. Caracterização física de frutos de diferentes genótipos de bananeira em Nossa Senhora das Dores-Se. Embrapa Mandioca e Fruticultura-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA**, 22., Bento Gonçalves, 2012.

SINGH, B. et al. Bioactive compounds in banana and their associated health benefits—A review. **Food Chemistry**, v. 206, p. 1-11, 2016.

SIQUEIRA, L. V. et al. Perfil da capacidade antioxidante de diferentes polpas de biomassa de bananas verde como prebiótico. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 28668-28688, 2020.

SIQUEIRA, L. V.; PAETZOLD, M. G.; DE FARIÑA, L. O. Desenvolvimento e caracterização de biofilmes à base de biomassa de banana verde. **Brazilian Journal of Health Review**, v. 4, n. 1, p. 2868-2886, 2021.

SOUZA, S. et al. **O cultivo da bananeira**. [s.l.: s.n.].

SPAGNOL, W. A. et al. Redução de perdas nas cadeias de frutas e hortaliças pela análise da vida útil dinâmica. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 21, 2018.

SPECIMENS, P. Standard Test Method for Thickness Measurement of Flexible Packaging Material 1. **Current**, v. 13, n. Reapproved 2018, p. 1-4, 2004.

Tabela Fisiográfica em 2018. p. 9-12, 2019.

TACO. **Tabela brasileira de composição de alimentos**. 4. ed. Campinas: NEPA-UNICAMP, 2011.

TAN, H. W.; AZIZ, A. R. A.; AROUA, M. K. Glycerol production and its applications as a raw material: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 27, p. 118-127, 2013.

TSAMO, C. V. P. et al. Characterization of Musa sp. fruits and plantain banana ripening stages according to their physicochemical attributes. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 62, n. 34, p. 8705-8715, 2014.

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

WALTER, A. **Estudo do processo biotecnológico para obtenção de ficocianina a partir da microalga *Spirulina Platensis* sob diferentes condições de cultivo**. 2011. 134 f. Dissertação (Mestrado em Processos Biotecnológicos) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

WANG, L. Z.; WHITE, P. J. Structure and properties of amylose, amylopectin, and intermediate materials of oat starches. **Cereal Chemistry**, v. 71, n. 3, p. 263-268, 1994.

WIGBERTO, A. S.; VIVALDO S. J.; ERICSEM PEREIRA, N. G. F. Redução de

perdas nas cadeias de frutas e hortaliças pela análise da vida útil dinâmica
Reducing losses in the fruit and vegetable chains by the analysis of shelf life
dynamics. **Brazilian journal of Food Technology**, v. 21, p. e 2016070, 2018.

ZHAO, Y. et al. Inhibition of azoxymethane-induced preneoplastic lesions in the rat
colon by a stearic acid complexed high-amylose cornstarch using different cooking
methods and assessing potential gene targets. **Journal of Functional Foods**, v.
6, p. 499-512, 2011.

ANEXO I

Artigo científico e Normas da Revista Brazilian Journal of Health Review (Qualis B3)

Focus and Scope

The Brazilian Journal of Health Review (BJHR) is edit by the *Brazilian Journals Publicações de Periódicos e Editora Ltda. (CNPJ 32.432.868/0001-57)*. Some Brazilian professors realized that the scientific research in the health area lack means of dissemination. That's why they came up with this bimonthly publication of scientific articles which presents original contributions, both empirical and theoretical.

The thematic coverage of BJHR, considering its essence, covers all areas of knowledge described by CNPq, provided the research presents a contribution to the health area.

BJHR accepts contributions written in Portuguese, English or Spanish.

Section Policies

Peer Review Process

- This journal adopts the double blind review arbitration system, with a minimum of 2 evaluators per article.
- A third evaluator will be consulted if there is a divergence in the opinion of the first two.
- All papers submitted to this journal will be examined, evaluated and will have their merits judged by external evaluators, and the authors will be notified of the acceptance or refusal of their work.
- If the article is denied, the author will be given a new evaluation for the next edition.
- Before submitting for peer review, the authors must submit a Letter of Originality and Assignment of Rights, duly signed by all authors.
- The basic content of this letter must contain, in addition to the date, city and signature of the authors, the text: "We, (fill in the authors name, institutional

link, CPF and full address), authors of the article" we hereby declare the originality of this document submitted and declare that it has not been submitted to another journal and will not be submitted, if accepted and published by the Brazilian Journal of Health Review. The above-mentioned paper for the Brazilian Journal of Health Review".

- Authors: maximum of 10 authors per paper.
- Languages Allowed: Portuguese, English and Spanish.
- COMBAT TO PLAGIARISM: all paper received are previously evaluated by the editor-in-chief. If plagiarism is suspected, the article is automatically declined.
- If published, the authors assign the copyright and publication rights of their articles to BJHR.
- BJHR sends, exceptionally, fast-track invitations to papers presented at conferences of national and international renown. In these cases, the responsibility for not publishing the paper in another journal is exclusively the authors, and BJHR does not have the task of researching if the paper was published in another journal.
- The maximum time between submission of the paper, evaluation and initial opinion is 30 days.

Archiving

Content collection of the journal by digital preservation tools, it will be through the LOCKSS (Lots of Copies Keep Stuff Safe).

Free Access Policy

This journal offers immediate free access to its content, following the principle that providing free scientific knowledge to the public provides greater global democratization of knowledge.

Frequency

The Brazilian Journal of Health Review (BJHR), edited by the *Brazilian Journals Publicações de Periódicos e Editora Ltda.* (CNPJ 32.432.868/0001-57), is an online scientific journal, published bimonthly, and adopts a continuous flow system for both submission and publication of papers.

Journal Archiving

This journal uses the LOCKSS system to create a distributed file system between participating libraries and allows them to create permanent journal files for preservation and restoration. About LOCKSS: <https://www.lockss.org/>

Publication Ethics and Publication Malpractice Statement

Our journal is committed to ethics and the search for the highest quality in the articles published. Therefore, our company supports high standards of ethical behavior expected at all stages involved in the publication of the articles, which are: the authors, the journal editor, and the reviewers. We do not accept, in any hypothesis, possible plagiarism or other unethical behavior.

All the articles and papers received are reviews by pares, blindly, to make sure the scientific quality publication. Still, since 2021, we use CrossCheck (CrossRef's plagiarism software). This software is used to verify the articles since there are received before sending them to evaluation.

Also, we are always committed to ensuring that commercial revenues do not impact or influence editorial decisions, but the quality of the articles to be published.

This declaration is based on the recommendation of Elsevier and in the Good Practice Guidelines for Journal Editors of the Committee on Publication Ethics - COPE (<https://publicationethics.org/>).

