



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO DELTA DO PARNAÍBA - UFDPAr
CAMPUS MINISTRO REIS VELLOSO - CMRV
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA
CURSO DE ENGENHARIA DE PESCA**

GUILHERME DA SILVA BRITO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DO USO DO ÁGAR EXTRAÍDO DE
Gracilaria domingensis NA ELABORAÇÃO DE
FILMES BIODEGRADÁVEIS**

Orientadora: Margarida Maria Monteiro Vasconcelos
Área de Concentração: Biotecnologia de algas marinhas

**PARNAÍBA - PI
Julho/2025**

GUILHERME DA SILVA BRITO

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DO USO DO ÁGAR EXTRAÍDO DE *Gracilaria domingensis* NA ELABORAÇÃO DE FILMES BIODEGRADÁVEIS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal do Delta do Parnaíba/ Campus Ministro Reis Velloso - UFDPAr/CMRV, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Pesca.

Orientadora: Margarida Maria Monteiro Vasconcelos

**PARNAÍBA - PI
Julho, 2025**

FICHA CATALOGRÁFICA
Universidade Federal do Delta do Parnaíba

B862a Brito, Guilherme da Silva
Avaliação do potencial do uso do ágar extraído de *Gracilaria domingensis* na elaboração de filmes biodegradáveis [recurso eletrônico] / Guilherme da Silva Brito. – 2025.

60 f.

TCC (Bacharel em Engenharia de Pesca) – Universidade Federal do Delta do Parnaíba, 2025.

Orientação: Prof^ª. Dr^ª. Margarida Maria Monteiro Vasconcelos

1. Ágar. 2. Biodegradabilidade. 3. Filmes naturais. 4. *Gracilaria domingensis*. I. Título.

CDD: 639.3

**AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DO USO DO ÁGAR EXTRAÍDO DE
Gracilaria domingensis NA ELABORAÇÃO DE
FILMES BIODEGRADÁVEIS**


GUILHERME DA SILVA BRITO

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi julgado adequado para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Pesca e aprovado em sua forma final junto à Universidade Federal do Delta do Parnaíba/UFDPAr

Profa. Me. Thaís Maria de Mendonça Trompieri Dumont
Coordenadora do Curso de Engenharia de Pesca

Profa. Me. Renata Dourado Pinho
Coordenador(a) de Estágio do Curso de Engenharia de Pesca

Apresentado à Banca Examinadora, integrada pelos Professores:



Profa. Dra. Margarida Maria Monteiro Vasconcelos
Orientadora

Profa. Dra. Janaina de Araújo Sousa Santiago
Banca Examinadora

Prof. Dr. Thiago Fernandes Alves da Silva
Banca Examinadora

Dedico este trabalho aos meus pais, minha namorada, minha irmã, minha vó e todos que me apoiaram durante a graduação.

AGRADECIMENTO

Primeiramente agradeço a Deus por ter me concedido força e fé ao longo dessa jornada.

Agradeço aos meus pais Manoel Brito Neto e Maria de Lourdes Vieira da Silva por ter me dado todo apoio do mundo, pois sem eles nada disso seria possível. Agradeço por todos os ensinamentos, motivação, amor, conselhos, ajuda financeira e por nunca terem desistido de mim. Serei eternamente grato por tudo isso.

Agradeço a minha namorada Stefani Valadares do Nascimento por ter me ajudado de toda forma possível durante esses anos de graduação. Obrigado pelo amor, paciência e apoio incondicional durante toda essa jornada. Sua presença foi essencial nos momentos de cansaço, insegurança e incerteza. Obrigado por acreditar em mim quando eu mesmo duvidei.

Meu muito obrigado a minha irmã Gisele Maria da Silva Brito, minha vó Sonha Maria Vieira da Silva e meu primo Matheus da Silva Aquino, pois sempre estiveram ao meu lado me apoiando e torcendo para que tudo desse certo. Serei eternamente grato.

