

**UFRRJ**

**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA,  
TECNOLOGIA E INOVAÇÃO EM AGROPECUÁRIA**

**TESE**

**Produção de Plástico Biodegradável a Partir de *Aloe vera* (L.) Burm. f. (Babosa) e *Ipomoea batatas* (L.) (Batata-Doce) cultivadas organicamente no SIPA (Sistema Integrado de Produção Agroecológica)**

**José Thomaz de Carvalho**

**2022**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA, TECNOLOGIA E  
INOVAÇÃO EM AGROPECUÁRIA**

**PRODUÇÃO DE PLÁSTICO BIODEGRADÁVEL DE *ALOE VERA* (L.)  
BURM. F. (BABOSA) E *IPOMOEA BATATAS* (L.) (BATATA-DOCE)  
CULTIVADAS NUM SISTEMA ORGÂNICO DE PRODUÇÃO**

**JOSÉ THOMAZ DE CARVALHO**

*Sob a Orientação do Professor*  
**Leonardo Duarte Batista da Silva**

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor**, no Programa de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Inovação em Agropecuária, Área de Concentração em Agrobiologia.

Seropédica, RJ  
Agosto de 2022

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Biblioteca Central/ Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada  
com os dados fornecidos pela autora

T83p Thomaz de Carvalho, José, 1953-  
Produção de Plástico Biodegradável a Partir de Aloe  
vera (L.) Burm. f. (Babosa) e Ipomoea batatas (L.)  
(Batata-Doce) cultivadas organicamente no SIPA  
(Sistema Integrado de Produção Agroecológica) / José  
Thomaz de Carvalho. - Rio de Janeiro, 2022.  
60 f.: il.

Orientador: Leonardo Duarte Batista da Silva.  
Tese (Doutorado). -- Universidade Federal Rural do Rio  
de Janeiro, PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA,  
TECNOLOGIA E INOVAÇÃO EM AGROPECUÁRIA, 2022.

1. Bioplásticos. 2. Biodegradabilidade.. 3.  
Permeabilidade ao vapor d'água.. I. Duarte Batista da  
Silva, Leonardo, 1971-, orient. II Universidade  
Federal Rural do Rio de Janeiro. PROGRAMA DE PÓS  
GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO EM  
AGROPECUÁRIA III. Título.

**O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de  
Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.**

É permitida a cópia parcial ou total desta Tese, desde que seja citada a fonte.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA,  
TECNOLOGIA E INOVAÇÃO EM AGROPECUÁRIA



HOMOLOGAÇÃO DE TESE DE DOUTORADO Nº 15/ 2022 - PPGCTIA (12.28.01.84)

Nº do Protocolo: 23083.052481/2022-85

Seropédica-RJ, 25 de agosto de 2022.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÃO EM  
AGROPECUÁRIA

**JOSÉ THOMAZ DE CARVALHO**

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutor** no Programa de Pós-Graduação em Ciência, Tecnologia e Inovação em Agropecuária, área de concentração em Agrobiologia.

TESE APROVADA EM 24 / 08 / 2022

Leonardo Duarte Batista da Silva. Dr. UFRRJ  
(Orientador)

Alexandre Lioi Nascentes. Dr. UFRRJ

David Vilas Boas de Campos. Dr. EMBRAPA

Felipe da Costa Brasil. Dr. UVA

*(Assinado digitalmente em 26/08/2022 16:27)*  
ALEXANDRE LIOI NASCENTES  
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR  
DEPTOENG (12.28.01.00.00.00.44)  
Matrícula: 1759225

*(Assinado digitalmente em 29/08/2022 10:24)*  
LEONARDO DUARTE BATISTA DA SILVA  
PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR  
DEPTOENG (12.28.01.00.00.00.44)  
Matrícula: 2353141

*(Assinado digitalmente em 26/08/2022 10:01)*  
JOÃO PAULO FRANCISCO  
ASSINANTE EXTERNO  
CPF: 118.854.207-90

*(Assinado digitalmente em 08/09/2022 15:26)*  
FELIPE DA COSTA BRASIL  
ASSINANTE EXTERNO  
CPF: 016.518.417-56

*(Assinado digitalmente em 29/08/2022 08:44)*  
DAVID VILAS BOAS DE CAMPOS  
ASSINANTE EXTERNO  
CPF: 030.175.957-06

Para verificar a autenticidade deste documento entre em  
<https://sipac.ufrj.br/public/documentos/index.jsp> informando seu número: **15**, ano: **2022**, tipo:  
**HOMOLOGAÇÃO DE TESE DE DOUTORADO**, data de emissão: **25/08/2022** e o código de  
verificação: **06c2b137f5**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço à minha família pelo apoio, carinho e compreensão, mesmo durante a ausência.

Aos meus amigos, pela paciência e incentivo ao longo da caminhada, além dos momentos de descontração.

Ao meu orientador, professor Leonardo, pela parceria, contribuições e incentivo durante o percurso.

Ao PPGCTIA, pela oportunidade de cursar o doutorado e assim trilhar os caminhos da minha jornada na UFRRJ.

Agradeço a todos do SIPA e do laboratório de química da universidade de Vassouras pelas parcerias firmadas.

Agradeço a todos que direta ou indiretamente colaboraram para a realização desse trabalho.

## RESUMO

CARVALHO, José Thomaz de. **Produção de plástico biodegradável de *Aloe vera* (L.) Burm. f. (babosa) e *Ipomoea batatas* (L.) (batata-doce) cultivadas em um sistema orgânico de produção.** 2022. 60f. Tese (Doutorado em Ciência, Tecnologia e Inovação em Agropecuária). Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2022.

A ampla utilização de derivados do petróleo, principal matéria-prima dos plásticos não biodegradáveis em uma diversidade de produtos, favorece a geração de resíduos e a contaminação no meio ambiente quando o descarte é inapropriado, enquanto o plástico biodegradável se decompõe em até 120 dias sem comprometer o meio ambiente. Pelo exposto, existe uma busca crescente pela substituição dos plásticos não biodegradáveis pelos biodegradáveis, que apresentam tempo mais curto para se decomporem, visando a preservação do meio ambiente. O objetivo da pesquisa é produzir um plástico biodegradável a partir da combinação de gel *Aloe Vera* e amido da batata-doce, produzidos em sistema orgânico, que atenda as recomendações de biodegradabilidade. Para atendimento, o cultivo da *Aloe Vera* se deu numa área de 32 m<sup>2</sup> e o cultivo da batata-doce numa área 1750 m<sup>2</sup> no SIPA (Sistema de Produção Agroecológica), UFRRJ, Seropédica, RJ. O gel da *Aloe vera* e o amido da batata-doce foram extraídos de suas respectivas matrizes para formação do biofilme. Geralmente em escala laboratorial, filmes biodegradáveis à base de amido são produzidos pelo método de casting, sendo este o empregado. Neste contexto, o desenvolvimento de materiais, processos e ferramentas que nos possibilitem ampliar a variedade de tipos de plásticos, texturas e plasticidade no seu uso pode ser uma das alternativas viáveis para mitigar ou evitar os efeitos negativos causados pelos plásticos não biodegradáveis no ambiente, além de colocar no mercado embalagens e produtos de origem naturais e seguros para saúde humana. Por isso, os institutos normatizadores têm apresentado normas (ASTM D 6400, ASTM D 5338, ISO 14851, ISO 14852, ISO 14855, DIN EN 13432) que tratam exclusivamente dos critérios que definem um material como sendo biodegradável e estas normas foram utilizadas como elementos norteadores na obtenção do produto. Os testes realizados nas amostras do biofilme produzido foram de solubilidade, permeabilidade ao vapor d'água, biodegradabilidade, espessura e tração, todos com resultados que se mostraram satisfatórios e indicaram que as características do produto obtido são de um plástico biodegradável. Portanto, conclui-se a partir dos ensaios experimentais que o produto final atendeu as normas vigentes.

**Palavras-chave:** Biodegradabilidade. Solubilidade. Permeabilidade ao vapor d'água.

## ABSTRACT

CARVALHO, José Thomaz de. **Production of biodegradable plastic from *Aloe vera* (L.) Burm. f. (aloe vera) and *Ipomoea batatas* (L.) (sweet potato) cultivated in an organic production system.** 2022. 60p. Thesis (Doctorate in Science, Technology and Innovation in Agriculture). Dean of Research and Graduate Studies, Federal Rural University of Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2022.

The wide use of petroleum derivatives, the main raw material for non-biodegradable plastics in a variety of products, favors the generation of waste and contamination in the environment when disposal is inappropriate, while biodegradable plastic decomposes in up to 120 days without compromise the environment. Based on the above, there is a growing search for replacing non-biodegradable plastics with biodegradable ones, which have a shorter time to decompose, aiming at preserving the environment. The objective of the research is to produce a biodegradable plastic from the combination of *Aloe Vera* gel and sweet potato starch, produced in an organic system, which meets the biodegradability recommendations. For assistance, the cultivation of *Aloe Vera* took place in an area of 32 m<sup>2</sup> and the cultivation of sweet potatoes in an area of 1750 m<sup>2</sup> at SIPA (Agroecological Production System), UFRRJ, Seropédica, RJ. *Aloe vera* gel and sweet potato starch were extracted from their respective matrices to form the biofilm. Usually on a laboratory scale, starch-based biodegradable films are produced by the casting method, which is the method employed. In this context, the development of materials, processes and tools that allow us to expand the variety of types of plastics, textures and plasticity in their use can be one of the viable alternatives to mitigate or avoid the negative effects caused by non-biodegradable plastics in the environment, in addition to place on the market packaging and products that are natural and safe for human health. Therefore, the standard-setting institutes have presented standards (ASTM D 6400, ASTM D 5338, ISO 14851, ISO 14852, ISO 14855, DIN EN 13432) that deal exclusively with the criteria that define a material as being biodegradable and these standards were used as elements guiding in obtaining the product. The tests carried out on the samples of the biofilm produced were of solubility, permeability to water vapor, biodegradability, thickness and traction, all with results that were satisfactory and indicated that the characteristics of the product obtained are of a biodegradable plastic. Therefore, it is concluded from the experimental tests that the final product met the current standards.

**Keywords:** Biodegradability. Solubility. Water vapor permeability.

## RESUMEN AMPLIADO

CARVALHO, José Thomaz de. **Producción de plástico biodegradable a partir de *Aloe vera* (L.) Burm. F. (aloe vera) e *Ipomoea batatas* (L.) (papa dulce) cultivadas en un sistema de producción orgánico.** 2022. 60h. Tesis (Doctorado en Ciencia, Tecnología e Innovación en Agricultura). Pró-reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2022.

### 1 Introducción

Los plásticos son productos muy versátiles, duraderos y de bajo coste, fácilmente adaptables a diferentes funciones en relación con su usabilidad (INNOVA, 2017). Están compuestos por polímeros orgánicos de alto peso molecular, monómeros y generalmente sintetizados a partir de derivados químicos del petróleo (USBERCO; SALVADOR, 2002).

En la actualidad, se ha observado que los plásticos más utilizados son los no biodegradables (BELUSKI, 2016), que generan grandes volúmenes de residuos perjudiciales para el medio ambiente por su inadecuada gestión y amenazan la sostenibilidad, un problema socioambiental y de salud pública (QUEIROZ, 2010). Una alternativa sería el uso de plásticos biodegradables procedentes de fuentes renovables de biomasa para la fabricación de estos polímeros, como la batata, el almidón de maíz o la fécula de yuca.

Por lo tanto, el presente trabajo de investigación tiene como objetivo desarrollar un polímero biodegradable a partir de polímero natural, que puede ser degradado completamente por el medio ambiente, mucho más rápidamente que los plásticos convencionales una vez descartados

### 2 Material y Métodos

El presente trabajo consta de dos etapas: la primera etapa (etapa de campo) se refiere al cultivo de *Aloe vera* y camote; la segunda etapa (etapa de laboratorio) fue la obtención de la resina, almidón y fabricación de la película plástica.

#### 2.1 Fase de campo (cultivo y mantenimiento del *Aloe vera*)

Los cultivos de *A. vera* y papa dulce fue la realiza en un Sistema Integrado de Producción Agroecológica (SIPA), en el “Fazendinha Agroecológica” km 47. El SIPA, cuya área se caracteriza por ser un espacio de experimentación agroecológica, es el resultado de un acuerdo entre la Universidad Federal Rural de Río de Janeiro (UFRRJ), Embrapa Agrobiología y la Empresa de Investigación Agrícola del Estado de Río de Janeiro (Pesagro - Río). El cultivo se procedió a la instalación del sistema de riego por goteo y se fertilizará con abono orgánico procedente de la unidad de tratamiento piloto (PTU) del SIPA. En la fertilización con nitrógeno son cinco dosis: 0; 50; 100; 200 y 400% de nitrógeno procedente de biofertilizantes en un sistema de producción ecológica. El cultivo de *A. vera* se realizó en septiembre de 2020 en condiciones de campo, la planta se cultivó en dos lomos elevados, con una superficie de unos 32 m<sup>2</sup> cada una. Para la formación de los dos lechos se utilizó un tractor acoplado a una azada.

Las plántulas de *A. vera* utilizadas en este estudio fueron de un productor rural ubicado en el municipio de Campinas, estado de São Paulo. La plantación se realizó manualmente en un pozo con dimensiones de 15 cm de profundidad, 15 cm de ancho y el espaciamiento adoptado fue de 1,0 m entre hileras y 1,0 m entre plantas. Con este espaciamiento estaríamos en una



densidad de plantas de 5.000 plantas/ha aproximadamente, recomendaciones según la metodología de Queiroga et al., 2019.

También según Queiroga et al. (2019), la *A. vera* deja una gran abierto, lo que favorece la infestación y el crecimiento de las malezas. Estas especies compiten por el agua, la luz y los nutrientes con el cultivo, convirtiéndose en un factor limitante para su pleno desarrollo. Por lo tanto, después de la plantación, las malas hierbas se controlaron manualmente, quitar las malezas, ya que puede dañar a la *A. vera*.

## **2.2 Etapa de laboratorio**

El proyecto se dividió en dos partes para las fases de laboratorio: la primera parte, el desarrollo del bioplástico, se fue llevada a cabo en la Universidad de Vassouras. En cuanto a la segunda parte, en la Universidad Federal Rural de Río de Janeiro. Para la prueba preliminar de producción del bioplástico, se consideró el método de colada, que consiste en la solubilización del almidón y la consiguiente formación de la película (RÓZ, 2004).

### **a) Obtención de almidón**

Inicialmente, el almidón se obtuvo de la batata (*Ipomoea batatas*) mediante un proceso de trituración, filtración y decantación de las muestras de batata (500 g).

Posterior a la limpieza fueron pelados, se procedió a cortar las patatas en pedazos más chicos y molidos en un licuado con agua destilada. Tras la molienda, la masa resultante se filtró. A continuación, el puré de almidón se filtró a través de un tamiz (malla 18) para eliminar la fibra y se dejó reposar durante 30 minutos. A continuación, se eliminó el líquido sobrenadante y el almidón (decantado) se utilizó en la producción del bioplástico.

### **b) Extracción el gel (parte mucilaginosa) del *Aloe vera***

El gel o pulpa es una masa gelatinosa e incolora formada por células parenquimáticas. Las hojas de *A. vera* se cortaron lateral y transversalmente con una cuchilla afilada y no oxidada y el gel se retiró cuidadosamente con una espátula. El gel se homogeneizó en una batidora y se dejó reposar para eliminar las burbujas de aire.

### **c) Elaboración de la película**

En un vaso de precipitados se añadieron 250 ml del gel de *A. vera*, 50 g de la fécula de batata, 25 ml de ácido acético y 25 ml de glicerina bidestilada. La mezcla se homogeneizó lentamente para evitar la formación de burbujas de aire. Se calienta la mezcla a 250°C bajo agitación con una varilla de vidrio por 10 minutos. Tras el calentamiento, el fluido formado se añadió a placas de vidrio (30 x 30 cm) para que se secase a temperatura ambiente hasta que se alcanzar la formación de la película de polímero.

En la segunda fase, la formulación del bioplástico se realizó en el laboratorio del Instituto de Química de la Universidad Federal Rural de Río de Janeiro.

## **3. Resultados y Discusión**

Al analizar los prototipos producidos, se observó que los plásticos con mayor consistencia eran los que utilizaban mayor cantidad de ácido lo que indica que la degradación de los gránulos de almidón es muy importante para el proceso de formación de la película. Así

pues, la cantidad de plastificante utilizada debe ser siempre inferior a la cantidad de ácido, para romper efectivamente los enlaces de hidrógeno presentes en la molécula de los gránulos y forman un polímero uniforme durante la etapa final de retrogradación. Como la materia prima del plástico es el almidón, presente en la batata, se ahorra el recurso no renovable (fósil), que es la materia prima más utilizada. Con esta alternativa, el proceso de obtención del plástico se vuelve más sostenible, ya que el material propuesto se obtiene fácilmente y no tiene impacto en los ecosistemas.

#### **4. Conclusión**

Dados los resultados preliminares obtenidos de este trabajo y sus características, a partir de las metodologías utilizadas, se concluye que es posible obtener un bioplástico a partir del almidón de patata.

**Palabras clave:** Bioplástico. *Aloe vera*. Compuesto.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Diagrama esquemático da obtenção de um polímero. Fonte: Mano e Mendes, (1999, p. 191). 2
- Figura 2.** Fontes de biopolímeros. a) cana-de-açúcar; b) milho; e c) soja. Fonte: Silva (2013). 3
- Figura 3.** Fluxograma esquemático dos principais polímeros biodegradáveis. Fonte: Chandra e Rusgi (1998). 4
- Figura 4.** Batata-doce. a) Roxa; b) Amarela; e c) Branca. Fonte: Elaborado pelo autor, 2021. 6
- Figura 5.** Cultivo Comercial da Aloe vera. Fonte: Queiroga et al. (2019). 8
- Figura 6.** Amostras isoladas do gel (transparente) e do látex (alaranjado) de Aloe vera 9
- Figura 7.** Distinção de camadas. (a) camada exterior ou casca; (b) observando com um microscópio se destaca outra camada intermediária, denominada de tubos vasculares de minúsculo tamanho; e c) corpo interior ou tecido esponjoso. Fonte: Esteban et al. (2001). 10
- Figura 8.** Degradação/ fragmentação e biodegradação. Fonte: Narayan (2021, p. 89-101). 11
- Figura 9.** Formação de filme polimérico pela técnica de “casting”. Fonte: Sayyar, Officer e Wallace (2017, p. 3462-3482). 12
- Figura 10.** Região elástica de um material. Fonte: Mendes et al. (2007). 13
- Figura 11.** Tensão real. Fonte: Mendes et al. (2007). 14
- Figura 12.** Capacidade de produção global de bioplásticos por setor em 2019. Fonte: Adaptado de European Bioplastics - EUBP (2018). 15
- Figura 13.** Porcentagem da capacidade global de produção de bioplásticos por região em 2019. Fonte: Adaptado de EUBP (2020). 18
- Figura 14.** Capacidade global de produção de bioplásticos por região em 2019. Fonte: adaptado de EUBP (2020). 18
- Figura 15.** Bioplástico de base biológica e durável 2020 versus 2024. Fonte: EUBP (2020). 19
- Figura 16.** Capacidades de produção global de bioplásticos 2020 (por segmento de mercado). Fonte: EUBP (2020). 20
- Figura 17.** Cultivo da batata-doce roxa no SIPA. Fonte: Elaborado pelo autor, 2021. 23
- Figura 18.** Formação dos canteiros para o plantio de Aloe vera. Fonte: Elaborado pelo autor, 2020. 24
- Figura 19.** Início da infestação de ervas daninhas ao redor da lavoura. Fonte: Elaborado pelo autor, 2020. 24
- Figura 20.** Obtenção do amido de batata-doce. Fonte: Elaborado pelo autor, 2020. 25
- Figura 21.** Extração do gel de Aloe vera. Fonte: Elaborado pelo autor, 2020. 26
- Figura 22.** Obtenção de um filme polimérico. a) Procedimento para produção de filmes poliméricos; e b) filme polimérico. Fonte: Elaborado pelo autor, 2020. 26
- Figura 23.** Ensaio de solubilidade. a) estufa; b) amostras em frasco erlenmeyer. Fonte: Elaborado pelo autor, 2021. 27
- Figura 24.** Permeabilidade ao vapor d’água. a) amostras de bioplástico; b) dessecador (jarra de anaerobiose); e c) mensurações de ganho de massa. Fonte: Elaborado pelo autor, 2021. 28
- Figura 25.** Espessura obtida com paquímetro. Fonte: Elaborado pelo autor, 2021. 29

<b>Figura 26.</b> Uso do “software VOSviewer” para analisar os atributos e similaridades entre os documentos resultantes da revisão. Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.	31
<b>Figura 27.</b> Resultado do ensaio de solubilidade. Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.	34
<b>Figura 28.</b> Resultado do ensaio de permeabilidade ao vapor d’água. Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.	35
<b>Figura 29.</b> Biodegradabilidade. A) amostra produzida para os ensaios; b) amostra em processo de biodegradação. Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.	36
<b>Figura 30.</b> Resultado do ensaio de avaliação da biodegradabilidade. Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.	37
<b>Figura 31.</b> Resultado do ensaio de avaliação da biodegradabilidade após 60 dias no solo. Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.	37
<b>Figura 32.</b> Média da espessura das amostras de biofilme. Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.	38
<b>Figura 33.</b> Corpos de prova para realização do teste de tração. Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.	39

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Resultado do ensaio permeabilidade ao vapor de água. Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.	35
<b>Tabela 2.</b> Resultado da espessura em milímetros. Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.	38
<b>Tabela 3.</b> Dimensões dos corpos de prova. Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.	39
<b>Tabela 4.</b> Resultados dos ensaios mecânicos das amostras de bioplástico. Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.	39
<b>Tabela 5.</b> Resistência à ruptura. Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.	40

## LISTA DE QUADROS

<b>Quadro 1.</b> Principais aplicações dos bioplásticos. Fonte: Mendes (2020).	15
<b>Quadro 2.</b> Estruturação da base de busca no PICO. Fonte: Adaptado de Higgins e Green (2011).	21
<b>Quadro 3.</b> Estruturação da base de busca no PICO I. Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.	22
<b>Quadro 4.</b> Resultados obtidos nas bases pesquisadas. Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.	30
<b>Quadro 5.</b> Principais compostos utilizados para a produção de bioplásticos (continua). Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.	1

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b>	<b>2</b>
2.1 Polímeros	2
2.2 Materiais Plásticos e Plásticos Biodegradáveis	2
2.3 Blendas Poliméricas	5
2.4 A Batata-Doce e Uso do Amido	5
2.5 <i>Aloe vera</i>	7
2.5.1 Cultivo da <i>Aloe vera</i>	8
2.5.2 Importância econômica	9
2.6 Biofilmes Biodegradáveis	11
2.6.1 Formação do biofilme por microrganismos	11
2.6.2 Formação de filmes pelo método de “casting”	12
2.6.3 Propriedades mecânicas	12
2.7 Aplicações dos Biofilmes	14
2.7.1 Na substituição dos plásticos tradicionais	15
2.7.2 Nos processos de regeneração de tecidos	16
2.8 O Mercado de Produtos de Origem Renovável	17
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b>	<b>21</b>
3.1 Revisão Sistemática da Literatura	21
3.2 Etapa de Campo Cultivo de Batata-doce e <i>Aloe vera</i>	22
3.2.1 Cultivo da batata-doce	23
3.2.2 Cultivo da <i>Aloe vera</i>	23
3.3 Processamento da Matéria-Prima	25
3.3.1 Obtenção do amido	25
3.3.2 Extração do gel (parte mucilaginoso) da <i>Aloe vera</i>	25
3.3.3 Formação do biofilme polimérico	26
3.4 Caracterização do Biofilme	27
3.4.1 Solubilidade	27
3.4.2 Permeabilidade ao vapor de água	27
3.4.3 Ensaio de biodegradação	28
3.4.4 Espessura	29
3.4.5 Ensaio de tração	29
3.5 Análises Estatísticas	29
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>30</b>
4.1 Pesquisa Bibliográfica	30
4.2 O Biofilme na Presença de Água	34
4.3 Biodegradabilidade do Biofilme	36
4.4 Espessura	38
4.5 Propriedades Mecânicas	39
4.6 Análises Estatísticas	40
<b>5 CONCLUSÕES</b>	<b>41</b>
<b>6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>42</b>
<b>7 ANEXOS</b>	<b>54</b>





# 1 INTRODUÇÃO

No decorrer dos anos, o aumento da industrialização despertou a necessidade de desenvolvimento de um produto versátil, durável e de baixo custo, que poderia ser utilizado para uma infinidade de finalidades. Para atender ao mercado industrial, no século XX foram desenvolvidos materiais com tais características, os denominados plásticos (INNOVA, 2017).

Os fatores que mais contribuíram para o aumento considerável do uso de produtos plásticos foram a produção de baixo custo e a utilização versátil, desde o uso doméstico (vasilhas, talheres e outros utensílios) até a composição de estruturas complexas (peças de carro e estrutura interna de avião).

O consumo exagerado de plásticos não biodegradáveis é responsável por gerar grandes volumes de resíduos que podem ocasionar problemas socioambientais e de saúde pública. À vista disso, plásticos biodegradáveis vêm sendo desenvolvidos, a partir de amidos, celuloses e quitinases, substituindo resinas petroquímicas, que são fontes não renováveis, trazendo maneiras de não deteriorar o meio ambiente e prejudicar os seres vivos.

