

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA

ALINE MARTINS DE MEDEIROS

BIODEGRADAÇÃO DE FILMES POLIMÉRICOS DE ÁGAR EM ÁGUA DOCE

Bagé

2023

ALINE MARTINS DE MEDEIROS

BIODEGRADAÇÃO DE FILMES POLIMÉRICOS DE ÁGAR EM ÁGUA DOCE

Trabalho de Conclusão de Curso II
apresentado ao Curso de Engenharia de
Alimentos da Universidade Federal do Pampa,
como requisito para obtenção do Título de
Bacharel em Engenharia de Alimentos.

Orientadora: Profa. Dra. Caroline Costa
Moraes

Coorientadora: Profa. Dra. Gabriela Silveira
da Rosa

Bagé

2023

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

M488b Medeiros, Aline Martins de
BIODEGRADAÇÃO DE FILMES POLIMÉRICOS DE ÁGAR EM ÁGUA DOCE /
Aline Martins de Medeiros.
50 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade
Federal do Pampa, ENGENHARIA DE ALIMENTOS, 2023.
"Orientação: Caroline Costa Moraes".

1. Ágar; Biodegradabilidade; Polímeros. I. Título.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal do Pampa

ALINE MARTINS MEDEIROS

BIODEGRADAÇÃO DE FILMES POLIMÉRICOS DE ÁGAR EM ÁGUA DOCE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Alimentos.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 03 de fevereiro de 2023.

Banca examinadora:

Profa. Dra. Caroline Costa Moraes
Orientador
UNIPAMPA

Profa. Dra. Gabriela Silveira da Rosa
Coorientador
UNIPAMPA

Profa. Dra. Catarina Motta de Moura
UNIPAMPA



Assinado eletronicamente por **CATARINA MOTTA DE MOURA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 06/02/2023, às 10:06, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **CAROLINE COSTA MORAES, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 06/02/2023, às 10:32, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **GABRIELA SILVEIRA DA ROSA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 06/02/2023, às 11:23, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1048113** e o código CRC **2A1953F2**.

Referência: Processo nº 23100.002475/2023-11 SEI nº 1048113

RESUMO

O uso de materiais provenientes de plástico, fonte não-renovável, é preocupante, pois estes geram graves problemas ambientais em relação ao acúmulo e poluição nos ambientes marinhos e de água doce. Pensando nessa problemática, pesquisadores propõem-se a desenvolver materiais biodegradáveis, utilizando fontes renováveis. O ágar é um agente gelificante que pode ser usado na produção de embalagens alimentícias, além de possuir baixo custo e uma boa taxa de degradação. O objetivo desta pesquisa foi desenvolver filme biodegradável incorporando ágar e glicerol para a degradação em água doce. Na produção do filme foi utilizado o método de *casting*. Os testes de caracterização do filme também foram realizados, como propriedades mecânicas, de barreira, solubilidade em água e ângulo de contato e quanto a biodegradabilidade em água doce. Os resultados obtidos indicam valores para a espessura de $0,035 \pm 0,0159$ mm, a gramatura de $0,0515 \pm 0,0105$ g / cm², a permeabilidade ao vapor de água de $2,95 \times 10^{-11} \pm 3,08 \times 10^{-11}$ kg / Pa.s.m, a solubilidade de $13,21 \pm 2,37\%$ o índice de intumescimento entre $74,47 \pm 12,12$ a $133,74 \pm 15,67\%$, a tensão de ruptura de $31,29 \pm 2,35$ MPa, alongamento de $16,31 \pm 4,65\%$ e ângulo de contato de $27,23 \pm 9,34^\circ$. A biodegradabilidade do filme, em perda de massa, foi de aproximadamente 22% em um período de quarenta dias. De acordo com os resultados, o percentual da biodegradação foi significativo comparado a outros estudos que obtiveram resultados satisfatórios. O presente trabalho evidenciou os atributos da produção de filmes biodegradáveis a partir de ágar e glicerol, com características de biodegradabilidade e sustentabilidade. Os filmes desenvolvidos foram uma boa alternativa para a substituição de plásticos que poluem o ambiente marinho demonstrando grande potencial como material para embalagens sustentáveis.

Palavras-Chave:

Ágar;

Biodegradabilidade;

Polímeros.

ABSTRACT

The use of materials from plastic, a non-renewable source, is worrying, as they generate serious environmental problems in terms of accumulation and pollution in marine and fresh water environments. Thinking about this problem, researchers propose to develop biodegradable materials, using renewable sources. Agar is a gelling agent that can be used in the production of food packaging, in addition to having a low cost and a good degradation rate. The objective of this research was to develop a biodegradable film incorporating agar and glycerol for degradation in fresh water. The casting method was used in the production of the film. Film characterization tests were also carried out, such as mechanical, barrier, water solubility and contact angle properties, as well as biodegradability in fresh water. The results obtained indicate values for the thickness of 0.035 ± 0.0159 mm, the weight of 0.0515 ± 0.0105 g / cm², the permeability to water vapor of $2,95 \times 10^{-11} \pm 3,08 \times 10^{-11}$ kg / Pa.s.m, the solubility of $13,21 \pm 2,37\%$, the swelling index between 74.47 ± 12.12 a $133.74 \pm 15.67\%$, the breakdown voltage of 31.29 ± 2.35 M.Pa, elongation of $16.31 \pm 4.65\%$ and contact angle of $27.23 \pm 9.34^\circ$. The biodegradability of the film, in weight loss, was approximately 22% over a period of forty days. According to the results, the percentage of biodegradation was significant compared to other studies that obtained satisfactory results. The present work showed the attributes of the production of biodegradable films from agar and glycerol, with characteristics of biodegradability and sustainability. The films developed were a good alternative for replacing plastics that pollute the marine environment, demonstrating great potential as a material for sustainable packaging.

Keywords:

Agar;

Biodegradability;

Polymers.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fórmula estrutural da agarose	17
Figura 2 – Esquema do processo aplicado na síntese do polímero a base de ágar	28
Figura 3 – Filmes armazenados em dessecador.....	29
Figura 4 – Medição de espessura dos filmes com paquímetro digital.....	30
Figura 5 – Texturômetro.....	33
Figura 6 – Tensiômetro óptico (One Attention – Theta Instrument).....	33
Figura 7 – Filmes de ágar	35
Figura 8 – Ângulo de contato	38
Figura 9 – Filme polimérico após secagem	40
Figura 10 – Biodegradabilidade dos filmes de ágar em água.....	41

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Filmes bioplásticos com combinações de ágar e outros polímeros	18
Quadro 2 – Resultados de biodegradabilidade em solo e água de filmes poliméricos.....	22
Quadro 3 – Normas para tratamento da biodegradabilidade de materiais plásticos.....	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resultados caracterizações filme de ágar	36
Tabela 2 – Resultados para intumescimento	37
Tabela 3 – Propriedades mecânicas e ângulo de contato.....	37
Tabela 4 – Perda de massa ao longo do tempo.....	39

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRE – Associação Brasileira de Embalagens

ASTM - *American Society for Testing and Materials*

CNPQ – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

LMTA – Laboratório de Microbiologia e Toxicologia de Alimentos

MEV – Microscopia eletrônica de varredura

MPs – Microplástico

NBR – Norma Brasileira

PA – Polímero de Amido

PBTA – Poli (tereftalato de butileno-co-adipato)

PE – Polietileno

PEBD – Polietileno de baixa densidade

PEBDL – Polietileno linear de baixa densidade

PET – Polietileno Tereftalato

PHA – Olihdroxialcanoato

PHB – Poli (3-hidroxitirato)

PLA – Polilactato

PP – Polipropileno

PS – Poliestireno

PVA – Permeabilidade ao Vapor de Água

PVC – Cloreto de Polivilina

Xan – Xantana

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA.....	13
2.1 Microplásticos	13
2.2 Embalagens plásticas.....	14
2.4 Embalagens e polímeros biodegradáveis.....	15
2.5 Filmes biodegradáveis à base de ágar	16
2.6 Caracterização dos filmes biodegradáveis	20
2.7 Biodegradabilidade dos polímeros e filmes poliméricos em água	21
2.8 Normas e Certificações para biodegradabilidade de materiais plásticos	25
3 METODOLOGIA.....	28
3.1 Materiais.....	28
3.2 Preparação do filme.....	28
3.3 Caracterização dos filmes	30
3.3.1 Espessura e gramatura.....	30
3.3.2 Solubilidade em água.....	30
3.3.3 Intumescimento.....	31
3.3.4 Permeabilidade ao vapor d'água (PVA).....	31
3.3.5 Tensão de ruptura e alongação.....	32
3.3.6 Ângulo de contato	33
3.4 Biodegradabilidade.....	34
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
4.1 Avaliação dos filmes	35
4.2 Caracterização dos filmes	35
4.3 Biodegradabilidade filmes de ágar.....	39
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	43
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	44
REFERÊNCIAS.....	45

1 INTRODUÇÃO

A embalagem desempenha um papel importante na indústria alimentícia devido a sua variedade de funções. Além de acomodar adequadamente o produto e fornecer informações sobre seus itens, ela atua como uma barreira, protegendo-o contra contaminações e deteriorações, afim de mantê-lo seguro e com qualidade (JORGE, 2013).

Um dos materiais predominantes nas embalagens é o plástico, pois além de suas ótimas propriedades ópticas e mecânicas, atuando como barreira para entrada de oxigênio e água, é um material com durabilidade e baixo custo. Mas o aumento do seu uso na sociedade atual e também a sua má gestão sobre os resíduos gerados, têm levado a um acúmulo no ambiente aquático. Ficam nos oceanos por centenas de anos e acabam se tornando fragmentos menores, chamados de microplásticos (DAVIS; SONG, 2006). Em ambientes de água doce a poluição é menos numerosa que ambientes marinhos. Em estudo realizado por Gerolin *et al.* (2020) foi avaliada a concentração de microplásticos em amostras de sedimentos. Os pequenos plásticos foram coletados em sete locais dos rios: Solimões, Negro e Amazonas. Foram encontradas concentrações de 417 a 8178 partículas/kg de sedimento seco (microplásticos: 0,063–5 mm) e de 0 a 5725 partículas/kg de sedimento seco (microplásticos: 0,063–1 mm). No estudo foi observado que as maiores concentrações de microplásticos localizam-se em amostras de águas rasas.