À Prof^a. Dra. Margarida Maria Monteiro Vasconcelos por todo apoio, confiança, paciência, orientação e todo seu conhecimento passado de modo a contribuir na minha vida profissional. Serei eternamente grato.

Aos professores Thiago Fernandes Alves da Silva, Janaina de Araújo Souza Santiago, Sandra Helena de Mesquita Pinheiro, Evandro Rui Conde Marliere, Francisco Edmar Moreira de Lima Neto, Francisca Edna de Andrade Cunha, Thaïs Maria de Mendonça Trompieri Dumont, e todos os professores do Curso de Engenharia de Pesca pelos ensinamentos passados durante o curso.

Ao Laboratório de Tecnologia do Pescado – LATEP por me proporcionar o aprendizado relacionado à Tecnologia do Pescado e à Biotecnologia de Algas Marinhas.

Aos amigos que fiz durante esse tempo de graduação, em especial os que moraram comigo: Péricles, Lucas Bezerra, Jonathan e Marciel.

À banca examinadora por ter aceitado o convite e ter feito parte desse momento tão especial em minha vida.

Agradeço por cada etapa desta caminhada, pelos desafios enfrentados, pelas noites mal dormidas, pelas incertezas e também pelas conquistas. Sou grato por tudo que vivi durante este curso, pois cada experiência, boa ou difícil, contribuiu para minha formação, não apenas como profissional, mas como ser humano. É um ciclo longo e importante que se encerra em minha vida.

Agradeço a todos que fizeram parte desse momento.

Muito obrigado!

SUMÁRIO

RESUMO	8
ABSTRACT	9
LISTA DE FIGURAS	10
LISTA DE TABELAS	11
1. INTRODUÇÃO	12
2. REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1. Características gerais dos alimentos	14
2.2. A embalagem dos alimentos	15
2.2.1. Características das embalagens primárias	16
2.2.2. Embalagens convencionais	17
2.2.3. Embalagens sustentáveis	19
2.2.3.1. Embalagens de produtos naturais	21
2.2.3.1.1. Ágar e suas características	22
2.2.3.1.2. <i>Gracilaria domingensis</i> como fonte de matéria de embalagens naturais	26
3. MATERIAL E MÉTODOS	28
3.1. Coleta da amostra	28
3.2. Análises físico-químicas da alga.....	29
3.2.1. Umidade, pH e resíduo seco	29
3.3. Preparação das amostras e extração do ágar pelo método artesanal.....	29
3.4. Preparação das amostras e extração do ágar pelo método químico	30
3.5. Elaboração de filme biodegradável.....	31
3.5.1. Avaliação reológica dos filmes elaboradas	32
3.5.1.1. Densidade	32
3.5.1.2. Espessura.....	32
3.6. Propriedades físico-químicas dos filmes.....	33
3.6.1. Capacidade de retenção de água (WHC) e determinação do pH.....	33
3.6.2. Capacidade de retenção de óleo (OHC)	34
3.7. Biodegradabilidade	34
3.7.1. Análise do solo	35
3.8. Avaliação estatística dos dados.....	36
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
4.1. Análises físico-químicas da alga.....	37
4.1.1. Umidade, pH e resíduo seco	37

4.2. Extração e elaboração dos filmes de ágar	38
4.2.1. Avaliação reológica dos filmes elaboradas	39
4.2.1.1. Densidade e espessura	39
4.3. Propriedades físico-químicas dos filmes.....	41
4.4. Análise do solo e biodegradabilidade	44
5. CONCLUSÃO	48
REFERÊNCIAS	49