Uma alternativa para o uso dos plásticos biodegradáveis, seria a utilização de fontes renováveis de biomassa para a confecção destes polímeros como: amido de batata, amido de milho, amido de mandioca etc., produzidos de forma orgânica. Apesar de serem recicláveis, o índice de reciclagem é pequeno no Brasil.

O desenvolvimento de tecnologia acerca do plástico biodegradável desperta uma interessante e promissora área de pesquisa mundial. Neste contexto, o desenvolvimento de materiais, processos e ferramentas que nos possibilitem ampliar a variedade de tipos de bioplásticos, texturas e plasticidade no seu uso pode ser uma das alternativas viáveis para mitigar ou evitar os efeitos negativos causados pelos plásticos não biodegradáveis no ambiente, além de colocar no mercado embalagens e produtos mais naturais e seguros para saúde humana.

Portanto objetivo geral deste trabalho foi produzir um plástico biodegradável a partir da combinação de *Aloe vera* e amido de batata-doce, produzidos em um sistema orgânico de produção. Como também, podemos explicitar a conscientização as pessoas quanto ao uso do plástico e seus efeitos no ambiente, demonstrar as características positivas deste produto e demonstrar os benefícios ambientais, sociais e para saúde em função do uso de produtos alternativos ao plástico não biodegradável.

O objetivo específico é avaliar a produção de biofilme plástico biodegradável a partir de resina de *Aloe vera*, fertirrigada, assim como o cultivo da batata-doce de forma orgânica, cultivada sob distintas formas.

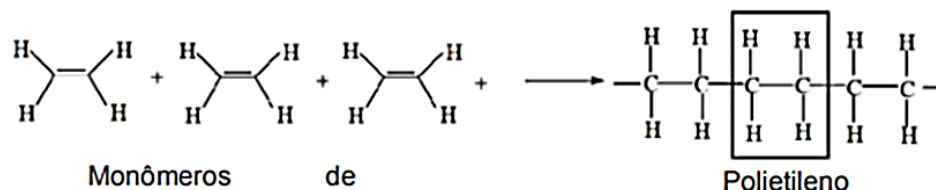
Foi realizada revisão sistemática da literatura com a finalidade mapear e compreender estudos previamente realizados por outros pesquisadores, que tratam do mesmo tema, retratando o processo de seleção dos artigos científicos, os critérios de inclusão e exclusão dos mesmos, bem como o processo de análise de cada um (GALVÃO; RICARTE, 2019, p. 57-73).

Assim, o desenvolvimento de novas tecnologias, materiais e produtos totalmente ou parcialmente biodegradáveis obtidos a partir de matérias-primas renováveis é um atraente campo de pesquisa que concilia o suprimento do mercado consumidor e a preservação ambiental.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Polímeros

Polímero é a palavra formada através da junção de duas palavras gregas, ‘poli’ (muitas) e ‘meros’ (partes). As substâncias que dão origem aos polímeros por reação química, são chamadas de monômeros (Figura 1). As unidades que se repetem ao longo da cadeia polimérica que caracterizam a composição química do polímero são chamados de unidades repetitivas ou meros (AKCELRUD, 2007).



**Figura 1.** Diagrama esquemático da obtenção de um polímero. Fonte: Mano e Mendes, (1999, p. 191).

Quando todas as unidades repetidas ao longo de uma cadeia são do mesmo tipo de mero, o polímero é chamado de homopolímero. Os copolímeros são cadeias compostas por duas ou mais unidades de meros diferentes.

Os polímeros naturais são formados por organismos vegetais e animais, podendo citar a borracha que é produzida através da extração do látex da seringueira, o amido que é extraído a partir das raízes de diversos vegetais, a seda produzida pelo bicho da seda, as proteínas e os polissacarídeos como, por exemplo, a celulose encontrada no algodão, dentre outros.

Os polímeros sintéticos foram desenvolvidos por processo de síntese, com o intuito de apresentarem características similares aos polímeros naturais. Os polímeros sintéticos são conhecidos como plásticos e dão origem a inúmeros utensílios presentes no nosso cotidiano, como bolsas plásticas, tubos de PVC, painéis contendo teflon etc.

### 2.2 Materiais Plásticos e Plásticos Biodegradáveis

Como definição, segundo a norma ASTM D 6400:2010, “plástico é um material que contém como componente essencial uma ou mais substâncias poliméricas orgânicas de alta massa molecular, sendo processado no estado fundido e sendo sólido no estado final.”

Os plásticos mais utilizados no mercado consumidor são denominados não biodegradáveis em função do elevado tempo de decomposição que apresentam, muitas vezes, superior a 100 anos (BELUSKI, 2016). Esse fato se deve, principalmente, pela presença da principal matéria-prima na composição do plástico, o petróleo (USBERCO; SALVADOR, 2002). Para minimizar os efeitos negativos do tempo de vida longo, a maioria dos materiais plásticos atuais pode ser reciclada de acordo com a NBR 13.230/2008 (MUCELIN; BELLINI, 2008, p. 111-124).

Com o crescente aumento da produção de plásticos durante os últimos 60 anos, de 0,5 milhões de toneladas em 1950 para 260 milhões de toneladas em 2008 (utilizando cerca de 8% da produção mundial de petróleo) (THOMPSON et al, 2009, p. 2153-2166), houve a busca por soluções para os problemas causados pela geração e acúmulo de materiais de origem petroquímica. Assim, muitas pesquisas tentaram encontrar nos bioplásticos e plásticos biodegradáveis alternativas para a substituição aos plásticos convencionais, por utilizarem fontes renováveis como matéria-prima.

Fazendo uma breve comparação, a maioria dos plásticos não biodegradáveis exige mais do que 100 anos para se degradar completamente devido dificuldade de ação das enzimas dos microrganismos sobre o polímero, enquanto os bioplásticos apresentam propriedades físicas e químicas que contribuem para a redução do tempo de decomposição, que ocorre entre 6 e 12 meses (FRANCHETTI; MARCONATO, 2006, p. 811-816; GIORDANI; OLIVEIRA, 2014). Já o plástico biodegradável, apresenta conteúdo orgânico que se transforma em húmus, água e gás carbônico em até 6 meses (tempo padrão para filmes de 120 micras de espessura em ambiente compostável) (ASTM D 6400:2010).

O menor período de decomposição do bioplástico e do plástico biodegradável em relação ao plástico convencional, se deve ao fato de que aqueles não apresentam o petróleo ou outros hidrocarbonetos em sua composição, tornando o processo de produção e descarte menos agressivos ao meio ambiente (BRITO et al., 2011, p. 127-139).

Os biopolímeros, também conhecidos como polímeros naturais, são provenientes de matéria-prima renovável como o milho, cana-de-açúcar e soja (Figura 2), e dão origem aos plásticos biodegradáveis.



**Figura 2.** Fontes de biopolímeros. a) cana-de-açúcar; b) milho; e c) soja. Fonte: Silva, (2013, p. 4).

O desenvolvimento de materiais biodegradáveis tem como perspectiva a obtenção de produtos que apresentem um tempo de degradação não muito diferente dos materiais naturais e cujos resíduos oriundos da fabricação não poluam o meio ambiente. Por isso, os institutos normatizadores têm apresentado normas (ASTM D 6400:2010, ASTM D 5338:2018, ISO 14851:2019, ISO 14852:2019, ISO 14855, DIN EN 13432:2000) que tratam exclusivamente dos critérios que definem um material como sendo biodegradável e os ensaios para se proceder a essa avaliação.

Há um crescente interesse pela descoberta de novos materiais biodegradáveis, podendo ser justificado por diversos fatores ambientais e socioeconômicos:

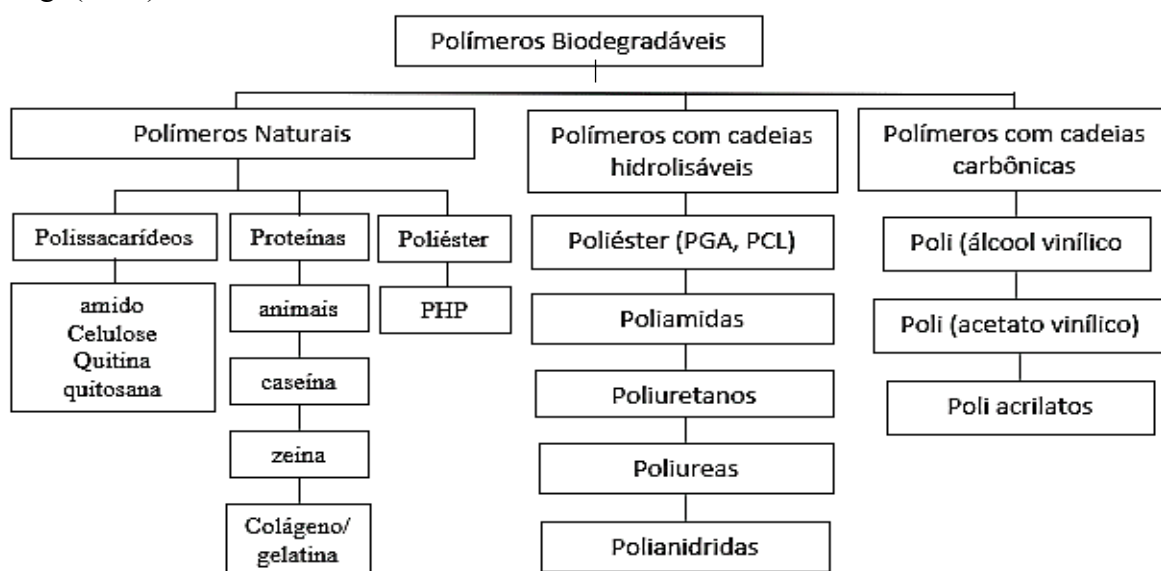
- a) A existência de impactos ambientais causados pela extração e refino na produção do petróleo, bem como dos polímeros provenientes destes;
- b) O alto custo do petróleo;
- c) A ausência ou baixa eficiência de biodegradação na grande maioria dos derivados do petróleo, contribuindo para a poluição.

É importante ressaltar que limitações técnicas tornam difícil a processabilidade dos biopolímeros, bem como uma aplicação no mercado, especialmente associada a geração de produtos biodegradáveis. Para possibilitar o processamento e uso em diversas aplicações, muitas pesquisas estão sendo desenvolvidas na modificação dos biopolímeros. Os estudos se concentram sobre as blendas, compósitos e nanocompósitos, visando melhorar propriedades como processabilidade, resistência térmica, mecânica, permeabilidade a gases e biodegradação (BRITO et al., 2011, p. 127-139).

Diversos são os biopolímeros citados na literatura, como por exemplo, o PLA, PHA, PA e a goma xantana.

- a) PLA (poli lactato): é um poliéster produzido por síntese química a partir de ácido láctico obtido por fermentação bacteriana de glicose extraído do milho, com uso potencial na confecção de embalagens, itens de descarte rápido e fibras para vestimentas e forrações (BORSCHIVER; ALMEIDA; ROITMAN, 2008).
- b) PHA (polihidroxialcanoato): constitui uma ampla família de poliésteres produzidos por bactérias através de biossíntese direta de carboidratos de cana-de-açúcar ou de milho, ou a partir de óleos vegetais extraídos principalmente de soja e palma.
- c) PA (polímeros de amido): são polissacarídeos, modificados quimicamente ou não, produzidos a partir de amido extraído de milho, batata, trigo ou mandioca. Pode ser utilizado na produção de embalagens e itens de descarte rápido e em blendas com polímeros sintéticos, na confecção de filmes flexíveis.
- d) Goma xantana: é um exopolissacarídeo produzido por microrganismos a partir de carboidratos extraídos de milho ou cana-de-açúcar, com ampla utilização na área de alimentos e uso potencial na área de cosméticos e na exploração de petróleo (BORSCHIVER; ALMEIDA; ROITMAN, 2008).

Na Figura 3 é apresentado um fluxograma contendo um resumo dos principais polímeros biodegradáveis, os quais estão divididos em três grupos de acordo com Chandra e Rusgi (1998).



**Figura 3.** Fluxograma esquemático dos principais polímeros biodegradáveis. Fonte: Chandra e Rusgi, (1998, p. 9).

Segundo Corradini (2004), os três grupos podem ser definidos como:

- a) Polímeros naturais: esse grupo é constituído de polímeros extraídos de plantas e animais. Polímeros que são extraídos diretamente da biomassa, tais como: celulose, amido, quitina e proteínas; são hidrofílicos e apresentam cristalinidade elevada, propriedades tais que dificultam o processamento e influenciam negativamente na performance do material. Por outro lado, os referidos polímeros apresentam excelentes propriedades de barreira a gases. Outros exemplos de polímeros naturais são os poliésteres como poli (3 – hidroxibutirato) (PHB) e seus copolímeros, os quais são produzidos por bactérias, apresentam propriedades comparáveis aos polímeros sintéticos, porém possuem um custo bastante elevado.

b) Polímeros com cadeias hidrolisáveis: polímeros com cadeias hidrolisáveis são susceptíveis à biodegradação. Polímeros com poliésteres (PGA, PCL) poliuretana (modificados quimicamente), poliureas e polianidridos possuem uma cadeia de átomos de carbono interrompida por heteroátomos, tais como, oxigênio e nitrogênio. Esses heteroátomos constituem pontos de ataque para quebra enzimática hidrolítica (TIMMINS; LENZ, 1994, p. 15-19). As poliamidas contêm a mesma ligação amida que é encontrada em polipeptídios, porém sua taxa de biodegradação é tão baixa que geralmente são considerados não biodegradáveis. Por outro lado, a degradação por enzimas e microrganismos para oligômeros de baixa massa molar tem sido reportada.

c) Polímeros com cadeias carbônicas: a maioria dos polímeros vinílicos biodegradáveis não são susceptíveis à hidrólise, sendo que a biodegradação desses polímeros requer um processo de oxidação. Geralmente são adicionados catalisadores ou grupos fotossensíveis, tais como cetonas para promover a oxidação ou a fotoxidação de polímero vinílicos. Exemplos de polímeros vinílicos biodegradáveis são o poli (álcool vinílico) e poli (acetado de vinila).

As vantagens da utilização dos polímeros extraídos diretamente da biomassa para produção de materiais biodegradáveis, é que são renováveis e abundantes (CORRADINI, 2004).

### 2.3 Blendas Poliméricas

A mistura de dois ou mais polímeros, com características constitucionais ou configuracionais diferentes, forma uma blenda polimérica. As blendas têm atraído a atenção dos pesquisadores que estudam o desenvolvimento de novos materiais. Isto se deve principalmente pela possibilidade de se obter materiais com desempenhos diferentes e, em muitos casos, melhores que os dois polímeros puros, sem investimentos em novas rotas de síntese de polímeros.

A possibilidade de misturar diferentes polímeros aumenta consideravelmente o seu espectro de uso, reduzindo custos e obtendo materiais com melhores valores em suas propriedades físicas e com aplicações em vários segmentos industriais.

Blendas poliméricas podem ser miscíveis, imiscíveis ou parcialmente miscíveis. A miscibilidade relaciona-se com a capacidade de dois ou mais componentes se misturarem em nível molecular, resultando numa mistura homogênea. Já os componentes das blendas imiscíveis são essencialmente independentes. Esse tipo de blenda apresenta um número de fases relacionado ao número de seus componentes. As blendas parcialmente miscíveis devem apresentar misturas parcialmente homogêneas.

Blendas de amido termoplástico e outros polímeros biodegradáveis como o poli ( $\beta$  – hidroxibutirato) – (PHB) e o copolímero poli ( $\beta$  – hidroxibutirato-co-valerato) – (PHBV) oriundos de fontes renováveis, têm recebido bastante atenção nos últimos anos, fazendo desses materiais produtos comerciais importantes (AVÉROUS, 2004, p. 231-274; WANG; SUN; SEIB, 2002, p. 1257-1262; AMASS, W.; AMASS, A.; TIGHE, 1998, p. 89-144; BASTIOLI, 2001, p. 351-355; YANG; LIU, 2004, p. 1677-1681; THIRÉ; RIBEIRO; ANDRADE, 2006, p. 4338-4347; RAMSAY et al., 1993, p. 1242-1246; VINHAS, 2007, p. 1584-1588).

### 2.4 A Batata-Doce e Uso do Amido

A batata-doce é uma raiz tuberosa, planta da família das convolvuláceas. É encontrada em diversas variedades, nas cores externas amarela, branca e roxa (Figura 4). Como a batata inglesa (*Solanum tuberosum*), cerca de 50-80 % da batata-doce (*Ipomoea batatas*) é composta

de amido com base no peso seco (SONG et al., 2021, p. 758-767). Ainda, apresenta em sua composição vitamina A, vitaminas do complexo B, sais minerais como cálcio, fósforo e ferro.

Existem batatas-doces de diferentes tipos e colorações e algumas variedades podem ser vistas na Figura 4.



**Figura 4.** Batata-doce. a) Roxa; b) Amarela; e c) Branca. Fonte: Elaborada pelo autor, 2021.

A cultivar de batata-doce Beauregard tem uma característica marcante que é a cor alaranjada quando partida. A coloração diferente, é resultado da elevada quantidade de betacaroteno, que se transforma em vitamina A no organismo. Ela apresenta dez vezes mais carotenoides do que outros tipos de batata-doce. O rendimento varia entre 23 e 29 toneladas por hectare, o que equivale ao peso de um caminhão truque. Quanto ao plantio, pode ser realizado praticamente em qualquer época do ano. A exceção são os locais e períodos em que a temperatura mínima é inferior a 15° C, ou seja, seu desenvolvimento não será pleno em regiões com inverno rigoroso (Revista ARCO, UFSM; julho,2021).

A BRS Rubissol é um tipo de batata-doce biofortificada que se destaca pela cor roxa e pelo tamanho uniforme do fruto. A Rubissol foi selecionada a partir de plantas encontradas na cidade de Pelotas, com ensaios de campo e de laboratório feitos na Embrapa a partir de 1994. (Revista ARCO, UFSM; julho,2021).

O destaque da batata-doce BRS Amélia está na fonte de carotenoides, o que significa que é um alimento provitamina A, muitas vezes em falta no organismo humano, especialmente em crianças. É bem aceita pelo consumidor devido ao sabor e à cor, com interior alaranjado. Quando cozida ou assada, sua textura é melada e macia, proporcionando a sensação de “derretimento” na boca (Revista ARCO, UFSM; julho,2021).

A BRS Cuia também foi desenvolvida a partir de plantas encontradas na região de Pelotas. Seu destaque está na cor creme tanto da casca quanto do interior, e na textura mais seca. As batatas têm uniformidade, e o formato é redondo e mais alongado, ou seja, as batatas são mais compridas, podendo ter de 15cm a 20cm, e lembram o formato de uma mandioca. O período de cultivo pode variar entre quatro e quatro meses e meio (Revista ARCO, UFSM; julho,2021).

A batata-doce se desenvolve e produz bem em qualquer tipo de solo, desde os francos arenosos, até os mais argilosos. Entretanto, consideram-se como ideais os solos mais leves, soltos, bem estruturados, de média ou alta fertilidade, bem drenados e com boa aeração. Nesses solos, as raízes são mais uniformes e com pouca aderência de terra na superfície, tendo melhor aparência. A produção é muito prejudicada em solos encharcados ou muito úmidos, pois a aeração deficiente retarda a formação das raízes tuberosas.

O excesso de umidade, de matéria orgânica e nitrogênio provoca grande multiplicação das ramas e pouca formação de raízes tuberosas. Solos compactados, muito argilosos e/ou mal preparados causam alterações no formato e uniformidade das raízes tuberosas e queda na produtividade. A batata-doce é uma planta muito tolerante às variações de acidez no solo.

O plástico biodegradável pode ser produzido a partir de fontes renováveis de biomassa, como, por exemplo, o amido de batata-inglesa (*Solanum tuberosum*), amido de milho (*Zea mays*), o amido da mandioca (*Manihot esculenta*) (SANTOS et al., 2013, 5 p; RODRIGUES et al., 2015, p. 8; RUDIN; CHOI, 2016). O plastificante é um dos parâmetros mais importantes no desenvolvimento de plásticos à base de amido, pois proporciona flexibilidade aos materiais (MUSTAPHA; WAN, 2022, p. 131440).

O amido de batata-doce é utilizado na Ásia em uma ampla variedade de alimentos industrializados como macarrão, batatas fritas processadas, alimentos enlatados, molho para carnes, sobremesas. Também é utilizado em produtos farmacêuticos, resinas naturais e materiais termoplásticos biodegradáveis (MCPHERSON; JANE, 1999, p. 57-70; ANTONIO et al., 2011, p. 1-18).

As formas de processamento de batata são variadas, mas ainda pouco exploradas no Brasil e, dentre elas estão a produção de fécula, flocos, farinhas e a grande quantidade de produtos extrusados como amidos pré-gelatinizados, farinhas instantâneas, “snacks”, sopas, macarrões e biscoitos (LEONEL, 2005).

Esse amido gelatiniza a uma faixa ampla de temperaturas (57 °C a 90 °C), tem uma solubilidade de 68% a 90%, se expande rapidamente, exibe um perfil de viscosidade elevado e alta claridade de pasta em comparação aos amidos de cereais, porém o amido de batata-doce retrograda rapidamente (ZAIDUL et al., 2007, p. 784-791). Estruturalmente possui o padrão de difração de raios X do tipo “A”, “CA” e “C” (MCPHERSON; JANE, 1999, p. 57-70). Em análise de imagem os grânulos apresentam-se uniformes, com formas circulares e poliédricas, com tamanho variando entre 12 e 20 µm (LEONEL, 2007, p. 579-588). O amido de bata-doce apresenta excelentes propriedades adesivas, podendo também ser utilizado como substrato para a produção de etanol e de outros produtos industriais fermentados ou bioprodutos (SRICHUWONG et al., 2012, p. 120-127).

Nesta técnica, após a gelatinização térmica dos grânulos em presença de excesso de água, a amilose e amilopectina se dispersam na solução aquosa e durante a secagem se reorganizam, formando uma matriz contínua que dá origem aos filmes. Geralmente a formação do filme envolve associações inter e intramoleculares ou ligações cruzadas das cadeias poliméricas formando uma rede tridimensional semirrígida que aprisiona e imobiliza o solvente. O grau de coesão depende da estrutura do polímero, solvente utilizado, temperatura e presença de outras moléculas tais como plastificantes (THARANATHAN, 2003, p. 71-78).

Em filmes de amido, os plastificantes mais estudados são os polióis, como o glicerol e o sorbitol. Quando são adicionados à solução filmogênica modificam a organização molecular da rede aumentando o volume livre na molécula. Essa ação do plastificante normalmente causa redução das interações intermoleculares entre as cadeias adjacentes do amido, resultando no aumento da mobilidade dessas cadeias (GONTARD, 1991). Consequentemente, ocorrem alterações no material como o aumento da flexibilidade, extensibilidade e distensibilidade, seguido por diminuição da resistência mecânica, temperatura de transição vítrea e barreira a gases e vapor de água (GROSSMAN et al., 2007).

## 2.5 *Aloe vera*

*A Aloe vera* Burm. f. (Figura 5) é uma planta herbácea, suculenta, que mede até 1 m de altura, de origem provavelmente africana. Conhecida popularmente como aloe ou babosa, apresenta folhas grossas, carnosas e suculentas, denteadas, dispostas em espiral, presas a um caule curto (LORENZI; LACERDA; BACHER, 2015). É uma planta de caule curto e raízes longas, sendo de fácil cultivo em clima quente e seco, não sendo exigente com relação ao solo (MARTINS, 2010).



**Figura 5.** Cultivo Comercial da *Aloe vera*. Fonte: Queiroga et al. (2019, p. 1).

É uma planta medicinal que apresenta propriedades cicatrizante, imunomoduladora, antimicrobiana, antioxidante, anti-inflamatória (HAI et al., 2019; HEKMATPOU et al., 2019; LORDANI et al., 2018, p.1-12). Constitui-se em sua maior parte de água, cerca de 96% a 98%, sendo o restante da composição atribuída a moléculas complexas de carboidratos, enzimas, proteínas, aminoácidos, vitaminas, minerais entre outras (LIMA, 2010).

O uso terapêutico da babosa data de milhares de anos, desde os povos antigos, como gregos, judeus, egípcios, árabes, africanos, europeus e, mais recentemente povos do continente americano (HEDENDAL, 2001). Os egípcios se referiam a ela como “a planta da imortalidade” (JOSEPH; RAJ, 2010, p. 106-110). O uso popular da espécie é feito principalmente através de cataplasma ou *in natura*, para tratar ferimentos, principalmente para tratamento de queimaduras (DIAS et al., 2018).

Ensaios *in vitro* comprovam o poder proliferativo e cicatrizante de *Aloe vera* (MORIYAMA et al., 2016). A planta é um dos constituintes da cobertura VERHAGAZE que apresenta na sua composição extrato de *Aloe vera* em gel (1,5 mL), colágeno (2,0 g), glicerina (5,3 mL) e conservantes parabenos (0,1g) (OLIVEIRA; SOARES; ROCHA, 2010, p. 346-351).

Suas propriedades medicinais são atribuídas ao gel incolor interno e aos exsudados das camadas externas (LAWRENCE et al., 2009, p. 906-915). O gel da planta apresenta na sua composição: proteínas, lipídios, aminoácidos, vitaminas e enzimas (HAMMAN, 2008, p. 1599-616). Os polissacarídeos da planta promovem a proliferação de fibroblastos e a produção de ácido hialurônico e hidroxiprolina que atuam no processo de cicatrização (CHANTARAWARATIT et al., 2014, p. 164-178; HASHEMI; MADANI; ABEDIANKENARI, 2015; BABAEI et al., 2018, p. 256-260).