We list below, based on this recommendation, the duties of each party involved in the article's publication:

Editors Duties:

- **Publication decision:** The journal's editor-in-chief is responsible for deciding which articles are submit to the journals that should be published. The editor is guided by the Editorial Committee and limited by the legal requirement that must affect defamation, copyright infringement, and plagiarism. The editor always must consult the Editorial Committee or reviewers in the decisions
- **Fair play:** The editor should analyze the articles received considering their intellectual content, regardless of the authors' race, gender, sexual orientation, religious belief, ethnic origin, citizenship, or political philosophy.

- **Confidentiality:** The editor and any member of the editorial team can not release any information about a submitted manuscript to anyone other than the corresponding author, reviewers, or other editorial advisors.
- **Release and conflict of interest:** The editor is not prohibited from using unpublished information in his research without the express written consent of the authors. The editor must refuse to evaluate manuscripts where exist conflicts of interest, whatever they were (connections between authors or companies, whether competitive or collaborative).
- **Involvement and cooperation in investigations:** The editor needs to take relevant action when ethical complaints internal or external to the production of the article are lodged regarding a submitted or published article.

Duties of the reviewers:

- **Confidentiality:** All received articles to review must be handled by the editor and by reviewers as strictly confidential, must not be released or discussed with people outside the editorial process.
- **Contribution to the editorial decision:** Double-blind peer review should assist the editor in making editorial decisions. Also, modification suggestions should assist the author in the overall improvement of the article.
- **Celerity:** If a reviewer is appointed to review an article, and feels that his knowledge will not add value to the article, or that his time availability may hinder the immediate revision of the article, he should immediately refuse this editorial task.
- **Objectivity:** The editorial task must be performed objectively and the reviewers need to demonstrate their point of view based on scientific arguments
- **Previous works:** Reviewers need to indicate relevant published work that has not been covered in the text under review. Also, if the reviewer notices any relevant overlap between the paper under evaluation and another already published paper of his/her knowledge, he/she should alert the editor and the authors.
- **Disclosure of conflicts of interest:** Any information coming from the review of the paper, as well as new ideas coming from the peer review

process, should be kept confidential and not be used for personal advantage. Like the editor, reviewers should also refuse to evaluate manuscripts where there is a conflict of interest relationships, whatever they may be (connections with authors or companies, whether competitive or collaborative).

Duties of the authors:

- **Search report standards:** Authors submitting reports of original research need to provide an account of the work done as well as an objective discussion of the gist of their account. Also, the data needs to be presented accurately. A research report, like an article, should contain enough detail and references to allow others to reproduce the work. Any fraudulent or intentionally inaccurate statements constitute unethical behavior and are unacceptable, and automatically rejected in the editorial process.
- **Originality and plagiarism:** Authors must ensure that they have written entirely original work, and if authors have used the work and/or words of others, this has been properly cited or quoted. Plagiarism in all its forms constitutes unethical publishing behavior and is unacceptable as well as automatically rejected in the editorial process
- **Multiple, redundant or simultaneous publication:** Authors may not publish manuscripts that essentially describe the same research in more than one journal or primary publication. Submitting the same manuscript to more than one journal simultaneously and/or publishing the same article in different journals constitutes unethical publishing behavior and is unacceptable, and, if identified, will automatically be rejected in the editorial process, or after publication.
- **Acknowledgment of quoted sources:** Authors need to always cite the publications that influenced in determining the nature of the work reported. Information obtained privately, such as in a conversation, correspondence, or discussion with a third party, should not be used or reported without the explicit written permission of the source.
- **Author of the articles:** Authorship should always be limited to those authors who have made a significant contribution to the conception, design, execution, or interpretation of the written word, so all persons who have

made significant contributions should be listed as co-authors. If other people have contributed substantive and minor aspects to the writing of the article, they should be acknowledged or listed as contributors. The corresponding author needs to declare and ensure that all appropriate co-authors and no inappropriate co-authors are included in the paper, and that all co-authors have seen and approved the final version of the paper and agreed to its submission for publication.

- **Disclosure of conflicts of interest:** All authors are required to disclose in their paper any conflict of interest, whether financial or otherwise, that may influence the results or interpretation of their manuscript. All sources of financial support for the project must be disclosed.
- **Fundamental errors in already published work:** When an author discovers a significant error or inaccuracy in his or her published work, it is the author's obligation to immediately notify the editor of the journal or publisher and to cooperate with the editor to retract or correct the discovered error.

ISSN: 2595-6825

Desenvolvimento e caracterização de biofilmes à base de biomassa de banana verde

Development and characterization of biofilms based on green banana biomass

DOI:10.34119/bjhrv4n1-230

Recebimento dos originais: 11/01/2020

Aceitação para publicação: 11/02/2021

Luana Volkmann Siqueira

Mestranda em Ciências Farmacêuticas
Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Unioeste
Endereço: R. Universitária, 1619 - Universitário, Cascavel - PR
E-mail: Luanna.xp@hotmail.com

Maira Gabriela Paetzold

Mestranda em Ciências Farmacêuticas
Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Unioeste
Endereço: R. Universitária, 1619 - Universitário, Cascavel - PR
E-mail: mggp48@hotmail.com

Luciana Oliveira de Fariña

Doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela Universidade Federal de Viçosa
Docente Associada C na Universidade Estadual do Oeste do Paraná - Unioeste
Endereço: R. Universitária, 1619 - Universitário, Cascavel - PR
E-mail: luleal32@yahoo.com.br

RESUMO

A banana é uma das frutas mais consumidas no mundo tanto na sua forma in natura quanto processada, quando ainda verde é fonte de vitaminas do complexo B (B1, B6), além de apresentar alta quantidade de amido resistente (AR), que comporta-se semelhante às fibras dietéticas no trato gastrointestinal. O presente estudo teve por objetivo produzir filmes biodegradáveis – pela técnica de evaporação de solvente “casting” – utilizando a polpa de biomassa de banana verde nas concentrações de 40% e 30%, acrescidos do plastificante propilenoglicol nas proporções de 10, 15 e 25% e avaliar suas propriedades. Os filmes foram avaliados quanto às propriedades macroscópicas, de espessura e taxa de transmissão de vapor d’água. A matéria-prima e o agente plastificante apresentaram boa processabilidade e permitiram a produção de filmes pelo processo de “casting” em escala piloto com características compatíveis aos dos filmes biodegradáveis já conhecidos, caracterizando a biomassa como um excelente material para a formulação de biofilmes, por ser de fonte renovável e baixo custo. A adição de propilenoglicol na faixa de 10 a 25% alterou as propriedades dos filmes, aprimorando a flexibilidade e as características macroscópicas. O maior teor de plastificante e a maior concentração de biomassa elevaram a transmissão de vapor de água (TVA), devido a maior quantidade de amido

presente nas dispersões. A menor TVA (130,10 g/m²/24h) foi obtida com menor teor de Biomassa (30%) e 10% de propilenoglicol. Considerando-se os fatores desejáveis: baixa TVA, resistência mecânica, boa flexibilidade, transparência e menor espessura, os filmes na concentração de 30% de biomassa foram os que melhor atenderam a estas características.