RESUMO

O aumento da demanda por alternativas sustentáveis aos plásticos convencionais tem incentivado o desenvolvimento de filmes biodegradáveis a partir de biopolímeros naturais. Nesse contexto, o ágar, extraído de algas vermelhas do gênero *Gracilaria*, destaca-se por suas propriedades gelificantes e versatilidade. Assim, este estudo teve como objetivo avaliar o potencial do ágar extraído da alga *Gracilaria domingensis*, coletada na praia de Barra Grande, em Cajueiro da Praia-PI, na elaboração de filmes biodegradáveis. As algas foram submetidas a dois métodos de extração: artesanal e químico. Os filmes foram produzidos com diferentes concentrações de ágar (0%, 1,25%, 2,5% e 5%). Foram avaliadas propriedades físico-químicas da alga (pH, umidade e resíduo seco), bem como características dos filmes, como densidade, espessura, capacidade de retenção de água e óleo e sua biodegradabilidade em solo ao longo de 9 dias. Os filmes apresentaram diferenças visuais e estruturais conforme a concentração e o método utilizado. A extração artesanal obteve maior rendimento (23%) em relação à química (5%). Os filmes com menores concentrações apresentaram maior transparência e menor espessura, enquanto os de maior concentração foram mais densos e espessos. A degradação em solo foi observada em todos os tratamentos, evidenciando o caráter biodegradável dos filmes. Os dados obtidos indicam características compatíveis com materiais utilizados na produção de embalagens, demonstrando boa resposta frente às análises propostas.

PALAVRAS-CHAVES: *Gracilaria domingensis*; ágar; filmes naturais; biodegradabilidade.

ABSTRACT

The increased demand for sustainable alternatives to conventional plastics has encouraged the development of biodegradable films from natural biopolymers. In this context, agar, extracted from red algae of the genus *Gracilaria*, stands out for its gelling properties and versatility. Thus, this study aimed to evaluate the potential of agar extracted from *Gracilaria domingensis* algae, collected on Barra Grande beach, in Cajueiro da Praia-PI, in the production of biodegradable films. The algae were subjected to two extraction methods: artisanal and chemical. The films were produced with different concentrations of agar (0%, 1.25%, 2.5%, and 5%). The physical and chemical properties of the algae (pH, moisture, and dry residue) were evaluated, as well as the characteristics of the films, such as density, thickness, water and oil retention capacity, and their biodegradability in soil over 9 days. The films showed visual and structural differences depending on the concentration and method used. Artisanal extraction obtained a higher yield (23%) compared to chemical extraction (5%). Films with lower concentrations were more transparent and thinner, while those with higher concentrations were denser and thicker. Degradation in soil was observed in all treatments, demonstrating the biodegradable nature of the films. The data obtained indicate characteristics compatible with materials used in the production of packaging, demonstrating a good response to the proposed analyses.

KEY WORDS: *Gracilaria domingensis*; agar; natural films; biodegradability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01. Classificação das embalagens.....	16
Figura 02. Embalagem primária.....	17
Figura 03. Embalagens plásticas (identificação e simbologia)	18
Figura 04. Filme biodegradável.....	20
Figura 05. Estrutura química do ágar (agarose com agarpectina)	23
Figura 06. Estrutura química da agarose	24
Figura 07. Macroalga vermelha (<i>Gracilaria domingensis</i>)	26
Figura 08. Alga vermelha (<i>Gracilaria domingensis</i>)	28
Figura 09. Localização da praia de Barra Grande no Cajueiro da Praia.....	28
Figura 10. Processo de preparação das amostras para obtenção do pó: triagem (a); branqueamento das algas (b) e trituração das algas no moinho (c)	29
Figura 11. Processo de extração artesanal do ágar: ágar sob agitação (a); ágar filtrado (b); ágar artesanal em placas de Petri com acetato (c); processo de maceração do ágar (d)	30
Figura 12. Processo de extração química: algas mergulhadas em 250 mL de NaOH à 6% (a); processo de extração sob agitação (b); ágar filtrado em um béquer de 250 mL; ágar químico em placas de Petri com acetato (d)	31
Figura 13. Determinação de espessura dos filmes	33
Figura 14. Processo de degradação: amostras com diferentes concentrações (a); amostras enterradas em solo (b)	35
Figura 15. Processo de determinação da temperatura, pH e umidade do solo: retirada das amostras em placas de Petri (a); análise dos parâmetros em tubos (b)	36
Figura 16. Histograma representativo da composição físico-química da alga	37
Figura 17. Aspecto visual dos filmes artesanais e químicos com diferentes concentrações: filme artesanal de 1,25% (a); filme artesanal de 2,5% (b); filme artesanal de 5% (c); filme químico de 1,25% (d); filme químico de 2,5% (e); filme químico de 5% (f)	39
Figura 18. Degradação dos filmes de diferentes métodos em função da quantidade de dias.....	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 01. Filmes bioplásticos com combinações de ágar e outros polímeros.....	25
Tabela 02. Diferentes concentrações na elaboração dos filmes	32
Tabela 03: Espessura e densidade dos filmes à base de ágar com diferentes concentrações	40
Tabela 04: Avaliação das propriedades físico-químicas em relação as diferentes concentrações	42
Tabela 05: Parâmetros físico-químicas do solo em diferentes tratamentos.....	44

