

**CEETEPS - CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA**  
**PAULA SOUZA**  
**Etec TRAJANO CAMARGO**  
**Curso Técnico Profissionalizante em Química**

**Gustavo Elídio dos Santos**  
**Monick Aparecida Rocha Souza**

**SÍNTESE DE BIOPOLÍMERO DE PECTINA CÍTRICA COMO**  
**ALTERNATIVA AO FILME DE POLICLORETO DE VINILA (PVC)**

**Limeira - SP**  
**2023**

**Gustavo Elídio dos Santos**  
**Monick Aparecida Rocha Souza**

**SÍNTESE DE BIOPOLÍMERO DE PECTINA CÍTRICA COMO  
ALTERNATIVA AO FILME DE POLICLORETO DE VINILA (PVC)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Técnico em Química da ETEC Trajano Camargo, orientado pela Prof. Me. Jéssica Carolina Paschoal de Macedo e coorientado pelo Prof. Reinaldo Blezer, como requisito parcial para obtenção do título em técnico em Química.

**Limeira - SP**

**2023**

“But I got smarter, I got harder in the nick of time  
Honey, I rose up from the dead, I do it all the time  
I got a list of names, and yours is in red, underlined  
I check it once, then I check it twice, oh!”  
(Taylor Swift)

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos a todos que contribuíram para que esse trabalho seja concluído, em especial para nossa Orientadora Prof<sup>a</sup> Me. Jéssica Carolina Paschoal Macedo e nosso Coorientador Prof<sup>o</sup> Reinaldo Blezer.

Agradecemos a incessante ajuda recebida de Gabriel Bombo Pierroti, e pelo apoio emocional recebido de Samuel Santos.

Agradecemos profundamente ainda a empresa CP Kelco pela parceria e doação de matéria-prima para o andamento de nosso projeto.

## RESUMO

O filme plástico de Policloreto de Vinila (PVC) contribui para a poluição plástica ambiental, visto que a sua reciclagem não é efetiva, e caso feita pode obstruir o maquinário na triagem da reciclagem, ocasionando altos custos de manutenção. Para além disso, há o fato de que, segundo a ANVISA, em sua resolução n. 105/1999, esse tipo de plástico não pode ser retornado como novo plástico, o que conseqüentemente agrava a situação ambiental. Dessa forma, o presente trabalho pretendeu desenvolver um bioplástico de pectina cítrica como alternativa ao filme de plástico de PVC. Tem-se como foco a elaboração do biopolímero natural à base de pectina cítrica GENU® tipo USP/100, doada pela empresa CP Kelco, como alternativa de diminuição do uso do filme plástico de PVC, pois é um recurso sustentável, provando ser um produto que pode ser explorado pelas indústrias locais. As análises, sendo elas visuais, de umidade, resistência à água, aplicabilidade comparativa e de custos, foram destinadas para averiguar a melhor eficiência polimérica proveniente da pectina. Os resultados obtidos foram promissores e o biopolímero obtido é semelhante ao PVC, porém o quesito elasticidade não foi atendido sendo um polímero quebradiço, assim como a sua não resistência a água, fragmentando-o em contato com a mesma. Em suma a proposta de síntese polimérica foi alcançada sendo necessário ajustes nas concentrações dos reagentes, como o plastificante e o reticulante para melhorar as características polimérica, mas fica evidente que o bioplástico é promissor na busca por soluções mais sustentáveis na indústria de matérias.

**Palavras-chave:** Pectina. Filme Plástico de PVC. Poluição Ambiental.

## ABSTRACT

Polyvinyl chloride (PVC) plastic film contributes to environmental plastic pollution, as its recycling is not effective, and if done so, it can obstruct recycling sorting machinery, causing high maintenance costs. Furthermore, there is the fact that, according to ANVISA, in its resolution no. 105/1999, this type of plastic cannot be returned as new plastic, which consequently worsens the environmental situation. In this way, the present study aimed to develop a citrus pectin bioplastic as an alternative to PVC plastic film. The focus is to develop a natural biopolymer based on citrus pectin GENU® type USP/100, donated by the company CP Kelco, as an alternative to reducing the use of PVC plastic film, as it is a sustainable resource, proving to be a which can be explored by local industries. The analyses, including visual, humidity, water resistance, comparative applicability and costs, were designed to determine the best polymeric efficiency from pectin. The results obtained were promising and the biopolymer obtained is similar to PVC, however the requirement was not met as it is a brittle polymer, as well as its non-resistance to water, fragmenting it in contact with it. In short, the proposed polymer synthesis was achieved with the necessary adjustments in the concentrations of reagents, such as plasticizer and crosslinker to improve polymeric characteristics, but it is evident that bioplastic is promising in the search for more sustainable solutions in the materials industry.

**Keywords:** Pectin. PVC Plastic Film. Environmental Pollution.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA .....</b>	<b>7</b>
<b>2. OBJETIVOS.....</b>	<b>9</b>
<b>3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....</b>	<b>10</b>
<b>4. METODOLOGIA .....</b>	<b>21</b>
<b>5. DISCUSSÃO DE RESULTADOS .....</b>	<b>30</b>
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>50</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>51</b>
<b>APÊNDICE A – CRONOGRAMA DAS ATIVIDADES REALIZADAS .....</b>	<b>56</b>
<b>APÊNDICE B – TABELA DAS MASSAS PESADAS.....</b>	<b>57</b>
<b>APÊNDICE C – IMAGENS DO PROCESSO DE RECOBRIMENTO DE MORANGOS COMPARANDO O BIOPLÁSTICO PRODUZIDO E O FILME PLÁSTICO DE PVC DURANTE 7 DIAS .....</b>	<b>58</b>
<b>APÊNDICE D – IMAGENS DO PROCESSO DE DECOMPOSIÇÃO DA AMOSTRA CONTROLE DE MORANGO UTILIZADA PARA AS ANÁLISES .....</b>	<b>61</b>

## 1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

A busca por alternativas para o uso de embalagens de polímeros sintéticos, oriundas de fontes petroquímicas tem aumentado sobretudo, devido à dificuldade encontrada na reciclagem da maioria das embalagens disponíveis. Assim, observamos ainda que esse fato tem promovido o interesse no desenvolvimento de embalagens alimentícias de polímeros naturais, que por sua natureza oferecem menor impacto ambiental e ecológico (SANTOS, 2019).

Nesse contexto, o desenvolvimento de polímeros naturais tem se configurado ao longo dos últimos anos como um dos principais ramos de pesquisa da área de química orgânica. Desse modo, nessa pesquisa nos dedicamos a compreender os processos de fabricação de biopolímeros. Para isso se torna essencial delimitarmos que os filmes biológicos são películas feitas a partir de polímeros naturais, proteínas, polissacarídeos, lipídios e/ou derivados (SOUSA *et al.*, 2021).

Dentre essas fontes, optamos nesse trabalho por empregar a pectina, classificada como um polímero natural, e um polissacarídeo complexo que pode ser encontrado na parede celular dos vegetais (MEDINA & DZALTO, 2018). A pectina se sobressai entre os polímeros naturais usados no desenvolvimento de filmes biodegradáveis por ser um polissacarídeo atóxico, fácil de ser extraído e abundante na natureza (MEDINA & DZALTO, 2018; RAMOS, 2021). Para além disso, os frutos cítricos são os mais ricos em pectinas, principalmente em sua região mesocárpica (PAIVA & PAIXÃO, 2009), e esses fatores justificam o emprego da pectina cítrica para a produção de plásticos biodegradáveis alimentícios.

Diante esse contexto, cabe destacarmos que os polímeros naturais hidrolisáveis a água e dióxido de carbono, ou ainda a metano, são mais adaptados à biodegradação completa, já que este é um processo natural e complexo realizado por microrganismos (SOUSA *et al.*, 2021). Já os polímeros sintéticos, apesar da ampla utilização, sua biodegradação total requer longos períodos e podem ser responsáveis por contaminação e poluição ambiental quando são descartados de forma incorreta (FRANCO, 2019).

Segundo a Organização Não Governamental (ONG) Blue Keepers, um estudo feito entre julho de 2021 e maio de 2022, produzido pelo Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (USP), aponta que um terço do plástico produzido no país corre o risco de chegar aos oceanos, isto é cerca de 3,44 milhões de toneladas do



material por ano. Isso elucidada a problemática em torno da reciclagem e descarte de embalagens sintéticas no país, corroborando também para nossa proposta de elaboração de polímero natural, que apresenta menores riscos de poluição ambiental.

Diante essas discussões é certo que os filmes plásticos contribuem para a crise de poluição plástica ambiental (GIBBENS, 2019), visto que comumente os filmes plásticos têm seu destino em aterros sanitários e/ou mares, pois sua reciclagem é um desafio, posto que são materiais de baixa densidade e tendem a se movimentar nas esteiras de triagem, se enrolando nos eixos do equipamento e afetando assim o desempenho e a manutenção do mesmo (GIBBENS, 2019 & BRUNN, 2022).

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivos Gerais

Sintetizar um polímero natural por meio da pectina cítrica GENU® tipo USP/100, como alternativa do filme plástico sintético de Policloreto de Vinila (PVC).

### 2.2 Objetivos Específicos

- Utilizar da pectina cítrica para produção de polímero com elasticidade potencial para sua aplicação na formação de plásticos biodegradáveis;
- Determinar das potencialidades e limitações da utilização do biopolímero produzido para a indústria alimentícia;
- Analisar aspectos visuais para a determinação das características do polímero obtido;
- Analisar a quantidade de umidade é desprendida durante a secagem do bioplástico;
- Analisar a resistência do polímero produzido em relação à água;
- Analisar a aplicabilidade para determinação das potencialidades e limitações de conservação de alimentos;
- Analisar a substituição de plástico filme de Policloreto de Vinila (PVC) pelo polímero biodegradável produzido;
- Analisar os custos de reagentes químicos envolvidos na produção do biopolímero.

### 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 A Laranja

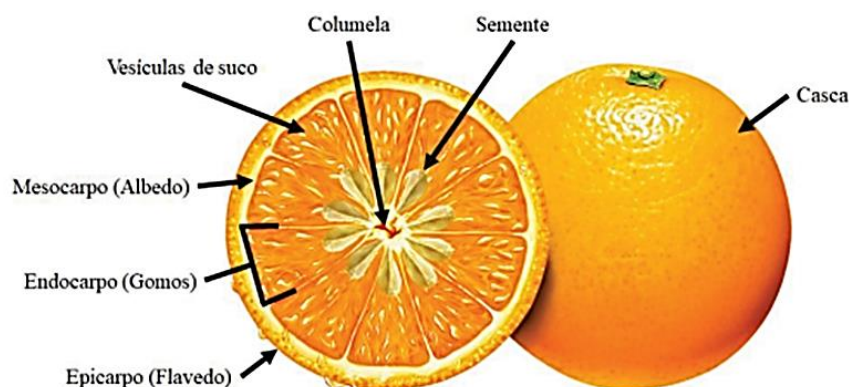
A laranja oriunda do sudeste asiático é um fruto proveniente da laranjeira, uma árvore perene pertencente à família *Rutaceae* (PATRO, 2013; FUCHS, 2020). Laranjas comumente conhecidas como pera, Bahia (sem sementes), lima (sem acidez) e Moro (Sanguínea), são cientificamente conhecidas como *Citrus sinensis* (L) *Osbeck* (FUCHS, 2020).

A planta cítrica é amplamente cultivada em quase todo o mundo como alimento de alto valor nutricional, sendo fonte de vitamina A, C e E (FUCHS, 2020). Produzida em países tropicais como o Brasil, 96% da fruta colhida no campo é transformada em suco e 50% do peso da fruta é descartado na forma de bagaço (casca, polpa e sementes) durante a produção do mesmo (FERNANDES, 2019). O suco e suas diversas concentrações é o principal produto industrial obtido das frutas cítricas e os subprodutos desse processamento são os óleos essenciais, aromas e polpa (AZEVEDO, 2003).

O Brasil é o maior produtor mundial de laranja, sendo que nos anos de 2020/21 foi o responsável por 32,8% da produção global da fruta, além de ser o segundo maior na produção de cítricos, cerca de dois terços da área cultivada com laranja no país está na região de São Paulo - SP (VIDAL, 2021).

A cidade de Limeira – SP, é a capital histórica da laranja. Na época de 1960, no ápice da citricultura do município quando o consumo da laranja Bahia se popularizou, Limeira era reconhecida como a “capital da laranja” (BRASIL, 2009). Além desse papel central nas primeiras exportações, Limeira foi a maior exportadora nacional da fruta, até seu declínio durante a década de 1970 (CONSTANTINO; AZEVEDO, 2019). Todavia, se destaca sendo a maior produtora de mudas cítricas da América Latina (BRASIL, 2009).