Palavras-chave: Filmes comestíveis, Musa, Plásticos biodegradáveis.

ABSTRACT

The banana is one of the most consumed fruits in the world both in its fresh and processed form, when still green it is a source of B vitamins (B1, B6), in addition to having a high amount of resistant starch (AR), which behaves similar to dietary fibers in the gastrointestinal tract. The present study aimed to produce biodegradable films - by the technique of solvent evaporation "casting" - using the pulp of green banana biomass in concentrations of 40% and 30%, plus the plasticizer propylene glycol in the proportions of 10, 15 and 25% and evaluate their properties. The films were evaluated for macroscopic properties, thickness and water vapor transmission rate. The raw material and the plasticizer presented good processability and allowed the production of films by the process of "casting" on a pilot scale with characteristics compatible with those of the already known biodegradable films, characterizing biomass as an excellent material for the formulation of biofilms, for be of renewable source and low cost. The addition of propylene glycol in the range of 10 to 25% changed the properties of the films, improving flexibility and macroscopic characteristics. The higher content of plasticizer and the higher concentration of biomass increased the transmission of water vapor (TVA), due to the greater amount of starch present in the dispersions. The lowest TVA (130.10 g / m² / 24h) was obtained with the lowest content of Biomass (30%) and 10% propylene glycol. Considering the desirable factors: low TVA, mechanical resistance, good flexibility, transparency and less thickness, films with a concentration of 30% biomass were the ones that best met these characteristics.

Keywords: Edible films, muse, biodegradable plastics.

1 INTRODUÇÃO

A bananicultura constitui um dos principais agronegócios internacionais, visto que a banana é a fruta mais consumida no mundo em sua forma fresca, *in natura*. O Brasil está na quarta colocação como produtor mundial de banana, produzindo 7,1 milhões de toneladas, destas praticamente todo seu montante é destinado ao consumo interno, o que o torna o primeiro consumidor mundial da fruta (EMBRAPA, 2012).

Ainda que o Brasil seja um dos maiores produtores de banana, a sua participação no mercado internacional é praticamente insignificante, o que ocorre por diversos motivos, entre eles a baixa qualidade na produção e os danos após a colheita. Essa situação está relacionada a fatores fisiológicos, físicos e microbiológicos (LOPES, 2018). As perdas na cadeia produtiva da banana alcançam uma alíquota de até 60%, devido algumas condições como técnicas inadequadas de colheita, armazenagem dos

frutos, tipo de transporte, falhas na distribuição e dificuldade de inserção no mercado (EMBRAPA, 2012).

A boa receptividade da banana é proveniente dos aspectos sensoriais e valor nutricional, consistindo em fonte energética, devido à presença de carboidratos, minerais e vitaminas. Quando ainda verde é uma fruta abundante em amido resistente (AR), fração de amido que não fornece glicose livre para o organismo e resiste à digestão enzimática no intestino delgado, se assemelhando assim às fibras dietéticas, podendo ser utilizadas como prebióticos (MATSUURA et al. 2004).

A microbiota do cólon humano é composta por uma grande variedade de microrganismos, estabelecendo mais de 500 espécies de bactérias, em sua maioria produtoras de enzimas redutoras e hidrolíticas, o que garante a susceptibilidade para determinados substratos, inclusive o amido resistente, garantindo assim a degradação específica do filme, independente das variações de pH que possam existir entre diferentes indivíduos. (SANTOS, 2010).

O amido é um polímero pH dependente e altamente hidrofílico que possui propriedades de dissolução em ambiente ligeiramente neutro (pH = 6,8) expresso em condições de pH fisiológico, encontrados principalmente na porção distal do intestino delgado e parte proximal do intestino grosso de pessoas saudáveis (BECKERT, 2000).

1.1 BANANA VERDE

A banana (*Musa spp*) é originária do extremo oriente e pertence à família botânica *Musaceae*. A planta é típica de clima tropical e para o seu bom desenvolvimento e produção é necessário calor constante e precipitações bem distribuídas (ROBINSON; SAÚCO, 2010). Quando ainda verde é rica em vitaminas do complexo B (B1, B6) e vitamina C, possui flavonoides e betacarotenos, além de minerais como cálcio, enxofre, fósforo, potássio e zinco, e alta quantidade de amido resistente (RANIERI; DELANI, 2014).

A polpa da banana verde é destituída de sabor e caracterizada por forte adstringência, provocada pela grande quantidade de compostos fenólicos solúveis, principalmente taninos. Ao passo que ocorre o amadurecimento da fruta, esses compostos passam por uma polimerização, suavizando a adstringência e aumentando sua doçura (BORGES et al., 2009).

Uma das formas de se utilizar a fruta verde é produzindo uma biomassa através da cocção das bananas juntamente com as cascas. A polpa da fruta cozida é constituída por uma pasta que age como excelente espessante e não altera o sabor do alimento, mas

enriquece-o com minerais, vitaminas e fibras, e, além disso, é fonte de amido resistente (DE MARIA BORGES et al., 2009).

Ciente do grande desperdício da fruta pós-colheita, uma das formas de minimizar essas perdas de banana seria consumir o fruto ainda verde, na forma de biomassa ou farinha. A produção da biomassa da banana verde ou da farinha permite seu emprego em vários tipos de alimentos como pães, massas, maionese, patês e outros produtos, melhorando a qualidade nutricional e proporcionando efeitos fisiológicos ao organismo (DEVITTE; DINON, 2011).

Alguns estudos recentes demonstraram que o fruto da banana verde possui ação fisiológica, atuando na proteção da mucosa gástrica por possuir grande quantidade de flavonoides e possuir porção significativa de amido resistente, agindo como fibra alimentar melhorando o trânsito intestinal e colaborando na formação da microbiota local (RAMOS et al., 2009).

Como fonte energética encontra-se em quarto lugar, ficando atrás do milho, trigo e arroz. Isso ocorre em consequência da sua elevada concentração de amido, gerando interesse na utilização como fonte alimentar, sendo atrativa para maioria das indústrias (SANTOS et al., 2010).

1.2 AMIDO RESISTENTE

O amido resistente (AR) é um polímero natural proveniente de várias fontes, incluindo a banana quando ainda verde, podendo ser obtido por um processo de produção de biomassa. Sua eficácia reside no fato de ser de natureza específica que inibe a ação das enzimas hidrolíticas gastrintestinais, permitindo-lhe chegar ao intestino, onde são fermentados pela microbiota intestinal endógena, apresentando-se como um prebiótico (SOLABIA, 2014).