Os microplásticos (MPs) são pedaços minúsculos, com tamanho inferior a 5 mm, provenientes da partição de plásticos maiores (BELO *et al.*, 2021). Eles se dividem em dois grupos, os primários e secundários. Os primários derivam de objetos e produtos como pneus automobilísticos, roupas sintéticas e produtos de beleza, já os secundários derivam de sacos plásticos, garrafas de polietileno tereftalato (PET) e redes de pesca (MERCÊS *et al.*, 2021). Por serem muito pequenos, os microplásticos são confundidos por alimento para os animais marinhos, causando morte por subnutrição, pelo fato da falsa saciedade. Além disso, humanos acabam consumindo esses animais, levando a intoxicações no organismo (OLIVATTO, G. P.; CARREIRA, R.; TORNISIELO, V. L.; MONTAGNER, 2018).

A busca por novas embalagens que aumente a vida útil do alimento sem prejudicar o meio ambiente é constante. O uso de biopolímeros naturais para fabricar essas embalagens é uma opção. Para que eles possuam boa aplicabilidade é necessário levar em consideração suas características, como propriedades mecânicas, propriedades de barreira, físicas, químicas e morfológicas (SANTOS; YOSHIDA, 2011). Os biopolímeros são considerados substitutos do

plástico, no caso das embalagens, pois possuem capacidade de degradação e uma boa disponibilidade na natureza (AZEVEDO *et al.*, 2018).

O uso de recursos marinhos como por exemplo as algas marinhas, estão sendo muito explorados como fonte para a obtenção de biopolímeros. As paredes celulares dessas algas são ricas em polissacarídeos, onde a celulose é o componente estrutural mais importante para a resistência mecânica do material. Um polímero de grande interesse é o ágar, um polissacarídeo natural, tipicamente encontrado nas paredes celulares de algumas algas vermelhas do tipo *Rhodophyceae*. É um material termoplástico, biocompatível e biodegradável, além de possuir um grande interesse para a microbiologia, pois atua como um bom agente gelificante (CEBRIÁN-LLORET *et al.*, 2022).

Nesse contexto apresenta-se neste documento, uma proposta inicial de biodegradação de filmes poliméricos a partir de ágar com adição de água destilada como solvente e glicerol como plastificante. O objetivo principal foi a análise da degradação dos filmes poliméricos em água doce. Como objetivos específicos, elaboração de filmes a base de ágar, caracterização dos filmes através de análises mecânicas, de barreira, solubilidade em água e ângulo de contato, estudo do comportamento dos filmes na biodegradabilidade em água.

2 CONCEITOS GERAIS E REVISÃO DE LITERATURA

A revisão da literatura tem o propósito de buscar evidências em publicações existentes para servirem como comparação para os resultados encontrados neste trabalho. Com a finalidade de reforçar a conclusão da pesquisa, que envolve a biodegradação de materiais como os filmes biopoliméricos em água doce. Durante a revisão uma breve descrição sobre microplásticos, embalagens plásticas, embalagens e polímeros biodegradáveis, filmes biodegradáveis à base de ágar, caracterização dos filmes biodegradáveis, biodegradabilidade dos polímeros e filmes poliméricos em água e normas e certificações para biodegradabilidade de materiais plásticos.

2.1 Microplásticos

A presença de pequenos detritos de plástico no ambiente marinho foi relatada pela primeira vez em 1970, mas foi em 2004 que o termo microplástico foi empregado pela primeira vez, pelo pesquisador britânico Richard Thompson. Resíduos plásticos maiores, quando descartados no ambiente, vão sofrendo contínuas fragmentações, gerando resíduos de plásticos cada vez menores, os microplásticos (OLIVATTO, G. P.; CARREIRA, R.; TORNISIELO, V. L.; MONTAGNER, 2018).

São caracterizados por serem fragmentos com dimensões menores que 5 (cinco) milímetros, provenientes de várias fontes ou processos, se tornando um grande problema ambiental pelo seu descarte incorreto. São classificados de acordo com a sua origem, podendo ser primária (provenientes da indústria têxtil e produtos de higiene pessoal) ou secundária (provenientes da degradação dos plásticos maiores, como sacolas plásticas, garrafas e redes de pesca) (ANDRADY, 2017).

Outra preocupação é a absorção dos microplásticos pelos animais marinhos. Pesquisas sobre os mexilhões mostraram que os fragmentos entram pela via oral dos animais e podem alcançar outros órgãos também pela via cutânea, ficando retidas toxinas das partículas plásticas no organismo dos mesmos por um longo período. Por consequência os humanos consomem esse tipo de alimento tóxico, o que é muito preocupante (LUCIO *et al.*, 2019; MACHADO *et al.*, 2021). No Brasil, em 2018, foi realizada uma avaliação sobre a presença de MPs no sal de origem marinha e como resultado foi mostrado que todas as marcas de sal analisadas continham PE, PP e PET (FALASCO, 2019).

Conforme matéria publicada da Revista El País (2018), um estudo realizado nos países do Reino Unido, Itália, Rússia e Japão, com um pequeno grupo de pessoas, detectou

partículas de PVC, PP e PET nas fezes dos humanos. O congresso de gastroenterologia, em Viena, realizou também um estudo com a participação de oito voluntários. Durante uma semana eles tiveram que anotar tudo o que ingeriram, além de registrar os tipos de embalagens e frascos dos alimentos. Após, foram coletadas amostras das fezes dos participantes. Os resultados mostraram nove tipos de plásticos encontrados, onde os mais comuns foram o propileno (oriundo das embalagens de leite e sucos) e o PET (das garrafas plásticas). Em média foram registrados também vinte microplásticos para cada 10 gramas de matéria fecal. De acordo com o diário dos participantes, pelo menos seis deles consumiram peixe e algum tipo de alimento embalado. Infelizmente a pesquisa não conseguiu detectar qual a origem das partículas encontradas nas amostras.

Portanto, vários estudos vêm sendo conduzidos, na necessidade de melhorar os problemas advindos da não biodegradabilidade desses materiais.

2.2 Embalagens plásticas

A função das embalagens é fornecer proteção ao alimento contra danos físicos, contaminação e deterioração, além de garantir que a identidade do produto seja de fácil reconhecimento. Elas podem ser divididas em três tipos: primária (o produto fica em contato direto com a embalagem), secundária (abrangem embalagens maiores, como caixas por exemplo, usadas para transportar os produtos embalados com as primárias) e as terciárias (embalagem para auxiliar o transporte de produtos maiores ainda, como os paletes de madeira e as embalagens plásticas) (DAVIS; SONG, 2006).

Na indústria de alimentos os plásticos são amplamente usados para a produção de embalagens. Um exemplo, são as embalagens plásticas flexíveis. Elas combinam as melhores propriedades mecânicas dos polímeros, com o intuito de proteger o alimento, principalmente dos danos mecânicos durante o manuseio, transporte e estocagem. Possuem destaque pela sua flexibilidade ao acondicionar os produtos. (CELESTINO, 2021)

Segundo a Associação Brasileira de Embalagens (ABRE) (2021), a produção de embalagens plásticas flexíveis foi de 826 mil toneladas, em relação a indústria de alimentos. As resinas de polietileno de baixa densidade (PEBD) e polietileno linear de baixa densidade (PEBDL) foram as mais usadas em 2020 na indústria de flexíveis, com um total de 1,535 mil toneladas.

Os tipos de plásticos mais usados nas embalagens são o polietileno (PE), material plástico muito usado por ser inquebrável, leve, impermeável, resistente a baixas temperaturas

e rígido; o polipropileno (PP), que possui características como conservar o aroma, ser transparente, inquebrável, rígido, brilhante e resistente à mudanças de temperatura; o polietileno tereftalato (PET), geralmente compõe frascos e garrafas (para uso alimentício), sendo um material transparente, inquebrável, leve e impermeável; o cloreto de polivinila (PVC), bastante encontrado em embalagens para água mineral, óleos, maioneses, sucos, é muito usado por ser rígido, impermeável, resistente à temperatura e inquebrável; e o poliestireno (PS), usado em potes para iogurtes, sorvetes, doces, bandejas de supermercados, copos descartáveis, possui características como leveza, capacidade de isolamento térmico, baixo custo, flexibilidade e moldabilidade pela ação do calor (EQUIPE ECYCLE, 2021).

Os grandes problemas ambientais que são causados pelo crescente uso dos plásticos sintéticos e principalmente a preocupação por não serem biodegradáveis, em função da sua natureza, incentivam muitos pesquisadores e empresas a desenvolverem alternativas mais ecológicas, como o caso das embalagens e filmes biodegradáveis (ZHAO *et al.*, 2019).

2.4 Embalagens e polímeros biodegradáveis

Como já citado, as embalagens tem a função de proteger o alimento contra oxidação e contaminação, a fim de aumentar sua vida de prateleira. Todavia, a degradação dos plásticos, que são feitas as embalagens, levam um grande tempo, gerando sobrecarga nos aterros sanitários (LUCENA *et al.*, 2017).

Para serem biodegradáveis, as embalagens devem atender a condições de degradação que não causem consequências ao meio ambiente. O termo “biodegradável” se refere aos materiais que podem ser degradados por agentes biológicos, ou seja, a partir da ação dos microrganismos. São obtidas de materiais como polímeros biodegradáveis à base de matérias primas naturais, como por exemplo os polissacarídeos (amido), os pioneiros nesse ramo, por serem frágeis e possuírem natureza hidrofílica, eles necessitam de uma combinação com outros polímeros (DAVIS; SONG, 2006).