A estrutura da laranja (Figura 1) é composta pelo epicarpo (flavedo) onde são encontrados os carotenoides e os óleos essenciais; mesocarpo (albedo), parte interna branca onde a maior parte da pectina está localizada; e o endocarpo, constituído pelas sementes e pelos gomos da fruta, região em que estão as vesículas com o suco (FUCHS, 2020; RAMOS, 2021).

**Figura 1:** Morfologia da laranja.

**Fonte:** Fuchs, 2020.

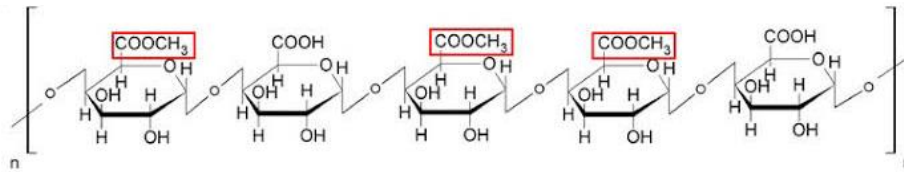
Devido à abundância de insumos gerados pela industrialização de sucos, a pectina proveniente do bagaço cítrico dominava a produção mundial em cerca de 60% em 1940. Por conseguinte, em 1954 a produção industrial brasileira de pectina deu início na cidade de Limeira – SP (CANTERI *et al.*, 2012), conforme iremos detalhar no item seguinte.

### 3.2 A Pectina

O nome pectina vem da palavra grega “*pectos*”, que significa gelatinoso ou solidificado. Sua descoberta foi feita por Nicolas-Louis Vauquelin em 1790, mas por volta de 1824, Henri Braconnot, químico francês que descobriu que essa substância oriunda de frutas cítricas tinha a propriedade de gelificar quando sua solução era acidificada (CANTERI *et al.*, 2012; FANI, 2016).

A pectina é um heteropolissacarídeo formado principalmente por monômeros de ácido D-galacturônico esterificado, unidos por ligações glicosídicas alfa-(1-4), em que muitos grupos carboxil (-COOH) e hidroxil (-OH) estão dispersos na cadeia principal, conforme indicado na Figura 2 (LIPNIZIK, 2017; MEDINA; DZALTO, 2018; NASROLLAHZADEH *et al.*, 2021):

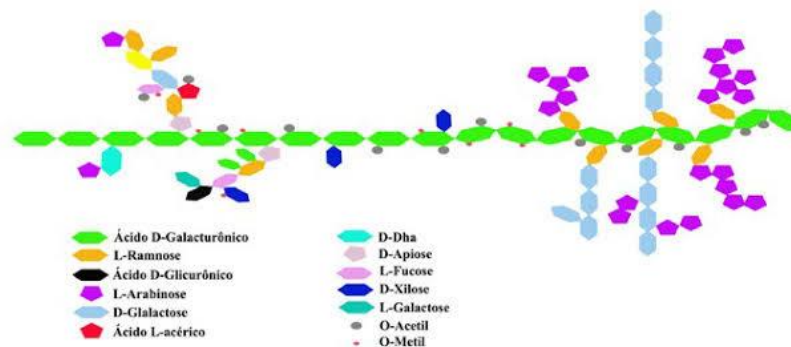
**Figura 2:** Cadeia central de ácido poligalacturônico com grupos carboxílicos metilados (-CH<sub>3</sub>) destacados em vermelho



**Fonte:** Adaptado de Santi, Berger & Silva, 2014.

A cadeia principal da pectina também possui um pequeno número de unidades de ramnose, enquanto nas cadeias laterais há outros açúcares neutros, os mais comuns são arabinose, xilose e galactose (Figura 3) (MEDINA; DZALTO, 2018; NASROLLAHZADEH *et al.*, 2021):

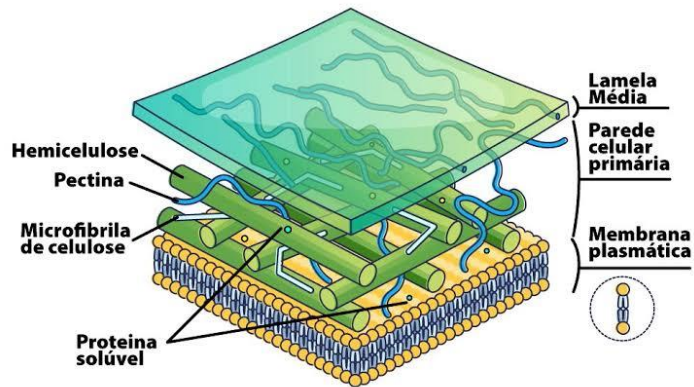
**Figura 3:** Visão geral da pectina, indicando ramificações laterais.



**Fonte:** Adaptado de Santi, Berger & Silva, 2014.

Este polissacarídeo solúvel em água, está presente na parede celular primária e lamela média de células vegetais (Figura 4), sendo o principal componente das plantas que oferecem flexibilidade, força e integridade estrutural a mesma (NASROLLAHZADEH *et al.*, 2021; SÁNCHEZ-GONZÁLEZ, 2021).

**Figura 4:** Estrutura da parede celular primária e lamela média de células vegetais.

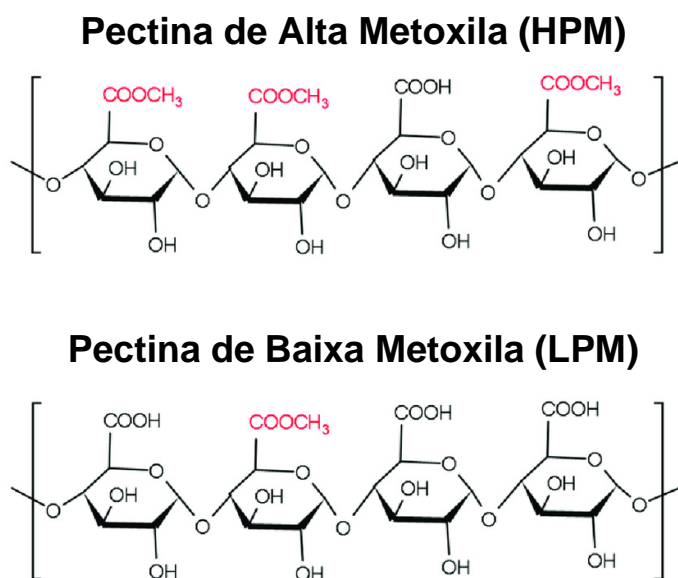


**Fonte:** Castilho, 2023.

A pectina comercializável é obtida principalmente a partir de cascas de frutas cítricas e de maçã, cada uma contendo 20-30% e 10-15% de pectina em peso seco, respectivamente (NASROLLAHZADEH *et al.*, 2021). Este polímero natural é muito utilizado nas indústrias alimentícias como espessante, gelificante, texturizante e emulsificante (NASROLLAHZADEH *et al.*, 2021; SÁNCHEZ-GONZÁLEZ *et al.*, 2021).

A pectina é categorizada em dois tipos: pectina de alta metoxila, HMP, (mais de 50% de grau de esterificação) e pectina de baixa metoxila, LMP, (menos de 50% de grau de esterificação) (SÁNCHEZ-GONZÁLEZ *et al.*, 2021), como indica a Figura 5.

**Figura 5:** Estrutura peptídica de alta metoxila (HMP) e de baixa metoxila (LMP).



**Fonte:** Adaptado de Steigerwald *et al.*, 2021.

Conforme observado, essa classificação está de acordo com seu grau de esterificação com o metanol, que é a medida da proporção de grupos de ácido galacturônico metilados em relação ao total de grupos de ácido galacturônico presentes na molécula (PINHEIRO, 2007). A esterificação é um importante parâmetro que afeta diretamente as propriedades gelificantes da pectina (MONDAL; SHARIF, 2021; PAWAR *et al.*, 2008). Entretanto, além destes, existem outros fatores que afetam a gelificação: tamanho molecular, Potencial Hidrogeniônico (pH), disposição das cadeias laterais entre outros (NASROLLAHZADEH *et al.*, 2021).

Pectinas podem ser extraídas em pH ácido e alcalino. Pectinas de baixa metoxilação são extraídas em meio alcalino, sendo resultado da saponificação dos grupos ésteres, porém há uma despolimerização do ácido pectínico resultando em dificuldades no processo de filtração durante a extração (LIMA, 2007).

Em produtos com baixo teor de açúcares pode ser usada a LMP, elas formam géis na presença de íons bivalentes, como o cálcio, e não é necessário enormes quantidades de açúcar para formação dele (PINHEIRO, 2007; FERNANDES *et al.*, 2014; JESUS *et al.*, 2021).

Em contrapartida, a HMP é extraída em meio ácido, oferecendo maior rendimento, de aproximadamente 20%. Ela simula o padrão natural encontrado nos frutos, sendo uma abordagem amplamente adotada por pesquisadores, também por conta de não provocar mudanças abruptas na delicada estrutura do polissacarídeo (LIMA, 2007).

Pectinas com alto grau de esterificação formam géis em pH inferior a 3,6, na presença de um co-soluto<sup>1</sup>, com concentração de açúcares maior que 65%, geralmente de sacarose (BRANDÃO; ANDRADE, 1999; FERNANDES *et al.*, 2014; PINHEIRO, 2007). Com isso constatamos que as pectinas de alto grau de esterificação são consideradas mais importantes e amplamente usadas nas indústrias como agentes gelificantes de sucos de frutas para obter geleias (BRANDÃO; ANDRADE, 1999; FERNANDES *et al.*, 2014).

É importante salientar que, apesar de inúmeros produtos utilizarem a pectina (como em geleias, filmes biodegradáveis e comestíveis, substituição de plastificantes,

---

<sup>1</sup> Um soluto que existe em uma solução junto com outro soluto (CO-SOLUTO, 2023)

papel, espumas, adesivos, dentre outros), nem toda fonte botânica possui a mesma capacidade de formar gel. Frutas como laranjas, maçãs, frutas cítricas e marmelos, por exemplo, possuem a casca mais grossa e contêm mais pectina se comparadas àquelas com casca macia como uvas, morangos e cerejas, como apresentado alguns exemplos desse fator na Tabela 1 (FRACASSO, 2015; NASROLLAHZADEH *et al.*, 2021).

**Tabela 1:** Teores aproximados de pectina em diferentes fontes botânicas.

<b>FONTES BOTÂNICAS</b>	<b>PECTINA EM MATÉRIA FRESCA (%)</b>	<b>PECTINA EM MATERIA SECA (%)</b>
Maçã ( <i>Malus sp.</i> )	0,5 - 1,6	4 - 7
Bagaço de maçã	1,5 - 2,5	15 - 20
Albedo cítrico ( <i>Citrus sp.</i> )	-	30 - 35
Casca de laranja ( <i>Citrus sinensis</i> )	3,5 - 5,5	-
Maracujá ( <i>Passiflora edulis S.</i> )	0,5	-
Casca de maracujá ( <i>Passiflora quadrangularis L.</i> )	0,4	-
Batata	-	2,5

**Fonte:** Adaptado de Canteri *et al.*, 2012;

### 3.3 A Problemática Do Plástico-Filme

O uso do filme plástico se popularizou por manter os alimentos frescos por mais tempo, ser um invólucro portátil e de baixo custo, eficiente para o armazenamento de alimentos (GIBBENS, 2019). Apesar disso ele possui difícil reciclagem, pois obstrui as máquinas do processo e mesmo quando é reciclado, é mais oneroso do que o uso de materiais virgens (GIBBENS, 2019).



Entretanto, não é possível que o filme de PVC retorne como um novo plástico filme e tenha contato com alimentos, pois de acordo com a resolução n.105/1999 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA, no item 9 das disposições gerais para embalagens e equipamentos plásticos em contato com alimentos.

Na elaboração de embalagens e equipamentos destinados a entrar em contato com alimentos está proibida a utilização de materiais plásticos procedentes de embalagens, fragmentos de objetos, plásticos reciclados ou já utilizados, devendo, portanto, ser usado material virgem de primeiro uso. (BRASIL, ANVISA, 1999)

Ainda na lei, é dito que “esta proibição não se aplica para o material reprocessado no mesmo processo de transformação que o originou (*scrap*) de parte de materiais plásticos não contaminados nem degradados”. E é complementado no item 9.1 que “A proibição do item 9 não se aplica a embalagens descartáveis de Politereftalato de Etileno (PET) multicamada destinadas ao acondicionamento de bebidas não alcoólicas não carbonatadas, objeto de portaria específica”.