O AR ao ser fermentado no cólon pela microbiota bacteriana produz principalmente gás e ácidos graxos de cadeia curta e devido à essa característica, os efeitos de AR são comparáveis aos de fibra dietética (CHAMP; FAISANT, 1996). O fato de não ser digerido no processo digestivo proporciona algumas ações benéficas no organismo, dentre elas: fermentação colônica pelas bifidobactérias, ações sobre a resposta glicêmica; produção de ácidos graxos de cadeia curta (AGCC); aumento do bolo fecal; e prevenção do câncer de cólon intestinal (PEREIRA, 2007).

Esse amido pode ser classificado em quatro tipos: AR1, AR2, AR3 e AR4. O tipo AR1 é encontrado em grãos e sementes que são pouco trituráveis devido à presença de

paredes celulares rígidas, e por isso não é acessível fisicamente. O tipo AR2 encontra-se em batatas cruas e bananas verdes. Já o AR3 aparece como consequência do processo de retrogradação do amido, comum em alimentos processados, cozidos e resfriados. E o tipo AR4 constitui-se do amido quimicamente modificado (FONTINHA; CORREIA, 2010; SALGADO et al., 2005).

O amido resistente é definido fisiologicamente como a soma do amido e o produto de sua degradação, não sendo digerido no intestino delgado de indivíduos saudáveis. Deste modo, essa fração do amido apresenta comportamento semelhante ao da fibra alimentar (LOBO; SILVA, 2003; RAMOS et al., 2009).

De acordo com MOLAVI e colaboradores (2018), certas modificações químicas deixam o amido mais resistente à entrada e retenção de água, o que pode provocar modificações e fazer com que necessite uma maior energia para que ocorra a formação da pasta utilizada na produção de biofilmes.

1.3 AMIDO RESISTENTE COMO PREBIÓTICO

Os prebióticos são substâncias não digeríveis que servem de alimento para as bactérias que povoam o intestino (probióticos), favorecendo o desenvolvimento e a multiplicação desses microorganismos benéficos. Esse aumento das colônias gera efeitos positivos para a saúde, pois ampliam a produção de compostos que inibem microrganismos patogênicos (OZOGUL; HAMED, 2016).

Os prebióticos são utilizados como substrato da microbiota intestinal e atuam no crescimento, estímulo e aumento da atividade metabólica da mesma, assim como na manutenção e equilíbrio do biosistema intestinal. Também contribuem para aumentar o aproveitamento da dieta e auxiliam na redução da excreção de nitrogênio ao ambiente (RODRIGUES et al., 2013; SAAD, 2006).

O Amido Resistente é um dos principais componentes da banana verde e possui características semelhantes às fibras insolúveis (prebióticos), como a capacidade de aumentar o bolo fecal, estimulando o melhor funcionamento do intestino, além de atuar na prevenção da constipação intestinal (NAVARRO et al., 2018).

Devido à grande quantidade de amido resistente presente na biomassa de banana verde, o seu uso no desenvolvimento de novos produtos apresenta-se como um fator positivo e de interesse na prevenção de doenças intestinais, pois o mesmo pode ser fermentado pelas bactérias intestinais, que secretam ácidos graxos de cadeia curta e vitaminas essenciais para o estímulo de seu desenvolvimento. (PEREIRA, 2007).

Além disso, servem de substrato para as bactérias probióticas, que possibilitam o aumento da colonização da microbiota intestinal, e por inibirem os microrganismos patogênicos conferem imunidade ao intestino, auxiliando na prevenção de infecções intestinais e inflamatórias como a diverticulite e até mesmo o câncer intestinal (RANIERI; DELANI, 2014).

1.4 FILMES BIODEGRADÁVEIS

Os polímeros sintéticos foram propostos inicialmente devido à durabilidade e resistência à biodegradação. No entanto, o impacto ambiental provocado pelo uso de materiais sintéticos na forma de plásticos vem estimulando o desenvolvimento de embalagens biodegradáveis à base de fontes naturais renováveis. Dessa forma, o uso de polímeros biodegradáveis e biomateriais mostra-se como possível solução para as consequências ambientais causadas pelo descarte inadequado dos polímeros e plásticos convencionais (ENRÍQUEZ et al., 2012; ROCHA et al., 2014).

Filmes elaborados por polímeros de fonte vegetal, especialmente de amido, são quebradiços e pouco flexíveis, tornando necessária a adição de plastificante na matriz polimérica com o intuito de melhorar suas características, pois os plastificantes reduzem as interações entre as moléculas adjuntas, aumentando assim a flexibilidade do filme (COUPLAND et al., 2000).

Para a aplicação de um plastificante é de extrema importância que haja compatibilidade adequada com o polímero utilizado e, ainda, uma definição da proporcionalidade entre os componentes, a fim de adequar a composição final à aplicação desejada (MADALENO et al., 2009).

O uso de plastificantes permite uma melhor coalescência, característica que é atribuída à capacidade dos plastificantes em reduzir a temperatura de transição vítrea (T_g) (temperatura abaixo da qual um polímero amorfo se torna duro e frágil e acima da qual o mesmo polímero é macio), dos polímeros a eles associados, o que aumenta a mobilidade das cadeias poliméricas, melhorando a propriedade mecânica dos filmes (ROCHA et al., 2014).

A utilização de polissacarídeos como o amido no revestimento de produtos farmacêuticos constitui uma estratégia interessante para liberação específica de fármacos no cólon, com base nas mudanças de pH ao longo do trato gastrointestinal (BECKERT, 2000; GUPTA et al., 2001).

A associação com polímeros sintéticos pode ser uma alternativa para possíveis limitações na aplicação, a fim de manter as propriedades filmogênicas garantindo a integridade da película, assim como propor um sistema de liberação específico eficaz. (GUPTA et al., 2001). Dessa forma, o objetivo desse estudo é apresentar um método para elaboração de biofilmes preparados a partir da mistura de amido resistente de banana verde com um agente plastificante.

2 METODOLOGIA

2.1 ESCOLHA DO SUBGRUPO DE FRUTOS DO GÊNERO *MUSA* SP.

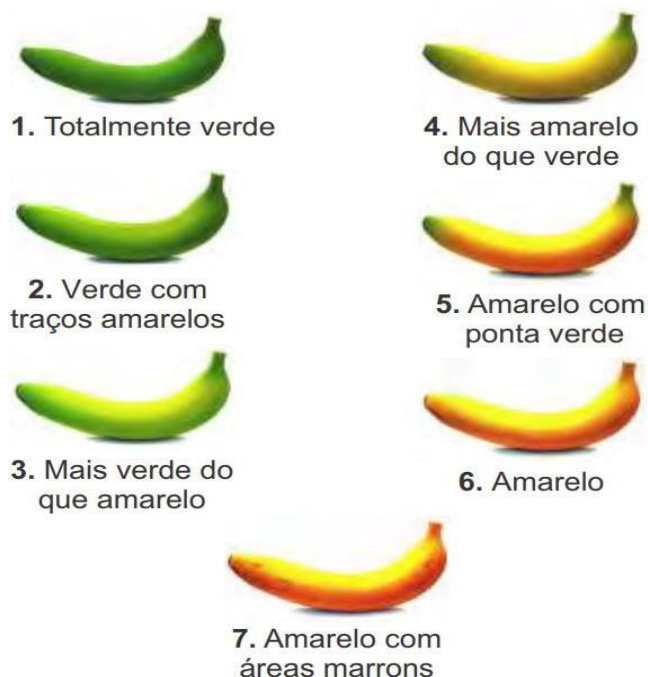
Os cachos de bananas verde foram doados conforme produção local de uma propriedade rural com prática de agricultura familiar orgânica denominada Sítio São Sebastião, no município de Boa Vista da Aparecida, Paraná, Brasil, o que permitiu a coleta de duas variedades no período, banana prata e banana maçã.