Os polímeros biodegradáveis estão sendo desenvolvidos recentemente em função do grande problema, o crescente impacto ambiental. Derivado dos resíduos plásticos, eles são provenientes de matérias primas não renováveis e por consequência, embalagens não biodegradáveis. Quando feita a combinação de biopolímeros e colocadas em ambientes biologicamente ativos, esses polímeros ativam a taxa de degradação por ataque microbiano ou por agentes atmosféricos (como vento, chuva, radiação solar, condições úmidas, etc.). A degradação química também é uma opção para esse tipo de material, rompendo as ligações

moleculares e ajudando na quebra dos materiais e portanto colaborando na reciclagem natural (FREILE-PELEGRÍN *et al.*, 2007). Os polímeros também podem ser classificados pela sua natureza de formação. Podendo ser, polímeros de adição, de condensação, homopolímeros (possuem apenas um monômero) ou copolímeros (mais de um monômero). São distribuídos em lineares, ramificados ou tridimensionais, podendo assim serem analisados de acordo com a matéria prima advinda, por exemplo, orgânica (originada da natureza) ou sintética. As reações de condensação ou adição são usadas para polímeros sintéticos (LIMA; SOUZA, 2011).

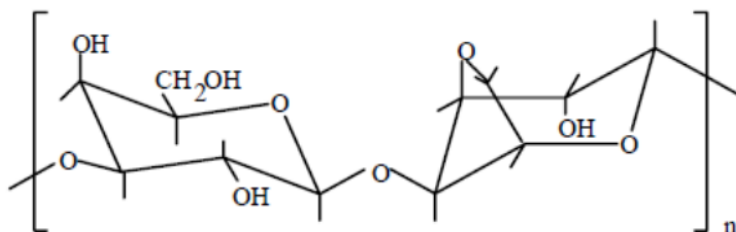
Um dos processos mais utilizados em laboratório para o preparo de filmes poliméricos é método de *casting*, onde consiste no preparo de uma solução coloidal, proveniente de biomoléculas, aditivos e solventes, seguida de secagem em condições controladas de tempo e temperatura (MONTERREY-QUINTERO; SOBRAL, 2000).

Os polímeros biodegradáveis mais importantes são o polilactato (PLA), os olihidroxialcanoato (PHA), a xantana (Xan) e os polímeros de amido (PA). A diferença entre eles é a maneira em que vão ser empregados, por exemplo, os PA e PHA são usados em embalagens plásticas e a Xan é usada em meios de produção alimentícia (PRADELLA, 2006). Outro polímero que vem sendo estudado é o composto por ágar, na indústria de alimentos. A aplicação deste polímero, na forma de gel, pode ser encontrada em produtos lácteos e cárneos, gelatinas, bebidas, vinhos, vinagres doces, massa, entre outros, mas a sua maior aplicabilidade está em meios de cultura sólido para bactérias e fungos (CORREIA, 2016).

2.5 Filmes biodegradáveis à base de ágar

O ágar-ágar é um polissacarídeo natural extraído das algas vermelhas da classe *Rodophyta*. É composto por agarose, possui cadeia linear e é responsável por seu aspecto gelatinoso, e por agarpectina, possui cadeia ramificada e compõe 30% do ágar. As cadeias são ligadas entre si por ligações do tipo α - (1 \rightarrow 3) e β - (1 \rightarrow 4) (PERVEZ *et al.*, 2019). A agarose como já dito, possui estrutura linear com repetidas unidades de dissacarídeo agarobiose (dímero constituído de D-galactose e 3,6- anidro-L-galactose), conforme mostra a Figura 1 (ONOFRE, 2014).

Figura 1 – Fórmula estrutural da agarose



Fonte: Onofre (2014)

O processo de gelificação do ágar acontece através de ligações de hidrogênio entre as moléculas de agarose, nesse processo é formado uma rede de duplas hélices de agarose onde ela é estabilizada por moléculas de água (YOSHIMURA, 2006).

Possui origem asiática e fez parte por séculos da dieta tradicional de diversos povos. A designação ágar-ágar deriva do idioma malaio, onde ágar significa gelatina, e na cultura polinésia é repetido duas vezes, para dar ênfase para a tradução, gelatina-gelatina. No Japão ele é conhecido como Kanten, com significado de céu-frio, relacionado pelo processo de congelamento-descongelamento natural (IBERAGAR, 2010).

Encontrado em pó ou tiras secas, o ágar possui característica maleável, mesmo quando é exposto a altas temperaturas, permitindo seu uso laboratorialmente. Por possuir alta concentração de carboidratos ele é também um ótimo meio de cultura para o crescimento de vários tipos de fungos e sua estrutura gelatinosa permite uma fácil manipulação (PROLAB, 2014). É um material biodegradável, termoplástico e biocompatível, sendo também abundante na natureza, podendo ser aplicado em diversos ramos industriais (FREILE-PELEGRÍN *et al.*, 2007).

O setor em destaque é o alimentício, pois pode ser utilizado como espessante e em embalagens alimentícias, devido a sua combinação de biodegradabilidade e renovabilidade (poder gelificante e fácil extração), o ágar tem sido um material promissor no que diz respeito ao seu uso em futuros materiais plásticos (FREILE-PELEGRÍN *et al.*, 2007). Também pode ser aplicado na agricultura, atuando como condicionador de solo e absorvedores de água e em medicamentos, no caso de microencapsulação (HASIJA *et al.*, 2018).

Na microbiologia, o ágar é um agente gelificante fundamental para a identificação dos microrganismos no meio de cultivo. Esses meios possuem importante papel nos campos de controle de qualidade e segurança alimentar, possui também propriedades como grande histerese (retardo), reprodutibilidade e ótima transparência (IBERAGAR, 2010). O lado negativo deste polímero é que também possui fracas propriedades mecânicas, natureza

hidrofílica (alta sensibilidade a água) e natureza quebradiça, por isso, é importante o uso de reforços com outros polímeros (SHANKAR; REDDY; RHIM, 2015).

Na literatura é possível encontrar outros trabalhos que usam combinações com o ágar, para diversos fins, conforme Quadro 1.

Quadro 1 – Filmes bioplásticos com combinações de ágar e outros polímeros

(continua)

Filmes	Aplicação	Concentrações	Referência
Álcool polivinílico- Ágar	Estudar o efeito do teor de glicerol nas propriedades ópticas, mecânicas, estruturais, térmicas, de barreira e morfológicas de filmes.	Ágar: 75%. Glicerol: 15%.	Madera-Santana <i>et al.</i> (2014)
Lignina, ágar e nanocelulose	Desenvolver filmes biodegradáveis incorporando lignina e ágar, adicionando glicerol e óleo de soja como plastificantes.	Lignina e ágar: 2%. Nanocelulose: 0,06%.	Hoffman; Siguel (2018)
Ágar e quitosana	Observar as propriedades físicas do bioplástico ágar/quitosana.	Ágar: quitosana 65%: 0%. (F0/controle), 52%: 13% (F1), 39%: 26% (F2) e 26%: 39% (F3).	Agusman <i>et al.</i> (2022)

Quadro 1 – Filmes bioplásticos com combinações de ágar e outros polímeros

(conclusão)

<p>Gelatina de pele de peixe e ágar</p>	<p>Desenvolver filmes comestíveis bioativos de biopolímeros naturais.</p>	<p>Glicerol foi adicionado às soluções de gelatina ou ágar em diferentes níveis (0, 5, 10, 15, 20 e 25%).</p>	<p>Jridi <i>et al.</i> (2019)</p>
<p>Quitosana/ágar-ágar incorporado com Bacteriocina</p>	<p>Desenvolver filmes bioplásticos ativos à base de blenda polimérica, incorporado de extrato de bacteriocina como antibacteriano, para conter, proteger e aumentar a vida útil de creme de queijo minas frescal.</p>	<p>Quitosana: ágar: glicerol (0,5 g, 1 g, 0,3 g)</p>	<p>Contessa (2021)</p>

Fonte: Autora (2023)

No estudo feito por Freile-Peigrín *et al.* (2007), filmes de ágar foram submetidos a um processo natural de deterioração (clima tropical úmido) por 90 dias, a fim de determinar o seu tempo de biodegradabilidade. As amostras colhidas em 15, 30, 45, 60 e 90 dias passaram por diferentes testes. Os resultados obtidos em 30 e 45 dias indicaram uma diminuição nas propriedades mecânicas do ágar (redução do seu tamanho molecular e diminuição no número de sulfatos). Essas alterações, por exemplo, alteração na cristalinidade do ágar, causaram uma contração no polímero, levando ao ataque microbiano. Com isso, a resposta foi positiva quanto a exposição do ágar a parâmetros climáticos externos.

2.6 Caracterização dos filmes biodegradáveis

Os filmes biodegradáveis podem ser caracterizados através de propriedades como: propriedades mecânicas (resistência e flexibilidade), propriedades de barreira (permeabilidade ao vapor de água), solubilidade em água e ângulo de contato.

A espessura pode ser definida como a distância perpendicular entre duas superfícies principais de um material. A sua determinação fornece informações sobre características específicas do material. Influencia nas propriedades e funcionalidades do mesmo, como por exemplo, uniformidade, resistência mecânica, propriedades ao vapor de água. Problemas como o desempenho mecânico e de barreira do material podem ser resultados de variações na sua espessura (CORREIA, 2016).

A solubilidade indica qual a sua resistência a água e fornece também informações sobre sua integridade em sistemas aquosos. É influenciada pelo tipo de concentração do polímero usado como os aditivos e plastificantes adicionados na sua formulação. Fornece também uma indicação sobre a biodegradabilidade do filme (CARISSIMI, 2017; VIEIRA, 2019).

O índice de intumescimento é um método gravimétrico baseado na determinação da capacidade de absorção de água ou umidade de um material. Podendo ser definido também como o umedecimento da sua superfície com uma hidratação de suas moléculas posteriormente, ocorrendo assim, uma lenta desagregação molecular, deixando o material intumescido. Quando um polímero (com capacidade de intumescimento) entra em contato com a água altera o seu estado de configuração (rígido ou semi rígido) para um estado maleável. As características de velocidade de intumescimento dos biofilmes podem ser quantificadas calculando este índice, através da diferença da massa, antes e depois de umidificada (CORREIA, 2016).

A permeabilidade dos filmes estabelece temperatura, umidade relativa, espessura e diferença de pressão parcial. Sua medida é obtida pela passagem de um permeante (de um lado para outro do filme) quando ambos são expostos à concentrações diferentes de permeante em um determinado tempo, a qual é determinada pela diferença de peso (VIEIRA, 2019). Suas propriedades são influenciadas pelas características da matéria prima usada na fabricação de filmes e pela sua qualidade. A adição de plastificantes também influencia, pois eles diminuem a densidade do filme (explica porque a PVA geralmente é proporcional a quantidade de plastificante usado na formulação) (CARISSIMI, 2017).