### **3.4 Microplásticos**

Nas últimas seis décadas, mais de 8,4 bilhões de toneladas de plástico foram produzidas, com a maioria indo parar ou em aterros ou no meio ambiente, onde apenas 9% do plástico é reciclado. A cada ano, cerca de 12 milhões de toneladas de plástico entram nos oceanos, onde rios importantes transportam significativamente 2,41 milhões de toneladas para o mar. Isso resulta em séria poluição global, com evidências de resíduos plásticos afetando a vida marinha e ecossistemas. A presença generalizada de microplásticos destaca que o plástico no ambiente persiste como um grande problema ambiental (MICROPLASTICS, 2023).

A palavra microplásticos descreve a totalidade de todos os plásticos sintéticos e seus produtos, que possuem um tamanho menor que 5 mm e que são liberados diretamente no ambiente ou formados indiretamente no ambiente (MICROPLASTICS, 2023).

Eles podem ser classificados em duas categorias com base em sua origem. Os de fonte primária são produzidos intencionalmente com tamanho de até 5 mm e são lançados no ambiente nesse formato, podendo se apresentar em escalas microscópicas, como as microesferas usadas em produtos cosméticos e de higiene pessoal, bem como em diversas indústrias, incluindo a farmacêutica e de plásticos.

Os microplásticos de fonte secundária, por outro lado, são o resultado da fragmentação de plásticos maiores, como embalagens, devido à exposição ao ambiente e a diversos agentes estressores, que os quebram progressivamente até atingirem o tamanho dos microplásticos (MONTAGNER, 2021).

A degradação de um polímero está relacionada ao rompimento das ligações químicas, seja na cadeia principal ou nas cadeias laterais. Esse processo é desencadeado pela formação de espécies reativas, frequentemente radicais livres, que são responsáveis pela continuação da degradação. Essa degradação pode ser iniciada por diferentes processos, como fotodegradação, degradação física, química e biológica, todos exigindo energia para romper as ligações químicas. A degradação física das partículas resulta na formação de diversas variações de microplásticos, como fibras, fragmentos e filmes (MONTAGNER, 2021).

A poluição por microplásticos é um problema ambiental e socioeconômico significativo devido à má gestão de resíduos sólidos e outros fatores. O primeiro registro da presença de microplásticos no ambiente remonta a 1972, quando foram encontrados em redes de plâncton nas águas costeiras dos Estados Unidos e na costa do Rio Grande do Sul, no Brasil (MONTAGNER, 2021).

Eles representam uma ameaça, pois são ingeridos por uma variedade de organismos, podendo conter substâncias tóxicas, como resíduos de plastificantes e metais pesados, que aumentam o risco de danos físicos e toxicológicos a organismos e ecossistemas. Além disso, os microplásticos podem entrar na cadeia alimentar e até mesmo no corpo humano por bioacumulação (MICROPLASTICS, 2023).

Conforme a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2019), os microplásticos estão amplamente distribuídos no meio ambiente, sendo detectados em água do mar, esgoto, água doce, alimentos, ar e água potável, tanto engarrafados quanto da rede de abastecimento. A poluição terrestre e aquática por microplásticos é preocupante devido ao seu potencial de exposição e transferência de substâncias orgânicas altamente tóxicas (ANDRADE, 2021).

Estudos apontam que as soluções biodegradáveis, derivadas de fontes renováveis e compostos ecológicos, são alternativas essenciais ao plástico convencional. Embalagens e produtos biodegradáveis são menos persistentes no ambiente, podendo ser decompostos por microrganismos em biomassa, dióxido de carbono e água (PARADA, 2023).

O aumento do uso de bioplásticos no país se deve ao aumento dos preços de commodities, como o petróleo, e às crescentes preocupações ambientais. Enquanto o plástico convencional pode levar até 400 anos para se decompor na natureza, os bioplásticos de base vegetal podem degradar em cerca de 20 meses, oferecendo uma solução crucial para combater a poluição e promover o desenvolvimento sustentável. Além disso, a adoção de plásticos biodegradáveis estimula a conscientização ambiental, promovendo mudanças positivas de comportamento e atitudes que beneficiam tanto os indivíduos quanto o meio ambiente (PARADA, 2023).

De acordo com o Botelho (2022), uma pesquisa holandesa revelou a presença de microplásticos no sangue humano, detectados em 80% das amostras de doadores adultos saudáveis. Paralelamente, uma investigação brasileira da Universidade de São Paulo – USP, focada em tecidos pulmonares identificou que 65% das amostras analisadas estavam contaminadas por plásticos comuns. Em ambos os estudos os polímeros sintéticos mais encontrados foram o polipropileno, o polietileno e PET, utilizados na produção por exemplo, de garrafas plásticas e sacolas de supermercados, com partículas variando entre 1,6 a 5,5 micrômetros.

Em síntese, quando se refere a saúde humana a presença de microplásticos permanece em investigação, não sendo possível ainda definir de fato consequências diretas do mesmo, porém, o consumo consciente de plásticos evitando usos desnecessários se torna essencial para uma sociedade eco consciente (BOTELHO, 2022).

### **3.5 Filmes Biodegradáveis**

Os filmes oriundos de polímeros naturais surgem como uma alternativa sustentável para reduzir o acúmulo de resíduos de embalagens sintéticas. Tais filmes podem ser utilizados na fabricação de embalagens biodegradáveis e oferecem a vantagem de serem provenientes de fontes renováveis (SANTOS, 2019; SOUSA *et al.*, 2021).

Os biopolímeros utilizados para produzir embalagens incluem polissacarídeos como pectina, celulose, alginato, quitosana e amido (JESUS, 2017). Tais estruturas podem ser usadas como barreira protetora entre os alimentos e o meio externo, de modo que a escolha da substância formadora do filme depende do tipo de produto a ser criado e sua aplicação (JESUS, 2017; BIERHALZ, 2010).

O processo de reticulação, isto é a formação de ligações cruzadas entre as cadeias dos polímeros é importante na caracterização dos plásticos biodegradáveis, pois, tal interligação molecular produz polímeros tridimensionais com alta massa molar, conseqüentemente tornando-o mais rígido (EVORA *et al.*, 2002; JESUS, 2017).

Os filmes biodegradáveis, como os produzidos a partir da pectina, têm baixa resistência à água, e propriedades mecânicas (SHAHABI-GHAHFARROKHI, ALMASI & BABAEL-GHAZVINI, 2020). Então, após o intercruzamento entre as moléculas do polímero ocorre a redução de sua solubilidade, tal fator induz a sua fragilidade, porém a adição de plastificantes, como o glicerol, melhora a elasticidade do biopolímero (EVORA *et al.*, 2002; BIERHALZ, 2010; JESUS, 2017).

A melhoria das propriedades mecânicas dos filmes feitos à base de pectina envolve o processo de reticulação com íons de cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), agente reticulante efetivo e mais utilizado na fabricação de gel. No processo, os íons são adicionados durante o processo de produção da solução filmogênica e após a formação do filme, na etapa de reticulação final do biopolímero (BIERHALZ, 2010; JESUS 2017).

Entretanto, a pectina não possui propriedades antimicrobianas e é necessário utilizar substâncias capazes de reduzir o risco de crescimento patogênico e prolongar a vida útil do alimento a ser coberto pelo filme. (SHAHABI-GHAHFARROKHI, ALMASI & BABAEL-GHAZVINI, 2020).

### **3.6 Agentes Antimicrobianos**

Os agentes antimicrobianos que são integrados na indústria alimentícia desempenham um papel fundamental no controle da contaminação microbiana. Eles atuam de maneira eficaz ao reduzir significativamente a taxa de crescimento dos microrganismos indesejados, bem como ao limitar o crescimento populacional dessas ameaças, resultando em uma melhora substancial na segurança alimentar. Essas medidas se traduzem em uma proteção mais eficaz dos produtos alimentícios, garantindo que eles se mantenham em ótimas condições para consumo (CARULO, 2005)

O desenvolvimento de filmes biodegradáveis oferece várias vantagens notáveis, entre as quais se destaca a capacidade de reduzir substancialmente a necessidade de conservantes em comparação com as quantidades exigidas quando estes são incorporados diretamente nos alimentos. Isso se traduz em benefícios tanto para a preservação da qualidade dos produtos quanto para a saúde dos consumidores, uma

vez que permite a diminuição do uso de substâncias químicas artificiais na alimentação. Além disso, a utilização de filmes biodegradáveis contribui para uma abordagem mais sustentável dos plásticos, promovendo a preservação do meio ambiente (ZACTITI, 2004).

De acordo com a definição estabelecida pelo Ministério da Saúde em sua Portaria nº 540, datada de 27 de outubro de 1997, os conservantes são classificados como substâncias cuja finalidade principal é prevenir ou retardar as modificações indesejadas nos alimentos, desencadeadas pela atividade de microrganismos ou enzimas (BRASIL, 1997).

A natamicina, por exemplo, é um antimicótico amplamente utilizado no controle de crescimento de uma variedade de fungos filamentosos e leveduriformes, dos gêneros *Candida*, *Penicillium*, *Fusarium* e *Aspergillus*, na superfície de queijos e carnes (BIERHALZ, 2010).

Além da natamicina, existem outros tipos de substâncias que podem ser utilizadas. Um exemplo claro de conservante alimentício é o sorbato de potássio, variante do ácido sórbico, que é uma escolha popular na indústria alimentícia, já que mantém a qualidade e a segurança dos alimentos sem afetar o seu sabor, sendo considerado fisiologicamente inócuo. O ácido sórbico é encontrado naturalmente em alguns frutos e possui uma solubilidade limitada em água e, por isso, não é amplamente utilizado na indústria alimentícia (ZACTITI, 2004).

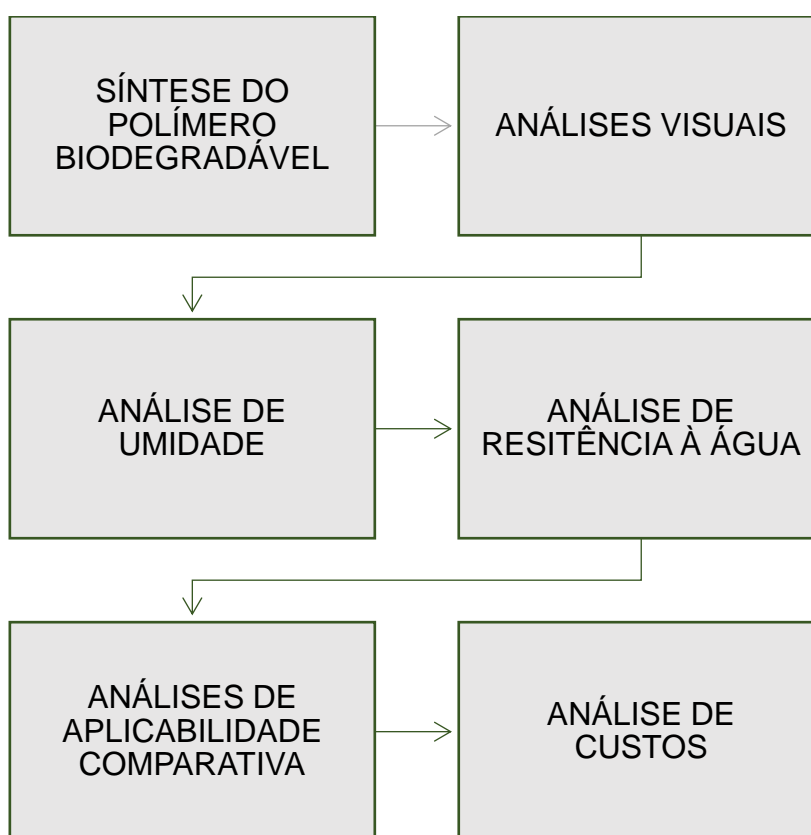
O sorbato de potássio atua como um conservante eficaz, com propriedades antifúngicas e bactericidas, sendo aplicado para a preservação de produtos alimentícios (ZACTITI, 2004).

Portanto, ao empregar o sorbato de potássio como um agente antimicrobiano na preservação de alimentos, é essencial observar um limite máximo de aplicação. A concentração desse conservante não deve exceder 0,20 gramas por cada 100 mililitros do alimento em questão. O rigor no controle dessa dosagem desempenha um papel fundamental na manutenção da segurança e qualidade dos produtos alimentícios, garantindo que os padrões regulatórios sejam estritamente obedecidos (BRASIL, 2018).