Além dos polissacarídeos, existem substâncias antioxidantes incluindo  $\alpha$ -tocoferol (vitamina E), carotenoides, ácido ascórbico (vitamina C), flavonoides e taninos (HAMMAN, 2008, p. 1599-616). A presença de antraquinona como composto ativo, um análogo estrutural da tetraciclina, está relacionada com a atividade antibacteriana da espécie. As antraquinonas atuam como a tetraciclina, inibindo a síntese proteica bacteriana bloqueando o ribossomo (HABEEB et al., 2007, p. 388-393).

### 2.5.1 Cultivo da *Aloe vera*

A *Aloe vera* pertencente à família Asphodelaceae (SOUZA; LORENZI, 2005, 640 p) é popularmente conhecida no Brasil como babosa. O gênero *Aloe* compreende a mais de 300 espécies catalogadas (HARDING, 1979, p. 57-94), contudo, poucas espécies como *Aloe vera*, *Aloe ferox* (Cape aloes) e *Aloe perryi* Baker (Aloe da ilha de Socotra), têm sido exploradas pelas indústrias farmacêuticas e cosméticas (MAPP; McCARTHY, 1970, p. 361-365; MORTON, 1961, p. 311-319).



São plantas pouco exigentes quanto ao solo, desde que este seja drenado e permeável (textura arenosa e média), mas são sensíveis à acidez do solo. Solos com abundância de matéria orgânica devem ser equilibrados com boas doses de nutrientes minerais de potássio, cálcio, fósforo e magnésio. É uma planta característica de climas tropicais e subtropicais. Deve ser cultivada em locais protegidos de geadas e de ventos frios hibernais, quer por exposições mais quentes (leste e norte), quer pelo uso de quebra-ventos. É planta de plena luz, não se dando bem à sombra ou meia-sombra. A *Aloe vera* é a mais exigente quanto ao calor (CORREA JÚNIOR, C.; MING, L.C.; SCHEFFER, 1991, 150 p).

O método de propagação mais usado e prático é a do uso dos perfilhos que nascem ao redor da planta-mãe (*Aloe vera*), ao lado do tronco (*Aloe arborescens*), e os que afloram no solo pelos rizomas (*Aloe saponaria*). Estes perfilhos são separados e cultivados em um viveiro para que enraízem bem e se tornem fortes. As estacas de raízes não produzem muitas mudas e por isso são usadas eventualmente e as folhas raramente enraízam.

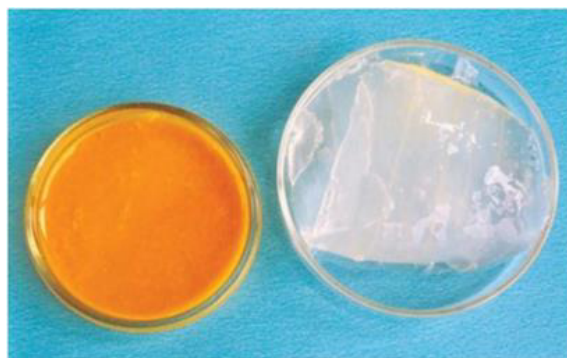
O plantio é feito no outono ou na entrada da primavera, em linhas distanciadas entre si, de 0,80 a 1 m, conservando 0,50 m (*Aloe saponaria*), 0,70 m (*Aloe vera*) ou de 0,80 a 1 m (*Aloe arborescens*), para maior facilidade de limpeza entre as plantas. O plantio é feito em covas rasas, em solo bem preparado.

Os tratamentos culturais consistem em capinas para evitar a concorrência com plantas espontâneas. Estas são feitas nas linhas para evitar o corte de plantas pelos instrumentos de capinas. A manutenção de cobertura morta, no inverno, é de grande valia. O controle de formigas e cupins deve ser feito sempre. As irrigações, salvo na hora do plantio, devem restringir-se a períodos de seca (CASTRO; CHEMALE, 1995, 195 p). Eventualmente ocorrem doenças devido à influência de climas frios e carências nutritivas. As doenças podem ser de origem bacteriana ou fúngica. Quando são poucas, as plantas infectadas devem ser eliminadas da cultura.

A colheita é realizada após um ano de cultivo, pois o crescimento inicial das babosas é lento. Retiram-se as folhas inferiores maiores, junto ao tronco, com um instrumento afiado. As folhas são levadas imediatamente para a extração da mucilagem e dos heterosídeos. O rendimento é variável, apresentando a *Aloe vera* o maior rendimento em peso de folhas/ha, seguido da *Aloe arborescens*, e ficando a *Aloe saponaria* com uma baixa produção de folhas (massa verde). Os colhedores devem usar botas e luvas para a proteção contra os espinhos existentes nas folhas (CASTRO; CHEMALE, 1995, 195 p).

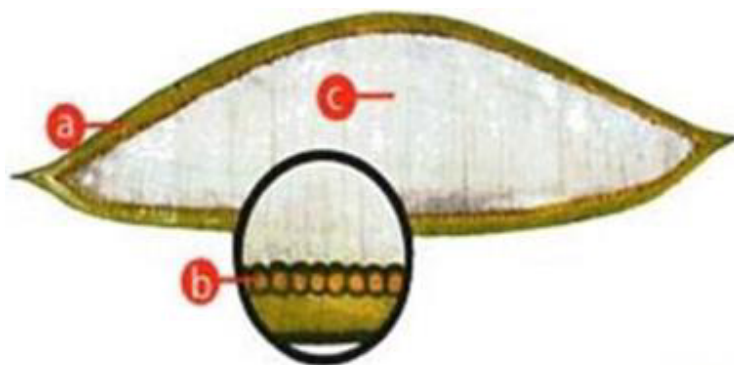
### 2.5.2 Importância econômica

Das folhas de *Aloe vera* se utilizam dois compostos diferentes para elaboração de produtos medicinais: o látex (ou acibar em espanhol) e o gel de babosa (Figura 6).



**Figura 6.** Amostras isoladas do gel (transparente) e do látex (alaranjado) de *Aloe vera* (babosa).  
Fonte: Queiroga et al. (2019, p.13).

Esse gel corresponde a polpa gelatinosa transparente que preenche as folhas (Figura 7). O látex é uma substância amarga e amarelada que se obtém da casca que se encontra imediatamente abaixo da epiderme das folhas. Trata-se de uma substância tóxica devido a seu teor em antraquinonas (25% a 40%), sendo que a aloína é o seu principal composto fenólico, com alta propriedade laxante, mas também contém aloe-emodina, aloesina e barbaloina (GROOM; REYNOLDS, 1986, p.345-348). Esse látex é um composto secretado para defesa da própria planta contra predadores em razão do seu desagradável sabor e cheiro (ESTEBAN et al., 2001, p.521-527).



**Figura 7.** Distinção de camadas. (a) camada exterior ou casca; (b) observando com um microscópio se destaca outra camada intermediária, denominada de tubos vasculares de minúsculo tamanho; e c) corpo interior ou tecido esponjoso. Fonte: Queiroga et al. (2019, p.14).

No que diz respeito aos aspectos sócio/econômicos, sendo o Brasil um país de dimensões continentais, com uma diversificação climática que vai desde o temperado até o equatorial e condições edafológicas também variadas, predominando a textura arenosa, que se assemelha muito às condições do continente de origem da babosa, o africano, os indicativos são de que se pode esperar que o cultivo dessa planta seja economicamente viável no país.

Por outro lado, o mercado nacional deve tornar-se grande demandador de produtos à base de babosa, pois a exemplo disto, o grupo americano “Forever Living Products”, que é o maior produtor (com 87% das plantações mundiais) e distribuidor mundial de produtos nutricionais e de beleza à base de babosa, vem atuando no Brasil, com distribuição via marketing de rede, nos estados de SC, PR, SP, RJ, MG, GO e DF, com vendas direta ao consumidor, ao preço que varia de R\$40,00 a R\$70,00/ litro de suco de babosa (FOREVERLIVING, 2004).

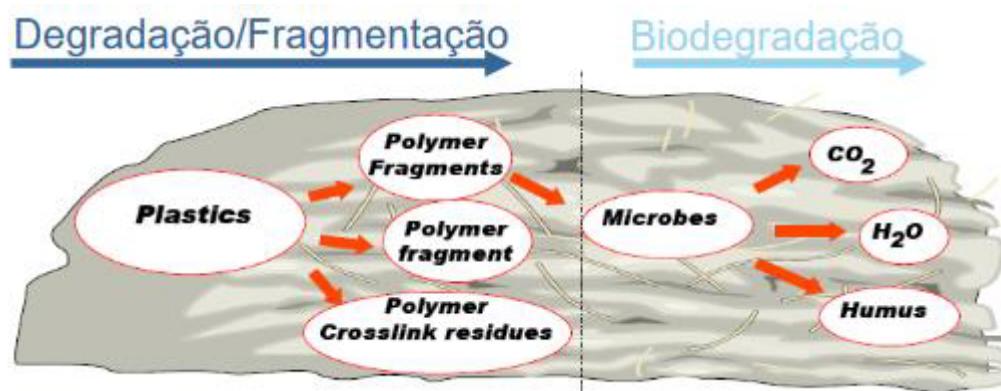
A análise de custos consiste em uma das mais nobres e importantes tarefas da administração financeira. Segundo Bruni e Famá (2004, p. 551), as funções básicas da contabilidade de custos devem buscar atender à três razões primárias: determinação do lucro, controle das operações e demais recursos produtivos e tomada de decisões. Horngren, Datar e Foster (2004, 310 p) afirmam que a alocação de custos é problema em quase todas organizações e fornece informações necessárias para as decisões estratégicas e operacionais das empresas.

É mediante resultados econômicos que o produtor pode tomar decisões e encarar o seu sistema de produção como uma empresa. Pois, para administrar qualquer negócio o primeiro passo é conhecê-lo, bem como o mundo no qual ele está inserido, seu funcionamento e seu ambiente. Quanto mais conhecimentos sobre esses aspectos o administrador tiver, maiores serão as chances de tomar decisões corretas (LOPES; CARVALHO, 2002).

## 2.6 Biofilmes Biodegradáveis

Biofilme é um agregado organizado de microrganismos que vivem dentro de uma matriz polimérica extracelular produzida por eles e estão irreversivelmente ligados. Esta matriz extracelular é parcial ou principalmente composta de proteínas (JAMAL et al., 2017, p. 7-11). É possível identificar nessa matriz alguns nutrientes e minerais importantes, polissacarídeos, moléculas de DNA (<1%), RNA (<1%), íons (ligado e livre) e, finalmente, 97% de água. O fluxo de nutrientes essenciais dentro de um biofilme é atribuído ao teor de água (LEBEAUX; GHIGO; BELOIN, 2014, p. 510-543).

A Figura 8 mostra os processos de degradação, fragmentação e biodegradação.



**Figura 8.** Degradação/ fragmentação e biodegradação. Fonte: Narayan, (2021, p. 89-101).

Dois critérios são essenciais na formação do biofilme, o critério contextual trata-se de uma comunidade mono ou poli microbiana de uma superfície sólida, incluindo corpos estranhos (próteses, válvulas artificiais, cateteres). Enquanto o critério morfológico está associado à formação pelos microrganismos de uma matriz extracelular constituída por polímeros complexos (PINILLA et al., 2017, p.67-75).

### 2.6.1 Formação do biofilme por microrganismos

Durante a maturação do biofilme, as bactérias ligadas à superfície criam um ambiente protetor ao redor deles, secretando Substância Polimérica Extracelular (EPS), evitando assim a entrada de antibióticos no biofilme. Eles também formam canais de água dentro do biofilme para facilitar a troca de nutrientes e resíduos (HALL-STOODLEY; COSTERTON; STOODLEY, 2004, p. 95-108).

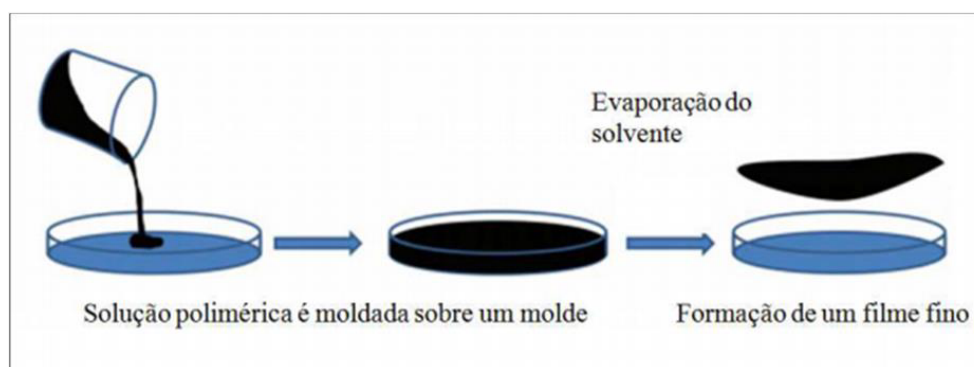
A formação de biofilmes é uma medida usada para o desenvolvimento da resistência. Algumas bactérias toleram concentrações de antibióticos de 10 a 1.000 vezes superiores a concentração mínima inibitória de bactérias geneticamente similares. Essa resistência se deve ao desenvolvimento de várias estratégias de subversão contra o antibiótico (BOUYAHYA et al., 2017, p. 729-743).

A espécie *Staphylococcus aureus* apresenta diversos fatores de virulência, sendo a formação de biofilme o mais comum. Essa configuração garante a adesão e o crescimento dessas bactérias dentro dessa estrutura, proporcionando um modo protegido de crescimento que permite a sobrevivência em um ambiente hostil (DAVIS, 2005, p. S79-S96), além de conferir capacidade de evasão ao sistema imunológico e a múltiplos tratamentos antibióticos (YAZDANI et al., 2006, p. 25-28).

Considerando a dificuldade no tratamento de infecções causadas por microrganismos multirresistentes, faz-se necessário a identificação de potenciais agentes terapêuticos que apresentem propriedades antimicrobiana e antibiofilme (TRENTIN et al., 2011, p. 327-335). As plantas medicinais têm suas propriedades terapêuticas investigadas pela comunidade farmacêutica e científica, estudos demonstram o potencial de compostos derivadas de plantas com propriedade antimicrobiana (SAVOIA, 2012, p. 979-990).

### 2.6.2 Formação de filmes pelo método de “casting”

Geralmente em escala laboratorial, filmes biodegradáveis à base de amido são produzidos pelo método de “casting” (DONHOWE; FENNEMA, 1994, p.1-25). O princípio da formação dos filmes se baseia na dispersão de macromoléculas (amido) em um solvente ou mistura de solventes adequados, obtendo-se assim a suspensão formadora de filme que é submetida a gelatinização térmica e, em seguida, a mesma foi depositada sobre um molde ou superfície para a secagem (WARD; NUSSINOVITCH, 1997, p. 357-365), como pode ser visualizado na Figura 9.



**Figura 9.** Formação de filme polimérico pela técnica de “casting”. Fonte: Sayyar, Officer e Wallace, (2017, p. 3462-3482).

Pela moldagem tradicional, os filmes devem ser secos a baixas temperaturas para não quebrarem durante esta etapa (FISHMAN et al., 2000, p. 317-325). É desejável também que o teor de água esteja entre 5% e 8% no filme seco para facilitar sua remoção do molde (THARANATHAN, 2003, p. 71-78).

### 2.6.3 Propriedades mecânicas

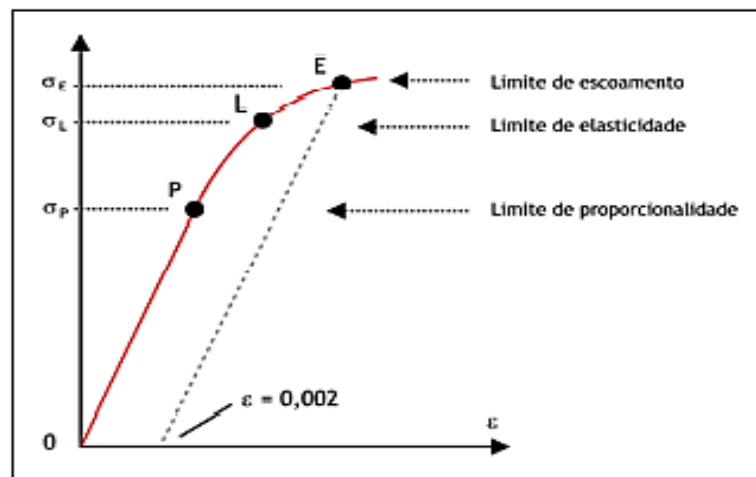
As propriedades mecânicas dos filmes biodegradáveis estão diretamente relacionadas com a natureza do material filmogênico utilizado e com a coesão da estrutura da matriz polimérica, a qual está relacionada com a aptidão do polímero em formar fortes e/ou numerosas ligações em nível molecular entre duas cadeias poliméricas dificultando, assim, sua separação quando submetida a forças mecânicas (GONTARD, 1991). Assim, as propriedades mecânicas são aquelas que determinam a resposta destes materiais às influências mecânicas externas (CANEVAROLO, 2006, 282 p).

As metodologias de análise das propriedades mecânicas se baseiam principalmente nas normas da ASTM (ASTM D-882-91, 1996), que se aplicam à determinação das propriedades de tração de filmes com espessura inferior a 1 mm e a 638-93 (ASTM D-638-93, 1993), para filmes com espessura igual ou superior a 1 mm.

Dentre as propriedades mecânicas de maior interesse em filmes estão as relacionadas com a resistência à tração, ou seja, a força necessária para estirar ou deformar o filme e a deformação alcançada pelo mesmo até a ruptura (BARRETO, 2003). Tais propriedades incluem:

- a) Tensão máxima de ruptura ( $\sigma$ , dada em MPa): é a máxima tensão suportada pelo filme até o momento de sua ruptura;
- b) Alongação máxima ( $\epsilon$ , dada em %): é a medida de maleabilidade do filme e pode ser considerada como uma característica que define a habilidade do filme em deformar antes de ocorrer sua ruptura. Baixos valores de alongação implicam em filmes quebradiços (MACLEOD; FELL; COLLET, 1997, p. 53-60).
- c) Módulo de elasticidade ou módulo de Young ( $E$ , dado em MPa): é a relação linear entre a tensão aplicada e a deformação sofrida, que é determinado pela inclinação da curva de tensão versus deformação na região elástica (DE VELDE; KIEKENS, 2002, p. 281-300). O módulo de elasticidade informa a respeito da dureza ou resistência que um material apresenta à deformação plástica. Quanto maior o módulo, mais resistente à deformação é o material (CALLISTER, 1997, 920p).

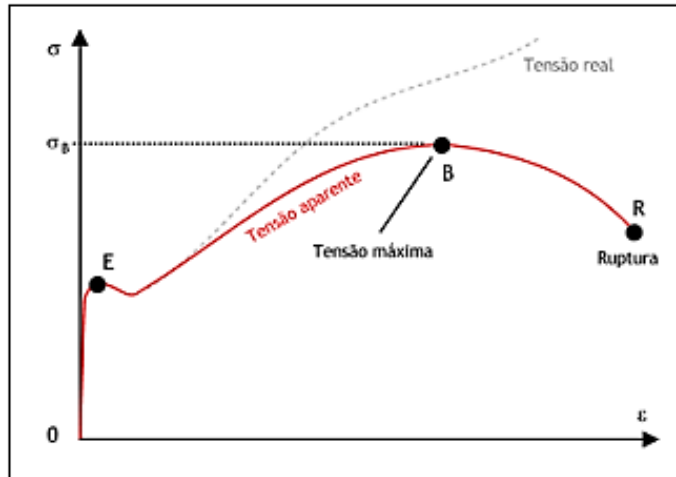
Na Figura 10 temos a região elástica de um material. A partir do ponto L tem-se o início da região plástica ou escoamento do material, em que as deformações são permanentes. Na Figura 22 mostra que é usual considerar início ou limite de escoamento  $\sigma_E$  a tensão que produz uma deformação residual, para  $\epsilon = 0,002$  ou 0,2%.



**Figura 10.** Região elástica de um material. Fonte: Mendes et al. (2007, p. 4).

O ensaio consiste na aplicação de uma carga uniaxial crescente a um corpo de prova especificado, ao mesmo tempo em que são medidas as variações no comprimento.

Depois do limite de escoamento há uma significativa redução da área da seção transversal e a tensão real segue algo como a curva tracejada da Figura 11. Mas a convenção é usar tensão aparente, em relação à área inicial.



**Figura 11.** Tensão real. Fonte: Mendes et al. (2007, p. 5).

Estas propriedades são dependentes das condições ambientais, como temperatura e umidade relativa do ar. As características mecânicas de um filme polimérico são também influenciadas pela temperatura de transição vítrea do polímero (BARRETO, 2003).

As propriedades mecânicas servem como base de comparação do desempenho mecânico dos diferentes polímeros, uma vez que estão diretamente relacionadas à natureza do material filmogênico utilizado e com a coesão da matriz polimérica formada, que está relacionada com a distribuição e a concentração de interações inter e intramoleculares na estrutura filmogênica (CUQ; GONTARD; GUILBERT, 1998, p. 1-9).

As características mecânicas devem ser suficientes para manter a integridade através das práticas de produção e manipulação porque qualquer dano ao filme, como perfurações e rasgos, danifica as propriedades de barreira e proteção. Assim, a quantificação de dados para as características mecânicas dos filmes é essencial para o dimensionamento e projeto dos processos de embalagem e para que se alcancem características desejáveis de aplicação específica (BARRETO, 2003).

## 2.7 Aplicações dos Biofilmes

Por possuírem propriedades e características tão amplas, esses compostos podem ter as mais diversas finalidades, substituindo parte considerável dos plásticos tradicionais. O Quadro 1 apresenta os mais diversos ramos de atuação dos bioplásticos.

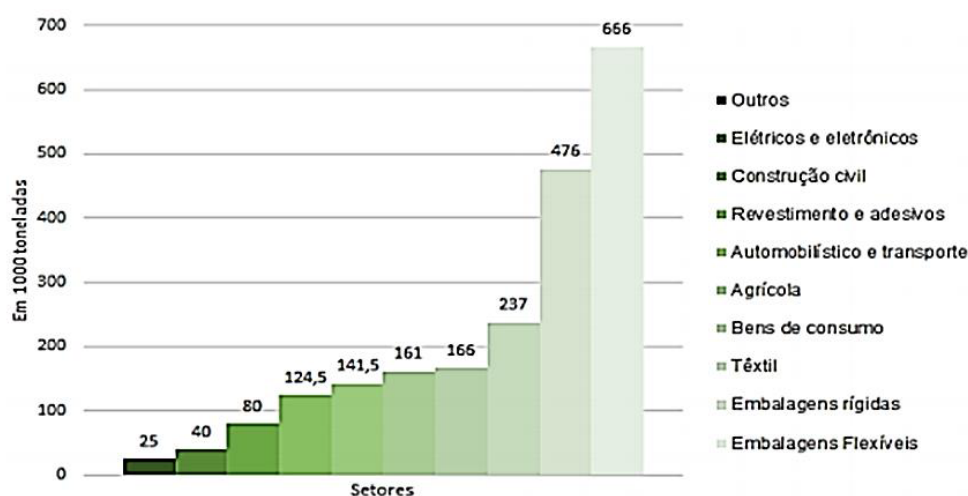
**Quadro 1.** Principais aplicações dos bioplásticos. Fonte: Mendes, (2020).

Aplicação	Bioplástico
Encapsulamento de fármacos	PHA, PHB
Biomaterial para uso medicinal	PHA, PHB, PLA, PSB
Construção civil	PLA, PE verde
Eletrônicos	PHA, PHB
Embalagens de produtos de higiene pessoal, cosméticos e medicamentos	PHA, PHB, PE verde, PSB
Embalagens para alimentos	PHA, PHB, PLA, plástico de amido
Espumas plásticas	PA
Filmes	PTT, PHA, PSB
Filmes e revestimentos comestíveis	Plástico de amido
Indústria têxtil	PTT, PA, PLA
Monofilamentos	PTT
Peças para indústria automobilística	PTT, PA, PHB, PE verde, PSB
Redes de proteção para frutas e culturas hortícolas	Plástico de amido, PSB
Sacolas plásticas	PHA, PHB, PE verde
Utensílios descartáveis	PHA, PHB, plásticos de amido

Assim, pode ser percebido, que em parte considerável dos setores produtivos, há a possibilidade de substituição dos polímeros convencionais por polímeros mais sustentáveis. Ainda é necessário um aprofundamento nas pesquisas para que as características se adequem cada vez mais as exigências dos segmentos atendidos, e, principalmente, para que se suceda um barateamento da cadeia produtiva, e conseqüentemente torne o preço do produto final competitivo e efetivamente biodegradável.

### 2.7.1 Na substituição dos plásticos tradicionais

Ao analisar a Figura 12, pode ser percebido o quão expressivos são os seguimentos de embalagens flexíveis, rígidas, têxteis e de bens de consumo. Logo após, tem-se os setores automotivos e de transporte, de revestimento e adesivos, de construção civil e de eletrônicos com uma parcela de atuação um pouco menor.



**Figura 12.** Capacidade de produção global de bioplásticos por setor em 2019. Fonte: Adaptado de European Bioplastics – EUBP, (2018).

Atualmente, o setor de embalagens é o pioneiro na utilização de bioplásticos como matéria-prima, sendo destino de cerca de 53% da produção desses materiais (EUBP, 2020).