1. INTRODUÇÃO

A *Gracilaria* é um gênero de algas marinhas com amplo potencial comercial, especialmente pela produção de ágar, um biopolímero versátil. Esse composto é utilizado tanto na alimentação, podendo ser consumido diretamente do cultivo, quanto na formulação de embalagens sustentáveis, que se apresentam como alternativas promissoras aos plásticos convencionais (Gouvea, 2022).

A crescente demanda por embalagens que sejam, ao mesmo tempo, eficientes e ecológicas, tem impulsionado a pesquisa por polímeros biodegradáveis capazes de reduzir a poluição causada por materiais sintéticos (Filipini, 2019). No setor alimentício, farmacêutico e cosmético, essas embalagens atuam na preservação da qualidade dos produtos e oferecem soluções alinhadas à sustentabilidade (Jorge, 2013).

Com o intuito de mitigar os efeitos prejudiciais como o longo tempo de decomposição dos plásticos, o acúmulo de resíduos em ambientes naturais, estudos continuam sendo realizados para reduzir o uso de produtos sintéticos. Uma dessas abordagens envolve a produção de materiais biodegradáveis por meio da utilização de filmes confeccionados a partir de itens renováveis, como os polissacarídeos (Carissimi; Flôres; Rech, 2018; Nisa et al., 2018).

Entre os biopolímeros mais promissores destaca-se o ágar, um polissacarídeo com aplicações diversas: na indústria de alimentos, como espessante e componente de filmes comestíveis (Huang et al., 2020); na agricultura, como condicionador de solo e retenção hídrica (Hasija et al., 2018); e na área farmacêutica, na encapsulação de compostos bioativos, devido à sua estrutura porosa e capacidade de liberação controlada (Kavoosi et al., 2018; Pervez et al., 2019).

Embora o desenvolvimento de filmes e cobertura biopoliméricas biodegradáveis ou comestíveis tenha ganhado destaque nos últimos anos devido à preocupação com o meio ambiente dos plásticos convencionais na indústria alimentícia e à crescente demanda dos consumidores por alimentos mais seguros e saudáveis, essa inovação ainda enfrenta desafios significativos (Chavan et al., 2023).

Nesse cenário, o ágar extraído de *Gracilaria domingensis* surge como uma alternativa promissora para a produção de filmes biodegradáveis. Haja vista

que, com a crescente preocupação com os impactos ambientais gerados pela utilização de embalagens elaboradas a partir de plásticos convencionais, o uso do ágar se destacará com uma alternativa renovável e biodegradável, que poderá formar filmes com boas características de barreira e segurança alimentar, oferecendo assim uma solução inovadora para reduzir o uso de plásticos.