As propriedades mecânicas de um filme vão depender da composição do material e das condições extrínsecas (exteriores). A ação dos agentes plastificantes auxilia na mobilidade das cadeias poliméricas, que leva ao aumento de alongação e diminuição da resistência à tração. Já a resistência do material vai depender da quantidade de polímero usado na solução filmogênica. Casariego *et al.* (2009) analisaram que quando a concentração de um polímero é aumentada se leva a um acréscimo de valores à resistência a tração, levando a uma estrutura mais forte no filme.

Segundo Tsuchya *et al.* (2019), na preparação dos filmes, um fator importante é a medição do ângulo de contato estático. Esse ângulo define a tensão superficial do sólido e mede o momento em que a gota está assentada na superfície, também caracteriza se a superfície tem afinidade com a água.

2.7 Biodegradabilidade dos polímeros e filmes poliméricos em água

A degradação de um polímero depende da sua natureza e também das condições ambientais, que podem variar desde a exposição ao calor, umidade, sol até a ação por um microrganismo. A degradação completa se dá em duas etapas, por fragmentação, onde acontecerá uma quebra em várias porções pequenas por fatores abióticos e a mineralização, onde os microrganismos produzirão dióxido de carbono, água e uma pequena quantidade de outros produtos biocompatíveis (INNOCENTNI-MEI, LUCIA HELENA; MARIANI, 2005).

De acordo com o Relatório Técnico para o Conselho Administrativo do Estado da Califórnia, a biodegradabilidade é definida como um processo onde todos os fragmentos de materiais são consumidos através da ação de microrganismos, como fonte de alimento e energia. Os três principais componentes da biodegradabilidade são: que o material seja usado como fonte de alimento ou energia para microrganismos; que exista um certo período de tempo para a biodegradação completa e que o material seja completamente consumido no meio ambiente. Outro fator importante é sobre a biodegradabilidade dos plásticos, por exemplo, os materiais orgânicos desaparecem completamente no solo (por serem fonte de alimento para os organismos do solo), com um bom ambiente eles se degradam em um período de 180 dias, sem deixar nenhum fragmento ou resíduo, que é o certo para acontecer com os plásticos verdadeiramente biodegradáveis (CALIFORNIA INTEGRATED WASTE MANAGEMENT BOARD, 2007).

A biodegradação dos polímeros pode ocorrer por dois meios: hidrólise biológica e oxidação biológica. Na hidrólise biológica, enzimas do tipo proteases catalisam a hidrólise

das ligações peptídicas e ligações éster, seguido por oxidar biologicamente as cadeias poliméricas (quebrando-as) gerando cadeias menores e bioassimilação das mesmas por microrganismos. Na oxidação biológica, que é a reação com a presença de oxigênio, ocorre também a introdução de grupos peróxidos nas cadeias carbônicas (por ação das mono-oxigenases e dioxigenases). Aplica-se este mecanismo somente em polímeros de cadeias carbônicas e a degradação pode ser controlada através de antioxidante (FRANCHETTI; MARCONATO, 2006).

No estudo realizado por Faria (2010) em degradar filmes de Poli (3-hidroxibutirato) (PHB), em águas poluídas do Rio Atibaia, o autor cita que águas poluídas por hidrocarbonetos podem ser um ambiente propício para presença de microrganismos que degradam polímeros. Os resultados do estudo provaram que a degradação do PHB ocorreu, tanto na sua fase amorfa como na cristalina, sendo mais significativa na água do rio que recebeu o efluente da refinaria de petróleo, que continha microrganismos capazes de degradar substâncias persistentes no meio ambiente.

Em estudo realizado por Pires (2019) foram feitos três ensaios de degradação. O intuito foi, simular o mais real possível as condições climáticas, onde ocorre o descarte incorreto dos plásticos, um deles foi a degradação em água doce. A autora concluiu que a exposição ao meio de degradação facilitou o ataque microbiano e as propriedades dos materiais foram modificadas, com o aumento do tempo de exposição na água.

O Quadro 2 mostra alguns trabalhos que têm sido realizados.

Quadro 2 – Resultados de biodegradabilidade em solo e água de filmes poliméricos

(continua)

Autor	Biopolímero	Forma e tempo de degradação	Resultados
Wang <i>et al.</i> (2019)	Poli (tereftalato de butileno-co-adipato) (PBTA) contendo amido e carbonato de cálcio (CaCO ₃).	Seis corpos d'água diferentes (56 semanas).	As amostras contendo PBTA-amido apresentaram biodegradação acelerada em um dos corpos d'água.

Quadro 2 – Resultados de biodegradabilidade em solo e água de filmes poliméricos

(continua)

Autor	Biopolímero	Forma e tempo de degradação	Resultados
Tsuchiya <i>et al.</i> (2019)	Filmes de seda revestidos com polipeptídeos fluorados.	Água do mar (3 semanas, 15 a 33%).	Os filmes de seda revestidos com polipeptídeos proporcionam alta biodegradabilidade em ambientes marinhos.
Zahir <i>et al.</i> (2021)	Elastômeros termoplásticos.	Água do mar (28 dias, 40%).	O poli (2-metil-1,3-propanodiil adipato) (PMPA) é altamente biodegradável em água do mar.
Filipini (2019)	Jambolão e metilcelulose.	Em solo (15 dias), em água do mar (2 dias).	Solo: as amostras apresentaram começo de degradação após 5 dias e visivelmente degradadas em 15 dias; Água: as amostras completamente dissolvidas após 2 dias.

Quadro 2 – Resultados de biodegradabilidade em solo e água de filmes poliméricos
(conclusão)

Autor	Biopolímero	Forma e tempo de degradação	Resultados
Faria (2010)	Filmes de Polipropileno (PP), Poli (3-hidroxibutirato) (PHB) e Blenda de PP/PHB.	Em águas do rio poluído (Atibaia) mantidas em estufa bacteriológica a 28°C, durante 120 dias.	A degradação do PHB ocorreu na água do rio que recebeu o efluente da refinaria de petróleo, contendo microrganismos reconhecidos como potencialmente capazes de degradar substâncias persistentes no meio ambiente.
Pires (2019)	Polipropileno (PP) com aditivos	Em solo, água salina e água doce	Após período de seis meses foram observados que um dos aditivos e o meio salino foram o que mais provocaram alterações nas propriedades do plástico.

Fonte: Autora (2023)

Portanto, é muito importante a análise da degradação dos polímeros em água. Dos artigos citados acima, a maioria obteve algum tipo de degradação em até 30 dias. Alguns com um período maior. As diferenças nos tempos em que sofreram degradação foi devido às condições do meio, dos tipos de microrganismos usados e também da estrutura do polímero (LUCENA *et al.*, 2017).

2.8 Normas e Certificações para biodegradabilidade de materiais plásticos

Em 2019, foi lançado o Plano Nacional de Combate ao Lixo no Mar pelo Ministério do Meio Ambiente. Tem como objetivos: reduzir a quantidade e os impactos do lixo no mar, originado de fontes terrestres; reduzir a quantidade e os impactos residuais de fontes marítimas, incluindo resíduos sólidos, cargas perdidas, artefatos de pesca abandonados, perdidos ou descartados e embarcações abandonadas; diminuir a quantidade e os impactos de resíduos sólidos acumulados na costa e em águas costeiras e oceânicas; impulsionar pesquisas, desenvolvimento de tecnologias e metodologias para combater o lixo no mar; realizar atividades de educação ambiental, engajamento da sociedade e comunicação sobre os impactos do lixo no mar e sobre a necessidade da melhor gestão de resíduos sólidos. Pretende-se com os objetivos propostos diminuir ao máximo os impactos causados nos ecossistemas marinhos e costeiros, melhorando assim a qualidade de vida do brasileiro (AGENDA NACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL URBANA, 2022).

Existem também organizações internacionais e brasileiras que possuem normas para padronização da biodegradabilidade de materiais plásticos, como mostra o Quadro 3.

Quadro 3 – Normas para tratamento da biodegradabilidade de materiais plásticos

(continua)

Organização	Norma/Ano	Título
European Bioplastics (2015)	Norma EN 13432 DIN/CERTCO	EN13432 Certified Bioplastics Performance in Industrial Composting.
ASTM D6400 (2021)	Norma D6400-21	Standard Specification for Labeling of Plastics Designed to be Aerobically Composted in Municipal or Industrial Facilities.
ABNT (2008)	NBR 15448-2	Embalagens plásticas degradáveis e/ou de fontes renováveis.

Quadro 3 – Normas para tratamento da biodegradabilidade de materiais plásticos
(conclusão)

ASTM D6691 (2017)	Norma D6691-17	Standard Test Method for Determining Aerobic Biodegradation of Plastic Materials in the Marine Environment by a Defined Microbial Consortium or Natural Sea Water Inoculum.
ISO (2021)	ISO 14852	Determinação da biodegradabilidade aeróbica final de materiais plásticos em meio aquoso - Método por análise de dióxido de carbono liberado.

Fonte: Autora (2023)

A norma EN13432 exige que 90% de um tipo de material plástico compostável se fragmente em H₂O, CO₂ e biomassa, num período de 6 meses (CALIFORNIA INTEGRATED WASTE MANAGEMENT BOARD, 2007).

Segundo Califórnia Integrated Waste Management Board (2007), a norma ASTM D6400 especifica os tipos de procedimentos usados para certificar que plásticos compostáveis se degradarão. Em instalações municipais e industriais, de compostagem aeróbica e por um período de 180 dias. O padrão determina se os plásticos, ou produtos feitos de plásticos, vão ter boa biodegradação (assegurando que a degradação dos materiais não irá contaminar o local composto. A norma ASTM D6691 é um método de teste que irá determinar a biodegradação aeróbica dos materiais plásticos por meio de microrganismos no ambiente marinho. A norma ISO14852 determina a biodegradabilidade final de materiais plástico em um meio aquoso, o método de teste usado verifica a quantidade de dióxido de carbono que é emitido.