A função de uma embalagem é conter e proteger o produto do meio ambiente, mantendo sua qualidade (no caso alimento) durante sua vida de prateleira. Além do mais, a embalagem necessita tratar da comunicação, estética, conveniência, leis e exigências comerciais e tratar de aspectos ambientais como facilidade de degradação ou reciclagem (PETERSEN et al., 1999, p. 52-68; PIERGIOVANNI, 1998, p. 219-279; ROBERTSON, 1993). Além destas funções tecnológicas e mercadológicas, é importante também lembrar a função econômica da embalagem. O custo da embalagem deverá ser objeto de muita atenção, pois muitas vezes a embalagem custa mais que o próprio manufaturado que contém (GURGEL, 1995).

O tempo de vida útil do produto é controlado por três fatores: características do produto, propriedades da embalagem em si e condições de distribuição e estocagem. A embalagem é, muitas vezes, responsável pela garantia da qualidade do produto (BROWN, 1992; PETERSEN et al., 1999, p. 52-68):

O conhecimento das propriedades e das vantagens dos materiais disponíveis para embalagens alimentícias é de fundamental importância para a especificação mais adequada do material para um determinado produto (PIERGIOVANNI, 1998, p. 219-279).

Material proveniente de fonte renovável, o politereftalato de trimetileno, PTT, apesar de não ser biodegradável, apresenta maior resistência, melhor capacidade de pigmentação e suporta melhor as deformações elásticas quando comparado com o nylon ou com o polietileno tereftalato, PET. Sua presença está na produção de filmes, de carpetes e de monofilamentos, além de ser utilizado na indústria têxtil e na de termoplásticos (BASTOS, 2007, p. 201-234; FERREIRA, 2018, p. 1-8; SOARES JÚNIOR, 2010).

Atualmente, o PHA é um dos biopolímeros com mais pesquisas envolvidas e com diversas possibilidades de obtenção, já que são gerados por diversas bactérias que utilizam as mais variadas fontes de substratos, formando os monômeros que os constituem (VIEGAS, 2005). Por ser biocompatível, há a possibilidade de utilizá-lo na fixação de fraturas, para fabricar suturas, moldes para reconstituição de tecidos e também cápsulas capazes de modular a dispersão dos fármacos (DA SILVA et al., 2007). Outros setores favorecidos com as diversas propriedades do PHA são os de eletrônicos, fomentando um avanço sustentável do ramo que está em constante busca por inovações, e o de embalagens e filmes (BIO-ON, 2020; AMARAL; BORSCHIVER; MORGADO, 2019, p. 228-241).

O polisuccinato de butileno (PBS) poder ser produzido por uma rota biológica através de microrganismos, gerando produtos finais biocompatíveis e biodegradáveis. Isso implica na sua importância para produção de biomaterial para uso medicinal, de filmes e capas para proteção de vegetais, de insumos como cordas e redes, e de embalagens (CAETANO, 2018; MARTINS, 2010). Recentemente, o seu uso tem ganhado destaque no setor automobilístico, uma vez que reduz o peso do veículo, implicando em um melhor desempenho do mesmo (EUBP, 2020).

### **2.7.2 Nos processos de regeneração de tecidos**

A cicatrização das feridas consiste na regeneração gradativa de eventos que possibilitam uma reconstituição dos tecidos. O processo de cicatrização nos tecidos é dividido didaticamente em três fases: inflamatória, proliferação e maturação. A etapa inflamatória dura entre 48 e 72 horas após o trauma e é sinalizada pela presença dos sinais da inflamação como dor, calor, rubor e edema; a etapa proliferativa dura até duas semanas e se caracteriza pela reconstituição dos vasos linfáticos e sanguíneos e pela produção de colágeno; e a etapa de maturação, caracterizada pela reorganização do colágeno presente no tecido, tem duração por tempo indeterminado.



Nesse processo final se substitui um tecido lesado por um tecido novo (CAMPOS; BRANCO; GROTH, 2007, p. 51-58).

O processo de cicatrização resulta na formação de um novo tecido capaz de reparar a lesão. Dando necessariamente no tecido conjuntivo, no qual múltiplos fatores de ordem geral ou local interferem em sua constituição em função de substituir o tecido lesionado do indivíduo, por conjuntos neoformados, atingindo a cicatrização da lesão (GLINARDELLO et al., 2009, p. 37-44; OLIVEIRA; DIAS, 2012, p. 267-271).

Alguns testes e estudos feitos em animais identificaram algumas substâncias na planta como sendo parcialmente responsáveis pela atividade anti-inflamatória e cicatrizante da *Aloe Vera* e várias estruturas foram indicadas para explicar sua influência nesses processos (FREITAS; RODRIGUES; GASPI, 2014, p. 299-307).

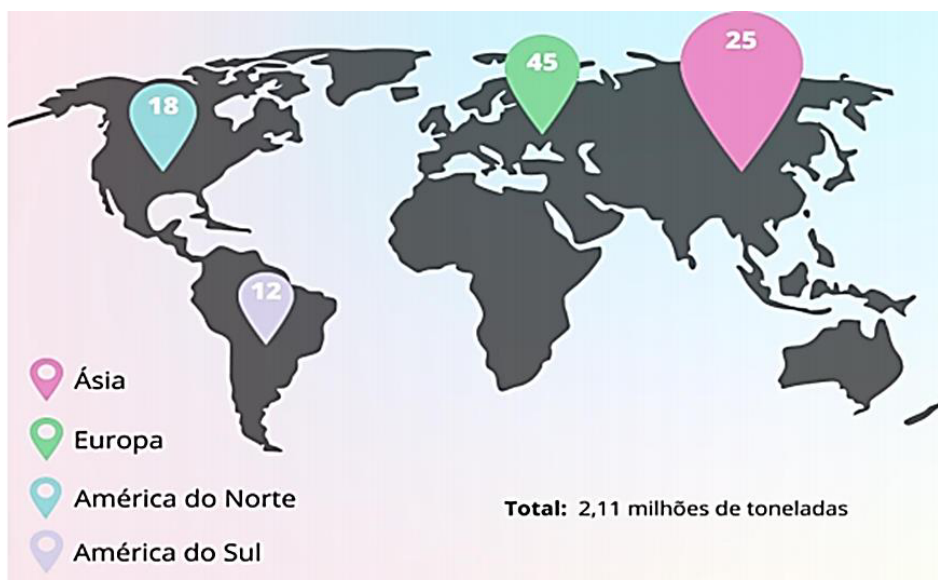
## **2.8 O Mercado de Produtos de Origem Renovável**

Recentemente, os materiais de origem renovável e/ou biodegradáveis vem despertando um aumento de interesse no mercado mundial, principalmente por sua elaboração ser mais sustentável do que as de polímeros tradicionais e pela necessidade de minimizar a dependência na utilização de fontes fósseis para obtenção de matéria-prima. Entretanto, o custo elevado das matérias-primas ainda inviabiliza uma maior adesão ao uso, já que esse pode ser em média até cinco vezes maior do que o custo de um plástico convencional (DE CASTRO; JURADO-LÓPEZ, 2019, p. 120106).

Ainda assim, as perspectivas são positivas, tanto ao redor do mundo, quanto no Brasil. Com a alta do preço do barril de petróleo, algumas empresas já estão prevendo alternativas produtivas a longo prazo (CENTRO NACIONAL DE PESQUISA E INOVAÇÃO, 2017). Além disso, de acordo com Daruich, diretora-executiva da Associação Brasileira de Biopolímeros Compostáveis e Compostagem, em entrevista para a Revista Pesquisa FAPESP, conforme a escala de produção aumenta, o preço final tende a diminuir e ser mais acessível (JONES, 2020).

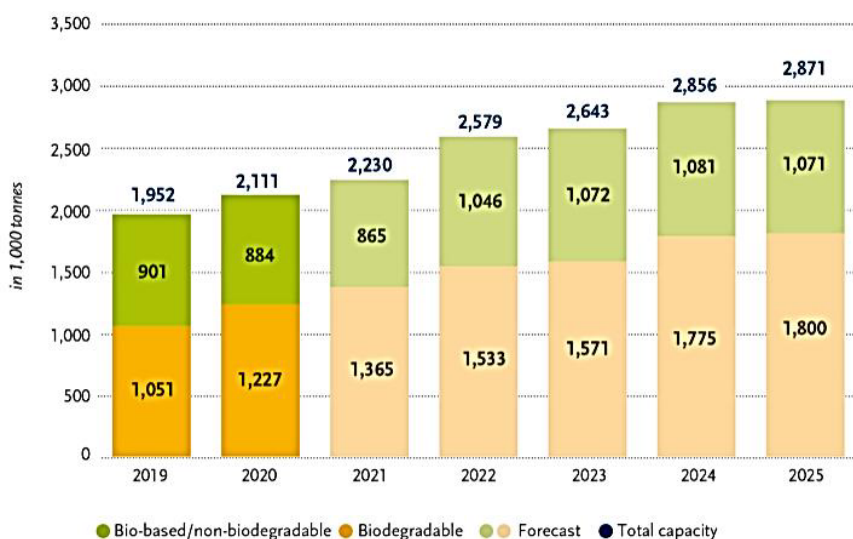
O PE verde da Braskem é utilizado em diversos ramos e por inúmeras grandes empresas, principalmente para o desenvolvimento de embalagens, alavancando assim o comércio desse material (SILVA et al, 2020, p. 827-839; SCHUT, 2016, p. 5-6).

A capacidade de produção cresceu aproximadamente 5% no contexto global, atingindo a marca de 2,11 milhões de toneladas, motivando a expectativa de 2,4 milhões de bioplásticos produzidos até 2024. Nesse contexto a Ásia ganha destaque, sendo responsável por 45% da produção mundial em 2019, como percebido na Figura 13. Logo após está a Europa, que ocupou 25%, e, além de ser referência em investimentos nas pesquisas e no desenvolvimento do setor, é o maior mercado consumidor do material. Nos últimos anos, tanto a Ásia quanto a América apresentaram um expressivo crescimento, também previsto para os próximos anos (EUBP, 2020).



**Figura 13.** Porcentagem da capacidade global de produção de bioplásticos por região em 2019. Fonte: Adaptado de EUBP, (2020).

A EUBP, associação que representa os interesses da indústria de bioplásticos na Europa – realizou virtualmente sua 15ª Conferência da EUBP em que divulgou dados atualizados sobre a indústria mundial dos materiais poliméricos de origem biológica. De acordo com o relatório publicado, há uma forte tendência de crescimento dinâmico e contínuo da indústria global de bioplásticos. A Figura 14 apresenta as perspectivas, para os bioplásticos também promissoras, visto que o mercado global deve crescer 36% nos próximos cinco anos, afirmou François de Bie, presidente da EUBP (2020).

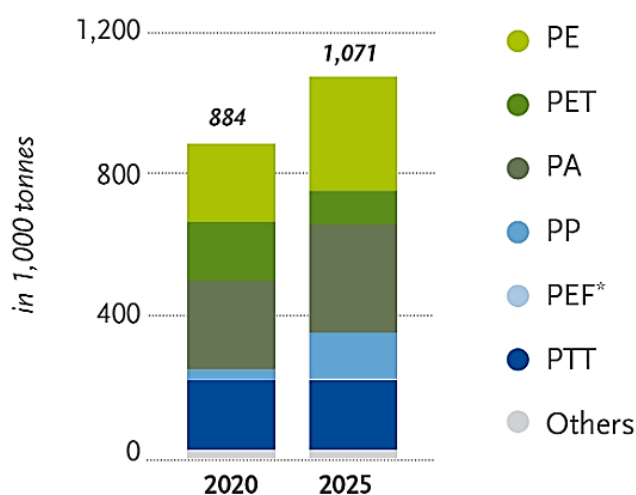


**Figura 14.** Capacidade global de produção de bioplásticos por região em 2019. Fonte: adaptado de EUBP, (2020).

Atualmente os plásticos biodegradáveis respondem por quase 60% da produção global de bioplásticos. Desde que os PHAs entraram no mercado, a participação dessa família de polímeros continuou a crescer: as capacidades de produção deverão aumentar quase sete vezes nos próximos cinco anos. A produção de poli (ácido láctico) (PLA) também continuará

crecendo devido aos novos investimentos em unidades de produção em países como a China e Estados Unidos, e no continente europeu.

Segundo os dados publicados, como visto na Figura 15, as capacidades de produção de PP de base biológica deverão mais do que triplicar até 2025. Isso se deve à ampla aplicação de PP em uma ampla gama de setores. Trata-se de um material muito versátil que apresenta excelentes propriedades de barreira e é um dos plásticos “commodities” mais difundidos. Uma versão de base biológica dessa olefina é aguardada há muitos anos. Plásticos de base biológica não biodegradáveis, incluindo as soluções “drop-in” de polietileno (PE), poli (tereftalato de etileno) (PET) e poliamidas (PAs), atualmente representam 40% (0,8 milhões de toneladas) das capacidades globais de produção de bioplásticos (EUBP, 2020).



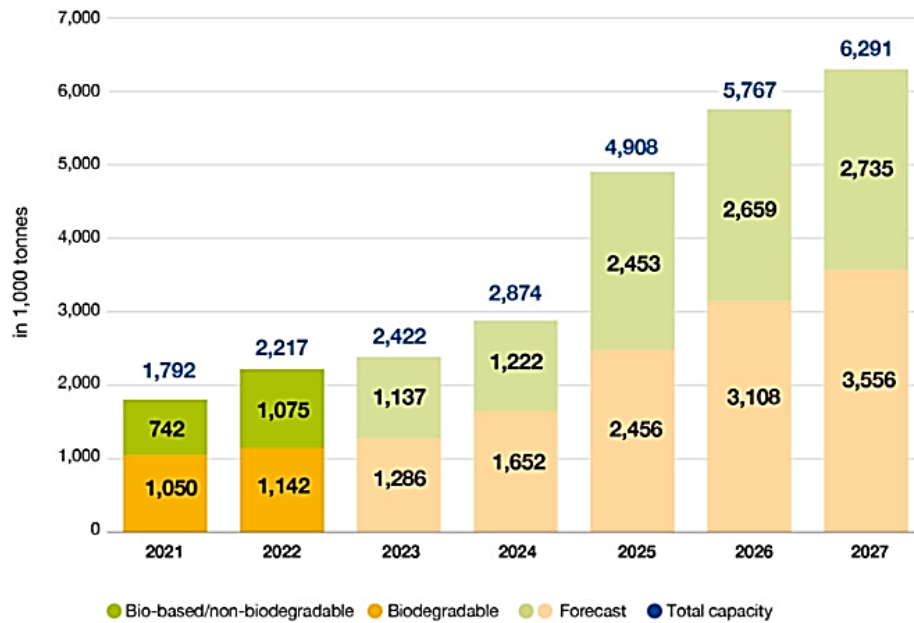
\*PEF está atualmente em desenvolvimento e está previsto para estar disponível em escala comercial em 2023.

**Figura 15.** Bioplástico de base biológica e durável 2020 *versus* 2024. Fonte: EUBP, (2020).

Para o PE de base biológica, novas capacidades estão planejadas para entrar em operação na Europa e na América do Sul nos próximos anos. Em contraste, o PET de base biológica contribuirá apenas com uma pequena parcela das capacidades gerais. As intenções de aumentar as capacidades de produção não foram realizadas na taxa prevista nos anos anteriores. Em vez disso, o foco mudou para o desenvolvimento de poli (furanoato de etileno) (PEF), um novo polímero que deve entrar no mercado em 2023. O PEF pode ser comparado ao PET em certas aplicações, embora seja de fonte biológica e apresente propriedades de barreira superiores, o que o torna uma alternativa de material às garrafas de bebidas (EUBP, 2020).

As embalagens continuam sendo o maior campo de aplicação de bioplásticos, com quase 47% (0,99 milhões de toneladas) do mercado total de bioplásticos em 2020. Os dados também confirmam que os materiais bioplásticos já estão sendo usados em muitos outros setores e o portfólio de aplicações continua a se diversificar. Segmentos, tais como bens de consumo ou produtos agrícolas e hortícolas, continuam aumentando sua participação relativa.

Os polihidroxicanoatos e o polipropileno (PP) verde apresentaram uma das maiores taxas percentuais de crescimento em 2019. A previsão é que a produção dos PHAs triplique até 2024 e que o PP “bio-based” cresça até seis vezes mais, já que ambos possuem diversas possibilidades de aplicação. Na Figura 16, percebe-se que o polietileno verde, representante dos “drop-ins”, representa 12% da capacidade mundial de produção, podendo atender diferentes demandas do mercado, sendo um dos mais utilizados como insumo para confecção de produtos (EUBP, 2020).



**Figura 16.** Capacidades de produção global de bioplásticos 2020 (por segmento de mercado).  
 Fonte: EUBP, (2020).

O emprego de polímeros biodegradáveis naturais (PHB, PHB-V) ou sintéticos (PCL, PLA, PGA) no mercado ainda não é significativo, mas deverá ser mais expressivo em futuro próximo, uma vez que estes polímeros geram resíduos de curta duração, em relação aos plásticos sintéticos (PET, PE, PP, PVC) e as pesquisa a respeito da aplicação tecnológica e da duração de seus resíduos se tornaram mais evidentes (FRANCHETTI; MARCONATO, 2006, p: 811-816).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Revisão Sistemática da Literatura

Para a busca de informações a respeito das pesquisas realizadas por outros autores, que envolvem a produção e/ou utilização de produto biodegradável tendo como fonte matérias-primas renováveis, foi utilizado o banco de dados da “Cochrane Library” (CRD, 2009). Ainda, uma pesquisa na literatura disponível foi feita através do Portal de Periódicos da CAPES, em janeiro de 2022, por meio da base multidisciplinar “Web of Science”, “Scopus” e “Science Direct”.

No que tange a uma revisão bem definida e direcionada, Higgins e Green (2011) afirmam que é imprescindível que a pergunta se relacione com o problema de pesquisa apresentado na introdução deste artigo, a saber: quais compostos estão sendo utilizados para a produção de bioplástico?

A questão de pesquisa foi amparada pela estratégia PICO (acrônimo para P: população/pacientes; I: intervenção; C: comparação/controle; O: desfecho/“outcome”), que auxilia no que se refere a estruturação dos limites e das diretrizes de busca (PETTICREW; ROBERTS, 2008; HIGGINS; GREEN, 2011), além de destacar as palavras-chave oriundas do problema de pesquisa, conforme unificado no Quadro 2.

**Quadro 2.** Estruturação da base de busca no PICO. Fonte: Adaptado de Higgins e Green, (2011).

Acrônimo	Significado	Definição / Aplicação	Palavras Chaves
P	“Population”	População alvo definida para a pesquisa.	“bioplastic” OR “green plastic” OR “biopolymer”
I	“Intervention”	Intervenção a ser observada na população definida. Nesse caso, serão os meios para as saídas que serão observadas.	“corn OR “aloe vera” OR “soybean” OR “sugarcane”
C	“Comparasion”	É aplicado em áreas da saúde para comparação de protocolos clínicos. Para esse caso, não é aplicável.	Não aplicável
O	“Outcome”	São as saídas esperadas da intervenção na população definida.	“environment” OR “sustainability” OR “renewable sources”

Para obtenção da busca avançada, foi elaborado o “string” de busca, seguindo orientação do PICO (Quadro 3), com os conectores booleanos “OR” e “AND”. A sintaxe utilizada na pesquisa foi definida pela base “Web of Science” e aplicada na “Scopus”. O “string” foi alterado para a busca na “Science Direct”, visto que a base apresentou limitações de tamanho nos caracteres de pesquisa e a busca foi necessariamente particionada, ficando da seguinte forma: (“bioplastic” “OR” “green plastic”) “AND” (“corn” “OR” “Aloe vera” “OR” “soybean” “OR” “sugarcane”) “AND” (“environment” “OR” “renewable sources”).

**Quadro 3.** Estruturação da base de busca no PICO I. Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Construção do “string” para busca avançada na “Web of Science” baseada no PICO				
P	Conector booleano	I	Conector booleano	O
“bioplastic” “green plastic” “biopolymer”	“AND”	“corn” “vera” “OR” “soybean” “OR” “sugarcane”	“AND”	“environment” “sustainability” “renewable sources”
“String” = (“bioplastic” “OR” “green plastic” “OR” “biopolymer”) “AND” (“corn” “OR” “aloe vera” “OR” “soybean” “OR” “sugarcane”) “AND” (“environment” “OR” “sustainability” “OR” “renewable sources”)				

O processo de seleção dos artigos consiste na aplicação gradual de critérios de inclusão (CRD, 2009), levando em consideração diferentes concepções na base de dados “Web of Science”, “Scopus” e “Science Direct”. O primeiro critério de escolha adotado foi o período, que remeteu aos últimos cinco anos. O segundo critério escolhido foi o tipo de documento, sendo estes artigos e revisões. O terceiro método foi o idioma e o quarto foi categorias das bases.

Inicialmente, a fase de seleção constitui-se em uma triagem de títulos e de resumos, respectivamente. Essa triagem tem como foco identificar os trabalhos que versam sobre a temática pesquisada. O último critério de escolha indicado foi a triagem dos textos completos selecionados até essa fase (CRD, 2009; HIGGINS; GREEN, 2011).

Após essa etapa, foi aplicado o refinamento através de filtros, sendo eles: delimitações temporais (últimos 5 anos), artigos e revisões, categorias das bases e, por fim, o filtro de idioma, sendo este para a língua portuguesa, inglesa e espanhola.

Feito isso, a seleção por título das obras foi acrescentada, a fim de excluir os títulos que estavam fora do escopo do estudo proposto, cujo tema se refere ao bioplástico, plástico verde e biopolímero. Foi possível observar que os títulos excluídos abordavam sobre outras questões tais como: formulações e as suas propriedades físico-químicas e mecânicas, desafios sublinhados, métodos de produção típicos, caracterização, possível perspectiva alternativa de utilização de resíduos do mercado de bioplásticos não biodegradáveis, economia circular e segurança ecológica dos plásticos biodegradáveis.

Na sequência foi acrescentada uma nova etapa, que consistiu na leitura dos resumos. Essa leitura teve como finalidade refinar o processo e seleção das obras que tinham conexão direta com o objeto de estudo. Apesar de muitos artigos abordarem questões relativas a plásticos biodegradáveis, indicadores de sustentabilidade ambiental e acumulação de resíduos plásticos, poucos deles tinham conexão direta com o escopo da pesquisa.

Por último, a etapa de leitura completa dos documentos foi aplicada, sendo possível identificar os documentos que mais se relacionavam com o tema em questão, sendo possível identificar os compostos que já estão sendo utilizados para a produção de bioplástico.

### 3.2 Etapa de Campo – Cultivo de Batata-doce e *Aloe vera*

O trabalho foi dividido em duas etapas: a primeira etapa (etapa de campo) refere-se ao cultivo de batata-doce e *Aloe vera*. A segunda etapa (etapa laboratorial) consistiu na obtenção da resina, goma e fabricação do filme plástico.

### 3.2.1 Cultivo da batata-doce

A batata-doce pode ser encontrada em diversas variedades e a escolhida para ser utilizada no experimento foi a BRS Rubissol.

A cultura foi implantada no SIPA (Sistema Integrado de Produção Agroecológica), conhecido como “Fazendinha”, localizado o município de Seropédica, estado do Rio de Janeiro, Brasil, através do convênio Embrapa/UFRRJ. A área do SIPA se caracteriza por ser um espaço de experimentação agroecológica. Esta região está localizada em latitude sul 22° 48’, longitude oeste 43° 41’ e altitude de 33m. No local, o solo foi arado em uma área de 35m x 50 m. Foram criados os canteiros e em seguida as mudas de batata-doce foi plantada (Figura 17).



**Figura 17.** Cultivo da batata-doce roxa no SIPA. Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

As mudas utilizadas foram disponibilizadas por um produtor rural da região que cultivava alimentos orgânicos. Após 25 dias foi aplicado um herbicida natural e após mais 21 dias foi aplicado o adubo orgânico, com 1 kg de esterco por planta. Entre 50 e 60 dias após essa etapa foi realizada a limpeza dos canteiros. Ao final observou-se uma produção média de 2 kg por m<sup>2</sup> para batata-doce

### 3.2.2 Cultivo da *Aloe vera*

Os cultivos de *A. vera* e batata-doce foram realizados em um Sistema Integrado de Produção Agroecológica (SIPA), na Fazenda Agroecológica km 47. A lavoura seguiu para a instalação do sistema de irrigação por gotejamento e será adubada com adubo orgânico proveniente da unidade piloto de tratamento (UTP) do SIPA. Na adubação nitrogenada são cinco doses: 0; cinquenta; 100; 200 e 400% de nitrogênio de biofertilizantes em sistema orgânico de produção. O cultivo de *A. vera* foi realizado em setembro de 2020 em condições de campo, a planta foi cultivada em dois camalhões elevados, com área de aproximadamente 32 m<sup>2</sup> cada. Para a formação dos dois canteiros foi utilizado um trator acoplado a uma enxada (Figura 18).



**Figura 18.** Formação dos canteiros para o plantio de *Aloe vera*. Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

As mudas de *A. vera* utilizadas neste estudo foram provenientes de um produtor rural localizado no município de Campinas, estado de São Paulo. O plantio foi realizado manualmente em cova com dimensões de 15 cm de profundidade por 15 cm de largura e o espaçamento adotado foi de 1,0 m entre linhas e 1,0 m entre plantas (Figura 19). Com esse espaçamento estaríamos em um adensamento de aproximadamente 5.000 plantas/ha, recomendações conforme metodologia de Queiroga et al. (2019). Ainda segundo os autores, *A. vera* deixa uma grande lacuna, o que favorece a infestação e o crescimento de plantas espontâneas.



**Figura 19.** Início do crescimento de plantas espontâneas ao redor da lavoura. Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.