Algumas adequações foram necessárias devido à condição climática do período de realização da pesquisa, que resultou em danos causados às plantações, provocados por uma geada que acometeu a região de cultivo. Assim sendo, para dar continuidade à pesquisa foi necessária a realização de compras de bananas não classificadas em comércios de produtores rurais da cidade de Cascavel, enquanto a propriedade fornecedora recuperava sua plantação.

2.1.1 Seleção dos frutos e determinação do grau de maturação

O grau de maturação da banana foi avaliado conforme proposto na escala de maturação de Von Loesecke (Figura 1), no qual foi possível determinar e escolher o grau totalmente verde, comparando a coloração do fruto com a escala por semelhança.

Figura 1: Escala de Maturação de Von Loesecke (1950)



Fonte: CEAGESP, 2006

2.2 PREPARO DAS BIOMASSAS

As bananas foram limpas com água corrente, detergente neutro, esponja e deixadas em hipoclorito de sódio 10% por dez minutos. Logo em seguida foram cozidas por 10 minutos com água destilada em panela de pressão doméstica.

Após o cozimento as cascas foram retiradas e a polpa processada ainda quente em liquidificador caseiro, formando uma pasta homogênea. Essa pasta foi diluída, formando soluções-mãe em diferentes concentrações (40 e 30% m/v).

2.3 ENSAIOS PRELIMINARES

A partir da obtenção das biomassas, foram realizados ensaios preliminares pelo método de tentativa e erro, para elaboração de filmes com qualidades mecânicas e sensoriais adequadas conforme RIGO (2006), sendo elas: continuidade - filme sem rupturas após secagem; homogeneidade - filme sem a presença de partículas insolúveis ou bolhas visíveis à olho nu; e maneabilidade - manuseio do filme sem riscos de ruptura.

2.4 PREPARO DOS BIOFILMES

Os biofilmes foram preparados a partir das concentrações de 40 e 30% (m/v) da Solução-Mãe (SM) de Biomassa (BM) de banana verde contendo amido resistente, utilizando Propilenoglicol (PG) como plastificante no volume de 10, 15 e 25%, formando uma dispersão com concentração final de 100% (v/v), sendo usadas diferentes proporções

de biomassa/plastificante, constituindo os quatro tratamentos avaliados conforme Tabela 1.

Tabela 1: Proporção da composição dos biofilmes de biomassa de banana verde adicionados de propilenoglicol

Tratamentos	Propilenoglicol % (PG)	Biomassa % (BM)
1	-	100
2	10	90
3	15	85
4	25	75

Os filmes poliméricos foram preparados a partir de dispersões aquosas pelo método de casting, onde as dispersões de biomassa passaram por agitação magnética com aquecimento a 90°C durante 10 minutos em agitador magnético (Fisatom 752A), acrescentando o propilenoglicol lentamente. As soluções foram em seguida espalhadas sobre as placas de Teflon® com 10cm de diâmetro e levadas à estufa de secagem e esterilização (Orion-520) a 50°C para a evaporação do solvente por 12-24h, resultando na formação do filme desejado (CAVALCANTI et al., 2002; SANTOS, 2010; PELISSARI et al., 2012).

2.5 AVALIAÇÃO MACROSCÓPICA DOS FILMES OBTIDOS

Os filmes obtidos foram inspecionados visualmente para avaliação das características macroscópicas como presença de bolhas de ar e rachaduras, além da análise de flexibilidade, homogeneidade e transparência, classificando-os qualitativamente (em cruzes), segundo os parâmetros observados. As películas selecionadas foram armazenadas em dessecadores contendo sílica-gel até o momento de utilização.

2.6 DETERMINAÇÃO DA ESPESSURA DOS FILMES

A espessura pode influenciar as propriedades dos filmes, como a capacidade de barreira a gases e umidade e a resistência mecânica do material (HENRIQUE; CEREDA; SARMENTO, 2008). A espessura dos filmes foi determinada utilizando-se um micrômetro digital (King Tools), com escala de 0-150mm e precisão de 0,001mm, em 5 pontos diferentes e equidistantes, em duplicata, considerando-se a espessura como a média entre as 5 leituras, seguindo a ASTM F2251 – 13 (ASTM, 2018).

2.7 AVALIAÇÃO DA TRANSMISSÃO DE VAPOR D'ÁGUA (TVA)

As avaliações da TVA foram realizadas em duplicata, adicionando no interior de cada cúpula de permeabilidade (Figura 2) 10mL de água destilada e em cada uma de suas aberturas foi fixado um filme contendo área de 10 cm².

O conjunto (cúpula + água destilada + filme) foram pesados no tempo zero, em balança analítica (Bioprecisa FA-2104N) e armazenados à temperatura ambiente em dessecador contendo sílica gel. Após os intervalos de tempo de 24, 48 e 72 horas as cúpulas foram novamente pesadas. Os resultados registrados foram utilizados para calcular a taxa de TVA dos filmes, conforme equação abaixo (OLIVEIRA et al., 2011; SANTOS et al., 2013).

Equação 1: Cálculo da transmissão de vapor d'água.

$$TVA = \frac{g \ 24}{t \ a}$$

Onde g é a perda de peso (gramas), t é tempo (horas) durante o qual o peso foi perdido e a representa a área do filme (m²).

Figura 2: Cúpulas de permeabilidade utilizadas no estudo



Fonte: ZANIN, et al., 2016.

2.8 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Para verificar a melhor interação entre a biomassa e o plastificante foram realizados ensaios somente com a banana da variedade Prata, utilizando 2 réplicas para cada teste. Foi aplicado o teste ANOVA fator único, seguido do teste Newman-Keuls em caso de significância estatística ($p < 0,05$), para avaliar o melhor filme formado, a partir de

diferentes concentrações. Todas as análises foram realizadas no programa estatístico Statistics® versão 7, assumindo um nível de significância de 5%.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 AVALIAÇÃO MACROSCÓPICA DOS FILMES OBTIDOS

Com o auxílio de uma lupa foi possível categorizar visualmente o melhor filme, sem presença de bolhas e/ou rachaduras, transparente, homogêneo e com uma boa flexibilidade, como demonstrado na Tabela 2.