No Brasil, na Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), conta com um material técnico, NBR 15448. Possui as definições e os padrões de teste para averiguar a biodegradabilidade dos materiais plásticos no processo de compostagem. Primeiramente é

realizada a análise da embalagem plástica a partir da espessura ou gramatura, embalagens com a mesma estrutura, fabricadas em menores espessuras e gramaturas não precisam ser ensaiadas. Materiais de embalagem de constituintes de origem natural (madeira, fibra de madeira, polpa de papel, fibras naturais como juta, fibra de coco) são aceitos como sendo biodegradáveis. Após cada item da embalagem deve ser caracterizado, determinado seus constituintes orgânicos significativos e o limite de biodegradação aeróbia.

3 METODOLOGIA

3.1 Materiais

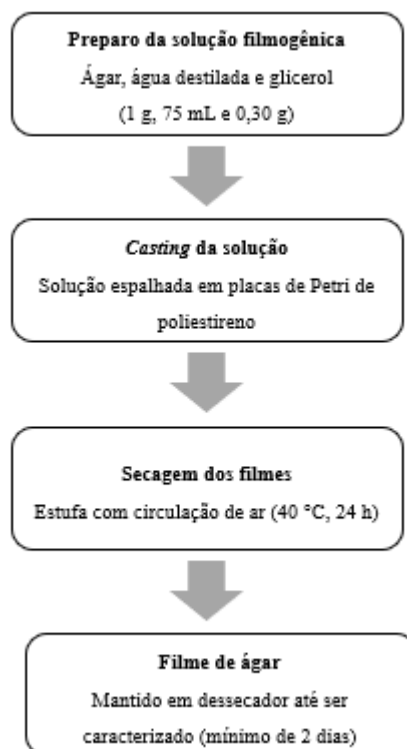
Para a preparação dos filmes foram utilizados ágar-ágar (Himedia)®, glicerol (Glicerina Bidestilada Alphatec)® como plastificante e água destilada como solvente. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Microbiologia e Toxicologia de Alimentos (LMTA), sala 1304, na Universidade Federal do Pampa, localizada na região de Bagé/RS.

Para a análise de biodegradabilidade foram utilizadas água doce, de um açude, coletada na cidade de Bagé/RS, com coordenadas -31.305998, -54.066884.

3.2 Preparação do filme

O filme de ágar foi obtido através do método de *casting*, que consiste na secagem de uma solução do polímero, disposto em placa de Petri e desidratado posteriormente. A preparação do filme foi realizada de acordo com a metodologia adaptada de Contessa (2021). Na Figura 2 está descrito um fluxograma de como foi realizado o preparo do filme de ágar.

Figura 2 – Esquema do processo aplicado na síntese do polímero a base de ágar



Fonte: Autora (2023)

A solução filmogênica foi preparada a partir da dissolução de 1 g de ágar em 75 mL de água destilada. Após, esta mistura foi aquecida em chapa elétrica, com temperatura máxima de 85 °C, com agitação magnética constante, por cerca de 25 min., para obtenção de uma solução homogênea. Em seguida foi acrescentado 0,30 g de glicerol. A solução foi espalhada em placa de Petri de poliestireno e seca em estufa por convecção por 24 h a uma temperatura de 40 °C. Ao todo realizou-se 7 formulações. Por fim, os filmes obtidos foram removidos das placas e armazenados em dessecadores (Figura 3), por pelo menos 2 dias antes de serem caracterizados.

Figura 3 – Filmes armazenados em dessecador



Fonte: Autora (2023)

3.3 Caracterização dos filmes

Foram avaliadas as propriedades mecânicas, de barreira, solubilidade em água e ângulo de contato do filme.

3.3.1 Espessura e gramatura

Para determinar a espessura do biofilme, foram realizadas medições com um paquímetro digital marca Digimess® (modelo 100.174 BL). A espessura foi representada pela média aritmética de dez medidas aleatórias realizadas em cada réplica de filme.

Para definir a gramatura, o filme foi cortado, com o auxílio de um bisturi, em 5 amostras, utilizando-se um molde de 3 x 3 cm. Com as amostras cortadas, procedeu-se a pesagem em uma balança analítica. A gramatura foi obtida através da Equação 1, com área de 9 cm² e os resultados foram expressos em g / cm².

$$G = \frac{m}{a} \quad (1)$$

Onde, G é a gramatura (g/cm²), m é a massa do filme (g) e a é a área do filme (cm²).

Figura 4 – Medição de espessura dos filmes com paquímetro digital



Fonte: Autora (2023)

3.3.2 Solubilidade em água

Para determinar a solubilidade foi seguido o método de acordo com Riaz *et al.* (2018), sendo a análise realizada em triplicata. Para isso, as amostras do filme foram cortadas, com o auxílio de um bisturi, no tamanho de 2,5 x 2,5 cm. Inicialmente, uma alíquota de filme foi seca por um período de 24 h à temperatura de 105 °C e posteriormente pesada, para a determinação da massa seca inicial. Em seguida, foi imersa em 50 mL de água destilada, submetida a agitação de 175 rpm por 24 h, utilizando-se um Shaker (Tecnal, TE-420,

Brasil®) a uma temperatura de 25°C. A suspensão resultante foi seca nas mesmas condições iniciais. Por fim, foi obtida a massa seca final. A solubilidade do filme em água foi obtida pelo cálculo das diferenças de massas, como mostra a Equação 2.

$$SW = \left(\frac{MI - MF}{MI} \right) * 100 \quad (2)$$

Onde, *SW* é a solubilidade em água (%), *MI* é a massa seca inicial (g) e *MF* é a massa seca final (g).

3.3.3 Intumescimento

O índice de inchamento está diretamente relacionado à solubilidade em água, que é um parâmetro importante para conhecer as propriedades gerais do material, principalmente em relação à resistência deste material à água. (MELO, 2018).

Para a determinação do grau de intumescimento as amostras foram cortadas, com o auxílio de um bisturi, nos tamanhos de 2,5 x 2,5 cm. Após, foram pesadas e transferidas para um béquer onde receberam adição de um volume 20 mL de água destilada. As amostras ficaram, então, imersas à solução durante 30 min. e o intumescimento foi medido em intervalos regulares (2, 10, 15 e 30 min.) à temperatura ambiente. Após esse tempo, as amostras foram retiradas e secas em papel toalha (afim de retirar o excesso de água) e pesadas novamente. O experimento foi realizado em triplicata e após foi calculada a média destes valores. A quantificação do índice de intumescimento foi calculada pela Equação 3 (CAO; FU; HE, 2007).

$$\text{Intumescimento (\%)} = \frac{100(M2 - M1)}{M1} \quad (3)$$

Onde, *M1* e *M2* são a massa (g) das amostras secas e molhadas respectivamente.

3.3.4 Permeabilidade ao vapor d'água (PVA)

A permeabilidade ao vapor de água foi determinada pela metodologia E96/E96M – 16 American Society for Testing and Materials (2018). Os filmes foram depositados em cápsulas, utilizando um anel, de modo que garantisse que a migração de umidade ocorresse somente através do filme. No fundo do frasco foi colocado aproximadamente 30 g de cloreto de cálcio anidro (CaCl₂). As cápsulas foram colocadas em um ambiente com umidade relativa

de 50%, sendo pesada após 7 dias, afim de determinar a permeabilidade dos filmes ao vapor de água, conforme a Equação 4.

$$wvp = \frac{(MP*L)}{(t*A*\Delta P)} \quad (4)$$

Onde, wvp é a permeabilidade ao vapor de água (kg/Pa.s.m), MP é a massa absorvida (kg), L é a espessura do filme (m), t é o tempo (s), A é a área de superfície exposta (m²) e ΔP é a diferença de pressão parcial da água através do filme (Pa).

3.3.5 Tensão de ruptura e alongação

Para a tensão de ruptura e capacidade de alongação foi utilizado um texturômetro (TA.XP2i, SMD, GBR)®, Figura 5, conforme a metodologia de American Society for Testing and Materials (2018). Este método foi indicado para determinar as propriedades de tração de plásticos na forma de folhas finas e filmes, os filmes deverão ter espessura inferior a 0,25 mm. De acordo com Contessa (2021) as amostras foram preparadas em um formato retangular com 10 x 2,5 cm, mantidas em uma temperatura a 25°C, com umidade relativa de 50%, por um tempo de 48 h, antes das análises. A separação inicial da garra foi fixada em 50 mm, e a velocidade em 50 min/mm, onde foram realizadas 3 medidas calculando-se sua média. O cálculo para a obtenção da resistência à tração foi feito através da Equação 5 e a capacidade de alongação através da Equação 6.

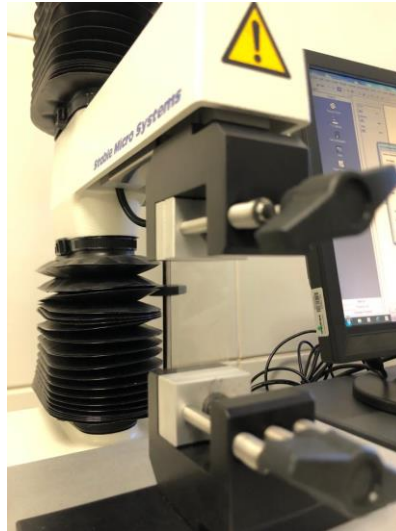
$$TS = \frac{FM}{A} \quad (5)$$

Onde, TS é a tensão de ruptura (MPa), FM é a força máxima no momento de ruptura (N) e A é a área da seção transversal (m²).

$$EB = \left(\frac{DR}{DI} \right) * 100 \quad (6)$$

Onde, EB é a capacidade de alongação (%), DR é a distância no momento de ruptura (mm) e DI é a distância de separação inicial (mm).

Figura 5 – Texturômetro



Fonte: Autora (2023)

3.3.6 Ângulo de contato

Essa análise foi realizada usando um tensiômetro óptico (One Attention – Theta Instrument) através do método de gota séssil. O ensaio foi baseado no emprego de uma gota de água na superfície do filme, através de uma microseringa, a gota foi ampliada com uma lente, onde ocorreu a gravação da imagem. Se a gota se espalhar por toda a superfície do material o seu ângulo de contato será aproximadamente zero, mas se o espalhamento for parcial, o ângulo de contato vai variar entre 0 e 180 graus, ângulos de contato que forem menores que 90 graus vão corresponder a superfícies hidrofílicas, maiores irão corresponder a superfícies hidrofóbicas (aversão a água) (VARGAS, 2014).