Essas espécies competem por água, luz e nutrientes com a cultura, tornando-se um fator limitante para o seu pleno desenvolvimento. Portanto, após o plantio, as plantas espontâneas foram controladas manualmente, removendo-as, pois podem interferir no crescimento da *A. vera* (Figura 3).

### 3.3 Processamento da Matéria-Prima

Nessa etapa foram obtidos o amido a partir da batata-doce, o gel a partir da *Aloe vera* e o biofilme a partir da combinação dessas duas substâncias.

#### 3.3.1 Obtenção do amido

Inicialmente, o amido foi obtido da batata-doce (*Ipomoea batatas*) por meio de um processo de trituração, filtragem e decantação de amostras de batata-doce (500 g).

Após a limpeza foram descascadas, foram cortadas em pedaços menores e trituradas no liquidificador com água destilada. Após a moagem, a massa resultante foi filtrada. O purê de amido foi então peneirado por uma peneira (18 mesh) para remover a fibra e deixado em repouso por 30 minutos (Figura 20). O líquido sobrenadante foi então removido e o amido (decantado) foi utilizado na produção do biofilme.



**Figura 20.** Obtenção do amido de batata-doce. Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

#### 3.3.2 Extração do gel (parte mucilaginosa) da *Aloe vera*

O gel ou polpa é uma massa gelatinosa e incolor formada por células do parênquima. As folhas de *A. vera* foram cortadas lateral e transversalmente com uma lâmina afiada e não enferrujada e o gel removido cuidadosamente com uma espátula (Figura 21). O gel foi homogeneizado em liquidificador e deixado em repouso para eliminação de bolhas de ar.



**Figura 21.** Extração do gel de *Aloe vera*. Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

### 3.3.3 Formação do biofilme polimérico

Em um béquer adicionou-se 250 mL do gel da *Aloe vera*, 50 g do amido obtido a partir da batata-doce, 25 mL de ácido acético e 25 mL de glicerina bidestilada. Homogeneizou-se lentamente para evitar a formação de bolhas de ar. A mistura foi aquecida por aproximadamente 10 minutos a 250 °C sob agitação com um bastão de vidro. Após aquecimento, o fluido formado foi adicionado a placas de vidro (30 cm x 30 cm) para a secagem em temperatura ambiente até formação do filme polimérico (Figura 22).



**Figura 22.** Obtenção de um filme polimérico. a) Procedimento para produção de filmes poliméricos; e b) filme polimérico. Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

A primeira parte do experimento ocorreu no Laboratório de Química na Universidade de Vassouras, no Rio de Janeiro. Na segunda fase, a formulação do bioplástico foi realizada no laboratório do Instituto de Química da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

### 3.4 Caracterização do Biofilme

Para caracterizar o produto obtido foram realizados os testes de solubilidade, permeabilidade ao vapor de água, degradação, espessura e ensaio de tração.

#### 3.4.1 Solubilidade

A solubilidade foi determinada segundo metodologia proposta por Gontard (1991), com modificações. Foram pesados aproximadamente 1g do biofilme obtido e colocado em estufa a 105 °C por 24 horas para determinação da massa inicial. Após este período as amostras foram colocadas em frasco erlenmeyer contendo 50 mL de água destilada e submetidas a agitação em agitador “shaker” a 175 rpm durante 24 horas, sob temperatura controlada em 25 °C (Figura 23).



**Figura 23.** Ensaio de solubilidade. a) estufa; b) amostras em frasco erlenmeyer. Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Em seguida, as amostras foram centrifugadas a 4677 x g por 10 minutos, para remoção da fase líquida e de eventuais partes da amostra que ficaram em suspensão. Logo após este procedimento, a massa final das amostras foi determinada na mesma condição em que foi determinada a massa inicial. A solubilidade em água foi expressa em porcentagem de material solubilizado, calculada a partir dos resultados em duplicata, aplicando a equação abaixo (Equação 1).

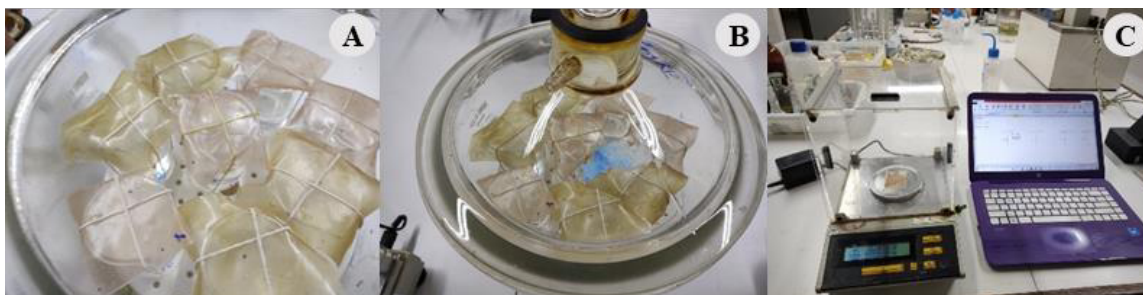
$$\text{Solubilidade (\%)} = \frac{\text{massa inicial} - \text{massa final}}{\text{massa inicial} \times 100} \quad (1)$$

#### 3.4.2 Permeabilidade ao vapor de água

No biofilme foi determinada gravimetricamente a permeabilidade ao vapor de água (PVA) segundo teste da ASTM (1995), com modificações realizadas por Gontard (1991).

Amostras de 4,5 cm de diâmetro do biofilme foram fixadas na abertura de um recipiente contendo sílica gel, de tal modo que a passagem de vapor de água fosse conduzida apenas através do biofilme. Os recipientes foram acondicionados em dessecador contendo água destilada (UR = 100%; 0,4297 x 10<sup>4</sup> Pa; ± 25 °C) para manter a umidade relativa em torno 53% (Figura 24). Desta forma, a transferência de vapor de água através da área da amostra foi medida

pelo ganho de massa do recipiente contendo sílica gel em função do tempo, avaliado durante sete dias consecutivos.



**Figura 24.** Permeabilidade ao vapor d'água. a) amostras de bioplástico; b) dessecador (jarra de anaerobiose); e c) mensurações de ganho de massa. Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

A PVA foi calculada pela Equação 2.

$$PVA = G \times eT \times A (P1 - P2) \quad (2)$$

Onde,

PVA: permeabilidade ao vapor de água ( $\text{gm}^{-1}\text{s}^{-1}\text{Pa}^{-1}$ );

G: ganho de massa da célula durante 24 horas (g);

e: espessura média do filme (m);

T: tempo (s);

A: área de permeação do filme ( $\text{m}^2$ ); e

P1 - P2: gradiente de pressão de vapor entre as superfícies do filme (Pa).

### 3.4.3 Ensaio de biodegradação

O ensaio de biodegradação foi realizado de acordo com as normas da ASTM D6003-96. Para o teste de biodegradabilidade foi coletado o solo (serapilheira) no SIPA a uma profundidade de até 20 cm. O solo coletado foi levado para o laboratório de química na Universidade de Vassouras em 10 baldes de 5 litros, sendo que neste foram acondicionados 4 litros de solo. As amostras foram acondicionadas no solo a uma profundidade de 10 cm, durante 60 dias, com temperaturas variando de 25° C a 29°C.

A serapilheira é constituída de detritos vegetais (folhas, ramos, galhos, cascas, frutos e flores) e animais acumulados na superfície do solo. Uma das principais vias do ciclo biogeoquímico de nutrientes (fluxo no sistema solo-planta) é constituída pela produção de serapilheira junto com a devolução de nutrientes em ecossistemas florestais (VILLA et al., 2016, p. 90-99).

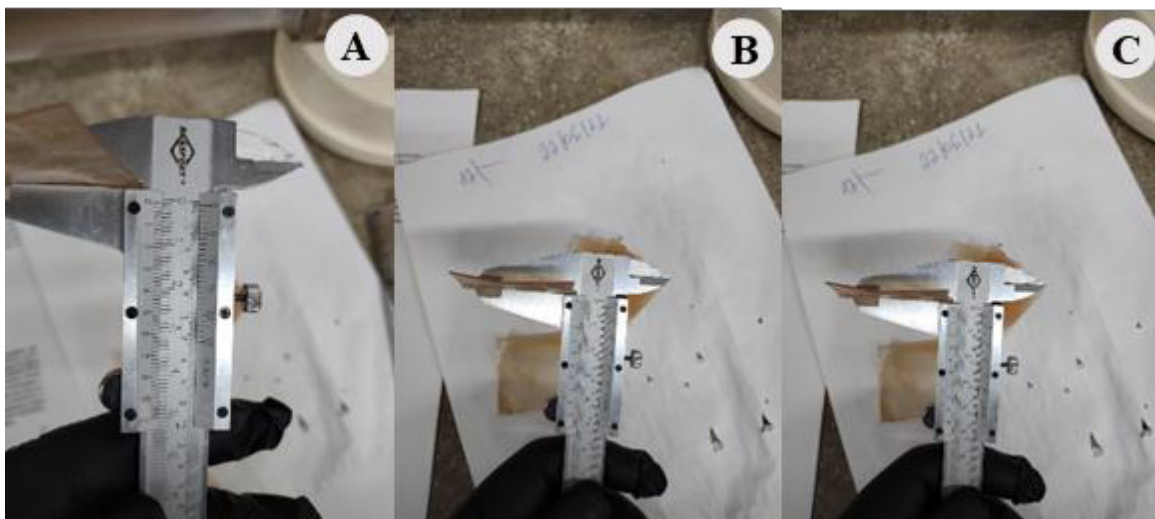
A avaliação da biodegradabilidade dos biofilmes foi realizada por meio variação de massa, em duplicata. Amostras de 4  $\text{cm}^2$  foram recortadas, pesadas e enterradas a 15 cm de profundidade em recipiente com solo.

Após 30 dias as amostras foram retiradas do solo, lavadas com água destilada, secas em estufa a 50 °C por 24 h, e em seguida acondicionadas em dessecador por 24 h. Finalizando esses procedimentos, as amostras foram novamente enterradas.

Optou-se por avaliar as amostras após 60 e 120 dias de aterramento para diminuir o contato manual com as mesmas reduzindo a interferência nos resultados.

### 3.4.4 Espessura

O volume da solução filmogênica foi fixado em 200 mL, disperso em placa de vidro a fim de manter a uniformidade. A espessura dos biofilmes obtidos, foi determinada utilizando um paquímetro (Figura 25).



**Figura 25.** Espessura obtida com paquímetro. Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Dez pontos aleatórios ao redor das amostras foram medidos para determinação da espessura.

### 3.4.5 Ensaio de tração

Os ensaios de tração *versus* deformação das embalagens foram realizados até sua ruptura, em uma máquina de ensaio (Instron) série 6800 com uma célula de carga de 300 KN, com uma velocidade de  $5,0 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$  e à temperatura ambiente.

As medidas de espessura das amostras de biofilme foram obtidas com micrômetro analógico (precisão de 0,01 mm, marca STANDARD GAGE) e a largura e comprimento foram medidos com paquímetro digital (precisão de 0,01 mm, marca Homes). O teste foi realizado em 3 amostras.

## 3.5 Análises Estatísticas

Os dados obtidos na caracterização física foram avaliados estatisticamente através da análise de variância e do teste de Tukey. As análises têm a finalidade de assegurar a validade dos coeficientes dos modelos obtidos dentro de um nível de confiança de 95%, através de análises estatísticas apropriadas. Após a análise estatística dos coeficientes, foi realizada uma análise de variância (ANOVA), que consiste na avaliação do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e do teste F, verificando se o modelo apresenta um ajuste adequado aos dados experimentais. Para a ANOVA foi utilizado o software Microsoft EXCEL.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Pesquisa Bibliográfica

A revisão sistemática da literatura identificou vários artigos que comprovam a relação entre biofilme e composto e foi realizada uma análise sobre esses artigos. Foram 30 artigos que identificaram alguma descrição entre os assuntos. A busca identificou estudos realizados em vários países utilizando compostos como fécula de mandioca com amido de milho, base de amido adicionados de fibras e nanopartículas, nanopartículas de dióxido de titânio com amido de milho, base de xilana e amido (xilana do bagaço da cana-de-açúcar), derivados de milho e amido de batata, casca de vagem de cacau e bagaço de cana-de-açúcar entre outros.

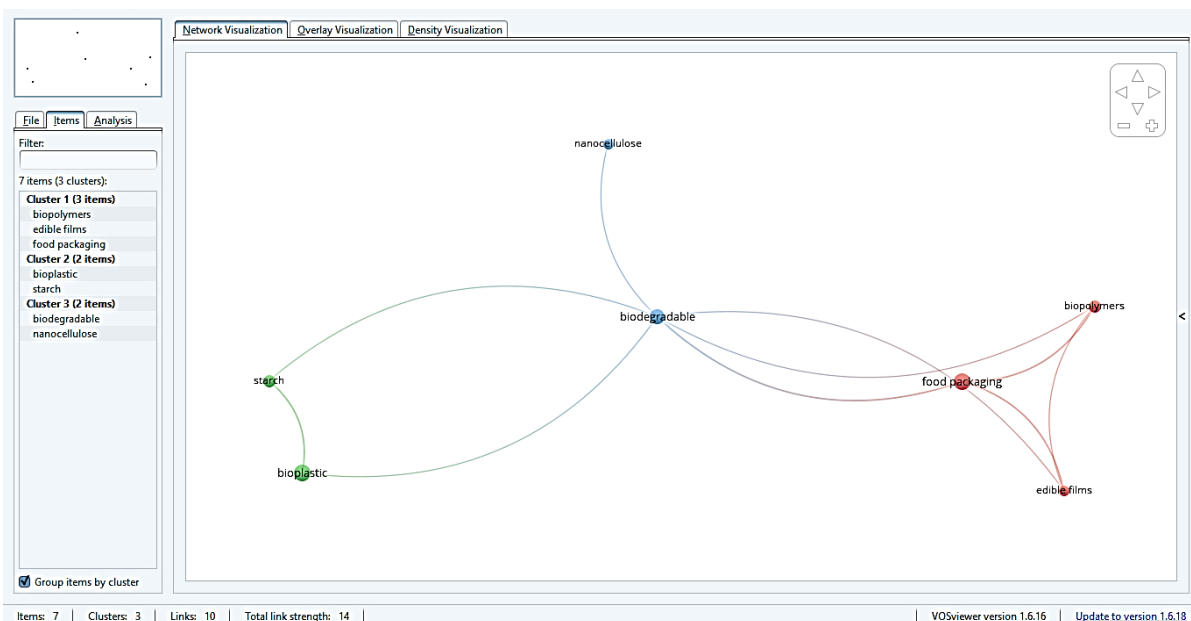
Os resultados obtidos nas bases pesquisadas, tal como os filtros aplicados, foram compilados e podem ser visualizados no Quadro 4.

**Quadro 4.** Resultados obtidos nas bases pesquisadas. Fonte: Elaborado pelo autor, 2021

<b>Etapas de Seleção</b>			
Base de pesquisa	“Web of Science”	“Scopus”	“Science Direct”
Resultado inicial nas bases	71	116	2678
Filtro 1 - Tipo de documento	Últimos 5 anos	Últimos 5 anos	Últimos 5 anos
Filtro 2 - Tipo de documento	Artigo; revisão	Artigo; revisão	Artigo; revisão
Filtro 3 - Idioma	Inglês	Inglês, português	-
Filtro 4 - Categorias	14 categorias	4 categorias	4 categorias
Total de documentos	35	36	286
Filtro 3 - Seleção baseada em título	21	13	40
Filtro 4 - Seleção baseada no resumo	19	12	36
Filtro 5 - Seleção baseada na leitura diagonal	12	08	12
Filtro 6 - Seleção baseada na leitura completa	11	07	12
Total dos documentos	11	07	12
Documentos selecionados após etapas de refinamento	30		

Conforme visto no Quadro 4, os resultados compilados nas bases “Web of Science”, “Scopus” e “Science Direct” resultaram em 30 artigos com conexão ao tema proposto, com o objetivo de responder à questão de revisão mencionada.

A fim de analisar os atributos e similaridades entre os documentos resultantes da revisão, foi utilizado o “software VOSviewer” (visualizing scientific landscapes), utilizando os títulos dos trabalhos selecionados e seus respectivos resumos, de acordo com a Figura 26.



**Figura 26.** Uso do “software VOSviewer” para analisar os atributos e similaridades entre os documentos resultantes da revisão. Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Analisando o resultado identificou-se a ocorrência de 7 atributos, sendo 3 “clusters” relacionados e a interligação de algumas palavras-chave, evidenciando assim algumas similaridades.

A análise proposta aborda as principais colocações dos autores e seus anos de publicações relacionados à temática pretendida. Notou-se que os artigos analisados estão associados à área de bioplásticos, biodegradável e embalagem de alimentos.

O aumento da preocupação com a sustentabilidade tem incentivado a busca por novos compósitos através dos estímulos a pesquisas inovadoras para trazê-lo ao mercado. Neste contexto, os principais estudos serão apresentados a seguir e, posteriormente, o quadro onde foram compilados os estudos com os principais compostos utilizados para a produção de bioplásticos.

No estudo de Zoungran et al. (2020), foram elaborados dois tipos de bioplásticos a partir de fécula de mandioca e amido de milho. Os bioplásticos simples foram obtidos apenas a partir do amido. Os bioplásticos compostos foram obtidos pela adição de um ingrediente natural extraído da espécie *Cola cordifolia*, ao amido. O bioplástico simples à base de mandioca degradou-se mais rapidamente do que aqueles à base de milho.

No estudo de Jimenez-Rosado et al. (2021), foi reavaliado um subproduto da produção industrial de óleo de soja como matéria-prima para processar bioplásticos por extrusão (um processo amplamente utilizado na fabricação de plásticos). Os resultados obtidos neste trabalho mostram que este subproduto é uma matéria-prima adequada para o desenvolvimento de bioplásticos. Estes resultados demonstram a grande capacidade desta matéria-prima e processamento técnica para a adaptação em larga escala de bioplásticos que podem ser utilizados em diferentes aplicações, tais como embalagens e produtos de higiene.

Abe et al. (2022, p. 132290) realizaram um estudo a fim de desenvolver bioplásticos a partir de uma mistura de amido e xilana em proporções variáveis e o efeito combinado de  $\alpha$ -celulose e holocelulose extraídas do bagaço de cana-de-açúcar adicionadas ao processo. O estudo demonstrou que os bioplásticos xilano/amido resultam em materiais biodegradáveis não ecotóxicos. A xilana do bagaço da cana-de-açúcar representa uma fonte renovável para

obtenção de bioplásticos biodegradáveis, que são uma alternativa interessante para a redução da produção e descarte de resíduos plásticos não biodegradáveis. Os resultados de ecotoxicidade dos bioplásticos mostraram a necessidade e importância de estudos sobre os impactos dos bioplásticos no meio ambiente considerando os diferentes organismos presentes no solo e sua qualidade para produção e descarte sustentável de tais biomateriais (ABE et al. 2022, p. 132290).

Nasir e Othman (2021) verificaram que as propriedades físicas e mecânicas dos filmes bioplásticos à base de milho foram otimizadas com sucesso contendo várias concentrações de amido de milho e glicerol. Assim, para obter uma aplicação direcionada para os bioplásticos, a concentração de amido e glicerol pode ser ajustada. Além disso, a adição de cargas é necessária para melhorar as propriedades dos bioplásticos à base de milho.

O Quadro 5 apresenta o compilado dos principais compostos utilizados no desenvolvimento do plástico biodegradável resultantes dessa pesquisa.

Muitos foram os tipos encontrados, porém pouco ainda foi explorado sobre o composto *Aloe vera*, aumentando a necessidade desse trabalho.

Importante salientar a necessidade de atualização constante nas bases de pesquisas para que seja possível identificar trabalhos que possam ter sido publicados após o período selecionado para essa pesquisa.



**Quadro 5.** Principais compostos utilizados para a produção de bioplásticos (continua). Fonte: Elaborado pelo autor, 2021

Titulo	Autor	Composto	Local/ano	Fonte
“Bioplastics StarchBased with Additional Fiber and Nanoparticle: Characteristics and Biodegradation Performance: A Review”	ANUGRAHWIDYA; ARMYNAH; TAHIR, 2021, p. 3459-3476	Base de amido adicionados de fibras e nanopartículas	Indonésia/ 2021	“Journal of Polymers and the Environment” <a href="https://doi.org/10.1007/s10924-021-02152-z">https://doi.org/10.1007/s10924-021-02152-z</a>
“Characterization and performance analysis of composite bioplastics synthesized using titanium dioxide nanoparticles with corn starch”	AMIN; CHOWDHURY; KOWSER, 2019	Nanopartículas de dióxido de titânio com amido de milho	Bangladesh/ 2019	“Heliyon” <a href="https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02009">https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e02009</a>
“Eco-Efficiency Assessment of Bioplastics Production Systems and End-of-Life Options”	CHANGWICHAN; SILALERTRUKSA; GHEEWALA, 2018	Compostagem de bioplásticos	Tailândia/ 2018	“MDPI – Sustainability” <a href="https://doi.org/10.3390/su10040952">https://doi.org/10.3390/su10040952</a>
“Influence of natural factors on the biodegradation of simple and composite bioplastics based on cassava starch and corn starch”	ZOUNGRANAN et al., 2020	Fécula de mandioca e amido de milho	Costa do Marfim/ 2020	“Journal of Environmental Chemical Engineering” <a href="https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104396">https://doi.org/10.1016/j.jece.2020.104396</a>
“Nano-cellulose biopolymer based nano-biofilm biomaterial using plant biomass: An innovative plant biomaterial dataset”	HOSSAIN et al., 2018, p. 1245-1252	Biomassa da folha de milho	Malásia/ 2018	“Data in Brief” <a href="https://doi.org/10.1016/j.dib.2018.02.053">https://doi.org/10.1016/j.dib.2018.02.053</a>
“Production and assessment of the biodegradation and ecotoxicity of xylan-and starch-based bioplastics”	ABE et al., 2022, p. 132290	Base de xilana* e amido	Brasil/ 2021	“Chemosphere” <a href="https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132290">https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132290</a>
“Production of Sustainable and Biodegradable Polymers from Agricultural Waste”	MARAVEAS, 2020	Resíduos agrícolas	Grécia/ 2020	“MDPI - Polymers” <a href="https://doi.org/10.3390/polym12051127">https://doi.org/10.3390/polym12051127</a>
“Protein based packaging of plant origin: Fabrication, properties, recent advances and future perspectives”	ASSAD et al., 2020, p. 707-716	Proteínas de origem vegetal	Índia/ 2020	“International Journal of Biological Macromolecules” <a href="https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.07.140">https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.07.140</a>
“Sustainability and innovation in the Brazilian supply chain of green plastic”	MORES et al., 2018, p. 12-18	Substitui um recurso não renovável (nafta) por um renovável (etanol de cana-de-açúcar)	Brasil/ 2017	“Journal of Cleaner Production” <a href="https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.138">https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.12.138</a>
“The Physical and Mechanical Properties of Corn-based Bioplastic Films with Different Starch and Glycerol Content”	NASIR; OTHMAN, 2021	Base de milho	Malásia/ 2021	“Journal of Physical Science, Vol. 32(3), 89–101, 2021” <a href="https://doi.org/10.21315/jps2021.32.3.7">https://doi.org/10.21315/jps2021.32.3.7</a>
“The Potentials of Corn Waste Lignocellulosic Fibre as an Improved Reinforced Bioplastic Composites”	CHONG; LAW; CHAN, 2021, p. 363-381	Fibra lignocelulósica de resíduos de milho	Malásia/ 2020	“Journal of Polymers and the Environment” <a href="https://doi.org/10.1007/s10924-020-01888-4">https://doi.org/10.1007/s10924-020-01888-4</a>

**Quadro 5.** Continuação.

“Biodegradable Films Derived from Corn and Potato Starch and Study of the Effect of Silicate” “Extracted from Sugarcane Waste Ash”	DE AZEVEDO et al., 2020, p. 2160-2169	Derivados de milho e amido de batata e estudo do efeito do silicato extraído da cinza de resíduo de cana-de-açúcar	Brasil/ 2020	“ACS Applied Polymer Materials” <a href="https://doi.org/10.1021/acsp.0c00124">https://doi.org/10.1021/acsp.0c00124</a>
“Development and characterization of food packaging bioplastic film from cocoa pod husk cellulose incorporated with sugarcane bagasse fibre”	AZMIN; HAYAT; NOR, 2020, p. 248-255	Casca de vagem de cacau e bagaço de cana-de-açúcar	Malásia/ 2020	Journal of Bioresources and Bioproducts <a href="https://doi.org/10.1016/j.jobab.2020.10.003">https://doi.org/10.1016/j.jobab.2020.10.003</a>
“Potential of the biodegradability and characteristics of bioplastic from microalgae residues”	WONG; ROMA, 2021, p. 95-108	Resíduos de microalgas	Malásia/ 2021	“International Journal on Algae” DOI: 10.1615/InterJAlgae.v23.i1.50
“Prospecting and Proposing a Technological Roadmap for the Production of Green Polyethylene”	SILVA et al., 2020	Poliétileno (PE) verde - etanol de cana de açúcar	Brasil/ 2020	“Revista Virtual de Química” DOI: 10.21577/1984-6835.20200066
“A review on environmental significance carbon foot prints of starch based bio - plastic: A substitute of conventional plastics”	SHAFQAT et al., 2020, p. 101540	Bioplásticos à base de amido	Paquistão/ 2020	“Biocatalysis and Agricultural Biotechnology” <a href="https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101540">https://doi.org/10.1016/j.bcab.2020.101540</a>
“Bio-based active food packaging materials- Sustainable alternative to conventional petrochemical-based packaging materials”	ASGHER et al., 2020, p. 109625	Base de biopolímero; polímeros microbianos (PHA e PLA), polímeros à base de madeira e polímeros à base de proteínas	Paquistão/ 2020	“Food Research International” <a href="https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109625">https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109625</a>
“Biobased materials for food packaging”	WANG et al., 2021	Base biológica	Alemanha/ 2021	“Journal of Bioresources and Bioproducts” <a href="https://doi.org/10.1016/j.jobab.2021.11.004">https://doi.org/10.1016/j.jobab.2021.11.004</a>
“Novel food packaging materials including plant-based byproducts: A review”	SANTHOSH; NATH; SARKAR, 2021, p. 471-489	Subprodutos à base de plantas	Índia/ 2021	“Trends in Food Science & Technology” <a href="https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.10.013">https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.10.013</a>

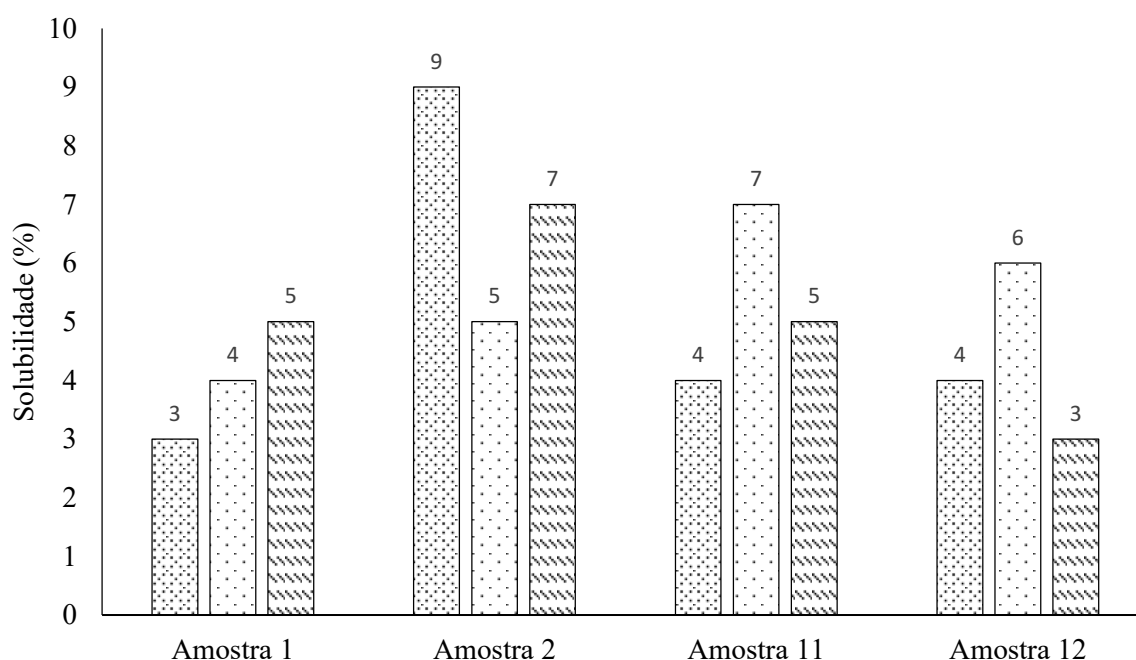
\*Xilana do bagaço da cana-de-açúcar



Diante do exposto, é possível identificar o crescente interesse sobre esse tema e a importância das pesquisas, visando um mundo mais sustentável e sustentável. Ainda, destaca-se a pertinência desse estudo e o caráter inovador, pois não foram localizados na literatura alguma referência onde foram utilizadas as mesmas matérias-primas desse estudo.