## 4. METODOLOGIA

Este trabalho propõe a síntese de um polímero biodegradável a partir da pectina cítrica GENU® tipo USP/100, de forma a ocorrer uma diminuição no uso do filme plástico de PVC. Assim, será realizada uma pesquisa transversal aplicada, com abordagem experimental e quantitativa elaborada no Laboratório de Química da ETEC Trajano Camargo, em Limeira - SP, e limitada aos meses de agosto a novembro de 2023. A metodologia a ser aplicada está representada no fluxograma da Figura 6, a seguir:

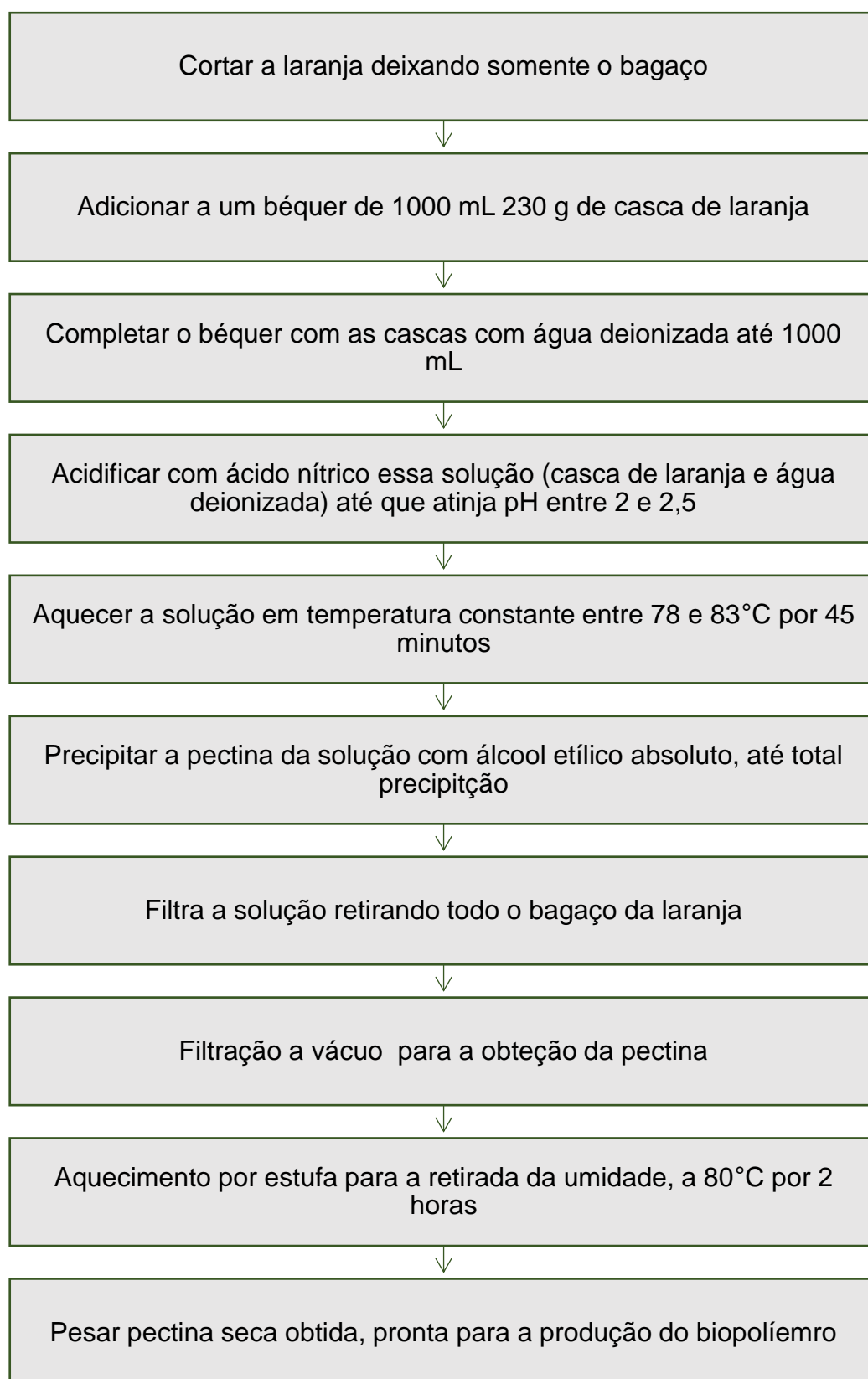
**Figura 6:** Fluxograma referente à metodologia que será aplicada no trabalho.



**Fonte:** Arquivo Pessoal, 2023.

### 4.1 Extração Ácida Da Pectina

Para a extração da pectina, será utilizada a metodologia orientada pelo professor Reinaldo Blezer, de acordo com o fluxograma da Figura 7, a seguir:

**Figura 7:** Fluxograma do processo de extração da pectina do bagaço da laranja.

**Fonte:** Arquivo Pessoal, 2023.

O bagaço das laranjas (tipo Bahia), a uma proporção de 18 a 23% de laranjas por quantidade de água, foram acidificados com ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) na solução, para pH que estava na faixa compreendida entre 2 e 2,5, facilitando assim a remoção da pectina.

Após a acidificação da solução, foi realizada o aquecimento em água deionizada, mantendo a temperatura constante, entre 78 e 82°C. Esse aquecimento ocorreu em 45 minutos, para que retirássemos a pectina de forma efetiva.

Por ainda ser solúvel em água, se tornou ainda necessária a precipitação da pectina produzida, para isso utilizamos álcool etílico absoluto ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ), tornando-a insolúvel neste meio. Em seguida realizamos ainda a filtração a vácuo, de modo a promover sua separação.

Observamos ainda que a amostra de pectina obtida apresentava alto índice de umidade, por essa razão optamos por realizar o processo de secagem por meio de uma estufa, a 80°C durante 2 horas. Ao final dessa etapa e, após o resfriamento em dessecador, a pectina obtida estava pronta para ser usada na produção do bioplástico.

#### **4.2 Características Da Pectina Cítrica**

A pectina cítrica GENU® tipo USP/100 que foi utilizada nesse trabalho foi doada pela empresa de produção de hidrocolóides naturais CP Kelco. Esse produto foi utilizado com base em sua característica de alto grau de esterificação, necessárias para a produção do bioplástico. Outras características importantes são apresentadas na Tabela 2, a seguir.



**Tabela 2:** Características da amostra de pectina cítrica GENU® tipo USP/100.

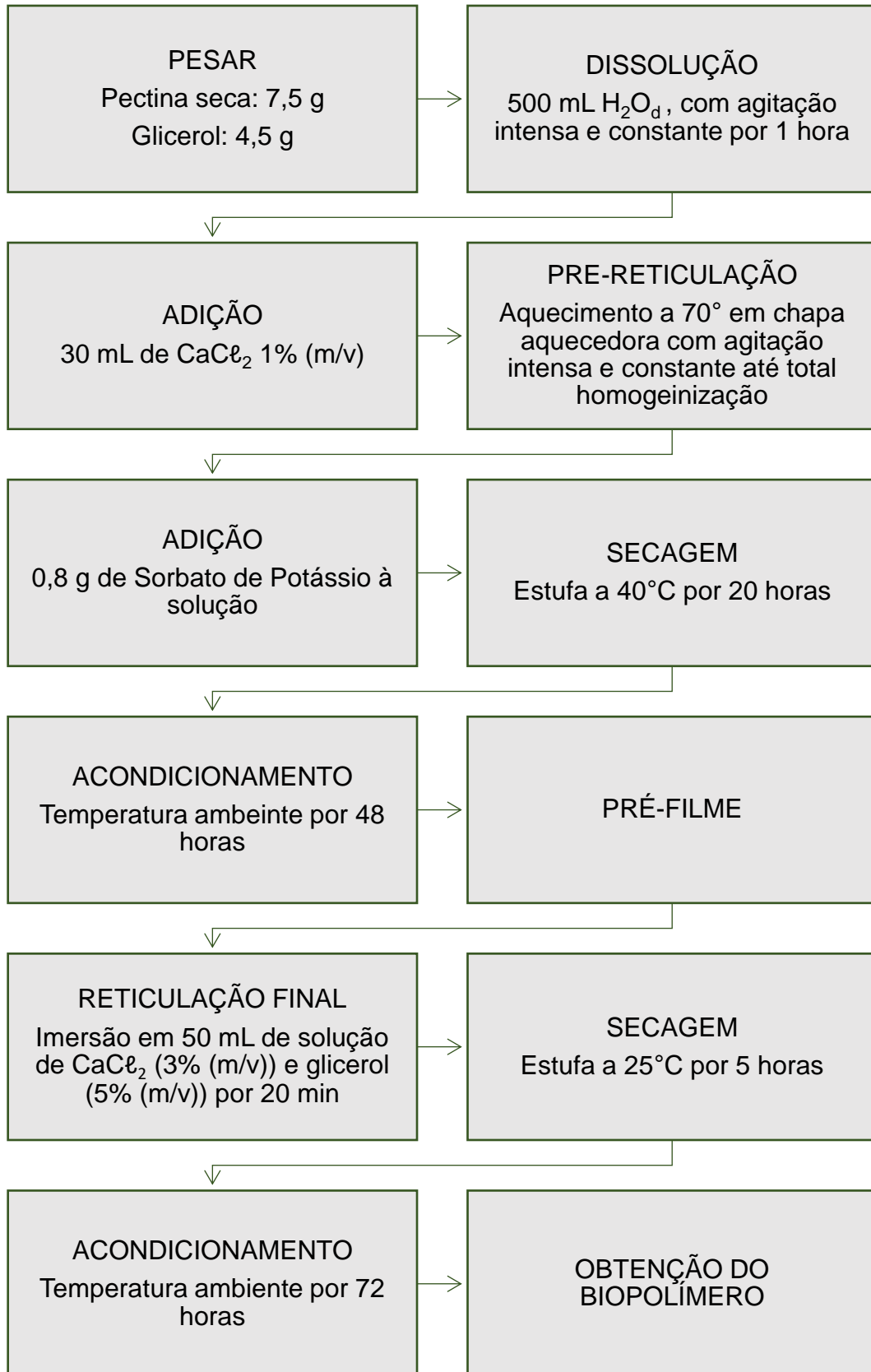
<b>CARACTERÍSTICA</b>	<b>RESULTADOS DO TESTE</b>	<b>ESPECIFICAÇÃO</b>
pH solução 1%	3,6	3,6 - 4,1
Ácido galacturônico (%)	82,1	Não menor que 74,0
Grupos Metoxi (%)	7,2	6.2 - 12,0
Grau de esterificação (%)	55%	55% - 65%
<i>Salmonella</i>	Ausente / 10 g	Ausente / 10 g
<i>E. coli</i>	Ausente / 1 g	Ausente / 1 g
<i>Staphylococcus aureus</i>	Ausente / 1 g	Ausente / 1 g
<i>Pseudomas aeruginosa</i>	Ausente / 1 g	Ausente / 1 g
<i>Candida albicans</i>	Ausente / 1 g	Ausente / 1 g
<i>Clostridia</i>	Ausente / 2 g	Ausente / 2 g
Arsênico (As), em ppm	≤ 3 ppm	Não maior que 3 ppm
Chumbo (Pb), em ppm	≤ 5 ppm	Não maior que 5 ppm
Solubilidade em água	Solúvel	Não possui
Reatividade	Nenhuma	Não possui
Estabilidade química	Estável sob condições normais	Não possui
Persistência de degradabilidade	Biodegradável imediatamente	Não possui
Potência de bioacumulação	Não é considerada persistente, bioacumulável ou tóxica	Não possui

**Fonte:** Arquivo Pessoal, 2023.

### 4.3 Síntese Do Plástico Biodegradável

Para a confecção dos filmes plásticos a base de pectina, teve-se como modelo as técnicas modificadas de Bierhalz (2010), conforme o fluxograma da Figura 8:

**Figura 8:** Fluxograma da síntese do plástico biodegradável.



**Fonte:** Arquivo Pessoal, 2023.

A fim de haver a possibilidade de comparar os filmes que iremos sintetizar com filmes já produzidos em outros trabalhos, serão confeccionados filmes simples de pectina, com a proporção de 7,5 g (1,5% (m/v)) de pectina seca.

Inicialmente, o glicerol ( $C_3H_8O_3$ ) na quantidade de 0,6 g/g (4,5 g do plastificante) do biopolímero deve ser solubilizado em 500 mL de água deionizada por 15 minutos, com agitação intensa. Em seguida, adiciona-se 7,5 g de pectina, mantendo a agitação por 1 hora para total dissolução. A solução é então aquecida a 70°C e pré-reticulada com a adição de 30 mL de solução de cloreto de cálcio ( $CaCl_2$ ) 1% (m/v).