Figura 6 – Tensiômetro óptico (One Attention – Theta Instrument)



Fonte: Autora (2023)

3.4 Biodegradabilidade

O ensaio foi realizado para avaliar o efeito da degradação do filme de ágar em água doce. A metodologia foi adaptada de Filipini (2019). A análise de biodegradabilidade do filme foi realizada em água oriunda de um açude da Cidade de Bagé – RS, em temperatura média de 29.9 °C. A avaliação da biodegradabilidade do filme foi realizada através do cálculo de massa e também visualmente.

Os filmes foram cortados, com o auxílio de um bisturi, utilizando-se um molde de 2,5 x 2,5 cm. O experimento foi realizado em triplicata, com total de 15 amostras, foram imersas em béquer contendo 5 mL de água doce.

Após 10 dias de imersão, foi realizada a primeira filtração das amostras, utilizando papel filtro. Por fim, o conjunto (papel filtro + amostra) foi seco em estufa (sem circulação) por 4 h em temperatura de 60°C. Os filmes foram avaliados até que fosse observado o desaparecimento do filme na água.

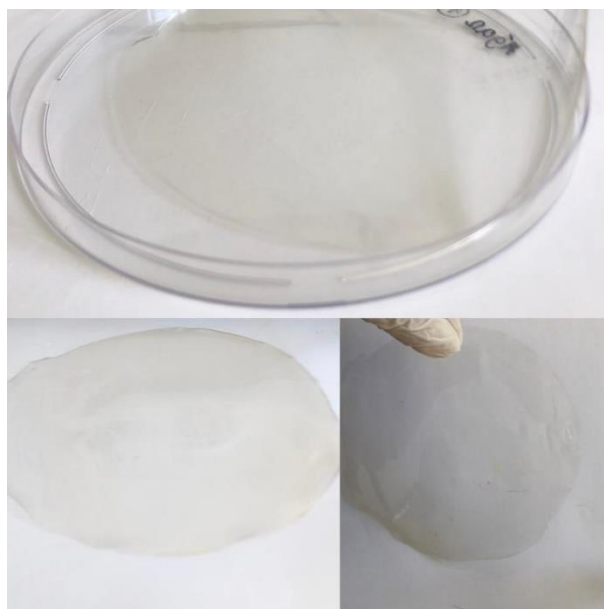
Foi realizada também uma análise visual através de registro fotográfico, onde as amostras foram fotografadas na água no período de tempo para a degradação. Por fim, foram analisadas as mudanças visuais que as amostras apresentaram após a degradação.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Avaliação dos filmes

Os filmes obtidos apresentaram-se translúcidos e de fácil retirada da placa de Petri, excelente continuidade, não sendo observados falhas, rachaduras ou furos, conforme Figura 7. Estes aspectos foram também observados por Freile-Pelegrin, *et al.* (2007), Qin *et al.* (2023), Kumar (2019) em seus filmes.

Figura 7 – Filmes de ágar



Fonte: Autora (2023)

4.2 Caracterização dos filmes

A Tabela 1 apresenta os valores obtidos pelas caracterizações dos filmes de ágar. O experimento foi realizado em triplicata calculando-se suas médias.

Tabela 1 – Resultados caracterizações filme de ágar

	Espessura (mm)	Gramatura (g/cm²)	PVA (kg/Pa.s.m)	Solubilidade (%)
Média ± Desvio Padrão	0,035 ± 0,0159	0,0515 ± 0,0105	2,95x10 ⁻¹¹ ± 3,08x10 ⁻¹¹	13,21 ± 2,37

Fonte: Autora (2023)

O valor observado referente a espessura dos filmes de ágar é semelhante aos encontrados por Lemus *et al.* (2021) e Kanmani e Rhim (2014), onde obtiveram uma espessura de $0,031 \pm 0,001$ mm e $0,0367 \pm 0,0052$ mm. Jrid *et al.* (2019) e Contessa (2021) obtiveram $0,08104 \pm 0,00015$ mm e $0,07 \pm 0,01$ mm. De acordo com Gabas e Cavalcanti (2003), característica como, a quantidade dos materiais utilizados para elaborar os filmes produzidos a partir de polissacarídeos, interferem diretamente no arranjo molecular do filme. Os resultados distintos obtidos quando comparados com a literatura, foram resultantes das diferentes metodologias e procedimentos para a produção dos filmes.

A gramatura de filmes poliméricos é definida como a massa de uma determinada área do material, sendo expressa em g / cm², com um valor de 0,0057 g / cm². Essa característica está relacionada diretamente com as propriedades de resistência mecânica e de barreira, pois quanto maior a gramatura, melhor a resistência mecânica e uma melhora na barreira ao vapor de água do material (DANTAS; de LIMA, 2007).

Como a gramatura é calculada em função de uma área conhecida do material e seu peso, o valor obtido de gramatura para o filme biodegradável, foi superior a gramatura do plástico PVC, que apresenta valor de 0,0040 g / cm² (HENRIQUE *et al.*, 2008).

A permeabilidade ao vapor de água (PVA) é um método utilizado para determinar a permeação da água através de materiais de embalagem ou filmes, analisando a qualidade dos filmes como barreira a umidade (JANJARASSKUL; KROCHTA, 2010).

O valor encontrado no estudo para esta caracterização foi similar ao encontrado na literatura por Contessa (2021), em filmes de quitosana e ágar ($2,04 \times 10^{-13} \pm 0,28 \times 10^{-13}$ kg/Pa.s.m). Para o cálculo do PVA é importante a medição da espessura do filme biodegradável. O valor da espessura para o filme foi de 0,035 mm. Contessa (2021), obteve valores de espessura que variam de 0,048 a 0,099 mm. Isso indica que mesmo padronizando o volume adicionado nas placas, demonstra que esses valores são variáveis, pois dependem diretamente do volume da solução que é adicionado no molde.

A solubilidade é uma propriedade importante utilizada para descrever a resistência dos materiais a água. Observou-se que o filme de ágar apresentou solubilidade de 13,21%, um

valor similar quando comparado com Contessa (2021) entre 10,28 a 20,97% para blendas de quitosana e ágar. Wang *et al.* (2019), ao analisarem a solubilidade, em filmes de ágar com outros compostos, obtiveram 33%. O filme apresentou baixa solubilidade quando comparado aos demais filmes, portanto, adequados para embalagens que exigem menor interação com a umidade.

A natureza hidrofílica do ágar faz com que esta esteja presente, geralmente, altos valores para o grau de intumescimento. A capacidade de absorção de água em função do tempo para o filme preparado com ágar e glicerol está demonstrada na Tabela 2. De acordo com os resultados obtidos, pode-se observar que a massa do filme aumentou em função do tempo. Em geral esperava-se que isso acontecesse devido as características do glicerol, pois o mesmo apresenta acentuada higroscopicidade.

Tabela 2 – Resultados para intumescimento

Intumescimento (%)	
Tempo (min)	Média ± Desvio Padrão
2	74,47 ± 12,12
10	114,13 ± 9,16
15	117,86 ± 6,13
30	133,74 ± 15,67

Fonte: Autora (2023)

Na Tabela 3 é apresentado os resultados referentes às propriedades mecânicas e o ângulo de contato.

Tabela 3 – Propriedades mecânicas e ângulo de contato

	Tensão Máxima de ruptura (MPa)	Elongamento (%)	Ângulo de contato (°)
Média ± Desvio Padrão	31,29 ± 2,35	16,31 ± 4,65	27,23 ± 9,34

Fonte: Autora (2023)

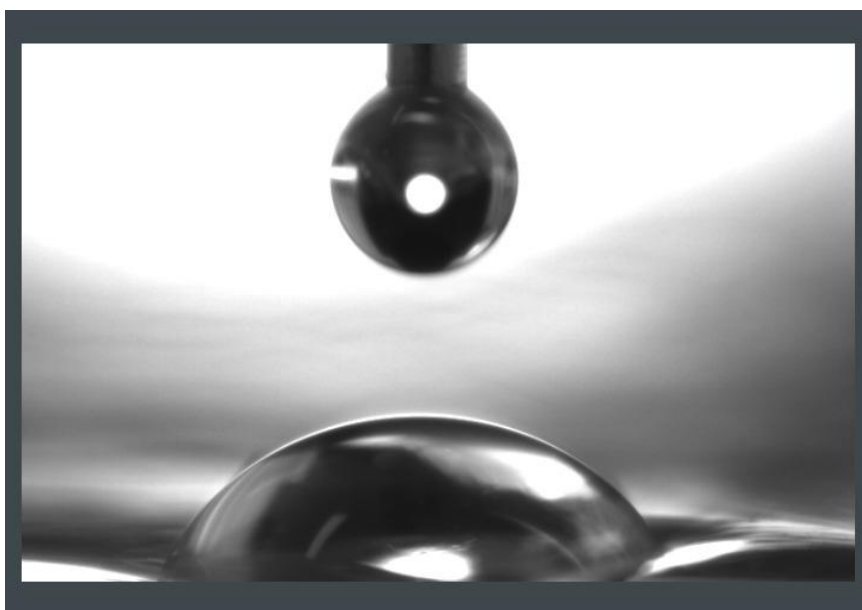
A avaliação de resistência à tração dos filmes e elasticidade são fundamentais para que um filme de embalagem mantenha sua integridade e também tolere o estresse externo (HOSSEINI *et al.*, 2016).

Contessa (2021), obtiveram valores para tensão máxima de ruptura e alongação em torno de $13,57 \pm 2,17$ MPa e $15,51 \pm 2,87\%$. Jrid *et al.* (2019) também obtiveram resultados superiores $47,56 \pm 0,45$ MPa para tensão máxima de ruptura e $3,15 \pm 0,70\%$ para alongação, em filmes contendo ágar. Kumar *et al.* (2019) obtiveram valores para filmes de ágar de, $51,02 \pm 1,5$ MPa para tensão máxima de ruptura e $27,90 \pm 0,6$ % para alongação.

Esses resultados podem ser explicados pela literatura, que afirma que os polissacarídeos possuem alta resistência à tração e baixo alongamento, o que se justifica pela conformação da cadeia polimérica, que é linear no caso dos polissacarídeos. (CHEN, 1995).