## 4.2 O Biofilme na Presença de Água

A Figura 27 apresenta variação média de 5,41% para a solubilidade. De acordo com Kim et al. (2015, p. 475-482), a baixa solubilidade de filmes que utilizam amido em sua composição está relacionada às fortes ligações intermoleculares entre as cadeias de amido, o que impede a dissociação do polímero.



**Figura 27.** Resultado do ensaio de solubilidade. Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

A solubilidade em água direciona a aplicação do biofilme. Em alguns casos, a sua total solubilização em água pode ser benéfica, como nos produtos semiprontos que utiliza cozimento por contato direto em água. Entretanto, quando o alimento é líquido ou pastoso ou com elevada atividade de água, filmes com elevada solubilidade em água não são indicados (FAKHOURI et al., 2007, p. 369-375).

Entretanto, baixa solubilidade ou até mesmo insolubilidade em água é desejada em produtos para que a integridade da embalagem seja mantida mesmo em condições ambiente. Filmes com baixa solubilidade em água são necessários para proteção dos produtos alimentícios com atividade de água intermediária ou elevada.

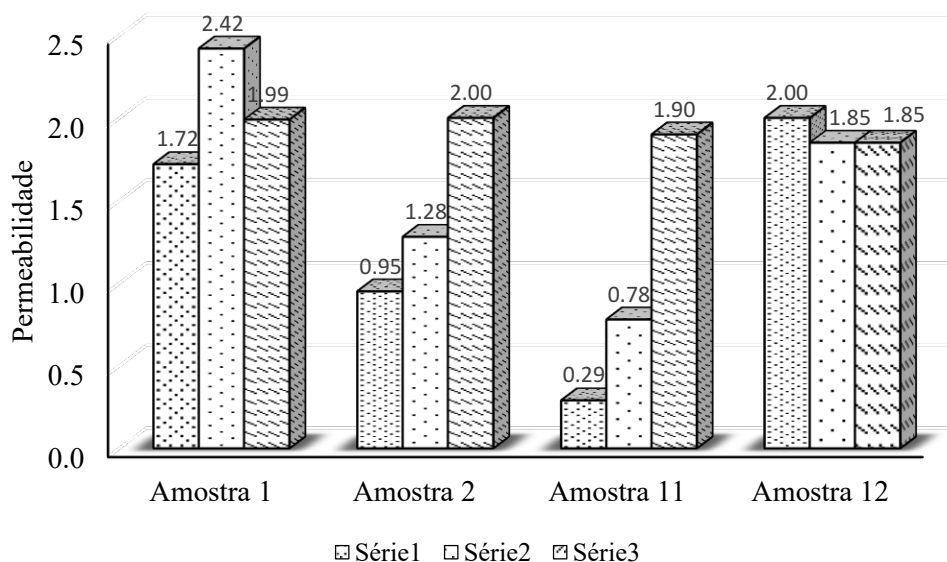
Nesse caso, a baixa solubilidade encontrada no produto obtido pode ser favorável quando sua utilização for considerada para usos em que a água esteja presente e necessite ser preservada.

A Tabela 1 apresenta os resultados do ensaio de permeabilidade ao vapor de água para as diferentes amostras.

**Tabela 1.** Resultado do ensaio permeabilidade ao vapor de água. Fonte: Elaborado pelo autor, 2021

ID da Análise	Wi = Inicial	Wf = Final	Resultado (PVA)	Resultado (PVA) em %
Amostra 01				
Amostra 01 - 1	7,43	7,55	0,13	1,72%
Amostra 01 - 2	7,04	7,21	0,17	2,42%
Amostra 01 - 3	7,11	7,26	0,14	1,99%
Amostra 02				
Amostra 02 - 1	5,56	5,61	0,05	0,95%
Amostra 02 - 2	5,13	5,19	0,07	1,28%
Amostra 02 - 3	5,23	5,33	0,10	2,00%
Amostra 11				
Amostra 11 - 1	7,74	7,76	0,02	0,29%
Amostra 11 - 2	6,55	6,60	0,05	0,78%
Amostra 11 - 3	6,42	6,55	0,13	1,99%
Amostra 12				
Amostra 12 - 1	4,71	4,84	0,13	2,00%
Amostra 12 - 2	5,51	5,62	0,10	1,85%
Amostra 12 - 3	5,57	5,67	0,10	1,85%

Para os ensaios realizados o resultado apresentou um percentual médio de 9% quanto a permeabilidade ao vapor d'água (Figura 28), o que representa uma baixa permeabilidade ao vapor de água.



**Figura 28.** Resultado do ensaio de permeabilidade ao vapor d'água. Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Diversos fatores podem influenciar na permeabilidade ao vapor de água, tais como poros, rachaduras na matriz polimérica, a distribuição não homogênea dos compostos

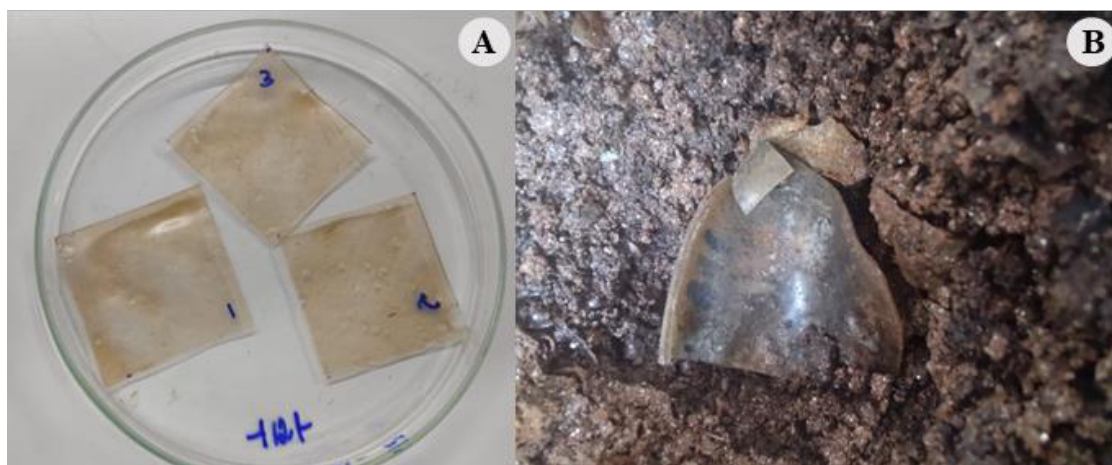
adicionados para a produção, também pode influenciar na transferência de vapor de água através do bioplástico (CHEN; LAI, 2008, p. 1584-1595).

Este parâmetro é fundamental para estabelecer a aplicação do produto. Por exemplo, para determinados alimentos, a utilização de embalagens com alta permeabilidade ao vapor de água não é ideal, a exemplo de alimentos desidratados. Entretanto, a alta permeabilidade é essencial para armazenar vegetais fresco (DOBRUCKA; CIERPISZEWSKI, 2014, p. 7-15).

Nesse caso, a aplicação do produto obtido será mais bem sucedida onde a intenção é evitar ou reduzir as perdas de água de um produto ou meio.

### 4.3 Biodegradabilidade do Biofilme

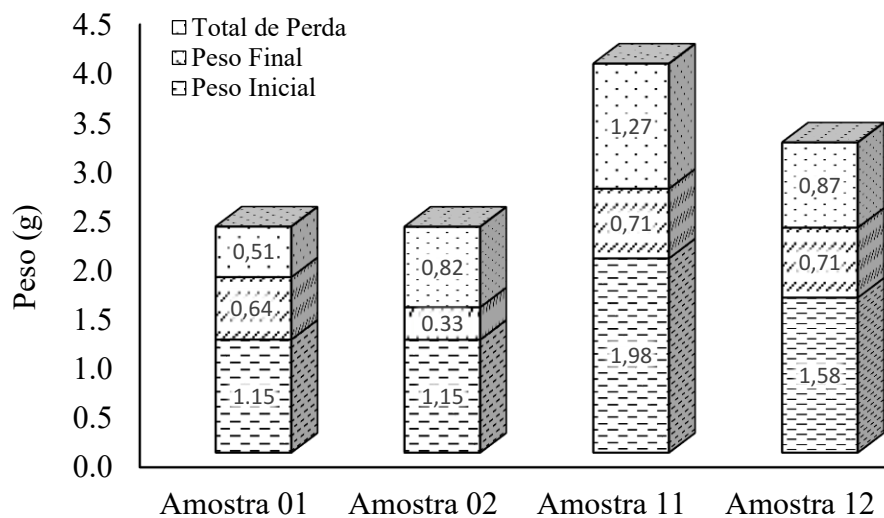
Os resultados visuais da biodegradabilidade do biofilme após a permanência por 60 dias acomodado no solo podem ser vistas na Figura 29. Ocorreu a deterioração macroscópica e os biofilmes perderam a integridade da sua estrutura inicial.



**Figura 29.** Biodegradabilidade. A) amostra produzida para os ensaios; b) amostra em processo de biodegradação. Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

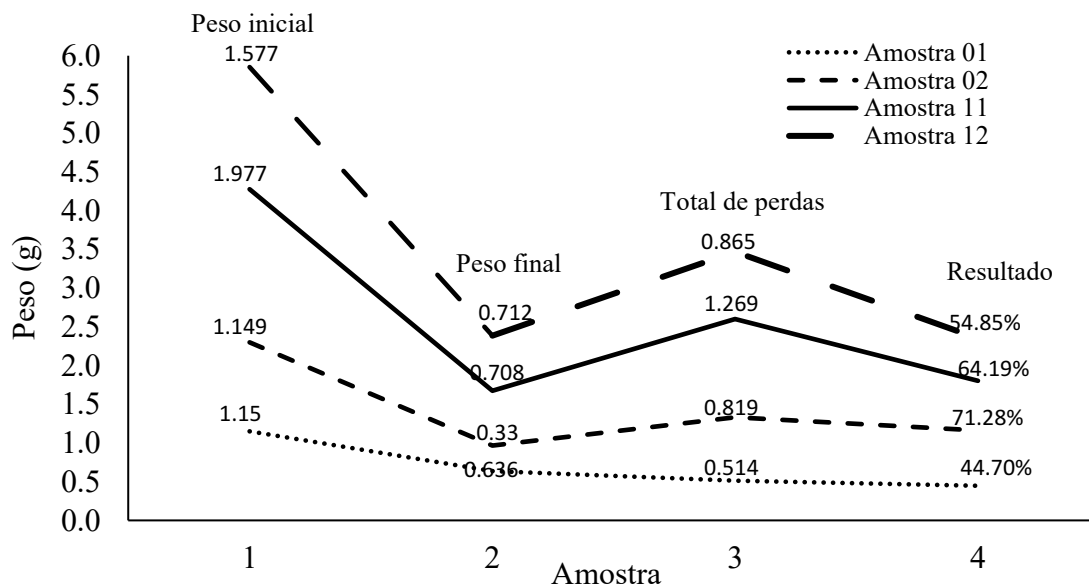
A fragmentação observada após 60 dias foi parcial, entretanto, em comparação aos produtos obtidos a partir de fontes não renováveis, o biofilme produzido foi fragmentado em um tempo consideravelmente mais curto. Após 120 dias apenas vestígios das amostras foram encontrados.

Também foi observada perda significativa de massa na amostra. Como resultado do ensaio, houve perda média considerável de peso nas amostras, de 58,75%. A Figura 30 apresenta o resultado do ensaio de avaliação da biodegradabilidade.



**Figura 30.** Resultado do ensaio de avaliação da biodegradabilidade. Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

A Figura 31 apresenta as curvas com os resultados do ensaio de avaliação da biodegradabilidade em 60 dias. Comparando aos resultados indicados por padrão europeu para embalagens compostáveis: EN13432;2000, onde em 12 semanas restarão 10% do bioplástico.



**Figura 31.** Resultado do ensaio de avaliação da biodegradabilidade após 60 dias no solo. Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

A degradação polimérica do biofilme pode ser causada por diferentes fatores ambientais e segundo Carissimi, Flôres e Rech (2018, p. 201-209) a biodegradabilidade está relacionada com a solubilidade em água dos materiais, microrganismos do solo, tais como bactérias, fungos e protozoários, e composição do material, que pode ser ou não de fácil assimilação e biodegradação. Entretanto, a biodegradabilidade de materiais plásticos, não se dá apenas por ação da microbiota do meio ou por sua alta solubilidade, outros fatores extrínsecos e intrínsecos

podem contribuir para este processo, tais como tamanho da área superficial do material, cristalinidade, pH do meio em que o material se encontra, oxigênio, umidade e temperatura (CARISSIMI; FLÔRES; RECH, 2018, p. 201-209; SHAH et al., 2008, p. 246-265).

Essa rápida decomposição do plástico biodegradável em relação ao plástico não biodegradável deve-se especialmente a utilização de matéria prima cuja composição contém amido, pois o amido é polímero natural que em contato com os microrganismos aumenta a velocidade de biodegradação do material no solo.

Pode-se observar que, além de influenciar na permeabilidade ao vapor de água, o aumento da concentração de plastificante nas formulações ocasiona alterações nas propriedades mecânicas dos filmes. De maneira geral, para os filmes com quantidades acima de 4% de amido de milho ou trigo, ocorreu um aumento no percentual de alongação, e uma redução na tensão máxima de ruptura e no módulo de elasticidade. Este resultado reforça a ideia de que a partir de certas concentrações os plastificantes atuam diminuindo as forças intermoleculares entre as cadeias de amido (MALI; GROSSMANN; YAMASHITA, 2010, p. 137-156).

É importante destacar que o curto tempo de biodegradação do biofilme obtido está em conformidade com o esperado para a produção de plásticos biodegradáveis.

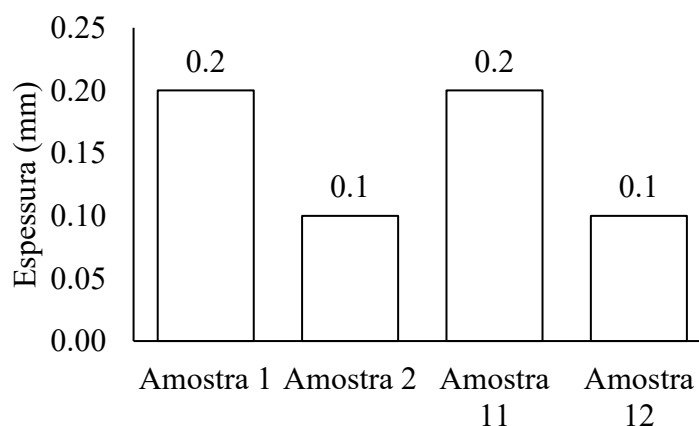
#### 4.4 Espessura

Foram observadas variações na espessura dos biofilmes, dentre as formulações testadas, mesmo tendo o cuidado em preservar a uniformidade do volume aplicado na placa. Entretanto, as variações foram mínimas ficaram concentradas entre 0,1 e 0,2 mm (Tabela 2).

**Tabela 2.** Resultado da espessura em milímetros. Fonte: Elaborado pelo autor, 2021

ESPESSURA (mm)	
Amostra 01	0,2
Amostra 02	0,1
Amostra 11	0,2
Amostra 12	0,1

A análise dos resultados indica que os valores encontrados são satisfatórios, tendo em vista a elevada uniformidade e a espessura fina do produto obtido (Figura 32).



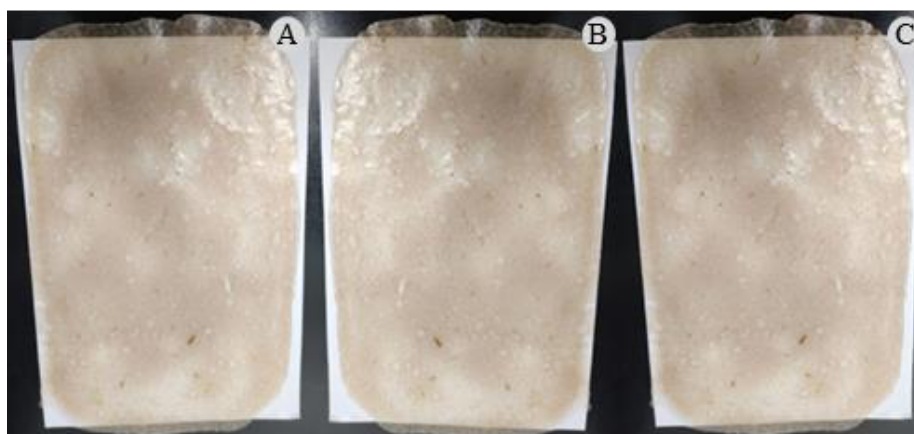
**Figura 32.** Média da espessura das amostras de biofilme. Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.



Sendo assim, a espessura do biofilme produzido é uma característica que contribui para a rápida biodegradação.

#### 4.5 Propriedades Mecânicas

A Figura 33 apresenta as amostras utilizadas no ensaio de tração, que foram produzidas em batelada única para tornar as amostras o mais uniformes possível.



**Figura 33.** Corpos de prova para realização do teste de tração. Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Os corpos de prova utilizados procuraram atender à norma ASTM D638 e suas dimensões encontram-se especificadas na Tabela 3.

**Tabela 3.** Dimensões dos corpos de prova. Fonte: Elaborado pelo autor, 2021

Amostra	Largura (mm)	Espessura (mm)	Área da seção transversal (mm <sup>2</sup> )
1	125,7	3,5	44,0
2	125,6	3,5	44,0
3	125,4	3,5	43,9

A Tabela 4 apresenta os resultados dos ensaios mecânicos das amostras de bioplástico.

**Tabela 4.** Resultados dos ensaios mecânicos das amostras de bioplástico. Fonte: Elaborado pelo autor, 2021

Amostra	Dimensão (mm)	Força máxima (kgf)
1	(3,5 x 12,57)	126,00
2	(3,5 x 12,56)	124,74
3	(3,5 x 12,54)	124,11

A tensão pode ser obtida dividindo-se a força pela área transversal do corpo de prova.

$$\sigma_{\text{máxima}} = \frac{F_{\text{máxima}}}{A}$$

Em que:  $\sigma_{\text{máxima}}$  = tensão máxima,  $F_{\text{máxima}}$  = força máxima aplicada e  $A$  = área transversal do corpo de prova

A tensão na ruptura é a resistência oferecida pelo material no ponto da ruptura durante o teste de tração. Abhilash et al. (2009, p. 806-810), em estudos sobre os efeitos de glicóis apresenta que a adição destes compostos em elastômeros causa um aumento da tensão, o que pode ser devido a um maior número de ligação de hidrogênio, por conta do aumento dos átomos de oxigênio nas unidades de repetição dos glicóis. Geralmente é requerida alta tensão na ruptura, mas esta exigência depende da finalidade a que a embalagem se destina (GONTARD; GUILBERT; CUQ, 1993, p. 206-211). A Tabela 5 apresenta informações sobre resistência à ruptura em um material.

**Tabela 5.** Resistência à ruptura. Fonte: Elaborado pelo autor, 2021

Amostra	Força máxima (kgf)	Área (mm <sup>2</sup> )	$\sigma_{\text{máx}}$ (kgf / mm <sup>2</sup> )	Deformação na Ruptura (mm)
1	126,00	43,995	2,8639	60,0
2	124,74	43,96	2,8375	59,4
3	124,11	43,89	2,8277	59,1

Diversos trabalhos reportam que o aumento da concentração de glicerol em filmes diminui o módulo de Young (ALVES, 2007; MALI et al., 2004, p.129-135; SOBRAL et al., 2001, p. 423-432). Esses autores relataram que a adição do plastificante tornou a matriz dos filmes menos densa, facilitando a movimentação das cadeias do polímero, melhorando a flexibilidade dos filmes.

Podemos observar pelo resultado dos ensaios de tração nas amostras que a composição se mostrou tal que os resultados dos ensaios apresentaram valores com diferenças satisfatórias.

#### 4.6 Análises Estatísticas

Os resultados das caracterizações físicas apresentaram um nível de 5% de significância.

## 5 CONCLUSÕES

O plástico biodegradável elaborado pela técnica de “casting” apresentou fina espessura. Constatou-se que o amido de batata-doce, juntamente com a *Aloe vera* produzidos de forma orgânica, pode ser utilizado para produção de bioplástico. Sendo assim, apresenta-se um produto inovador e útil.

Os ensaios de solubilidade direcionam o produto obtido para a utilização em embalagem para produtos alimentícios, e estas apresentam um valor médio 4,75%. Em alguns casos, a sua total solubilização em água pode ser benéfica, como nos produtos semiprontos destinados ao preparo com cozimento, entretanto, quando o alimento é líquido ou aquoso, biofilmes de elevada solubilidade não são indicados.

Para a permeabilidade ao vapor d'água o valor médio encontrado foi de 9%. Muitos produtos alimentícios são suscetíveis à deterioração devido ao ganho de umidade, como os alimentos desidratados e as misturas de pó que se aglomera com o aumento da umidade, ou como os biscoitos, nozes e “snacks” que perdem a crocância quando absorvem a umidade do ambiente. O aumento do teor de umidade de alguns alimentos pode acarretar outros efeitos indesejáveis como o crescimento de microrganismos, alteração de cor e sabor, perdas nutricionais etc. Em outros alimentos como carne fresca, queijos, produtos congelados, a perda de umidade deve ser evitada, pois provoca perda de massa ressecamento, alterações de cor e de textura.

Para a biodegradabilidade em 60 dias a perda de massa apresentou uma redução de 58,75%, enquanto na prática em 120 dias se observa um resíduo menor que 10% do material degradado.

Ao analisar os protótipos produzidos, observou-se que os plásticos com maior consistência foram os que utilizaram maior quantidade de ácido, o que indica que a degradação dos grânulos de amido é muito importante para o processo de formação do filme. Assim, a quantidade de plastificante utilizada deve ser sempre menor que a quantidade de ácido, para que ocorra a quebra efetiva das pontes de hidrogênio presentes na molécula do “pellet” e formação de um polímero uniforme durante a etapa final de retrogradação. Como a matéria-prima do plástico é o amido, presente na batata-doce, economiza-se o recurso não renovável (fóssil), que é a matéria-prima mais utilizada. Com essa alternativa, o processo de obtenção do plástico torna-se mais sustentável, já que o material proposto é de fácil obtenção e não causa impacto nos ecossistemas.