Durante o processo de pré-reticulação, a solução é mantida em chapa aquecedora com temperatura constante de 70°C. Após essa etapa, o sorbato de potássio ( $C_6H_7KO_2$ ) é adicionado à solução filmogênica, 0,20 g/100 ml em relação à quantidade total do biopolímero segundo o Ministério da Saúde (BRASIL, 2018). Para a incorporação do antimicrobiano, a solução deve ser mantida em aquecimento e sob agitação durante 10 minutos.

Essa solução ainda quente é transferida em alíquotas de 10 g para as placas de Petri, onde serão mantidas em estufa a 40°C durante o período de 20 horas. Posteriormente, os filmes são retirados dos suportes e armazenados durante 48 horas em temperatura ambiente.

Em seguida, os filmes obtidos são imersos em 50 mL de solução de cloreto de cálcio com glicerol durante 20 a 30 minutos, e após a imersão, são transferidos para placas e secos em temperatura ambiente. Ademais a confecção dos filmes plásticos, serão realizadas as análises para que o polímero criado atenda às necessidades desejadas.

#### **4.4 Análises Visuais**

Os aspectos qualitativos do plástico que foram levados em conta para a análise são semelhantes aos usados por Bierhalz (2010), sendo eles apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3:** Características visuais utilizadas para a comparação

---

<b>CARACTERÍSTICAS VISUAIS</b>
Cor
Homogeneidade
Continuidade
Flexibilidade
Elasticidade
Manuseio
Maleabilidade
Densidade
Cor da Chama

---

**Fonte:** Arquivo Pessoal, 2023

Com base nesses parâmetros, conduziu-se uma análise comparativa entre o bioplástico e o filme plástico de PVC, visando aprofundar a compreensão das disparidades entre esses materiais poliméricos. Essa comparação entre os dois tipos de plásticos revela-se fundamental no contexto do potencial de substituição, permitindo uma avaliação abrangente das características associadas a cada alternativa.

#### **4.5 Análise de Umidade**

Todos os produtos, independentemente do processo de fabricação, contêm água em várias proporções. Essa água pode ser classificada em dois tipos: umidade de superfície, que é a água livre na superfície externa do alimento, facilmente evaporada, e umidade adsorvida, que é a água retida no interior do alimento, sem reagir quimicamente com ele (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 2008).

A determinação da umidade será feita medindo a perda de peso do biopolímero após o processo de secagem dele seguindo a Equação 1 a seguir:

$$U_{\%} = \frac{P_0 - P}{P_0} \times 100,$$

(Equação 1)

em que  $U_{\%}$  é o teor de umidade desprendida no processo de secagem da amostra do polímero,  $P$  é a massa final da amostra biopolímero obtido, e  $P_0$  é a massa inicial da amostra do biopolímero.

Após a obtenção do polímero, essa análise é necessária para a quantificação de umidade desprendida durante o processo de secagem ser adicionada aos critérios que serão utilizados para a possibilidade de substituição do plástico filme de PVC.

Ela também se faz importante por quantificar o teor de água livre desprendida pelo processo, pois segundo Labuza, Tannembaun, Karel (1972) a água livre se encontra nos espaços intergranulares e entre os poros do material, sendo prontamente removível. Ela desempenha um papel crucial como veículo de dispersão e serve como um nutriente essencial para o desenvolvimento de microrganismos e a realização de reações químicas-enzimáticas.

Assim, com sua remoção é possível com que o plástico possa ser formado sem a interferência de nenhuma ação microbiológica ou enzimática.

#### **4.6 Análise de Resistência à Água**

Após a produção do bioplástico, conduziu-se uma análise orientada pela Professora Me. Jéssica Carolina Paschoal de Macedo com o intuito de compreender qualitativamente a resistência proporcionada por esse material em comparação ao filme plástico de PVC. Para realizar essa avaliação, o bioplástico elaborado foi submetido à interação com a água, sendo observadas eventuais alterações em suas características.

Essa abordagem permitiu uma análise prática e observacional da resposta do bioplástico ao contato com a água, fornecendo percepções qualitativas sobre sua resistência e comportamento nessa condição, em contraste com o plástico convencional de PVC. Essa observação contribui para a compreensão das propriedades físicas do bioplástico e sua viabilidade.

#### **4.7 Análise De Aplicabilidade Comparativa**

Ao final do processo de produção e da execução das análises propostas, será realizada uma última análise para provar a aplicabilidade do polímero criado. Essa

análise contará com aspectos do plástico e sobre como ele age quando utilizado de forma semelhante ao plástico filme de PVC.

As análises desse cunho que serão realizadas foram orientadas pela Professora Me. Jéssica Carolina Paschoal de Macedo. O teste de caracterização consiste em recobrir um mesmo alimento, tanto com o plástico filme de PVC, quanto com o plástico produzido, submetendo-os à temperatura ambiente, enquanto recobrem os alimentos, em um determinado espaço de tempo.

O objetivo dessa análise é comparar a conservação dos alimentos e observar se haverá um prolongamento da vida útil do alimento e a formação colônias de fungos na superfície do bioplástico sintetizado, em diferentes condições de armazenamento.

#### **4.8 Análise de Custos**

Esta análise tem como fundamento a quantificação, em moeda brasileira (R\$), dos reagentes empregados na elaboração da solução filmogênica, seguindo as orientações da Professora Me. Jéssica Carolina Paschoal de Macedo. Nesse contexto, busca-se detalhar o custo associado aos reagentes utilizados para a produção da solução filmogênica, fornecendo uma visão sobre os aspectos financeiros envolvidos no processo.

Dessa forma, empreendeu-se uma pesquisa dos preços de todos os reagentes empregados, com o objetivo de viabilizar uma análise abrangente. Essa pesquisa visa assegurar a obtenção de dados precisos e atualizados, contribuindo para a quantificação exata da quantidade de reagentes utilizados na produção de 500 mL da solução filmogênica e de 200 mL da solução reticuladora.

## 5. DISCUSSÃO DE RESULTADOS

### 5.1 Extração Ácida Da Pectina

Inicialmente foi realizada a extração ácida da pectina do bagaço da laranja do tipo Bahia, que através dela obteríamos a pectina, como é apresentada na Figura 9:

**Figura 9:** Extração ácida da pectina do bagaço da laranja.



**Fonte:** Arquivo Pessoal, 2023.

A pectina por ser solúvel em água em primeira instância é necessária sua extração por precipitação, de modo que essa precipitação ocorreu em função do álcool etílico absoluto. Após sua total precipitação é preciso realizar a filtração a vácuo para que ela seja retirada da solução e usada para a realização do biopolímero.

**Figura 10:** Pectina precipitada em processo de filtração a vácuo.



**Fonte:** Arquivo Pessoal, 2023.

O processo de filtração da pectina possibilitou a retirada da pectina, de modo que foi obtida em pequenas quantidades.

**Figura 11:** Pectina extraída após o processo de filtração.



**Fonte:** Arquivo Pessoal, 2023.



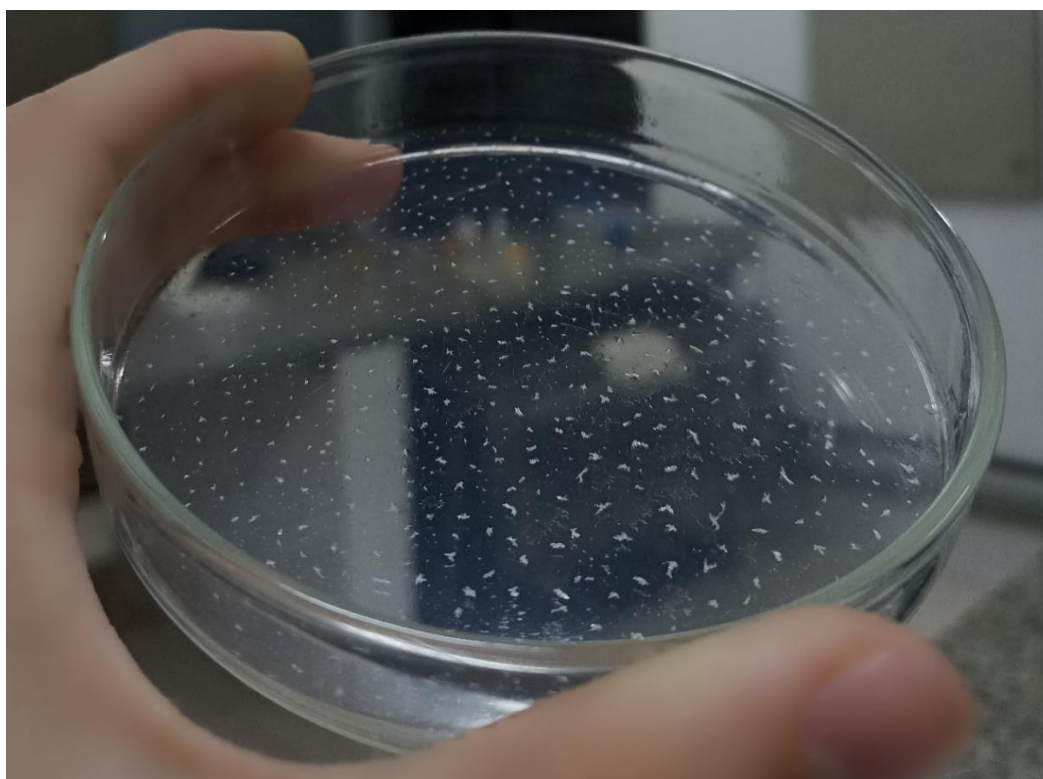
Apesar de ser possível a obtenção da pectina através da extração ácida, o processo de filtração se mostrou muito lento, pois para a obtenção dessa pequena quantidade de pectina, foram necessárias 5 horas no processo de filtração a vácuo. Além disso, não seria possível utilizar a pectina extraída ainda pois, a metodologia utilizada para a síntese do bioplástico exige a pectina em peso seco, que significa que após a retirada dela por filtração, ainda é necessária a retirada da umidade dela, consumindo mais tempo.

Por esse motivo, houve a necessidade de contarmos a empresa CP Kelco para possível doação de pectina para que o projeto pudesse continuar.

## 5.2 Síntese Do Plástico Biodegradável

O polímero foi sintetizado conforme a metodologia adaptada previamente mencionada, resultando em um produto que se mostrou satisfatório ao se assemelhar ao filme de PVC, conforme esperado, apresentado na Figura 12.

**Figura 12:** Bioplástico obtido.



**Fonte:** Arquivo Pessoal, 2023.

Encontramos como dificuldade que o biopolímero produzido não apresentou outra característica única, a elasticidade, tornando-o mais propício aos rasgos em sua estrutura.

### **5.3 Análises Visuais**

Dessa maneira, ao reunir essas características específicas do bioplástico produzido, abre-se espaço para a elaboração de uma comparação abrangente entre ambos os tipos de plásticos. Esse levantamento de informações proporciona uma base sólida para a análise comparativa, cujos resultados foram organizados e apresentados na Tabela 4. Essa abordagem é essencial para fornecer uma visão mais completa e embasada das diferenças e semelhanças entre o bioplástico em foco e o filme plástico de PVC, contribuindo para a tomada de decisões informadas no contexto da substituição desses materiais. As Figuras 13, 14 e 15 representam a semelhança entre os dois tipos de plásticos quando ocorre sua queima, emitindo a cor de suas chamas, e como o também como o bioplástico é após o seu desmolde e algumas de suas características, como cor, homogeneidade e continuidade.

**Tabela 4:** Dados das características visuais, referente ao biopolímero.

<b>CARACTERÍSTICAS VISUAIS</b>	<b>IDENTIFICAÇÕES BIOPLÁSTICO</b>	<b>IDENTIFICAÇÕES PLÁSTICO PVC</b>
Cor	Transparente, mas com fragmentos de cor branca	Transparente
Homogeneidade	Possui partículas de pectina não dissolvida	Homogêneo
Continuidade	Contínuo	Contínuo
Flexibilidade	Flexível	Flexível
Elasticidade	Não são elásticos	São elásticos
Manuseio	Bom manuseio, porém, eles grudam entre si com facilidade	Bom manuseio, porém, eles grudam entre si com facilidade
Maleabilidade	Maleável	Maleável
Densidade	Menor que da água	Menor que da água
Cor da Chama	Alaranjada	Alaranjada

**Forte:** Arquivo Pessoal, 2023

**Figura 13:** Cor da chama do biopolímero



**Forte:** Arquivo Pessoal, 2023

**Figura 14:** Cor da chama do PVC



**Forte:** Arquivo Pessoal, 2023

**Figura 15:** Biopolímero: cor, homogeneidade e continuidade



**Forte:** Arquivo Pessoal, 2023

Portanto, torna-se evidente que o bioplástico produzido compartilha diversas semelhanças com o filme plástico de PVC, o que se configura como um fator contribuinte para a potencial redução de seu uso. Essa observação ressalta a viabilidade do bioplástico como uma alternativa promissora, sugerindo que sua adoção pode representar uma estratégia eficaz na busca pela diminuição do consumo de plástico convencional.