Neste sentido, essa pesquisa objetivou explorar o potencial do ágar extraído da alga vermelha *Gracilaria domingensis*, coletada na praia de Barra Grande/PI, como um material promissor para o desenvolvimento de filmes biodegradáveis, de modo a promover sua aplicação de forma sustentável.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Características gerais dos alimentos

A Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos define tecnologia de alimentos como a aplicação de métodos e da técnica para o preparo, armazenamento, processamento, controle, embalagem, distribuição e utilização dos alimentos, no qual esse processo inclui a sequência de operações desde a seleção da matéria-prima até o processamento, preservação e distribuição (Gava, 2017).

A relevância da tecnologia de alimentos está no desenvolvimento de métodos e processos que possam reduzir as perdas, aumentando o aproveitamento de subprodutos, e também aumentar a disponibilidade de alimentos, aumentando sua “vida de prateleira” sem abrir mão da qualidade. Acompanhando esse progresso, a indústria também ofereceu novas perspectivas para a melhor apresentação dos produtos e manutenção de suas condições sensoriais e nutritivas (Nespolo et al., 2015; Gava et al., 2008).

No Brasil são desperdiçados cerca de 1,3 bilhões de toneladas de alimentos perecíveis, gerando um montante de US\$ 1 trilhão de dólares desperdiçados por ano, segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2017). Para Barros (2019), alimentos perecíveis são aqueles que apodrecem mais rápido, e isso se dá devido a quantidade de água presente no alimento. Quanto mais água um alimento tiver, mais rápido ele irá apodrecer, e o contrário também é verdade: quanto menos água, mais tempo vai levar para o alimento ficar estragado. O prazo de validade ou tempo de prateleira determina se o produto está em condições adequadas para o consumo, alguns fatores podem interferir nesse prazo, comprometendo a integridade do alimento (Dantas, 2023).

A qualidade dos alimentos é uma preocupação constante da indústria alimentícia e, por este motivo, a tecnologia envolvida nas embalagens destinadas à conservação destes alimentos também está em constante evolução (Schneider, 2022). Algumas características como pH, atividade de água, umidade, armazenamento, processamento e embalagem podem causar essa alteração (Ramalhosa; Pereira, 2015). Para evitar isso, boas embalagens são

necessárias, já que evitam e protegem de qualquer possível contato com o meio externo (Luzia et al., 2021).

2.2. A embalagem dos alimentos

Na indústria alimentícia, as embalagens estão se tornando cada vez mais importantes e estão ganhando mais atenção (Viégas, 2016). Portanto, há constante desafio visando atender às exigências dos consumidores, fornecendo embalagens modernas, práticas, que preservem os alimentos e sejam viáveis ambiental e economicamente (Soares et al., 2009).

Segundo a Associação Brasileira de Embalagem (ABRE), embalagem é uma envoltura ou recipiente que contém produtos temporariamente, individualmente ou em unidades, e que tem a função de protegê-lo e ampliar o tempo de armazenamento de modo a viabilizar a distribuição, identificação e consumo (ABRE, 2018).

O grande consumo de produtos industrializados, como os alimentos, que necessitam de embalagens (primárias, secundárias e terciárias), resulta em impacto ambiental e, dessa forma, embalagens de alimentos são um dos recursos que funcionam como uma barreira inerte entre o alimento e o ambiente, proporcionando a segurança do produto (Landim et al., 2016).

A embalagem de alimentos deve garantir atender aos requisitos de proteção, comercialidade e logística (Vitale et al., 2018; Abejón et al., 2020; Dilucia et al., 2020). Trata-se de um invólucro ou recipiente ou qualquer outra forma de acondicionamento, removível ou não, destinada a proteger, especificamente ou não, matérias-primas, produtos semielaborados ou produtos acabados (BRASIL, 2018).