Os filmes na proporção 100:00 de Biomassa:Propilenoglicol, em ambas as concentrações de soluções-mãe (30 e 40%), foram excluídos dos testes a partir desta análise, pois apresentaram-se muito quebradiços e inflexíveis, impossibilitando sua remoção da placa de teflon®.

Diante disso optou-se pela utilização dos filmes obtidos a partir das formulações com adição do agente plastificante (propilenoglicol) nas análises subsequentes, totalizando 6 tratamentos (Figura 3).

Tabela 2: Resultado da avaliação macroscópica dos Biofilmes obtidos

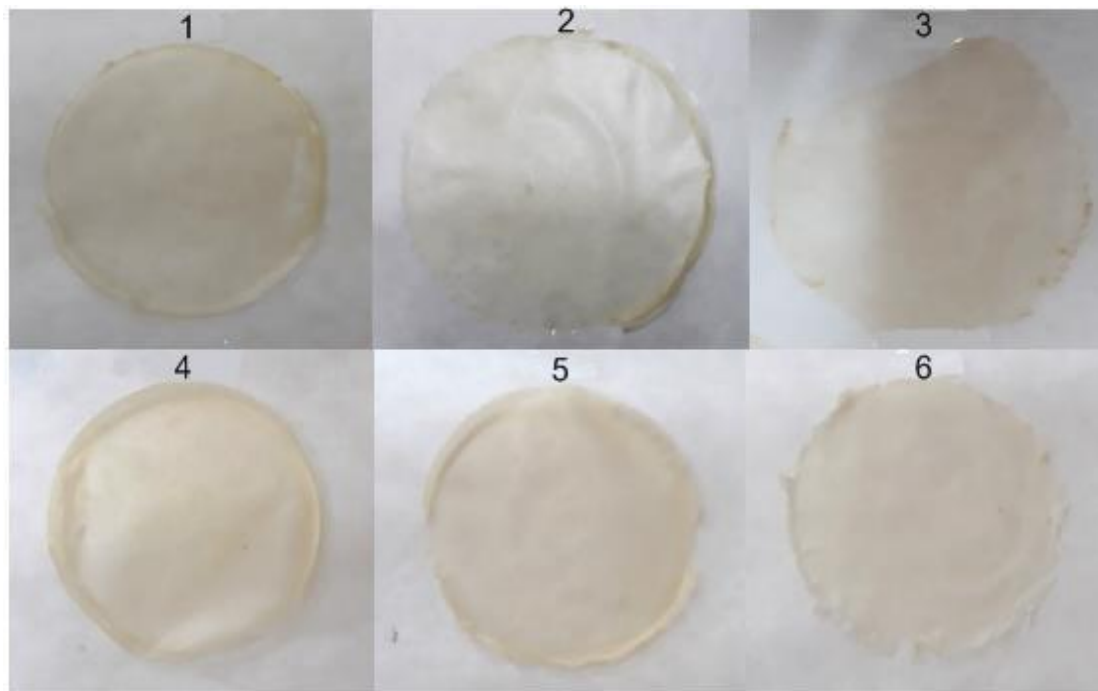
%SM	Tratam	BM:PG	Bolhas	Flex	Homog	Rachad	Transp
	1	90:10	0	++	+++	++	+++
30%	2	85:15	0	++	+++	0	+++
	3	75:25	+	++	+++	+	+++
	4	90:10	0	++	+++	0	++
40%	5	85:15	0	++	+++	0	++
	6	75:25	0	++	+++	+	+

*Flex = flexibilidade; Homog = homogeneidade; Rachad = rachaduras; Transp = transparência; Trat = tratamento

**0, sem mudanças observadas; +, baixa presença; ++, presença moderada; +++, presença alta.

%SM – % de Solução-Mãe; BM:PG – Biomassa:Propilenoglicol.

Figura 3: Filmes produzidos com diferentes proporções de Biomassa/Plastificante



Fonte: Luana Volkmann Siqueira

Os resultados evidenciados acima permitiram classificar o Tratamento 2 (30% SM – 85:15 BM:PG) como sendo a melhor formulação, o qual apresentou a melhor combinação entre os aspectos analisados: grande transparência, homogeneidade, ausência de bolhas e rachaduras e boa flexibilidade.

Em estudo com filmes à base de ácido hialurônico para aplicação como revestimento de comprimidos (ZANIN et al. 2017), os resultados obtidos para proporções 90:10 e 85:15 de (Poli vinil acetato, ácido hialurônico:propilenoglicol) foram equivalentes a todos os filmes do presente estudo, em relação aos aspectos flexibilidade e homogeneidade. Mas quando comparado com os filmes na concentração 30% (SM), demonstrou menor transparência, indicando que a formulação com biomassa de banana verde é de interesse para o desenvolvimento de películas que necessitam maior transparência.

3.2 DETERMINAÇÃO DA ESPESSURA DOS FILMES

Após a medida de cinco pontos dos filmes em duplicata foi possível observar que o filme na concentração 30% SM e na proporção 75:25 (AR:PG) demonstrou a menor espessura, sendo considerado o melhor filme para este teste. Enquanto o filme na concentração 30% SM e proporção 90:10 (AR:PG) apresentou a maior espessura entre os filmes analisados como apresentado na Tabela 3.

Tabela 3: Médias das espessuras dos filmes para cada tratamento avaliado

Tratamento	Espessura (mm)
1	0,114
2	0,087
3	0,077
4	0,087
5	0,091
6	0,079

Esse teste demonstrou que mesmo com o aumento na concentração de amido presente na biomassa de banana verde, não houve aumento significativo na espessura dos filmes.

A avaliação estatística dos resultados da determinação das espessuras indicou que somente o Tratamento 1 foi estatisticamente diferente dos demais ($p \leq 0,05$), confirmado pelo teste de post-hoc de Newman-Keuls. Os Tratamentos 2, 4 e 5 não apresentaram diferença significativa e os testes 3 e 6 são iguais estatisticamente. De acordo com os resultados obtidos é possível observar que a técnica de “*casting*” permitiu um bom controle da espessura, indicando que as diferenças foram observadas apenas pela composição dos filmes.

As medidas apresentadas demonstram que a concentração de biomassa e a proporção com o agente plastificante nas formulações utilizadas não são as únicas variáveis determinantes em relação ao parâmetro espessura. O amido pode sofrer modificações ao longo do amadurecimento da fruta, além de poder sofrer retrogradação, que ocorre após resfriamento e provoca reaproximação das moléculas; o que pode dificultar a interação entre os componentes, causando assim uma heterogeneidade na formação do filme, modificando a espessura.

Em estudo precedente com biofilmes obtidos a partir de amido de ervilha (*Pisum sativum*) associado à goma xantana e glicerol (MATTA JUNIOR, 2009), os resultados das espessuras dos filmes variaram de 0,055mm até 0,098mm, sendo que a menor espessura foi da formulação com menor quantidade de amido (3%), enquanto o tratamento com 5% de amido demonstrou a maior. Esses resultados diferem dos obtidos no presente estudo, indicando que o tratamento 1 (3% de amido, sem glicerol) apresenta melhor de espessura para o desenvolvimento de biofilmes.