#### **5.4 Análise De Umidade**

Foi realizada a pesagem de uma amostra da solução filmogênica para essa análise, assim, após esse processo foi realizada a secagem, onde a placa de petri com o bioplástico foi acondicionado em temperatura ambiente por 72 horas, para total secagem e realização da segunda pesagem, referente ao peso final do biopolímero, onde os dados são apresentados na Tabela 5 a seguir:

**Tabela 5:** Dados obtidos das pesagens.

<b>PESO PLACA DE PETRI (g)</b>	<b>PESO INICIAL COM A PLACA DE PETRI (g)</b>	<b>PESO FINAL COM A PLACA DE PETRI (g)</b>	<b>PESO INICIAL DA AMOSTRA (g)</b>	<b>PESO FINAL DA AMOSTRA (g)</b>
44,813	54,842	45,0946	10,029	0,2816

**Fonte:** Arquivo Pessoal, 2023.

Assim, realizando os cálculos:

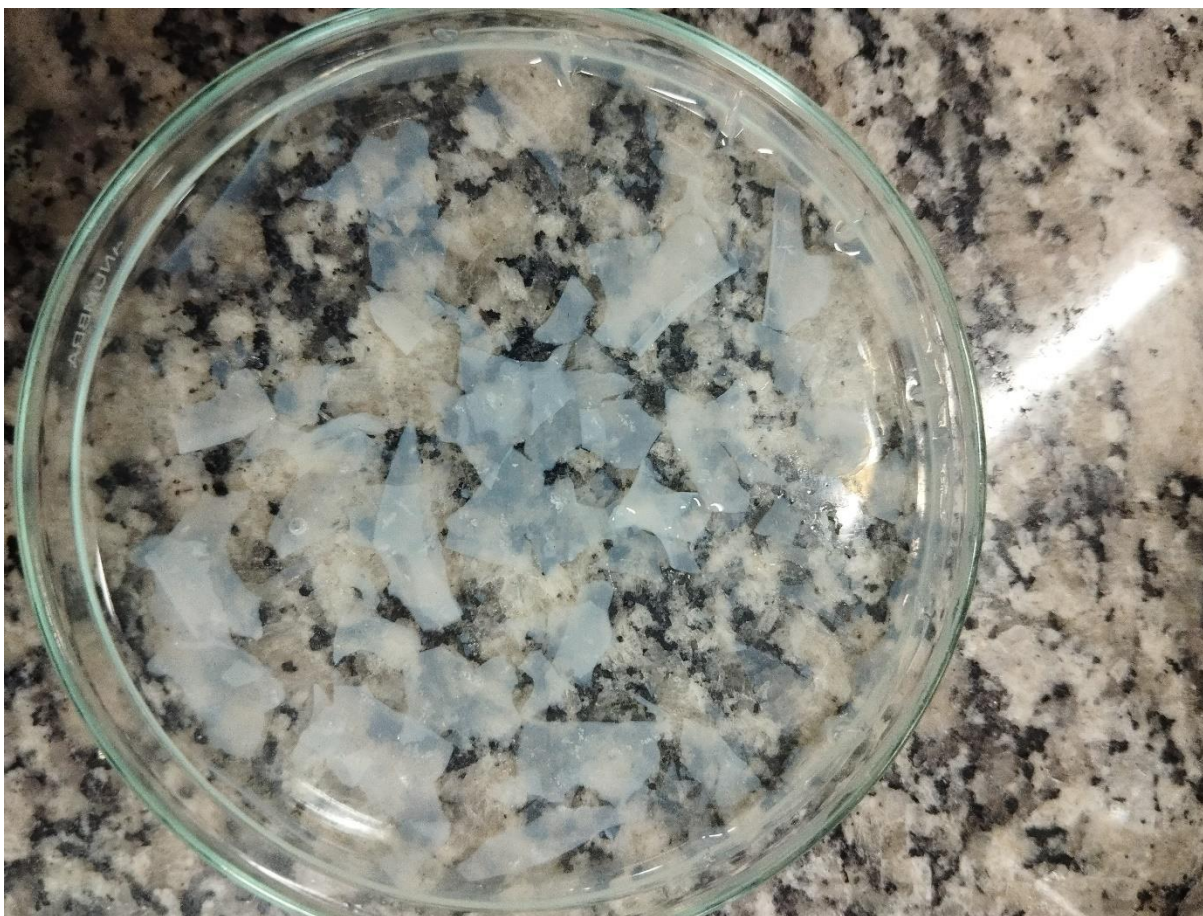
$$U_{\%} = \frac{P_0 - P}{P_0} \times 100 \Rightarrow U_{\%} = \frac{10,0290 - 0,2816}{10,0290} \times 100 \Rightarrow U_{\%} = 97,19\%$$

Dessa forma, observamos que a secagem do polímero, à temperatura ambiente, liberou 97,19% de umidade. Esse fator contribui para a diminuição da possibilidade de contaminações microbiológicas no plástico, como também de reações químico-enzimáticas, que poderiam alterar as propriedades do plástico produzido.

### **5.5 Análise de Resistência à Água**

Conforme recomendado pela metodologia, conduziu-se uma análise pós-elaboração do plástico, revelando que o polímero desenvolvido apresenta baixa resistência à água. Essa característica torna-se evidente quando o material é introduzido na água, resultando na rápida alteração de sua estrutura e subsequente fragmentação em pequenos pedaços, conforme ilustrado na Figura 16.

**Figura 16:** Biopolímero produzido com sua estrutura alterado ao entrar em contato com a água.



**Fonte:** Arquivo Pessoal, 2023.

A dificuldade de resistência à água pode ser atribuída às concentrações tanto do plastificante quanto do agente reticulante na formulação. A possibilidade de melhorar a resistência à água do bioplástico surge ao considerar um potencial aumento dessas concentrações na composição da solução filmogênica. É possível que ajustes nessas concentrações possam influenciar positivamente as propriedades físicas do bioplástico, proporcionando maior resistência à exposição à água.

### **5.6 Análises de Aplicabilidade Comparativa**

A partir das análises de aplicabilidade realizadas, foi possível observar que o biopolímero produzido atuou de forma semelhante ao PVC industrializado. Esse fato é notado quando, ao retirá-lo das placas de Petri, ele se apresentou com uma espessura muito semelhante ao plástico PVC, corroborando para o objetivo de produzir um bioplástico com características semelhantes a ele.

Apesar do processo de reticulação final ainda não ter sido realizado, o plástico produzido apresentou a mesma característica de grudar em si próprio, que é uma característica singular do PVC, dificultando o seu manuseio quando associados, representado seguidamente pela Figura 17.

**Figura 17:** Biopolímero associado a si mesmo, mostrando similaridade ao PVC.

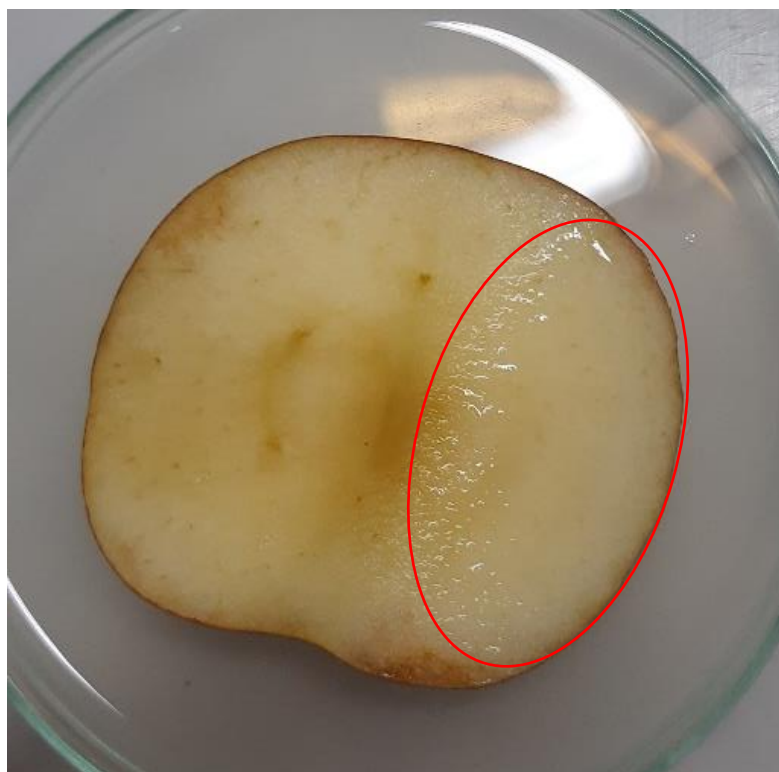


**Fonte:** Arquivo Pessoal, 20233

Além disso, na aplicação da solução filmogênica em uma amostra de maçã, se mostrou presente a inibição do processo de oxidação ocorrente nela. Contudo, a paralização químico-enzimática desse processo perdeu sua eficiência no dia seguinte em ambiente ao ar livre, demonstrando que o plástico possui a propriedade de bloquear esse tipo de oxidação alimentícia, apresentada na Figura 18.



**Figura 18:** Oxidação inibida pela solução filmogênica (área circulado).



**Fonte:** Arquivo Pessoal, 2023.

Após a realização do teste bem-sucedido com a maçã, procedemos a testes adicionais utilizando outra variedade de fruta, a banana. O objetivo dessa etapa foi demonstrar que a solução filmogênica desenvolvida não apenas se mostrou eficaz na preservação da maçã, mas também exerceu um efeito inibitório parcial sobre o processo de oxidação que naturalmente ocorre em frutas.

Os resultados obtidos durante os testes com a banana corroboraram a capacidade da solução em criar uma barreira protetora que, de maneira notável, retardou o processo de oxidação. Esta característica é de grande relevância, uma vez que a oxidação é um fenômeno intrínseco às frutas que pode resultar em alterações na coloração, textura e sabor, comprometendo sua qualidade sensorial.

Ao demonstrar a eficácia da solução filmogênica não apenas em uma, mas em duas variedades de frutas, reforçamos sua versatilidade e potencial aplicação em diferentes contextos alimentícios. Estes resultados promissores abrem caminho para futuras investigações e aprimoramentos, visando a otimização dessa solução para a preservação de diversos tipos de frutas, contribuindo assim para a extensão da vida útil e a qualidade dos produtos alimentícios. Assim apresentado nas Figuras 19 e 20.

**Figura 19:** Banana sem o recobrimento à esquerda, e banana com recobrimento a direita, no início do processo.



**Fonte:** Arquivo Pessoal, 2023.

**Figura 20:** Banana sem recobrimento à esquerda, e banana com recobrimento à direita, após 1 hora do recobrimento



**Fonte:** Arquivo Pessoal, 2023.

Após uma hora de análise, é percebido que a banana sem a proteção da solução filmogênica apresentou maior oxidação em comparação à banana recoberta pela solução.

Os resultados destacaram o impacto positivo da solução filmogênica na preservação da banana, evidenciando que a solução formada pela solução desempenhou um papel significativo na contenção da oxidação.

A constatação de que a banana recoberta exibiu menor oxidação destaca a praticidade da solução filmogênica como uma estratégia promissora para prolongar a vida útil e preservar a qualidade das frutas.

Após a conclusão minuciosa da análise de oxidação, embarcamos em uma investigação comparativa detalhada da eficácia do bioplástico em relação ao plástico PVC na preservação de alimentos, como morangos. Devido a restrições de tempo, houve limitações em relação às análises, sendo somente realizada em um cenário de ambiente aberto, durante 1 semana. Desse modo apresentando os resultados nas Figuras 21 e 22.

**Figura 21:** Morango recoberto com o bioplástico à esquerda, e a direita o morango recoberto com o plástico PVC, no início do processo.



**Fonte:** Arquivo Pessoal, 2023.

**Figura 22:** Morango recoberto com o bioplástico à esquerda, e a direita o morango recoberto com o plástico PVC, após o intervalo de 1 semana.



**Fonte:** Arquivo Pessoal, 2023.

Após o tempo determinado de 1 semana foi possível extrair os seguintes dados expressos na Tabela 6:

**Tabela 6:** Características das amostras de morango recoberta tanto com o bioplástico quanto o filme plástico de PVC dentro do intervalo de 7 dias, 1 semana.