O ângulo de contato indica o quanto a superfície de um material irá absorver água, de forma que, se o ângulo de contato for menor que 90° , a superfície é hidrofílica e se o ângulo for maior que 90° a superfície é hidrofóbica e possui baixa afinidade com a água (TANAKA; LEE; SCHELLER, 2014). Por meio desta avaliação é possível ter resultados para aplicações em embalagens de alimentos, em que superfícies mais hidrofílicas possuem maior aplicabilidade em alimentos com alto teor de lipídios, pois não interagem facilmente com a embalagem. Foi realizada uma média, com três amostras de filmes de ágar, onde o resultado foi um ângulo de contato de aproximadamente 27° , o que indica que a superfície dos filmes é hidrofílica, ou seja, possuem alta afinidade com a água, como mostra a Figura 8.

Figura 8 – Ângulo de contato



Fonte: Autora (2023)

4.3 Biodegradabilidade filmes de ágar

A biodegradabilidade é a capacidade de degradação de materiais orgânicos consumidos por microorganismos como fonte de alimento e energia, como bactérias ou fungos, enquanto são absorvidos no ambiente natural. Para que polímeros sejam considerados biodegradáveis é necessário que não possuam nenhum resíduo de produtos secundários (CALIFORNIA INTEGRATED WASTE MANAGEMENT BOARD, 2007).

A Tabela 4 apresenta os valores observados das massas inicial e final, bem como a porcentagem de perda de massa, para o experimento em água. Os valores obtidos para grupos de 3 amostras, sendo calculada a média dos valores.

Tabela 4 – Perda de massa ao longo do tempo

Biodegradação			
Dias	Massa inicial (g)	Massa final (g)	Perda de massa (%)
10	0,05	0,046	4
28	0,051	0,049	4
40	0,057	0,044	22

Fonte: Autora (2023)

Entre 10 a 28 dias a perda de massa dos filmes foi constante, se mantendo em aproximadamente 4%, somente em quarenta dias a perda foi maior, com aproximadamente 22%. Propriedades mecânicas diminuídas pela redução em relação ao peso, tornam o material mais rígido levando a formação de trincas superficiais, como mostra a Figura 9.

Figura 9 – Filme polimérico após secagem

DIA 40



Fonte: Autora (2023)

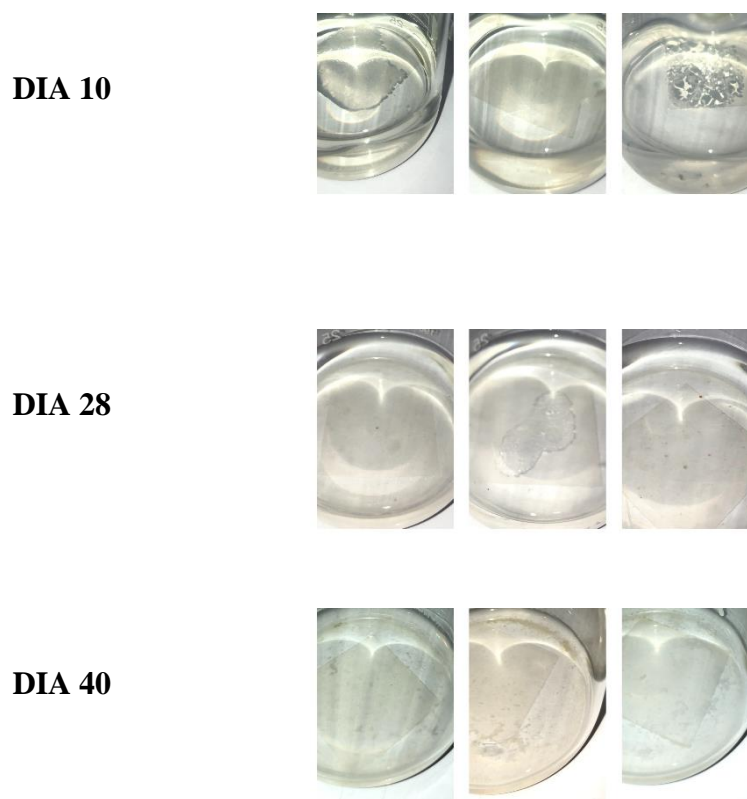
Faria, Martins-Franchetti (2010) ao realizarem análise de biodegradação de filmes de PHB e PP, por microorganismos de águas de rio poluído, obtiveram uma perda de massa dos filmes de PHB de 66%, após 120 dias.

Wang *et al.*, (2018) realizaram testes de biodegradabilidade em diferentes ambientes aquáticos, utilizando filme plástico de poli (tereftalato de butileno-co-adipato) (PBTA), em um período de 56 semanas, obtiveram resultados de perda de degradação muito lenta, com perda máxima de 4,7%, em água contendo microorganismos.

Filipini (2019) obteve resultados satisfatórios em água do mar, para filmes de metilcelulose adicionados de extrato de jambolão, uma total degradação em dois dias, mas no estudo não constam detalhes do processo.

A Figura 10 mostra o registro, a partir de fotos de biodegradabilidade dos filmes de ágar em água.

Figura 10 – Biodegradabilidade dos filmes de ágar em água



Fonte: Autora (2023)

A partir das análises visuais pode-se notar a transparência dos filmes ao longo dos dias.

Para que embalagens sejam consideradas biodegradáveis existem algumas diretrizes, como, o período exigido para a biodegradação vai depender do ambiente em que o material é descartado, existem também muitos tipos de polímeros que se degradam em uma variedade de ambientes, incluindo luz solar, aterro, ambiente aquático ou composto. Vincotte (2014) descreve que é necessário que pelos menos 90% dos materiais se decomponham por ação biológica num período de no máximo 6 meses. A água continha um pH de 6.2, uma condutividade de 49 mV e uma temperatura de 29.9 °C.

A degradação dos filmes não ocorreu totalmente, em um período de 40 dias. Por se tratar de um Trabalho de Conclusão de Curso, com estudos preliminares, não foi possível obter resultados com total degradação. Existem poucos trabalhos disponíveis na literatura sobre degradação de polímeros (principalmente com ágar) em meios de água doce. Visto isso, é fundamental a realização de pesquisas nesta área, com aditivos pró-degradantes que

acelerem a degradação destes materiais, pois grande parte dos resíduos plásticos gerados são dispostos em rios e lagos, sendo essa uma grande preocupação ambiental.

Entretanto, o filme desenvolvido no presente estudo, mesmo não estando totalmente degradado, é muito promissor para ser usado como material biodegradável, principalmente na indústria de alimentos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Filmes de ágar com adição de glicerol apresentaram boa aparência translúcida, fácil retirada da placa de Petri, excelente continuidade, sem falhas, rachaduras ou furos.

Por ser um polímero com alta capacidade de absorção de água, o índice de intumescimento foi relativamente alto, como o valor para o ângulo de contato, que caracterizou o biofilme como hidrofílico, possuindo alta afinidade com a água.

Todas as amostras apresentaram modificações estruturais após o ensaio de degradação, que indicam a ocorrência do processo de degradação do material. A biodegradação em água doce, após quarenta dias de imersão, mostrou-se com uma perda de massa de 22%. O percentual da biodegradação foi significativo comparado a outros estudos que obtiveram resultados satisfatórios. Nas pesquisas realizadas os tempos de degradação e as perdas de massa, de filmes de diferentes formulações, foram respectivamente de 56 semanas e 120 dias com 4,7 e 66%.

O presente trabalho evidenciou o potencial da produção de filmes biodegradáveis a partir de ágar e glicerol, com características de biodegradabilidade e sustentabilidade. Os filmes desenvolvidos foram uma boa alternativa para a substituição de plásticos que poluem o ambiente marinho.

É importante salientar, a necessidade de testes adicionais para as propriedades morfológicas (microscopia eletrônica de varredura – MEV e cristalinidade), as propriedades ópticas (análise de cor e opacidade) e as propriedades térmicas (avaliação da perda de massa). Também se faz necessário realizar outros testes para a biodegradação em água. Dessa forma, a continuidade da pesquisa é de suma importância para avaliar a atividade e os efeitos do biofilme em todos esses tópicos.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- a) Realizar a biodegradação dos filmes em diferentes tipos de água, como água do mar, água do mar simulada, água poluída;
- b) Fazer análises microbiológicas na água/
- c) Através do teste de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) realizar o teste de biodegradabilidade;
- d) Manter o tempo de degradação em água sob agitação constante;
- e) Aumentar o tempo de degradação dos filmes.

REFERÊNCIAS

- AGENDA NACIONAL DE QUALIDADE AMBIENTAL URBANA. Chamada CNPq/MCTI-FNDCT CT-Petro N° 43/2022 - **Combate à poluição no mar e ambientes marinhos causada pelo plástico e seus subprodutos**. n. 8.5.2017, p. 2003–2005, 2022. Disponível em: http://memoria2.cnpq.br/web/guest/chamadas-publicas?p_p_id=resultadosportlet_WAR_resultadoscnpqportlet_INSTANCE_0ZaM&filtro=abertas&detalha=chamadaDivulgada&idDivulgacao=10745. Acesso em: 21 jul. 2022.
- ANDRADY, Anthony L. **The plastic in microplastics: A review**. *Marine Pollution Bulletin*, v. 119, n. 1, p. 12–22, 2017. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0025326X1730111X>. Acesso em: 19 ago. 2022.
- AZEVÊDO, Luciana Cavalcanti de *et al.* **Propriedades do amido e suas aplicações em biopolímeros**. p. 351–358, 2018. Disponível em: <http://www.scielo.br/j/po/a/BdFKp5Rm7VcbN5XHzHVkqWy/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 21 jul. 2022.
- BELO, Isabela Cristina Bitencourt *et al.* **Microplásticos, seus impactos no ambiente e maneiras biodegradáveis de substituição**. 2021. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/ric/article/view/54481/38961>. Acesso em: 10 jun. 2022.
- CALIFORNIA INTEGRATED WASTE MANAGEMENT BOARD. **Avaliação do desempenho de embalagens plásticas ambientalmente degradáveis e de utensílios plásticos descartáveis para alimentos - Relatório final**. 2007. Disponível em: <https://www.yumpu.com/pt/document/read/12498755/avaliacao-do-desempenho-de-embalagens-plasticas->. Acesso em: 21 jul. 2022.
- CAO, Na; FU, Yuhua; HE, Junhui. **Preparation and physical properties of soy protein isolate and gelatin composite films**. *Food Hydrocolloids*, v. 21, n. 7, p. 1153–1162, 2007. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0268005X06002037?via%3Dihub>. Acesso em: 30 jul. 2022.
- CARISSIMI, MARIEL. **Desenvolvimento e aplicação de filmes biodegradáveis a partir de amido de mandioca e microalga verde**. 2017. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/178638/001066424.pdf?sequence=1>.
- CEBRIÁN-LLORET, Vera *et al.* **Agar-based packaging films produced by melt mixing: Study of their retrogradation upon storage**. *Algal Research*, v. 66, p. 102802, 2022. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2211926422001734>. Acesso em: 30 jul. 2022.
- CELESTINO, Vinícius Peres. **Adição de agentes antimicrobianos em filmes poliméricos a base de blenda de polietileno para aplicação em embalagens flexíveis para alimentos**. 2021. 173–180 f. - Universidade Federal de Santa Catarina, Blumenau 2021. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/actavet/31-1/artigo552.pdf>.