Paulino (2016) realizou um estudo sobre a caracterização de filmes de amido de pinhão e observou que o filme com maior espessura apresentou valores 0,11mm, com maior teor de amido; e a menor espessura encontrada foi 0,07mm, observada no

tratamento com maior quantidade de glicerol. Os resultados obtidos indicam que os valores de espessura podem estar diretamente relacionados com a quantidade de amido presente na formulação.

Ao avaliar filmes biodegradáveis utilizando amido de caroço de abacate (*persea americana mill*) e bagaço de mandioca (*manihot esculenta crantz*), Brito (2019) notou que a resistência dos filmes demonstrou ser diretamente proporcional às suas espessuras, onde o filme com espessura de 0,64mm apresentou maior resistência à tração. Observou também que os filmes mais resistentes mecanicamente foram aqueles obtidos a partir do amido como única fonte termoplástica do material, e dentre eles a amostra feita a partir de amido de caroço de abacate por extração ácida foi a que apresentou maior valor de resistência.

3.3 AVALIAÇÃO DA TRANSMISSÃO DE VAPOR D'ÁGUA (TVA)

Após o período de 72 horas os filmes começaram a apresentar sinais de deterioração e decomposição, a coloração amarelada se modificou para verde, com o aparecimento de focos de fungos, indicando uma possível relação da glicose presente na biomassa, bem como a quantidade de amido. Por esse motivo o teste foi interrompido em um tempo menor que o predeterminado (120h).

Os resultados obtidos foram calculados por meio da equação 1 e suas médias tabeladas, assim como a média da perda de massa (Tabela 4).

Tabela 4: Valores de TVA das amostras de filmes isolados contendo AR e perda de massa após 72h

Tratamento	TVA (g/m²/24h)	Massa perdida (g/ 72h)
1	130,10	3,919
2	127,25	3,819
3	165,05	4,954
4	152,35	4,540
5	200,60	6,018
6	204,80	6,145

A avaliação estatística indicou que há diferença significativa ($p < 0,05$) para as análises de TVA e massa perdida, comparando 40 e 30% e ainda nas diferentes proporções de BM:PG, no qual o teste de post-hoc mostrou que o tratamento 4 e 3 diferem

de todos os outros. Já os tratamentos 1 e 2 são iguais estatisticamente e o tratamento 5 é igual ao 6 e diferente dos demais.

Matta Junior (2009), ao avaliar biofilmes de amido de ervilha (*Pisum sativum*), afirma que a taxa de permeabilidade foi influenciada pela concentração de amido na solução filmogênica, onde as menores concentrações de amido como (3%) geraram filmes com maior taxa de permeabilidade e os filmes com maior concentração de amido (5%) apresentaram os menores valores.

Os resultados encontrados diferem dos encontrados por Zanin e colaboradores (2017), em estudo com filmes à base de ácido hialurônico, com teste de transmissão de vapor d'água em 120 horas. Nesse estudo a maior TVA obtida foi de 176,45 g/m²/24h e a maior quantidade de perda de massa foi de 8,8227g/120h. Tal divergência pode ocorrer devido à alta higroscopicidade do amido e à presença de um polímero sintético (poli vinil acetato) nos filmes à base de ácido hialurônico.

4 CONCLUSÃO

Os filmes apresentaram aspecto visual homogêneo, espessura uniforme e boa flexibilidade. O filme de interesse, considerando as características supracitadas, foi o do tratamento 2, constituído de uma dispersão na concentração de 30% de Solução-Mãe e proporção de 85:15 de Biomassa:Propilenoglicol.

A biomassa de banana verde apresentou-se como um bom material para a produção de novos produtos. Entretanto, são necessários estudos mais aprofundados sobre a composição da biomassa, assim como avaliações específicas sobre o amido resistente, para então desenvolver um produto ideal e com características aperfeiçoadas.

REFERÊNCIAS

AI, Yongfeng; JANE, Jay-lin. Gelatinization and rheological properties of starch. **Starch-Stärke**, v. 67, n. 3-4, p. 213-224, 2015.

AIDER, Mohammed. Chitosan application for active bio-based films production and potential in the food industry. **LWT-food science and technology**, v. 43, n. 6, p. 837-842, 2010.

ALTAN, A.; MCCARTHY, K.L.; MASKAN, M. Effect of Extrusion Cooking on Functional Properties and in vitro Starch Digestibility of Barley-Based Extrudates from Fruit and Vegetable By-Products. **Journal of Food Science** Vol. 74, Nr. 2, 2009.

BLANCHON, S. et al. Permeability of progesterone and a synthetic progestin through methacrylic films. **International Journal of Pharmaceutics**, Département de Galénique, Romainville., 13 Maio 1991. 1-10.

BRITO, Jéssica Hoffmann. Produção e caracterização estrutural, morfológica e térmica de filmes biodegradáveis utilizando amido de caroço de abacate (*Persea americana* Mill) e bagaço de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) 2019.

CAVALCANTI, A.; BARONI, S.; ROSINA, C. R. Avaliação das propriedades de intumescimento e permeabilidade de filmes isolados de polimetacrilato contendo polissacarídeo da raiz de Lótus (*Nelumbo nucifera*).. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, Maringá, 2004. 425-431.

CAVALCANTI, Osvaldo Albuquerque et al. Polysaccharides as excipients for colon-specific coatings. Permeability and swelling properties of casted films. **Drug Development and Industrial Pharmacy**, v. 28, n. 2, p. 157-164, 2002.

COUPLAND, John N. Et al. Modeling the effect of glycerol on the moisture sorption behavior of whey protein edible films. **Journal of food engineering**, v. 43, n. 1, p. 25-30, 2000.

DE MARIA BORGES, Antonia; PEREIRA, Joelma; DE LUCENA, Eliseu Marlônio Pereira. Caracterização da farinha de banana verde. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 29, n. 2, p. 333-339, 2009.

DEVITTE, Serenita Lucia; DINON, Sandra. **Mortadela adicionada de fibras e com substituição parcial da gordura por carragena e pectina**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

DAL MORO, Janaína; DA ROSA, Claudia Severo; HOELZEL, Solange Cristina da Silva M. Composição centesimal e ação antioxidante do farelo de arroz e seus benefícios à saúde. **Disciplinarum Scientia| Saúde**, v. 5, n. 1, p. 33-44, 2016.

ENRÍQUEZ C, MARIO; VELASCO M, REINALDO; ORTIZ G, VICENTE. Composición y procesamiento de películas biodegradables basadas en almidón. **Biotecnología en el sector Agropecuario y Agroindustrial**, v. 10, n. 1, 2012.