Podemos observar pelo resultado dos ensaios de tração nas amostras que a composição se mostrou tal que os resultados dos ensaios apresentaram valores com diferenças satisfatórias.

A partir das metodologias utilizadas neste trabalho, foi possível a produção e caracterização do bioplástico. Os resultados obtidos sugerem o estudo da aplicação como embalagem ativa para alimentos, visando aumentar a vida de prateleira de alimentos susceptíveis a oxidação.

O produto atendeu as normas vigentes e o plástico biodegradável é uma fonte inteiramente renovável e de grande valor socioambiental. Dados os resultados obtidos nesse trabalho e suas características, com base nas metodologias utilizadas, conclui-se que é possível obter um plástico biodegradável a partir da combinação de amido da batata-doce e gel da *Aloe vera*.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABE, M. M.; BRANCIFORTI, M. C.; MONTAGNOLLI, R.N.; MORALES, M.A.M.; JACOBUS, A. P.; BRIENZO, M. Production and assessment of the biodegradation and ecotoxicity of xylan- and starch-based bioplastics. **Chemosphere**, v. 287, n. Pt3, p. 132290, 2022.
- ABHILASH, G.; SABHARWAL, S.; DUBEY, A.; PAUL, J.; JOHN, H.; JOSEPH, R. Preparation of Low-Protein Natural Rubber Latex: Effect of Polyethylene Glycol. **J Appl Pol Sci**. 114(2): p. 806-810. 2009.
- AKCELRUD, L. **Fundamentos da ciência dos polímeros**. Editora Manole Ltda, 2007.
- ALVES, V. D. Produção e caracterização de biomateriais a partir de fibras naturais ou amidos com poli (butileno adipato co-tereftalato) (PBAT). 186p. Tese (Doutorado em Ciência de Alimentos), **Universidade Estadual de Londrina**, Londrina, 2007.
- AMARAL, M; BORSCHIVER, S.; MORGADO, C. Análise do segmento de bioplásticos: prospecção tecnológica em “plásticos verdes”, PHA e PLA. **Engevista**, v. 21, n. 2, p. 228-241, 2019.
- AMASS, W.; AMASS, A.; TIGHE, B. A review of biodegradable polymer: Uses, current development in the synthesis and characterization of biodegradable polyesters, blends of biodegradable polyesters dan recent advances in biodegradable studies. **Polymer International**, v. 47, p. 89-144, 1998.
- AMIN, M. R.; CHOWDHURY, M. A.; KOWSER, M. A. Characterization and performance analysis of composite bioplastics synthesized using titanium dioxide nanoparticles with corn starch. **Heliyon**, v. 5, n. 8, 2019.
- ANTONIO, G. C.; TAKEITI, C. Y.; OLIVEIRA, R. A.; PARK, K. J. Sweet potato: production, morphological and physicochemical characteristics, and technological process. **Fruit, Vegetable and Science and Biotechnology**, v. 5, n. 2, p. 1-18, 2011.
- ANUGRAHWIDYA, R.; ARMYNAH, B.; TAHIR, D. Bioplastics starch-based with additional fiber and nanoparticle: characteristics and biodegradation performance: a review. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 29, n. 11, p. 3459-3476, nov. 2021.
- ASGHER, M.; QAMAR, S. A.; BILAL, M.; IQBAL, H. M. N. Bio-based active food packaging materials: Sustainable alternative to conventional petrochemical-based packaging materials. **Food Research International**, v. 137, p. 109625, 2020.
- ASSAD, I.; BHAT, S. U.; GANI, A.; SHAH, A. Protein based packaging of plant origin: Fabrication, properties, recent advances and future perspectives. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 164, p. 707-716, 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15448-1: Embalagens plásticas degradáveis e/ou renováveis-Parte 1: Terminologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

AVÉROUS, L. Biodegradable multiphase systems based on plasticized starch: a review. **Jornal of Macromolecular Science**, v. C44, n. 3, p. 231-274, 2004.

AZMIN, S. N. H. M.; HAYAT, N. A. B. M.; NOR, M. S. M. Development and characterization of food packaging bioplastic film from cocoa pod husk cellulose incorporated with sugarcane bagasse fibre. **Journal of Bioresources and Bioproducts**, v. 5, n. 4, p. 248-255, 2020.

BABAEI, K.; NEJATI, S.; NAJAFI, B.; BOO, M. K.; GHESMATI, F.; FIROOZI, M.; VARAEI, S. Studying the effect of *Aloe vera* ointment on wound healing of CABG surgery in diabetic patients. **Journal of Research in Medical and Dental Science**, v. 6, n. 1. p. 256-260, 2018.

BASTIOLI, C. Global status of the production of biobased packaging materials. **Starch-Särke**, v.53, p. 351-355, 2001.

BASTOS, V. D. Biopolímeros e polímeros de matérias-primas renováveis alternativos aos Petroquímicos. **Revista do BNDES**, v. 14, n. 28, p. 201-234, 2007.

BELUSKI, E. Afinal, o que são resíduos biodegradáveis? In: **Tera Ambiental**. [S. l.], 2016. Disponível em: <https://www.teraambiental.com.br/>. Acesso em: 1 dez. 2021.

BORSCHIVER, S.; ALMEIDA, L. F. M.; ROITMAN, T. Monitoramento tecnológico e mercadológico de biopolímeros. **Seção Técnica, Polímeros**, v. 18, n. 3, set. 2008.

BOUYAHYA, A.; DAKKA, N.; ET-TOUYS, A.; ABRINI, J.; BAKRI, Y. Medicinal plant products targeting quorum sensing for combating bacterial infections. **Asian Pacific Journal of Tropical Medicine**, Elsevier, v. 10, n. 8, p. 729-743, ago. 2017.

BRITO, G.F.; AGRAWAL, P.; ARAÚJO, E.M.; MELO, T.J.A. Biopolímeros, polímeros biodegradáveis e polímeros verdes. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, [S. l.], v. 6, n. 2, p. 127- 139, 2011.

BROWN, W.E. Plastic in food packaging: properties, design, and fabrication. New York: **Marcel Dekker**, 1992.

BRUNI, A.L.; FAMÁ, R. Gestão de custos e formação de preços. São Paulo: **Atlas**, 2004. 551p.

CAETANO, R. M. J. Síntese de poli (succinato de butileno) (PBS) para a imobilização de ureia na biodegradação de petróleo em sistemas aquáticos artificiais. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Programa de Engenharia Ambiental, **Universidade Federal do Rio de Janeiro**, Rio de Janeiro, 2018

CALLISTER, W. D. Materials science and engineering: an introduction. 4. ed., USA: **John Wiley & Sons, Inc**, 1997. 920p.

CAMPOS, A. C. L.; BRANCO, A. B.; GROTH, A. K. Cicatrização de Feridas. **Acta Cirúrgica Brasileira**, v.20, n.1, p.51-58, 2007.

CANEVAROLO, S. V. Ciências dos polímeros, 2. ed. São Paulo: **Editora Artiliber**, 2006. 282 p.

CARISSIMI, M.; FLÔRES, S. H.; RECH, R. Effect of microalgae addition on active biodegradable starch film. **Algal Research**, v. 32, p. 201-209, 2018.

CASTRO, L. O. de; CHEMALE, V.M. Plantas medicinais, condimentares e Aromáticas: descrição e cultivo. **Guaíba: Livraria e Editora Agropecuária Ltda.**, 1995. 195 p.

CHANDRA, R; RUSTGI, R. Biodegradable polymer. *Prog. Polym. Sci.*, v.23, n. 7, p. 1273-1335, 1998.

CHANGWICHAN, K.; SILALERTRUKSA, T.; GHEEWALA, S.H. Eco-efficiency assessment of bioplastics production systems and end-of-life options. **Sustainability**, v. 10, n. 4, 2018.

CHANTARAWARATIT, P.; SANGVANICH, P.; BANLUNARA, W.; SOONTORNVIPART, K.; THUNYAKITPISAL, P. Acemannan sponges stimulate alveolar bone, cementum and periodontal ligament regeneration in a canine class II furcation defect model. **Journal of Periodontal Research**, v. 49, n. 2, p. 164-178, abr. 2014.

CHEN, C. H.; LAI, L. S. Mechanical and water vapor barrier properties of tapioca starch/decolorized hsian-tso leaf gum films in the presence of pasticizer. **Food Hydrocolloids**, v. 22, n. 8, p. 1584-1595, 2008.

CHONG, T.Y.; LAW, M. C.; CHAN, Y. S. The potentials of corn waste lignocellulosic fibre as an improved reinforced bioplastic composites. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 29, n. 2, p. 363-381, 2021.

CORRADINI, E. Desenvolvimento de blendas de zeína e amido de milho. Tese de Doutorado. **Universidade de São Paulo**, 2004.

CORREA JÚNIOR, C.; MING, L. C.; SCHEFFER, M. C. Cultivo de plantas medicinais, condimentares e aromáticas. Curitiba: **SEAB-EMATER-PR**, 1991. 150 p.

CRD. Centre for Reviews and Dissemination. **CRD's guidance for undertaking reviews in health care**, 2009.

CUQ, B.; GONTARD, N.; GUILBERT, S. Proteins as agricultural polymers for packaging production. **Cereal Chemistry**, v. 75, n. 1, p. 1-9, 1998.

DA SILVA, L. F.; GOMEZ, J. G. C.; ROCHA, R. C. S.; TACIRO, M. K.; PRADELLA, J. G. C. Biotechnological production of polyhydroxyalkanoates in brazil for biodegradable polymers. **Química Nova**, v. 30, n. 7, 2007.

DAVIS, J. S. Management of bone and joint infections due to *Staphylococcus aureus*. **Internal Medicine Journal**, v. 35, n. s2, p. S79-S96, dez. 2005.

DE AZEVEDO, L. C.; ROVANI, S.; SANTOS, J. J.; DIAS, D. B.; NASCIMENTO, S. S.; OLIVEIRA, F. O.; SILVA, L. G. A.; FUNGARO, D. A. Biodegradable films derived from corn and potato starch and study of the effect of silicate extracted from sugarcane waste ash. **ACS Applied Polymer Materials**, v. 2, n. 6, p. 2160-2169, 2020.

DE CASTRO, M. D. L.; JURADO-LÓPEZ, A. The role of analytical chemists in the research on the cultural heritage. **Talanta**, v. 205, p. 120106, dec. 2019.

DE VELDE, K. V.; KIEKENS, P. Development of a flax/polypropylene composite with optimal mechanical characteristics by fiber and matrix modification. **Journal of Thermoplastic Composite Materials**, v. 15, n. 4, p. 281-300, 2002.

DOBRUCKA, R; CIERPISZEWSKI, R. Active and intelligent packaging food – research and development – A Review. Pol. **Journal Food Nutrition Science**, V. 64, p. 7-15, 2014.

DONHOWE, I. G.; FENNEMA, O. R. Edible films and coatings: characteristics, formation, definitions and testing methods. *In*: KROCHTA, J.M.; BALDWIN, E.A.; NISPEROS-CARRIEDO, M.O. (Ed.). Edible coatings and films to improve food quality. Lancaster, PA (USA): **Technomic Publishing Co.**, 1994, p.1-25.

ESTEBAN, A.; LÓPEZ -SERRANO, M.; ZAPATA, J. M.; SABATER, B.; MARTÍN, M. Oxidation of phenolic compounds from *Aloe barbadensis* by peroxidase activity: possible involvement in defense reactions. **Plant Physiology and Biochemistry**, v.39, n. 6, p.521-527, 2001.

EUBP - BIOPLASTICS. *In*: **EUROPEAN Bioplastics (EUBP)**. [S. l.], 2020. Disponível em: <<https://www.european-bioplastics.org/bioplastics/>>. Acesso em: 10 ago. 2020.

FAKHOURI, F. M.; FONTES, L. C. B.; GONÇALVES, P. V. M.; MILANEZ, C. R.; STEEL, C. J.; COLLARES-QUEIROZ, F. P. Films and edible coatings based on native starches and gelatin in the conservation and sensory acceptance of crimson grapes. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, p. 369-375, 2007.

FERREIRA, F. G. D. Síntese e Caracterização do poli (tereftalato de trimetileno) – PTT. **Revista Eletrônica Estácio Recife**, p. 1-8, 2018.

FISHMAN, M. L.; COFFIN, D. R.; KONSTANCE, R. P.; ONWULATA, C. Extrusion of pectin/starch blends plasticized with glycerol. **Carbohydrate Polymers**, v. 41, n. 4, p. 317-325, 2000.

FOREVERLIVING. Search products: perda do peso. Disponível em: <<http://216../img/revistas/cagro/v31n4/search%3Fq%3Daloe%2Bvera%26hl%3Dpt-BR%26lr%3D%26ie%3DUTF>>. Acesso em: 21 set. 2004.

FRANCHETTI, S. M. M.; MARCONATO, J. C. Polímeros biodegradáveis - uma solução parcial para diminuir a quantidade dos resíduos plásticos. **Química Nova**, v. 29, n. 4, p: 811-816, 2006.

FREITAS, V. S.; RODRIGUES, R. A. F.; GASPI, F. O. G. Propriedades farmacológicas da *Aloe vera* (L.) Burm. F. **Revista Brasileira de Plantas Mediciniais**, Paulínia, v. 16, n. 2, p. 299-307, jun. 2014.

GALVÃO, M. C. B.; RICARTE, I. L. M. Revisão sistemática da literatura: conceituação, produção e publicação. **Logeion: Filosofia da Informação**, v. 6, n. 1, p. 57-73, 15 set. 2019.

GIORDANI, A.; OLIVEIRA, A. M. S. Estudo e caracterização de embalagens plásticas produzidas a partir de bioplástico (Plástico Verde). Poços de Caldas-MG, 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Química) - **Universidade Federal de Alfenas (Unifal)**, Poços de Caldas-MG, 2014.

GLINARDELLO, M. M. C.; SANTOS, A. R.; SANT'ANNA, C. M.; CRUZ, C. R.; CARVALHO, D. P.; SILVA, V. P.; MOTTA, A. Lesão epitelial e cicatrização de natureza hipertrófica e queiloide. **Corpus et Scientia**, v.5, n.2, p.37-44, set. 2009.

GONTARD, N. Films et enrobages comestibles: etude et amélioration des propriétés filmogène du gluten. 1991. 174 p. These (Doctorat) - Montpellier: **Université des Sciences et Techniques du Languedoc**, 1991.

GONTARD, N.; GUILBERT, S.; CUQ, J. L. Water and glycerol as plasticizers affect mechanical and water vapor barrier properties of an edible wheat gluten lm. **Journal of Food Science, Chicago**, v. 58, n. 1, p. 206-211, 1993.

GROOM, Q.; REYNOLDS, T. Barbalion in *Aloe* species. **Planta Medica**, v.52, p.345-348, 1986.

GURGEL, F. Embalagem: a vendedora silenciosa – Design, comercialização e tecnologia. São Paulo: **Vanzolini**, 1995.

HABEEB, F.; STABLES, G.; BRADBURY, F.; NONG, S.; CAMERON, P.; PLEVIN, R.; FERRO, V.A. The inner gel component of *Aloe vera* suppresses bacterial-induced pro-inflammatory cytokines from human immune cells. **Methods**, v. 42, n. 4, p. 388-393, aug. 2007.

HALL-STOODLEY, L.; COSTERTON, J. W.; STOODLEY, P. Bacterial biofilms: from the Natural environment to infectious diseases. **Nature Reviews Microbiology**, v. 2, n. 2, p. 95-108, fev. 2004.

HAMMAN, J. H. Composition and applications of *Aloe vera* leaf gel. **Molecules**, v. 13, n. 8, p. 1599-616, aug. 2008.

HARDING, T. B. Aloes of the word: a checklist, index and code. **Excelsa**, Causeway, v. 9, p. 57-94, 1979.

HASHEMI, S. A.; MADANI, S. A.; ABEDIANKENARI, S. The review on properties of *Aloe vera* in healing of cutaneous wounds. **BioMed Research International**, v. 2015. 2015.

HEDENDAL, B. E. Whole-leaf *Aloe vera* - almost a panacea. 2001. Disponível em: <<http://wholeleaf.com/aloverainf/>>. Acesso em: 10 abr. 2021.

HIGGINS, J. P.; GREEN, S. Cochrane handbook for systematic reviews of interventions - Version 5.1.0 [updated March 2011]. Disponível em: <<http://handbook-5-1.cochrane.org/>>. Acesso em: 9 abr. 2021.

HORNGREN, C. T.; DATAR, S. M.; FOSTER, G. Contabilidade de custos. 11. ed. São Paulo: **Prentice Hall**, 2004. 310 p.



HOSSAIN, A. B. M. S.; UDDIN, M. M.; FAWZI, M.; VEETTIL, V. N. Nano-cellulose biopolymer based nano-biofilm biomaterial using plant biomass: an innovative plant biomaterial dataset. **Data in Brief**, v. 17, p. 1245-1252, 2018.

INNOCENTINI, L. H.; MARIANI, P. D. S. C. Visão geral sobre polímeros ou plásticos ambientalmente degradáveis PADs. Campinas: **UNICAMP**, 2005.

INNOVA. História do plástico. 2017. Disponível em: <[http://: innova.ind.br](http://innova.ind.br)>. Acesso em: 22 dez. 2021.

JAMAL, M.; AHMAD, W.; ANDLEEB, S.; JALIL, F.; IMRAN, M.; NAWAZ, M. A.; HUSSAIN, T.; ALI, M.; RAFIQ, M.; KAMIL, M. A. Bacterial biofilm and associated infections. **Journal of the Chinese Medical Association**, Elsevier Taiwan LLC., v. 81, n. 1, p. 7-11, out. 2017.

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

JIMENEZ-ROSADO, M.; MAIGRET, J. E.; PEREZ-PUYANA, V.; ROMERO, A.; LOURDIN, D. Revaluation of a soy protein by-product in eco-friendly bioplastics by extrusion. **Journal of Polymers and the Environment**, 2021.

JONES, F. A promessa dos bioplásticos. Pesquisa FAPESP: Química verde, ed. 290, abr. 2020. Disponível em: <<https://revistapesquisa.fapesp.br/a-promessa-dos-bioplásticos/>>. Acesso em: 10 set. 2020.

JOSEPH, B.; RAJ, S. J. Pharmacognostic and phytochemical properties of *Aloe vera* linn-an overview. **International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research**, Bangalore, v. 4, n. 2, p. 106-110, 2010.

KASIRAJAN, S.; NGOUJIO, M. Polyethylene and biodegradable mulches for agricultural applications: a review. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 32, p. 501-529, 2012.

KIM, S. R. B.; CHOI, Y. G.; KIM, J. Y.; LIM, S. T. Improvement of water solubility and humidity stability of tapioca starch film by incorporating various gums. **LWT - Food Science and Technology**, v. 64, n. 1, p. 475-482, 2015.

LAWRENCE, R.; TRIPATHI, P.; JEYAKUMAR, E. Isolation, purification and evaluation of antibacterial agents from *Aloe vera*. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 40, n. 4, p. 906-915, 2009.

LEBEAUX, D.; GHIGO, J. M.; BELOIN, C. Biofilm-related infections: bridging the gap between clinical management and fundamental aspects of recalcitrance toward antibiotics. **Microbiology and Molecular Biology Reviews**, v. 78, n. 3, p. 510-543, sept. 2014.

LEONEL, M. Análise da forma e tamanho de grânulos de amidos de diferentes fontes botânicas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 27, n. 3, p. 579-588, 2007.

LEONEL, M. Processamento de batata: fécula, flocos, produtos de extrusão. In: **SEMINÁRIO BRASILEIRO SOBRE PROCESSAMENTO DE BATATAS**, Pouso Alegre, Minas Gerais. Anais... Pouso Alegre: EPAMIG, 2005. CD.

LIMA, R. M. F. Extração e purificação do princípio ativo da *Aloe barbadensis* Miller. In: CONAPESC - **Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Ciências**. 2010, Ouro Fino/MG. Anais eletrônicos [...]. Ouro Fino/MG: Faculdades Integradas Asmec, 2010. Disponível em: <[https://www.editorarealize.com.br/editora/anais/conapesc/2019/TRABALHO\\_EV126\\_MD4\\_SA3\\_ID1171\\_01082019112629.pdf](https://www.editorarealize.com.br/editora/anais/conapesc/2019/TRABALHO_EV126_MD4_SA3_ID1171_01082019112629.pdf)>. Acesso em: 03 dez. 2021.

LOPES, M. A.; CARVALHO, F. de M. Custo de produção do gado de corte. Lavras: UFLA, 2002. 47 p. (Boletim agropecuário, 47). Disponível em: <<https://professormarcosauelio.com.br/wp-content/uploads/2019/08/bol-47-Custo-gado-de-corte.pdf>>. Acesso em: 01 dez. 2021.

LORDANI, T. V. A.; LARA, C. E.; FERREIRA, F. B. P.; MONICH, M. S. T.; SILVA, C. M.; LORDANI, C. R. F.; BUENO, F. G.; TEIXEIRA, J. J. V.; LONARDONI, M. V. C. Therapeutic effects of medicinal plants on cutaneous wound healing in humans: a systematic review. **Mediators of Inflammation**, v. 2018, p.1-12, 2018.

LORENZI, H.; LACERDA, M. T. C.; BACHER, L. B. Frutas nativas exóticas: de consumo *in natura*. **Instituto Plantarum**, 2015.

MACLEOD, G. S.; FELL, J. T.; COLLET, J. H. Studies on the physical properties of mixed pectin/ ethylcellulose films intended for colonic drug delivery. **International Journal of Pharmaceutics**, v. 157, n. 1, p. 53-60, nov. 1997.

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

MALI, S.; GROSSMANN, M. V. E.; YAMASHITA, F. Starch films: production, properties and potential of utilization. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, n. 1, p. 137-156, apr. 2010.

MANO, E. L.; MENDES, L. C. Introdução à polímeros. 2. ed. São Paulo: **Editora Edgard Blucher**, 1999. 191p.

MAPP, R. K.; McCARTHY, T. J. The Assessment of purgative principles in aloes. **Planta Médica**, New York, v. 18, p. 361-365, 1970.

MARAVEAS, C. Production of sustainable and biodegradable polymers from agricultural waste. **Polymers**, v. 12, n. 5, 2020.

MARTINS, J. M. Uso da babosa (*Aloe vera*) na reparação de feridas abertas provocadas cirurgicamente em cães. 2010. 55 f. Monografia de Conclusão de Curso (curso de medicina veterinária) - **Universidade Federal de Campina Grande**, Patos, 2010.

MCPHERSON, A. E.; JANE, J. Comparison of waxy potato with other root and tuber starches. **Carbohydrate Polymers**, v. 40, p. 57-70, 1999.

MENDES, A. M.; ROSSINI, G. H.; SIMON H. J. D.; LAHR M.; PACINI, T. R. Relatório de ensaio de tração com materiais poliméricos. **Faculdade de Engenharia Mecânica UNICAMP: EM423 - Resistência dos Materiais**, 2007, v. 1, pt. 1, n. 1, p. 4-5, 2007.

MENDES, C. B. **Avaliação da produção de bioplásticos pela matriz SWOT: desafios e perspectivas**. 2020. Monografia (Graduação em Engenharia Química) – **Curso de Engenharia Química (UFRRJ/DEQ)**, Seropédica, 2020.

MORES, G. de V.; FINOCCHIO, C. P. S.; BARICHELLO, R.; PEDROZO, E. A. Sustainability and innovation in the brazilian supply chain of green plastic. **Journal of Cleaner Production**, v. 177, p. 12-18, 2018.

MORIYAMA, M. MORIYAMA, H.; UDA, J.; KUBO, H.; NAKAJIMA, Y.; GOTO, A.; AKAKI, J.; YOSHIDA, I.; MATSUOKA, N.; HAYAKAWA, T. Beneficial effects of the genus *Aloe* on wound healing, cell proliferation, and differentiation of epidermal keratinocytes. **PLoS One**, v. 11, n. 10, oct. 2016.

MORTON, J. F. Folk uses and commercial exploitation of *Aloe* leaf pulp. **Economic Botany**, v. 15, p. 311-319, oct. 1961.

MUCELIN, C. A.; BELLINI, M. Lixo e impactos ambientais perceptíveis no ecossistema urbano. **Sociedade & Natureza**, v. 20, n. 1, p: 111-124, 2008.

MUSTAPHA, S. N. H.; WAN, J. S. Effect of hybridization composition and glycerin content on novel corn starch/nata de coco plastic film: Thermal, mechanical, and degradation study. **Food Chemistry**, 373, p. 131440, 2022.

NARAYAN, R. Degradação/ fragmentação e biodegradação. **Michigan State University**, [s.d.].

NASIR, N. N.; OTHMAN, S.A. The physical and mechanical properties of corn-based bioplastic films with different starch and glycerol content. **Journal of Physical Science**, v. 32, n. 3, p. 89-101, 2021.

OLIVEIRA, A.; RODRIGUES, A.; DIAS, R.; LORENTZ L.; LAVORATO M.; TAGLIANI S.; 2014. Conheça tudo sobre o bioplástico. Disponível em: Acesso em: 04/11/2021.

OLIVEIRA, I. V. P. M.; DIAS, R. V. C. Cicatrização de feridas: fases e fatores de influência. **Acta Veterinária Brasileira**, v. 6, n. 4, p. 267-271, 2012.