CORREIA, Marília Ferreira. **Produção e caracterização físico-química de filmes a base de colágeno bovino , ágar-ágar e agarose produção e caracterização físico-química de filmes a base de colágeno bovino , ágar-ágar e agarose.** 2016. - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2016. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/16585/2/PG_COENQ_2016_2_13.pdf.

DAVIS, G.; SONG, J.H. **Biodegradable packaging based on raw materials from crops and their impact on waste management.** *Industrial Crops and Products*, v. 23, n. 2, p. 147–161, 2006. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0926669005000658>. Acesso em: 19 ago. 2022.

EQUIPE ECYCLE. **Conheça os tipos de plásticos existentes - eCycle.** 2021. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/tipos-de-plasticos/>. Acesso em: 26 jul. 2022.

FALASCO, Carina Francisco. **Avaliação da presença de partículas insolúveis e microplásticos em sais de origem marinha do Brasil.** 2019. - Escola de Engenharia de São Carlos (USP), São Paulo, 2019. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/002958985>. Acesso em: 21 jul. 2022.

FRANCHETTI, Sandra Mara Martins; MARCONATO, José Carlos. **Polímeros biodegradáveis - uma solução parcial para diminuir a quantidade dos resíduos plásticos.** *Química Nova*, v. 29, n. 4, p. 811–816, 2006. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/QXT9wMDfVQ9PrhbVsp8b3Pc/?format=pdf&lang=pt>.

FREILE-PELEGRÍN, Y. *et al.* **Degradation of agar films in a humid tropical climate: Thermal, mechanical, morphological and structural changes.** *Polymer Degradation and Stability*, v. 92, n. 2, p. 244–252, 2007.

HASIJA, Vasudha *et al.* **Green synthesis of agar/Gum Arabic based superabsorbent as an alternative for irrigation in agriculture.** *Vacuum*, v. 157, p. 458–464, 2018. Disponível em: [https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440\(19\)34386-5?_returnURL=https%3A%0A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS2405844019343865%3Fsh%0Aowall%3Dtrue%0A](https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440(19)34386-5?_returnURL=https%3A%0A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS2405844019343865%3Fsh%0Aowall%3Dtrue%0A). Acesso em: 19 ago. 2022.

IBERAGAR. **Agar-Agar poderoso espessante e gelificante natural - A alternativa mais saudável e produtiva a outros aditivos.** *FOOD INGREDIENTS BRASIL*, p. 49–50, 2010. Disponível em: https://revista-fi.com/upload_arquivos/201606/2016060964594001465322072.pdf.

INNOCENTNI-MEI, LUCIA HELENA; MARIANI, Pilar Drummond Sampaio Correa. **Visão geral sobre polímeros ou plásticos ambientalmente degradáveis pads.** p. 27, 2005. Disponível em: https://www.feq.unicamp.br/images/stories/documentos/dtp_edps.pdf.

JORGE, Neuza. **Embalagens para alimentos.** São Paulo: Cultura Acadêmica : Universidade Estadual Paulista, Pró-Reitoria de Graduação, 2013 194 p., 2013. *E-book*. Disponível em: <http://www.santoandre.sp.gov.br/pesquisa/ebooks/360234.PDF>.

LIMA, Rafael Machado Felix de; SOUZA, M.Sc. Valdomiro Vagner de. **Vista do polímeros biodegradáveis: aplicação na agricultura e sua utilização como alternativa para a proteção ambiental.** 2011. Disponível em: <https://agrogeoambiental.ifsuldeminas.edu.br/index.php/Agrogeoambiental/article/view/303/299>. Acesso em: 19 ago. 2022.

LUCENA, Camilla Aquino Azevedo de *et al.* **Desenvolvimento de biofilmes à base de xilana e xilana/gelatina para produção de embalagens biodegradáveis.** *Polímeros*, v. 27, p. 35–41, 2017. Disponível em: <http://www.scielo.br/j/po/a/BdFKp5Rm7VcbN5XHzHVkqWy/abstract/?lang=pt>. Acesso em: 19 ago. 2022.

LUCIO, Fabiola Terra *et al.* **Disponibilidade e influência dos microplásticos nos seres vivos e ambiente:** uma revisão. *Conexão Ci*, v. 14, n. 1, p. 47–55, 2019. Disponível em: <https://periodicos.uniformg.edu.br:21011/ojs/index.php/conexaociencia/article/view/908>.

MACHADO, Juliana Araújo *et al.* **Análise da presença de microplástico em bivalves (perna perba):** um estudo de caso em matinhos, litoral do paraná. *Guaju*, v. 7, n. 1, p. 156, 2021. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/guaju/article/view/76916/44489>.

MERCÊS, Marcela Talita *et al.* **Microplásticos:** seus impactos à saúde humana. 2021. Disponível em: [http://ri.ucs.br:8080/jspui/bitstream/prefix/4703/1/Microplásticos%3A seus impactos à saúde humana.pdf](http://ri.ucs.br:8080/jspui/bitstream/prefix/4703/1/Microplásticos%3A%20seus%20impactos%20%C3%A0%20sa%C3%ADde%20humana.pdf). Acesso em: 19 ago. 2022.

OLIVATTO, G. P.; CARREIRA, R.; TORNISIELO, V. L.; MONTAGNER, C. C. **Microplastics:** Contaminants of Global Concern in the Anthropocene. *Rev. Virtual Quim.*, 2018. Disponível em: <http://rvq.s bq.org.br>. acesso em: 19 ago. 2022.

onofre, natália almeida. **Desenvolvimento e caracterização de filmes poliméricos a partir de ágar, agarose e kefirana com incorporação de nanopartículas de prata.** 2014. 111 f. - Universidade Federal de Pernambuco, 2014. Disponível em: [https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/10942/1/DISSERTAÇÃO Natália Almeida Onofre.pdf](https://repositorio.ufpe.br/bitstream/123456789/10942/1/DISSERTAÇÃO%20Nat%C3%A1lia%20Almeida%20Onofre.pdf).

PERVEZ, Sidra *et al.* **Improvement of catalytic properties of starch hydrolyzing fungal amyloglucosidase:** Utilization of agar-agar as an organic matrix for immobilization. *Carbohydrate Research*, v. 486, p. 107860, 2019.

PRADELLA, José Geraldo da Cruz. **Biopolímeros e intermediários químicos.** 2006. Disponível em: http://www.redetec.org.br/wp-content/uploads/2015/02/tr06_biopolimeros.pdf. Acesso em: 10 jun. 2022.

PROLAB. **Entenda o que é ágar e para que serve esse meio de cultura.** 2014. Disponível em: <https://www.prolab.com.br/blog/curiosidades/entenda-o-que-e-agar-e-para-que-serve-esse-meio-de-cultura/>. Acesso em: 21 jul. 2022.

SANTOS, Andreлина Maria Pinheiro; YOSHIDA, Cristina Maria Pedroso. **Embalagem**. 2011. Disponível em: <https://pronatec.ifpr.edu.br/wp-content/uploads/2013/06/Embalagem.pdf>. Acesso em: 29 jul. 2022

SHANKAR, Shiv; REDDY, Jeevan Prasad; RHIM, Jong Whan. **Effect of lignin on water vapor barrier, mechanical, and structural properties of agar/lignin composite films**. *International Journal of Biological Macromolecules*, v. 81, p. 267–273, 2015.

VARGAS, KELLY MARGARITA COLMENARES. **Processo de deslocamento de óleo em micro modelos de meios porosos por injeção de emulsão de óleo em água**. Rio de Janeiro, Brazil, 2014. Disponível em: https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/35523/35523_4.PDF. Acesso em: 31 jul. 2022.

VIEIRA, Claudia Brandao. **Filmes e revestimentos comestíveis do polissacarídeo sulfatado da alga marinha vermelha gracilaria birdiae na qualidade do camarão litopenaeus vannamei congelado**. 2019. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/58152/3/2019_tese_cbvieira.pdf.

VINCOTTE. **Requirements of the EN 13432 Standard**. v. 32, n. 0, p. 13432, 2014. Disponível em: <http://www.okcompost.be/data/pdf-document/Doc-09e-a-Requirements-of-norm-EN-13432.pdf>.

YOSHIMURA, Cristalina Yoshie. **Avaliação do potencial de cultivo e produção de ágar de Gracilaria domingensis e de Gracilaria caudata (Rhodophyta, Gracilariales) na enseada de armação do Itapocoroy (Penha, Santa Catarina)**. 2006. 1–163 f. - Instituto de Biociências da Universidade de São Paulo, 2006. Disponível em: <https://teses.usp.br/teses/disponiveis/41/41132/tde-09032007-115530/publico/CristalinaYoshimura2545349.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2022.

ZHAO, Guili *et al.* **Biodegradable and transparent cellulose film prepared eco-friendly from durian rind for packaging application**. *Food Packaging and Shelf Life*, v. 21, p. 100345, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2019.100345>. Acesso em: 21 ago. 2022.