FONTINHA, C.; CORREIA, Paula. Amido resistente em diversas fontes não convencionais de amido. **Millenium**, p. 67-81, 2010.

tor Gustavo Santos; CAVALCANTI, Osvaldo Albuquerque. Influência da adição da goma arábica em filmes isolados de polímero acrílico: estudo das propriedades de intumescimento e de permeabilidade. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v. 39, n. 4, p. 440-448, 2003.

GUPTA, Vishal K.; BECKERT, Thomas E.; PRICE, James C. A novel pH-and time-based multi-unit potential colonic drug delivery system. I. Development. **International journal of pharmaceutics**, v. 213, n. 1-2, p. 83-91, 2001.

HENRIQUE, Celina Maria; CEREDA, Marney Pascoli; SARMENTO, Silene Bruder Silveira. Características físicas de filmes biodegradáveis produzidos a partir de amidos modificados de mandioca. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n. 1, p. 231-240, 2008.

JOSHI, Matina et al. Physicochemical and functional characteristics of lentil starch. **Carbohydrate polymers**, v. 92, n. 2, p. 1484-1496, 2013.

LARSEN, Jennifer A.; FARCAS, Amy. Nutrition of aging dogs. **Veterinary Clinics: Small Animal Practice**, v. 44, n. 4, p. 741-759, 2014.

LEON, Tiane Machado de. Elaboração e aceitabilidade de receitas com biomassa de banana verde. 2012.

LIMA, Marcelo Bezerra; DE OLIVEIRA, Sebastião; FERREIRA, Silva Cláudia Fortes. O produtor pergunta, a Embrapa responde. **Embrapa, Brasília**, 2012.

LOBO, Alexandre Rodrigues; SILVA, GM de L. Amido resistente e suas propriedades físico-químicas. **Revista de Nutrição**, v. 16, n. 2, p. 219-226, 2003.

LOPES, C. B. **DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO NO CULTIVO DA BANANEIRA PRATA ANÃ EM MISSÃO VELHA – CE**. UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS. MISSÃO VELHA – CE. 2018.

LUTZ, Adolfo. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. **Métodos químicos e físicos para análise de alimentos**, v. 2, 1985.

MADALENO, Emerson et al. Estudo do uso de plastificantes de fontes renovável em composições de PVC. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 19, n. 4, p. 263-270, 2009.

MATSUURA, Fernando César Akira Urbano; DA COSTA, Jane Iara Pereira; FOLEGATTI, MI da S. Marketing de banana: preferências do consumidor quanto aos atributos de qualidade dos frutos. **Embrapa Mandioca e Fruticultura-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2004.

MATTA JUNIOR, Manoel Divino da. **Caracterização de biofilmes obtidos a partir de amido de ervilha (*Pisum sativum*) associado à goma xantana e glicerol**. 2009. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

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

NAVARRO, Stephanie Dynczuki; DE OLIVEIRA MAURO, Mariana; OLIVEIRA, Rodrigo Juliano. O prebiótico amido resistente e suas propriedades funcionais. **Revista Terra & Cultura: Cadernos de Ensino e Pesquisa**, v. 28, n. 54, p. 45-50, 2018.

NUGENT, S. G. et al. Intestinal luminal pH in inflammatory bowel disease: possible determinants and implications for therapy with aminosalicylates and other drugs. **Gut**, v. 48, n. 4, p. 571-577, 2001.

PINEDA, A. G.; HECHENLEITNER, A. Characterization of ethylcellulose films containing natural polysaccharides by thermal analysis and FTIR spectroscopy. **Acta Farm. Bonaerense**, v. 23, n. 1, p. 53-7, 2004.

OLIVEIRA, Luciana S. et al. Free films containing acrylic polymer and B-cyclodextrin as potential material for colonic delivery: permeability, swelling property, and physicochemical analyses. **Latin American Journal of Pharmacy**, v. 30, 2011.

PAULINO, Jéssica Aparecida. **Caracterização de filmes de amido de pinhão com atividade antimicrobiana**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

PELISSARI, Franciele Maria et al. Comparative study on the properties of flour and starch films of plantain bananas (*Musa paradisiaca*). **Food Hydrocolloids**, v. 30, n. 2, p. 681-690, 2013.

PELISSARI, Franciele M. et al. Constrained mixture design applied to the development of cassava starch–chitosan blown films. **Journal of Food Engineering**, v. 108, n. 2, p. 262-267, 2012.

PEREIRA, Karla Dellanoce. Amido resistente, a última geração no controle de energia e digestão saudável. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 1, p. 88-92, 2007.

PEREIRA, Karla Dellanoce. Amido resistente, a última geração no controle de energia e digestão saudável. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 1, p. 88-92, 2007.

POMMET, Marion et al. Study of wheat gluten plasticization with fatty acids. **Polymer**, v. 44, n. 1, p. 115-122, 2003.

RAMOS, Dayana Portes; LEONEL, Magali; LEONEL, Sarita. Resistant starch in green banana flour/Amido resistente em farinhas de banana verde. **Alimentos e Nutricao (Brazilian Journal of Food and Nutrition)**, v. 20, n. 3, p. 479-484, 2009.

RANIERI, Lucas Menezes; DELANI, Tiele Carina De Oliveira. Banana verde (*Musa spp*): obtenção da biomassa e ações fisiológicas do amido resistente. **Revista UNINGÁ Review**, v. 20, n. 3, 2014.

ROBINSON, John Charles; SAÚCO, Víctor Galán. **Bananas and plantains**. Cabi, 2010.

ROCHA, Geisa Oliveira et al. Filmes compostos biodegradáveis a base de amido de mandioca e proteína de soja. **Embrapa Agroindústria de Alimentos-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2014.

ROSA, Derval S. et al. Avaliação da Biodegradação de Poli- β -(Hidroxibutirato), Poli- β -(Hidroxibutirato-co-valerato) e Poli- ϵ -(caprolactona) em Solo Compostado. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 12, n. 4, p. 311-317, 2002.

SAAD, Susana Marta Isay. Probióticos e prebióticos: o estado da arte. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v. 42, n. 1, p. 1-16, 2006.

SALGADO, Silvana Magalhães et al. Aspectos físico-químicos e fisiológicos do amido resistente. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, v. 23, n. 1, 2005.

SANTOS, Joice C. et al. Processamento e avaliação da estabilidade da farinha de banana verde. **Exacta**, v. 8, n. 2, p. 219-224, 2010.

WALTER, Melissa; DA SILVA, Leila Picolli; EMANUELLI, Tatiana. Amido resistente: características físico-químicas, propriedades fisiológicas e metodologias de quantificação. **Ciência rural**, v. 35, n. 4, p. 974-980, 2005.

ZANIN, Giovane Douglas et al. Influence of hyaluronic acid on the formation of isolated poly (vinyl acetate) films for oral solid coatings. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 134, n. 20, 2017.