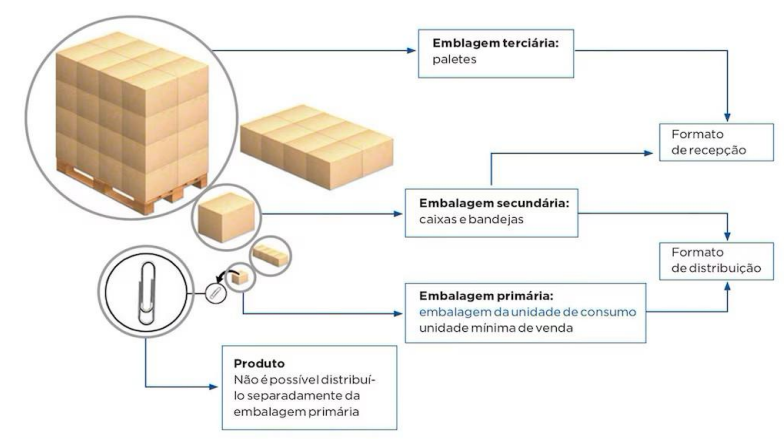
No quesito conservação do produto, o intuito é manter qualidade e segurança, contra a deterioração causada por micro-organismos, por agentes químicos ou por ações mecânicas e/ou físicas (Abejón et al., 2020). Portanto, a embalagem é essencial para lidar com os diversos fatores (odores, choques, poeira, temperatura, luz, umidade) aos quais os alimentos são submetidos (Flórez et al., 2022; Sadeghi; Razavi; Shahrampour, 2022).

2.2.1. Características das embalagens primárias

A embalagem é a arte, ciência e tecnologia para entregar produtos aos consumidores finais a preços econômicos de forma segura (Priyadarsh & Rhim, 2020). O processo de embalagem de alimentos é de imensa importância quando se trata de preservação de alimentos frescos ou processados (Dos Santos et al., 2023).

De acordo com a Associação Brasileira de Embalagens (ABRE), há vários tipos de embalagens e cada uma com diversas funcionalidades que só dependerá do que se almeja para o produto, levando em conta fatores como o mercado, a vida útil, e capacidade de proteger o produto (Carvalho et al., 2021). Quanto à estrutura das embalagens para fins alimentícios podem ser apresentadas em três níveis, segundo a classificação das embalagens que são denominados, a saber: primária, secundária e terciária ou de transporte (Jorge, 2013). A classificação das embalagens está esquematicamente ilustrada na Figura 01.

Figura 01. Classificação das embalagens. Fonte: Mecalux (2020).



As embalagens primárias são aquelas que entram em contato direto com o alimento, com intuito de conservar e conter o produto (Barão, 2011; Jorge, 2013). De acordo com Gomes (2006), “a embalagem primária é aquela que contém o produto sendo a medida de produção e de consumo”, apresentando o produto de forma direta e na medida apropriada para uso.

Oliveira (2016) afirma que a embalagem primária é a mais importante, ela tem contato direto com o produto e precisa garantir a manutenção de suas características antes, durante e após o uso. Ela precisa também proteger o produto de qualquer perturbação externa e precisa ser selecionada de forma minuciosa para garantir a segurança do consumidor (Avelhan et al., 2023).

O estudo de embalagens primárias é de extrema importância, levando em conta fatores que influenciam na qualidade e segurança do produto, como sabor, cor, cheiro, propriedades organolépticas e estabilidade da composição (De Lucena; Azevedo, 2018). A Figura 02 apresenta um exemplo ilustrativo de embalagens primárias.

Figura 02. Embalagem primária. Fonte: Embalagem Ideal (2018).



A embalagem é um componente essencial para a cadeia de abastecimento de alimentos, desempenhando a função de proteger os alimentos de danos e degradação em potencial, garantindo a segurança e a higiene, além de reduzir ativamente o desperdício de alimentos (Petkoska et al., 2021).