OLIVEIRA, S. H. S; SOARES, M. J. G.; ROCHA, P. S. Uso de cobertura com colágeno e *Aloe vera* no tratamento de ferida isquêmica: estudo de caso. **Revista da Escola de Enfermagem da USP**, São Paulo, v. 44, n. 2, p. 346-351, 2010.

PETERSEN, K. NIELSEN, P. V.; BERTELSEN, G.; LAWThER, M.; OLSEN, M. B.; NILSSON, N. H.; MORTENSEN, G. Potencial of biobased materials for food packaging. **Trends in Food Science & Technology**, Denmark, n.10, p. 52-68, 1999.

PETTICREW, M.; ROBERTS, H. Systematic reviews in the social sciences: a practical guide. **John Wiley & Sons**, 2008.

PIATTI, T. M.; RODRIGUES, R. A. F. Plásticos: características, usos, produção e impactos ambientais. Série: Conversando sobre Ciências em Alagoas. Maceió: **Edufal**, 2005. 51p.

PIERGIOVANNI, L. Materiais de embalagem e tecnologias de envase. *In*: BARUFFALDI, R.; DE OLIVEIRA, M.N. Fundamentos de Tecnologia de Alimentos. São Paulo: **Editora Atheneu**, 1998, v.3, p. 219-279.

PINILLA, G.; BAUTISTA, A.; CRUZ, C.; CHAVARRO, B.; NAVARRETE, J.; Muñoz, L.; GUTIÉRREZ, J. Determination of adhesion factors associated with biofilm formation in clinical isolates of *Staphylococcus aureus* and *Staphylococcus epidermidis*. **Nova** [online], Bogotá, v.15, n. 27, p.67-75, jan.-june 2017.

QUEIROGA, V. P.; GIRAO, E. G.; FIRMINO, P. T.; ALBUQUERQUE, E. M. B. *Aloe vera* (babosa): Tecnologias de plantio em escala comercial para o semiárido e utilização. 1. ed. Campina Grande: **AREPB/Embrapa**, 2019.

QUEIROZ, T. Consumo, consumismo e os impactos no meio ambiente. *In*: **RECICLOTECA**. Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <<http://www.recicloteca.org.br>>. Acesso em: 7 abr. 2021.

RAMSAY, B. A.; LANGLADE, V.; CARREAU, P. J.; RAMSAY, J. A. Biodegradability and mechanical properties of Poly – ( $\beta$  – hidroxibutirato-Co- $\beta$ -hidroxyvalerate) – starch blends. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 59, n. 4, p. 1242-1246, 1993.

ROBERTSON, G. L. Food Packing: principle and practice. New York: **Marcel Dekker**, 1993.

RODRIGUES, K.; LIMA, M.; GONZALES, M.; KRETZMANN, N. Produção de bioplástico a partir da casca da batata (*Solanum tuberosum*). **Anais XI Semana de Extensão, Pesquisa e Pós-graduação do Centro Universitário Ritter dos Reis**, p. 8, 2015.

RÓZ, A. L da. Preparação e caracterização de amidos termoplásticos. 171 p. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) - **Escola de Engenharia de São Carlos, Instituto de Física de São Carlos/ Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo**, 2004.

RUDIN, A.; CHOI, P. Ciência e engenharia de polímeros. 1. ed. Rio de Janeiro: **Elsevier Brasil**, 2016.

SADI, R. K.; FECHINE, G. J. M.; DEMARQUETTE, N. R. Photodegradation of poly (3-hydroxybutyrate). **Polymer Degradation Stability**, v. 95, n. 12, p. 2318-2327, 2010.

SANTHOSH, R.; NATH, D.; SARKAR, P. Novel food packaging materials including plant-based byproducts: A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 118, p. 471-489, 2021.

SANTOS, B.; SILVA, R. S; COELHO, T. M.; ASSAD FILHO, N. Produção de bioplástico a partir do amido de mandioca. **Anais do VIII Encontro Internacional de Produção Científica**. Maringá, 5 p, 2013.

SAVOIA, D. Plant-derived antimicrobial compounds: alternatives to antibiotics. **Future Microbiol.** v. n.8, p. 979-990, 2012.

SAYYAR, S.; OFFICER, D. L.; WALLACE, G. G. Fabrication of 3D structures from graphene-based biocomposites. **Journal of Materials Chemistry B**, v. 5, p. 3462-3482, 2017.

SCHUT, J. H. Biopolymer applications are expanding, in fits and starts. **Plastics Engineering**, v. 72, n. 3, p. 5-6, mar. 2016.

SHAFQAT, A.; TAHIR, A.; MAHMOOD, A.; TABINDA, A.B.; YASAR, A.; PUGAZHENDHI, A. A review on environmental significance carbon foot prints of starch based bio-plastic: a substitute of conventional plastics. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 27, p. 101540, 2020.

SHAH, A. A.; HASAN, F.; HAMEED, A.; AHMED, S. Biological degradation of plastics: a comprehensive review. **Biotechnology Advances**, v. 26, n. 3, p. 246-265, may-june 2008.

SILVA JÚNIOR, A. A. **Essentia herba** – plantas bioativas. Florianópolis: Epagri, 2003. 1 fotografia.

SILVA, F. P.; SILVA, D. P. S.; ESPÍNDOLA, G. L.; DIONÍZIO, T. P.; SILVA, B. J. Prospecting and proposing a technological roadmap for the production of green polyethylene. **Revista Virtual de Química**, v. 12, n. 4, p. 827-839, 2020.

SILVA, M. C. da. Polímeros biodegradáveis: tipos, propriedades e aplicações. Rio de Janeiro, 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Polímeros) - **Fundação Centro Universitário Estadual da Zona Oeste (UEZO)**, Rio de Janeiro, 2013.

SOARES JÚNIOR, A. B. Produção do poli (tereftalato de etileno) modificado com glicerol e derivados. 2010. 79 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - **Programa de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ/ COPPE)**, [s.l.], 2010.

SOBRAL, P. J. A.; MENEGALLI, F. C.; HUBINGER, M. D.; ROQUES, M. A. Mechanical water vapor barrier and thermal properties of gelatin based edible films. *Food Hydrocolloids*, v.15, n.6, p.423-432, 2001.

SONG, H. G.; CHOI, I.; LEE, J. S.; CHUNG, M. N.; YOON, C. S.; HAN, J. Comparative study on physicochemical properties of starch films prepared from five sweet potato (*Ipomoea batatas*) cultivars. **International Journal of Biological Macromolecules**, 189, p. 758-767, 2021.

SOUZA, V.; LORENZI, H. Botânica sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de angiospermas da flora brasileira, baseado em APG II. **Nova Odessa: Instituto Plantarum**, 2005, 640 p.

SRICHUWONG, S. ORIKASA, T. MATSUKI, J; SHIINA, T. KOBAYASHI, T. ; Tokuyasu, K. Sweet potato having a low temperature-gelatinizing starch as a promising feedstock for bioethanol production. **Biomass and Bioenergy**, v. 39, p. 120-127, abr. 2012.

TAZIMA M. F. G. S.; VICENTE, Y. A. M. V. A.; MORIYA, T. Biologia da ferida e cicatrização. **Revista Medicina**, Ribeirão Preto, v. 41, n. 3, p.259-64, jul.-set. 2008.

THARANATHAN, R. N. Biodegradable films and composite coatings: past, present, and future. **Trends in Food Science and Technology**, v. 14, p. 71-78, 2003.

THIRÉ, R. M. S. M.; RIBEIRO, T. A. A.; ANDRADE, C. T. Effect of starch addition on compression-molded poly(3-hydroxybutyrate)/starch blends. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 100, p. 4338-4347, 2006.

THOMPSON, R. C.; MOORE, C. J.; VOM SAAL, F. S.; SWAN, S. H. Plastics; the environment and human health: current consensus and future trends. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London**. Series B, Biological Sciences, Royal Society, v. 364, n. 1526, p. 2153-2166, July 2009.

TIMMINS, M. R.; LENZ, R.W. Enzymatic biodegradation of polymers: the polymer chemists' perspective. **Trends in Polymer Science (TRIP)**, v. 2, n. 1, p. 15-19, 1994.

TRENTIN, D. S.; GIORDANI, R. B.; ZIMMER, K. R.; DA SILVA, A. G.; DA SILVA, M. V.; CORREIA, M. T.; BAUMVOL, I. J.; MACEDO, A. J. Potential of medicinal plants from the Brazilian semi-arid region (Caatinga) against *Staphylococcus epidermidis* planktonic and biofilm lifestyles. **Journal of Ethnopharmacology**, v. 137, p. 327-335, sept. 2011.

UFMG, 2017. Alexander Parkes. Disponível em: Acesso em: 06 de novembro de 2021.

USBERCO, J; SALVADOR, E. **Química**. Volume único. 5. ed. São Paulo: Saraiva, 2002.

VIEGAS, C. P. R. Estudo da produção de polihidroxialcanoatos (PHAs) por *Chromobacterium violaceum*. 2005. 80 f. Dissertação (Mestrado) **Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos**, [s.l.], 2005.

VILLA, E. B.; PEREIRA, M. G.; ALONSO, J. M.; BEUTLER, S. J.; LELES, P. S. S. . Aporte de serapilheira e nutrientes em áreas de restauração florestal com diferentes espaçamentos de plantio. **Floresta e Ambiente**, v. 23, n.1, p. 90-99, 2016.

VINHAS, G. M.; ALMEIDA, Y. M. B.; LIMA, M. A. G. A.; SANTOS, L. A. Study of the properties and biodegradability of polyester/starch blends submitted to microbial attack. **Química nova**, v. 30, n. 7, p. 1584-1588, 2007.

WANG, H.; SUN, X. Z.; SEIB, P. Mechanical properties of poly (lactic acid) and wheat starch blends with methylenediphenyl diisocyanate. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 84, p. 1257-1262, 2002.

WANG, J.; EURING, M.; OSTENDORF, K.; ZHANG, K. Biobased materials for food packaging. **Journal of Bioresources and Bioproducts**, 2021.

WARD, G.; NUSSINOVITCH, A. Characterizing the gloss properties of hydrocolloid films. **Food Hydrocolloids**, v. 11, n. 4, p. 357-365, 1997.

WONG, Y. C.; ROMA, D. N. Potential of the biodegradability and characteristics of bioplastic from microalgae residues. **International Journal on Algae**, v. 23, n. 1, p. 95-108, 2021.

YANG, H.; LIU, J. Thermal analysis of poly (3-hydroxybutyrate-co-3-hydroxyvalerate) irradiated under vacuum. **Polymer International**, v. 53, p. 1677-1681, 2004.

YAZDANI, O. M.; HAVAYI, A.; PISHVA, E.; SALEHI, R.; SADEGHIZADEH, M. Detection of icaAD gene and biofilm formation in *Staphylococcus aureus* isolates from wound infection. **Iranian Journal of Public Health**, v. 35, n.2, p. 25-28, 2006.

FRANCO, D. Y. Y. Transição sócio-técnica dos plásticos sob a ótica do desenvolvimento dos bioplásticos. 2019. 198 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos) – **Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos Químicos e Bioquímicos, Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro**, Rio de Janeiro, 2019.

ZAIDUL, I. S. M.; NORULAINI, N. A. N.; OMAR, A. K. M.; YAMAUCHI, H.; NODA, T. RVA analysis of mixtures of wheat flour and potato, sweet potato, yam, and cassava starches. **Carbohydrate Polymers**, v. 69, n. 4, p. 784-791, july 2007.

ZOUNGRANAN, Y.; LYNDIA, E.; DOBI-BRICE, K. K.; TCHIRIOUA, E.; BAKARY, C.; YANNICK, D. D. Influence of natural factors on the biodegradation of simple and composite bioplastics based on cassava starch and corn starch. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 8, n. 5, 2020.

## 7 ANEXOS

### Análises Estatísticas

#### A - Solubilidade

Anova: fator único				
Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
Amostra 1	3	12	4	1
Amostra 2	3	21	7	4
Amostra 11	3	16	5,333333	2,333333
Amostra 12	3	13	4,333333	2,333333

ANOVA						
Fonte de Variação	SQ	gl	MQ	F	Valor-P	F crítico
Entre grupos	16,333333	3	5,444444	2,252874	0,159431	4,066181
Dentro dos grupos	19,333333	8	2,416667			
Total	35,666667	11				

#### Cálculo da variância para a solubilidade.

- 1)  $H_0 = \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$   
 $H_1 =$  Existe pelo menos uma diferença entre as médias
- 2)  $\sum$  (somatório das colunas)

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 11	Amostra 12
	3	9	4	4
	4	5	7	6
	5	7	5	3
$\sum$	12	21	16	13
X	3	7	5,33	4,33

Para  $\alpha = 0,05$

#### ANOVA

Fonte de Variação	S.Q.	G.L.	Q.M.	F
Entre grupos	16,33	3	5,44	2,33
Dentro do grupo (Resíduo)	19,34	8	2,44	-----
Total	35,67	11	-----	-----

$$\begin{aligned}
 SQEG &= \sum_{j=1}^k \left[ \frac{(\sum_{i=1}^n x_{ij})^2}{n} \right] - \left[ \frac{(\sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n x_{ij})^2}{N} \right] \\
 &= 12^2 / 3 + 21^2 / 3 + 16^2 / 3 + 13^2 / 3 = 48 + 147 + 85,33 + 56,33 = 336,66 \\
 &= \frac{(12 + 21 + 16 + 13)^2}{12} = 320,35 \\
 SQEG &= 336,66 - 320,35 \\
 SQEG &= 16,33
 \end{aligned}$$



$$SQR = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n x_{ij}^2 - \sum_{j=1}^k \left[ \frac{(\sum_{i=1}^n x_{ij})^2}{n} \right]$$

$$SQR = (3^2 + 4^2 + 5^2 + 9^2 + 5^2 + 7^2 + 4^2 + 7^2 + 5^2 + 4^2 + 6^2 + 3^2) - 336,66$$

$$SQR = 356,00 - 336,66 = 19,34$$

$$GLE = K - 1$$

$$GLR = N - k$$

$$GLT = (K-1) + (N-K)$$

$$QME = \frac{SQE}{GLE} = 16,33/3 = 5,44$$

$$QMR = \frac{SQR}{GLR} = 19,54/8 = 2,44$$

$$F = \frac{QME}{QMR} = 5,44/2,44 = 2,23$$

3)

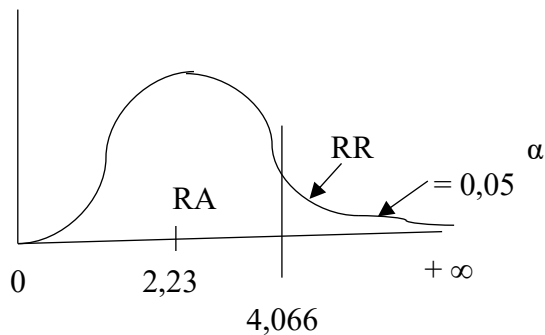


Tabela F ( $\alpha = 0,05$ )

Conclusão: aceita-se H0

### Teste Tukey para a solubilidade

Cálculo de d.m.s.

$$d.m.s. = q(5\%) \sqrt{\frac{QMR}{n^\circ \text{ de repeti\c{c}oes}}}$$

$$q(5\%) (k; GLR) \longrightarrow q(5\%) = 4,53$$

$$d.m.s. = 4,53 \sqrt{\frac{2,44}{4}}$$

$$d.m.s. = 3,53$$

$$m_2 = 7,0$$

$$m_{11} = 5,33$$

$$m_{12} = 4,33$$

$$m_1 = 3,0$$

$$|\hat{m}| < \text{d.m.s.} \longrightarrow \text{aceita-se } H_0$$

$$m_2 - m_{11} = 7,00 - 5,33 = 1,67 < 3,53$$

$$m_{11} - m_{12} = 5,33 - 4,33 = 1,00 < 3,53$$

$$m_{11} - m_1 = 5,33 - 3,00 = 2,33 < 3,53$$

$$m_{12} - m_1 = 4,33 - 3,00 = 1,33 < 3,53$$

Conclusão: os tratamentos são iguais estatisticamente não diferem entre si pelo teste de Tukey à 5% de significância.

## B - Permeabilidade ao vapor d'água

Amostra 1	1,72	2,42	1,99
Amostra 2	0,95	1,28	2,00
Amostra 11	0,29	0,78	1,90
Amostra 12	2,00	1,85	1,85

Anova: fator único				
Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
Amostra 1	3	6,13	2,043333	0,124633
Amostra 2	3	4,23	1,41	0,2883
Amostra 11	3	2,97	0,99	0,6811
Amostra 12	3	5,7	1,9	0,0075

ANOVA						
Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	2,081825	3	0,693942	2,519912	0,131628	4,066181
Dentro dos grupos	2,203067	8	0,275383			
Total	4,284892	11				

### Cálculo da variância

1)  $H_0 = \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$

$H_1 =$  Existe pelo menos uma diferença entre as médias

2)  $\Sigma$  (somatório das colunas)

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 11	Amostra 12
	1,72	0,95	0,29	2,00
	2,42	1,28	0,78	1,85
	1,99	2,00	1,90	1,85
$\Sigma$	6,13	4,23	2,97	5,7
$\bar{X}$	2,04	1,41	0,99	1,90

Para  $\alpha = 0,05$

### ANOVA

Fonte de Variação	S.Q.	G.L.	Q.M.	F
-------------------	------	------	------	---

Entre grupos	2,0818	3	0,6939	2,5123
Dentro do grupo (Resíduo)	2,2099	8	0,2762	-----
Total	4,2917		-----	-----

$$SQEG = \sum_{j=1}^k \left[ \frac{(\sum_{i=1}^n x_{ij})^2}{n} \right] - \left[ \frac{(\sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n x_{ij})^2}{N} \right]$$

$$= 6,13^2 / 3 + 4,23^2 / 3 + 2,97^2 / 3 + 5,70^2 / 3 = 32,2602$$

$$= \frac{(6,13 + 4,23 + 2,97 + 5,70)^2}{12} = 30,1784$$

$$SQEG = 32,2602 - 30,1784$$

$$SQEG = 2,0818$$

$$SQR = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n x_{ij}^2 - \sum_{j=1}^k \left[ \frac{(\sum_{i=1}^n x_{ij})^2}{n} \right]$$

$$SQR = (1,72^2 + 2,42^2 + 1,99^2 + 0,95^2 + 1,28^2 + 2,00^2 + 0,29^2 + 0,78^2 + 1,90^2 + 2,00^2 + 1,85^2 + 1,85^2) - 32,2602$$

$$SQR = 34,4701 - 32,2602 = 2,2099$$

$$GLE = K - 1$$

$$GLR = N - k$$

$$GLT = (K-1) + (N-K)$$

$$QME = \frac{SQE}{GLE} = 2,0818/3 = 0,6939$$

GLE

$$QMR = \frac{SQR}{GLR} = 2,2099/8 = 0,2762$$

GLR

$$F = \frac{QME}{QMR} = 0,6939/0,2762 = 2,5123$$

QMR

3)

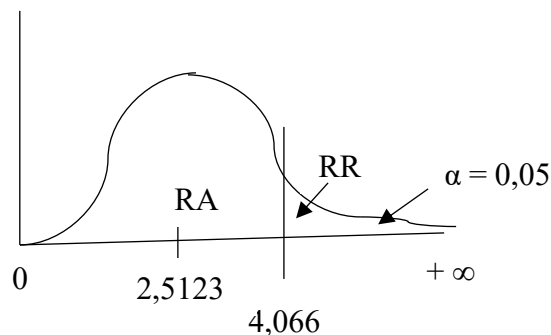


Tabela F ( $\alpha = 0,05$ )

Conclusão: aceita-se H0

## Teste Tukey para a permeabilidade ao vapor d'água

Cálculo de d.m.s.

$$d.m.s. = q(5\%) \sqrt{\frac{QMR}{n^{\circ} \text{ de repetições}}}$$

$$q(5\%) (k; GLR) \longrightarrow q(5\%) = 4,53$$

$$d.m.s. = 4,53 \sqrt{\frac{0,2762}{4}}$$

$$d.m.s = 1,1903$$

$$m_1 = 2,04$$

$$m_{12} = 1,90$$

$$m_2 = 1,41$$

$$m_{11} = 0,99$$

$$|\hat{m}| < d.m.s. \longrightarrow \text{aceita-se } H_0$$

$$m_1 - m_{12} = 2,04 - 1,90 = 0,14 < 1,1903$$

$$m_{12} - m_2 = 1,90 - 1,41 = 0,49 < 1,1903$$

$$m_2 - m_{11} = 1,41 - 0,99 = 0,42 < 1,1903$$

$$m_{11} - m_1 = 1,41 - 0,99 = 0,42 < 1,1903$$

Conclusão: os tratamentos são iguais estatisticamente não diferem entre si pelo teste de Tukey à 5% de significância.

## C - Biodegradabilidade

Amostra 1	Amostra 2	Amostra 11	Amostra 12
1,150	1,149	1,977	1,577
0,636	0,303	0,708	0,712
0,514	0,819	1,265	0,865

Anova: fator único				
Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
Amostra 1	3	2,3	0,766667	0,113929
Amostra 2	3	2,271	0,757	0,181812
Amostra 11	3	3,95	1,316667	0,404592
Amostra 12	3	3,154	1,051333	0,213096

ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	0,640417	3	0,213472	0,934816	0,467516	4,066181
Dentro dos grupos	1,82686	8	0,228358			
Total	2,467277	11				

## Cálculo da variância para a biodegradabilidade

1)  $H_0 = \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$   
 $H_1 =$  Existe pelo menos uma diferença entre as médias

2)  $\Sigma$  (somatório das colunas)

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 11	Amostra 12
	1,150	1,149	1,977	1,577
	0,636	0,303	0,708	0,712
	0,514	0,819	1,265	0,865
$\Sigma$	2,30	2,271	3,950	3,154
$\bar{X}$	0,7666	0,757	1,316	1,051

Para  $\alpha = 0,05$

ANOVA				
Fonte de Variação	S.Q.	G.L.	Q.M.	F
Entre grupos	0,6403	3	0,2134	0,9351
Dentro do grupo (Resíduo)	1,8263	8	0,2282	-----
Total	2,4666	11	-----	-----

$$SQEG = \sum_{j=1}^k \left[ \frac{(\sum_{i=1}^n x_{ij})^2}{n} \right] - \left[ \frac{(\sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n x_{ij})^2}{N} \right]$$

$$= 2,3^2 / 3 + 2,271^2 / 3 + 3,95^2 / 3 + 3,154^2 / 3 = 11,9991$$

$$= \frac{(2,3 + 2,271 + 3,95 + 3,154)^2}{12} = 11,3588$$

$$SQEG = 11,9991 - 11,3588$$

$$SQEG = 0,6403$$

$$SQR = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n x_{ij}^2 - \sum_{j=1}^k \left[ \frac{(\sum_{i=1}^n x_{ij})^2}{n} \right]$$

$$SQR = (1,150^2 + 0,636^2 + 0,514^2 + 1,149^2 + 0,303^2 + 0,819^2 + 1,977^2 + 0,708^2 + 1,265^2 + 1,577^2 + 0,712^2 + 0,865^2) - 11,9991$$

$$SQR = 1,8263$$

$$GLE = K - 1$$

$$GLR = N - k$$

$$GLT = (K-1) + (N-K)$$

$$QME = \frac{SQE}{GLE} = 0,6403/3 = 0,2134$$

$$QMR = \frac{SQR}{GLR} = 1,8263/8 = 0,2282$$

$$F = \frac{QME}{QMR} = 0,2134/0,2282 = 0,9351$$

QMR

3)

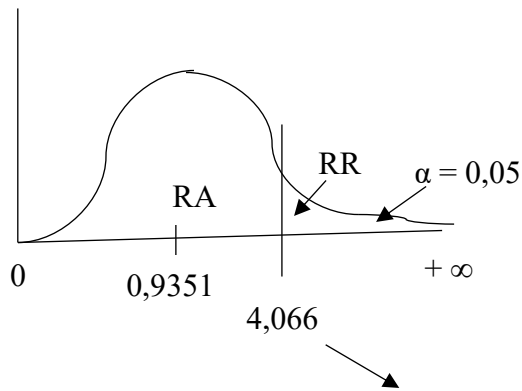


Tabela F ( $\alpha = 0,05$ )

Conclusão: aceita-se H0

### Teste Tukey para a biodegradabilidade

Cálculo de d.m.s.

$$\text{d.m.s.} = q(5\%) \sqrt{\frac{QMR}{\text{n}^\circ \text{ de repeti\c{c}ões}}}$$

$$q(5\%) (k; GLR) \longrightarrow q(5\%) = 4,53$$

$$\text{d.m.s.} = 4,53 \sqrt{\frac{1,8263}{4}}$$

$$\text{d.m.s.} = 0,6822$$

$$m_{11} = 1,3166$$

$$m_{12} = 1,0151$$

$$m_1 = 0,7666$$

$$m_2 = 0,757$$

$$[\hat{m}] < \text{d.m.s.} \longrightarrow \text{aceita-se H0}$$

$$m_{11} - m_{12} = 1,310 - 1,0151 = 0,2949 < 0,6822$$

$$m_{12} - m_1 = 1,0151 - 0,766 = 0,2491 < 0,6822$$

$$m_{12} - m_2 = 1,0151 - 0,757 = 0,2581 < 0,6822$$

$$m_1 - m_2 = 0,766 - 0,757 = 0,009 < 0,6822$$

Conclusão: os tratamentos são iguais estatisticamente não diferem entre si pelo teste de Tukey à 5% de significância.