<b>DIAS ANALISADOS</b>	<b>MORANGO RECOBERTO COM BIOPLÁSTICO</b>	<b>MORANGO RECOBERTO COM O PLÁSTICO PVC</b>
<b>DIA 1</b>	Não ocorreu escurecimento de sua casca	Não ocorreu escurecimento de sua casca
<b>DIA 2</b>	Ocorreu o avermelhamento de suas partes, inicialmente brancas	Ocorreu o avermelhamento de suas partes, inicialmente brancas
<b>DIA 3</b>	Ocorreu um leve escurecimento de sua casca	Ocorreu um leve escurecimento de sua casca
<b>DIA 4</b>	O escurecimento de sua casca continuou a aumentar	O escurecimento de sua casca continuou a aumentar
<b>DIA 5</b>	O escurecimento de sua casca continuou a aumentar	O escurecimento de sua casca continuou a aumentar
<b>DIA 6</b>	O escurecimento de sua casca continuou a aumentar, embora pela umidade expelida pelo morango o plástico houve um rompimento na parte de trás do morango	O escurecimento de sua casca continuou a aumentar
<b>DIA 7</b>	Maior escurecimento e proliferação de microrganismos onde houve o rompimento do bioplástico	O escurecimento de sua casca continuou a aumentar, não houve nem rompimento e nem proliferação de microrganismos

**Fonte:** Arquivo Pessoal, 2023.

A análise dos dados revelou uma observação crucial: a proliferação de microrganismos só se manifestou após a ruptura do bioplástico, conforme ilustrado na Figura 23. Esse fenômeno indica que a baixa resistividade à água e umidade desempenhou um papel significativo no processo de rompimento.

**Figura 23:** Amostra de morango recoberto com o bioplástico com proliferação de microrganismos.



**Fonte:** Arquivo Pessoal, 2023.

Nesse contexto, torna-se viável estabelecer uma correlação entre os dados adquiridos e compará-los com a amostra de controle, representada por um morango desprovido de qualquer revestimento plástico. A partir dessa comparação, torna-se evidente que o morango sem nenhum tipo de recobrimento é capaz de manter sua integridade por um período de até 2 dias em condições de temperatura ambiente. Essa referência à amostra de controle não apenas contextualiza os resultados obtidos, mas também oferece uma base para avaliar o impacto dos diferentes revestimentos plásticos no tempo de preservação e qualidade do morango, apresentado pelas Figuras 24, 25 e 26.

**Figura 24:** Amostra de morango sem nenhum tipo de recobrimento, o início do processo.



**Fonte:** Arquivo Pessoal, 2023.

**Figura 25:** Amostra de morango sem nenhum tipo de recobrimento em apenas 3 em condições iguais aos morangos em recobrimento.



**Fonte:** Arquivo Pessoal, 2023.

**Figura 26:** Amostra de morango sem nenhum tipo de recobrimento ao final do processo de 7 dias.



**Fonte:** Arquivo Pessoal, 2023.

### **5.7 Análise de Custos**

A obtenção dos preços dos reagentes químicos envolveu a consulta a duas fontes de informação distintas. Por imperativos de preservação da confidencialidade das empresas envolvidas, este trabalho optará por designar as referidas empresas de maneira anônima, utilizando as identificações Empresa A e Empresa B. A necessidade de recorrer a ambas as fontes de informação se justifica pela constatação de que alguns dos reagentes não estavam disponíveis exclusivamente em um único local, exigindo a busca por mais fontes de informação. Assim, os dados obtidos são apresentados pela Tabela 7 a seguir:



**Tabela 7:** Dados de custos médios dos reagentes químicos em diferentes fornecedores.

REAGENTE QUÍMICO	EMPRESA	QUANTIDADE	PREÇO (R\$)
Água deionizada	A	1000 mL	7,00
Cloreto de cálcio	A	1000 g	7,38
Glicerol	A	1000 g	19,90
Sorbato de potássio	B	500 g	27,90
Pectina Cítrica	B	200 g	59,00

**Fonte:** Arquivo Pessoal, 2023.

Dessa maneira, por meio de cálculos, torna-se viável a exata quantificação do custo dos reagentes empregados na elaboração tanto da solução filmogênica quanto da reticuladora. Os dados resultantes desses cálculos foram organizados e apresentados na Tabela 8 e 9, proporcionando uma visão clara e detalhada dos valores associados a cada componente.

**Tabela 8:** Quantificação dos reagentes utilizados para a produção da solução filmogênica.

REAGENTE QUÍMICO	QUANTIDADE UTILIZADA	PREÇO (R\$)
Água deionizada	500 mL	3,50000
Cloreto de cálcio	0,30093 g	0,00222
Glicerol	4,5100 g	0,08975
Sorbato de potássio	0,8018 g	0,04509
Pectina Cítrica	7,5000 g	2,21250

**Fonte:** Arquivo Pessoal, 2023.

**Tabela 9:** Quantificação dos reagentes utilizados para a produção da solução reticuladora.

<b>REAGENTE QUÍMICO</b>	<b>QUANTIDADE UTILIZADA</b>	<b>PREÇO (R\$)</b>
Água deionizada	200 mL	1,40000
Cloreto de cálcio	6,0000 g	0,04428
Glicerol	10,0045 g	0,19909

**Fonte:** Arquivo Pessoal, 2023.

Após a apuração dos gastos relacionados aos reagentes empregados, torna-se possível a determinação do custo total investido na produção do plástico. Esta análise possibilitará a elaboração de uma apresentação detalhada dessas despesas na Tabela 10, proporcionando uma visão abrangente do panorama financeiro associado ao processo de fabricação do material plástico em questão.

**Tabela 10:** Gastos totais de reagentes envolvidos para a produção do plástico.

<b>SOLUÇÃO</b>	<b>VALOR GASTO POR SOLUÇÃO</b>
Solução Filmogênica	5,84956
Solução Reticuldora	1,64337
<b>TOTAL GASTO</b>	<b>7,49293</b>

**Fonte:** Arquivo Pessoal, 2023.

Diante dessa análise, destaca-se a identificação de um custo total aproximado de R\$7,50 referente aos reagentes empregados na síntese do biopolímero. Essa quantidade, extraída dos gastos associados aos insumos utilizados, fornece uma perspectiva precisa e tangível sobre os investimentos financeiros necessários para a obtenção do biopolímero em questão. A transparência proporcionada por essa quantificação contribui não apenas para a compreensão do aspecto econômico da síntese, mas também para embasar decisões futuras relacionadas à gestão de recursos e otimização de custos nesse processo específico.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho alcançou o objetivo de síntese de um polímero natural utilizando pectina cítrica como uma alternativa aos filmes plásticos sintéticos, em particular ao Policloreto de Vinila (PVC). A metodologia adotada resultou em um bioplástico que, embora tenha mostrado semelhanças com o PVC, apresentou desafios, como a falta de elasticidade, o que o torna mais susceptível a rasgos em sua estrutura.

As análises visuais e de umidade destacaram características específicas do bioplástico, proporcionando uma base sólida para a comparação com o PVC. A resistência à água, apesar de sua limitação inicial, abriu caminho para possíveis melhorias na formulação do bioplástico, sugerindo ajustes nas concentrações do agente reticulante para aumentar sua resistência.

As análises de aplicabilidade comparativa demonstraram a eficiência do bioplástico em preservar frutas, inibindo a oxidação e prolongando a vida útil. Os testes com maçãs e bananas foram promissores, indicando versatilidade e potencial aplicação em diferentes contextos alimentícios.

No entanto, a análise de custos revelou que a produção do biopolímero envolveu um custo total aproximado de R\$7,50, considerando os reagentes utilizados. Essa informação é essencial para compreender não apenas o impacto ambiental, mas também os aspectos econômicos envolvidos na produção do bioplástico.

Para pesquisas futuras, recomendamos investigações mais aprofundadas sobre a biodegradabilidade do biopolímero no solo e a otimização da elasticidade do material. Esses caminhos prometem expandir o conhecimento sobre o uso sustentável de bioplásticos.

Além disso, também é sugerido pesquisas sobre as potencialidades do uso da solução filmogênica como uma cera abrilhantadora, por exemplo, e pesquisas do potencial do plástico em outras áreas, diferentes da área de alimentos.

Em conclusão, a realização deste projeto foi uma jornada desafiadora, mas reveladora. A possibilidade de criar um plástico alternativo foi alcançada, e os resultados obtidos sinalizam para um futuro promissor na busca por soluções mais sustentáveis na indústria de materiais.

## REFERÊNCIAS

- ANDRADE, Bruna Neves Penido de, et al. Microplásticos, seus impactos no ambiente e maneiras biodegradáveis de substituição. *Revista Internacional de Ciências*, v. 11, n. 2, p. 214–228, 2021. DOI: 10.12957/ric.2021.54481. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/ric/article/view/54481>. Acesso em: 4 nov. 2023.
- AZEVEDO, Claudio Luiz Leone. **Sistema de Produção de Citros para o Nordeste**. 2003 Disponível em: <https://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Citros/CitrosNordeste/processamento.htm>. Acesso em: 6 maio 2023.
- BIERHALZ, Andréa Cristiane Krause et al. **Confecção e caracterização de biofilmes ativos à base de pectina BTM e pectina BTM/alginate reticulados com cálcio**. 2018. Tese de Doutorado. Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP). Faculdade de Engenharia Química. Disponível em: <https://doi.org/10.47749/T/UNICAMP.2010.772452>. Acesso em: 8 maio 2023.
- BLUE KEEPERS. **Pacto Global**. [pactoglobal.org.br](http://pactoglobal.org.br). Disponível em: <https://pactoglobal.org.br/pg/blue-keepers>. Acesso em: 2 maio 2023.
- BRANDÃO, Edimir M.; ANDRADE, Cristina T. Influência de fatores estruturais no processo de gelificação de pectinas de alto grau de metoxilação. *Polímeros*, v. 9, n. 3, p. 38–44, 1999. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0104-14281999000300008>. Acesso em: 4 maio 2023.
- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA. **Resolução nº 105, de 19 de maio de 1999**. Disponível em: [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/1999/anexo/anexo\\_0105\\_19\\_05\\_1999.pdf](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/1999/anexo/anexo_0105_19_05_1999.pdf). Acesso em: 4 maio 2023.
- BRASIL. Câmara Municipal de Limeira. **Projeto de Lei nº 141/2009**. Atribui ao Município de Limeira os títulos de capital histórica da laranja e capital da jóia folheada e dá outras providências. Limeira, 2009. Disponível em: <http://siave.limeira.sp.leg.br/arquivo?Id=27692#:~:text=CONSIDERANDO%20que%20de%201932%20a,do%20Estado%20de%20S%C3%A3o%20Paulo>. Acesso em: 10 jun. 2023.
- BRASIL. Ministério da Saúde - MS. Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA. **Resolução RDC Nº 239, de 26 de Julho de 2018**. Disponível em: [https://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/3898839/%283%29RDC\\_239\\_2018\\_COMP.pdf](https://antigo.anvisa.gov.br/documents/10181/3898839/%283%29RDC_239_2018_COMP.pdf). Acesso em: 4 nov. 2023.
- BRASIL. Ministério da Saúde - MS. Agência Nacional de Vigilância Sanitária - ANVISA. **Portaria Nº 540, de 27 de Outubro de 1997**. Disponível em: [https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/svs/1/1997/prt0540\\_27\\_10\\_1997.html](https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/svs/1/1997/prt0540_27_10_1997.html). Acesso em: 4 nov. 2023.
- BRUNN, Michael. Film and flexible packaging recycling.2022. **RECYCLING magazine**. Disponível em: <https://www.recycling-magazine.com/2022/02/07/film-and-flexible-packaging-recycling/>. Acesso em 1 maio 2023.
- CANTERI, Maria H. G. et al. Pectina: da matéria-prima ao produto final. *Polímeros*, v. 22, n. 2, p. 149–157, 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/po/a/xFQbJ6HR3QrCpL6dT9PbVrz/?lang=pt>. Acesso em: 5 maio 2023.

CARULO, Marcelle Fernanda. **Desenvolvimento e caracterização de biofilmes ativos contendo sorbato de potássio, feitos de alginato de cálcio e ácidos graxos**. 2005. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Química, Campinas, SP. Disponível em: <https://doi.org/10.47749/T/UNICAMP.2005.334555>. Acesso em: 4 nov. 2023.

CASTILHO, Rubens. Parede Celular. **Toda Matéria**, Disponível em: <https://www.todamateria.com.br/parede-celular/>. Acesso em: 5 maio 2023

CONSTANTINO, Norma Regina Truppel; DE AZEVEDO, Patrícia Cereda. As dinâmicas dos fundos de vale: Ribeirão Tatu em Limeira–SP. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 7, n. 51, 2019. Disponível em: [https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/gerenciamento\\_de\\_cidades/article/view/2155](https://publicacoes.amigosdanatureza.org.br/index.php/gerenciamento_de_cidades/article/view/2155). Acesso em: 5 maio 2023.

CO-SOLUTO. *In*: **Collins Dictionary**. Disponível em: <https://www.collinsdictionary.com/dictionary/english/cosolute#:~:text=noun,solution%20together%20with%20another%20solute>. Acesso em: 31 out. 2023.

EVORA, Maria Cecília. *et al.* Caracterização da poliamida-6 reciclada irradiada por feixe de elétrons. **Revista Brasileira de Pesquisa e Desenvolvimento**, 2002. Disponível em: <http://repositorio.ipen.br/bitstream/handle/123456789/7437/094400001.pdf?sequence=1>. Acesso em: 9 maio 2023.

FERNANDES, Luana Lima. **Preparação e caracterização de nanocelulose a partir do bagaço de laranja pera**. 2019. Trabalho de Graduação em Engenharia de Materiais – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2019. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/235443>. Acesso em 5 maio 2023.

FERNANDES, Regiane Victória de Barros *et al.* Otimização do processo de extração e caracterização química de pectina de cenoura. **MAGISTRA**, v. 26, n. 2, p. 115-123, 2014. Disponível em: <https://www3.ufrb.edu.br/magistra/index.php/magistra/article/download/445/343>. Acesso em: 4 maio 2023.

FRACASSO, Aline Francielle. **Modificação química de pectina cítrica: implicações estruturais, físicas e reológicas**. 2015. Tese apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Doutora em Engenharia de Alimentos no Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, Setor de Tecnologia, da Universidade Federal do Paraná. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/55169>. Acesso em: 4 maio 2023.

FRANCO, Giuliana Thalina. **Desenvolvimento de filmes biodegradáveis baseados em pectina e nanofibras de celulose funcionalizadas**. 2019. Dissertação (Mestrado em Físico-química) – Programa de Pós-graduação em química, Universidade Federal de São Carlos – Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/12042>. Acesso em: 01 maio 2023.

FUCHS, Gustavo Alexandre. **Pectina extraída do bagaço de laranja (Citrus sinensis L. Osbeck): caracterização química e reológica e hidrólise enzimática**. 2020. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Ciências Biológicas. Programa de Pós-Graduação em Ciências – Bioquímica. Curitiba, 2020. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/74731>. Acesso em: 4 maio 2023.

GIANTOMASO, Carol; SILVA, Samantha. Aniversário de Limeira: de “cozinha do príncipe” a “capital da laranja”, veja curiosidades da cidade. **G1**. Disponível em: <https://g1.globo.com/sp/piracicaba-regiao/noticia/aniversario-de-limeira-de-cozinha-do-principe-a-capital-da-laranja-veja-curiosidades-da-cidade.ghtml>. Acesso em: 5 maio 2023.

GIBBENS, Sarah. Environment: Story of plastic “The sticky problem of plastic wrap”. 2019. **National Geographic Society**. Disponível em: <https://www.nationalgeographic.com/environment/article/story-of-plastic-sticky-problem-of-plastic-wrap>. Acesso em: 1 maio 2023.

JESUS, Lázaro Sátiro de. **Produção De Biofilmes À Partir Do Mesocarpo Externo Do Pequi (Caryocar Brasilense Camb)**. 2017. Dissertação (MESTRADO) EM TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, no Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – campus Rio Verde. Disponível em: <http://repositorio.ifgoiano.edu.br/bitstream/prefix/29/1/2017-05-17-05-10-09Disserta%C3%A7%C3%A3o%20-%20L%C3%A1zaro%20S%C3%A1tiro%20de%20Jesus.pdf>. Acesso em: 4 maio 2023.

JESUS, Lázaro Sátiro *et al.* Extração da pectina e produção de filmes a partir do mesocarpo externo do pequi (*Caryocar brasiliense* Camb.). **Revista Principia-Divulgação Científica e Tecnológica do IFPB**, n. 56, p. 126-133, 2021. Disponível em: <https://novo.periodicos.ifpb.edu.br/index.php/principia/article/download/4306/1662>. Acesso em: 4 maio 2023.

LABUZA, T. P.; TANNENBAUM, S. R.; KAREL, M. **Water content and stability of lowmoisture and intermediate-moisture foods**. 1972. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1972.tb03408.x>. Acesso em: 6 nov. 2023.

LIMA, Marianne de Souza. **Isolamento da pectina em frutos e sua caracterização por espectroscopia e infravermelho**. 2007. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Nutrição, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.

LIPNIZKI, Frank *et al.* **4.10 Basic Aspects and Applications of Membrane Processes in Agro-Food and Bulk Biotech Industries**. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409547-2.12256-5>. Acesso em: 4 maio 2023.

MEDINA, Luisa A.; DZALTO, Jovana. **1.11 Natural Fibers**. 2018. *Comprehensive Composite Materials II*, Elsevier (2018), pp. 269-294. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.09877-5>. Acesso em: 1 maio 2023.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. ZENEON, O., PASCUET, N. S., TIGLEA, P. (Coord.). **Métodos Físico-químicos para Análise de Alimentos**. Ed. 4. 2008, São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.

MICROPLASTICS. **Wasser 3.0**, 2023. Disponível em: [https://wasserdreinull.de/en/knowledge/microplastics/?gclid=Cj0KCQjwJKqBhCaARIsAN\\_yS\\_n6o8AfSgeKo6607Zw0Y4CDoYZVIYNCU73IEGeTMzFXpf8TUcb1CGAaAkMGEALw\\_wcB](https://wasserdreinull.de/en/knowledge/microplastics/?gclid=Cj0KCQjwJKqBhCaARIsAN_yS_n6o8AfSgeKo6607Zw0Y4CDoYZVIYNCU73IEGeTMzFXpf8TUcb1CGAaAkMGEALw_wcB). Acesso em: 4 nov. 2023.

MONDAL, Sudipta ; SHARIF, Ahmed. **3 - Antimicrobial biocomposites**. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821553-1.00006-5>. Acesso em: 4 maio 2023.

MONTAGNER, C. C. *et al.* MICROPLÁSTICOS: OCORRÊNCIA AMBIENTAL E DESAFIOS ANALÍTICOS. **Química Nova**, v. 44, n. 10, p. 1328–1352, 2021.

NASROLLAHZADEH, Mahmoud *et al.* **Chapter 2 - Polysaccharides in food industry.** 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-89970-3.00002-0>. Acesso em: 4 maio 2023.

NASROLLAHZADEH, Mahmoud *et al.* **Chapter 3 - Polysaccharide biopolymer chemistry.** 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822108-2.00019-3>. Acesso em: 4 maio 2023.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). **Microplastics in drinking-water.** **Microplastics in drinking-water**, [s. l.], 21 ago. 2019. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/326499/9789241516198-eng.pdf?ua=1>. Acesso em 3 novembro 2019.

PAIVA, Emmanuela P.; LIMA, Marianne S.; PAIXÃO, Jose A. Pectina: propriedades químicas e importância sobre a estrutura da parede celular de frutos durante o processo de maturação. **Revista Iberoamericana de Polímero**, v. 10, n. 4, p. 196-211, 2009. Disponível em:

[HTTPS://EDISCIPLINAS.USP.BR/PLUGINFILE.PHP/4660150/MOD\\_RESOURCE/CONTENT/1/PAIVA2009%20POLIMEROS%20DA%20PAREDE%20CELULAR\\_%20IMPORT%C3%A2NCIA.PDF](HTTPS://EDISCIPLINAS.USP.BR/PLUGINFILE.PHP/4660150/MOD_RESOURCE/CONTENT/1/PAIVA2009%20POLIMEROS%20DA%20PAREDE%20CELULAR_%20IMPORT%C3%A2NCIA.PDF). Acesso em: 4 maio 2023.

PARADA, Ignácio. Embalagens biodegradáveis são a saída para redução de efeitos dos microplásticos no meio ambiente e na saúde humana. **CNN Brasil**. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/forum-opiniao/embalagens-biodegradaveis-sao-a-saida-para-reducao-de-efeitos-dos-microplasticos-no-meio-ambiente-e-na-saude-humana/>. Acesso em: 5 nov. 2023.

PATRO, Raquel. **Laranja - Citrus sinensis**. Jardineiro.net. Disponível em: <https://www.jardineiro.net/plantas/laranja-citrus-sinensis.html>. Acesso em: 5 maio 2023.

PAWAR, R. *et al.* **1 - Polysaccharides as carriers of bioactive agents for medical applications.** 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1533/9781845694814.1.3>. Acesso em: 4 maio 2023.

PINHEIRO, Eloísa Rovaris. **Pectina Da Casca Do Maracujá Amarelo (Passiflora edulis flavicarpa): Otimização Da Extração Com Ácido Cítrico E Caracterização Físico-Química.** 2007. Dissertação apresentada ao Programa de PósGraduação em Ciência dos Alimentos do Centro de Ciências Agrárias, da Universidade Federal de Santa Catarina, 2007. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/89913/241988.pdf?sequence>. Acesso em 4 maio 2023.

RAMOS, Alice Cristini dos Santos. **Elaboração de biofilmes a partir da pectina extraída do mesocarpo da laranja pera.** 2021. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Disponível em:

<http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/28806>. Acesso em: 1 maio 2023.

SÁNCHEZ-GONZÁLEZ, Laura *et al.* **Chapter 15 - Composite hydrogels of pectin and alginate.** 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821649-1.00012-X>. Acesso em: 4 maio 2023.

SANTI, Lucélia; BERGER, Markus; DA SILVA, Walter Orlando Beys. Pectinases e pectina: aplicação comercial e potencial biotecnológico. **Revista Caderno Pedagógico**, v. 11, n. 1, 2014. Disponível em: <http://www.univates.br/revistas/index.php/cadped/article/view/904>. Acesso em: 4 maio 2023.

SANTOS, Fabiana Helen dos. **Elaboração de embalagens biodegradáveis ativas a partir de resíduos agroindustriais para conservação de alimentos**. 2019. 161 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Diamantina, 2019. Disponível em: <http://acervo.ufvjm.edu.br/jspui/handle/1/2171>. Acesso em: 1 maio 2023.

SHAHABI-GHAHFARROKHI, Iman; ALMASI, Hadi ; BABAEI-GHAZVINI, Amin. **Chapter 3: Characteristics of biopolymers from natural resources. Processing and Development of Polysaccharide-Based Biopolymers for Packaging Applications**, p. 49–95, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818795-1.00003-4>. Acesso em: 8 maio 2023.

SOUSA, João Victor Lino da Cruz *et al.* Filmes biodegradáveis a base de amido– Mapeamento tecnológico. 2021. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 9, p. 87635-87646, 2021. Disponível em: DOI:10.34117/bjdv7n9-092. Acesso em: 1 maio 2023.

VIDAL, Maria de Fatima. **PRODUÇÃO DE LARANJA NA ÁREA DE ATUAÇÃO DO BNB**. 2021. Disponível em: [https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/1041/1/2021\\_CDS\\_198.pdf](https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/1041/1/2021_CDS_198.pdf). Acesso em: 5 maio 2023.

ZACTITI, Erica Marostica. **Desenvolvimento e caracterização de filmes biodegradáveis de alginato de cálcio sem e com sorbato de potássio**. 2004. 178p. Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Química, Campinas, SP. Disponível em: <https://doi.org/10.47749/T/UNICAMP.2004.328675>. Acesso em: 4 nov. 2023.





**APÊNDICE B – TABELA DAS MASSAS PESADAS**

---

<b>REAGENTE QUÍMICO</b>	<b>MASSA PESADA PARA A SOLUÇÃO FILMOGÊNICA (g)</b>	<b>MASSA PESADA PARA A RETICULAÇÃO FINAL</b>
Cloreto de cálcio	0,3009	6,0000
Glicerol	4,5100	10,0045
Sorbato de potássio	0,8018	-
Pectina Cítrica	7,5000	-

---

**APÊNDICE C – IMAGENS DO PROCESSO DE RECOBRIMENTO DE MORANGOS  
COMPARANDO O BIOPLÁSTICO PRODUZIDO E O FILME PLÁSTICO DE PVC  
DURANTE 7 DIAS**



**DIA 3**



**DIA 4**



**DIA 5**



**DIA 6**





**APÊNDICE D – IMAGENS DO PROCESSO DE DECOMPOSIÇÃO DA AMOSTRA  
CONTROLE DE MORANGO UTILIZADA PARA AS ANÁLISES**



**DIA 2**



**DIA 3**



**DIA 4**



**DIA 5**



**DIA 6**



**DIA 7**





**DIA 8**