2.2.2. Embalagens convencionais

a) Embalagens plásticas

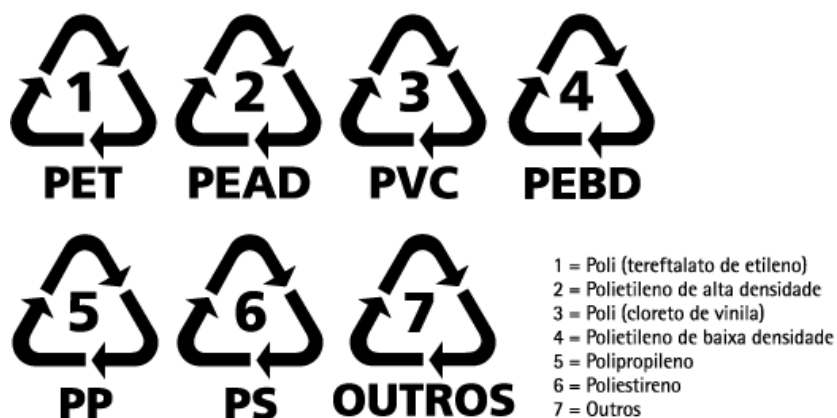
São várias as preocupações atuais relacionadas à preservação do meio ambiente e sustentabilidade dos recursos renováveis que nos são providos

e muitas dessas embalagens são conhecidas como plásticos descartáveis, sendo elaboradas para serem utilizadas apenas uma vez antes do descarte (Valle et al., 2023).

Os plásticos representam maior participação no mercado de embalagens no Brasil, correspondente a 39,42% do total, seguido pelo setor de embalagens celulósicas com 33,72% (somados os setores de papelão ondulado com 19,04%, cartolina e papel cartão com 9,47% e papel com 5,21%), metálicas com 17,55%, vidro com 4,94%, têxteis para embalagens com 2,35% e madeira com 2,02% (IBGE, 2014).

Os principais polímeros consumidos no Brasil em 2022 foram o polipropileno (PP) com 20,3%, o polietileno linear de baixa densidade (PEBDL) com 16,1% e o polietileno de alta densidade (PEAD) com 13,8%. Seguidos deles foi o polietileno de alta densidade (PEAD), os plásticos reciclados, policloreto de vinila (PVC), polietileno de baixa densidade (PEBD), poliestireno (PS), polietileno tereftalato (PET). (ABIEF, 2022). A seguir, conforme a Figura 03 destacam-se os principais polímeros plásticos.

Figura 03. Identificação e simbologia de embalagens plásticas. Fonte: Trein (2022).



O Brasil é um dos principais geradores deste resíduo, produzindo cerca de 11,3 milhões de toneladas de lixo plástico (WORLD WIDE FUND FOR NATURE [WWF], 2019); o comportamento do consumidor é, dessa maneira, principal gerador deste impacto. O equilíbrio entre as dimensões social, econômica e ambiental é pauta entre os principais debates sobre a sustentabilidade e ações para reduzir o impacto ao ambiente (Silva et al., 2021).

A embalagens plásticas de alimentos apresentam como vantagens, quando comparadas com outros materiais, a leveza, baixo custo, aumento de vida útil e da resistência à degradação (Gonçalves, 2022). Porém, eles apresentam desvantagens, a maioria dos polímeros usados na fabricação são sintéticos e derivados do petróleo e não biodegradáveis, podendo levar até 450 anos para se decompor (De Freitas, 2022).

Contudo, observa-se a necessidade de polímeros que satisfaçam as condições de biodegradabilidade, biocompatibilidade com degradação de baixa toxicidade, como alternativa aos polímeros sintéticos convencionais existentes (Luckachan e Pillai, 2011).

2.2.3. Embalagens sustentáveis

As embalagens têm uma participação essencial na contenção, conservação e proteção dos produtos, zelando pela qualidade e segurança já que operam impedindo contaminações além de apresentarem informações imprescindíveis aos consumidores (Ferreira et al., 2019). Além de conter, conservar e proteger o produto, as mesmas zelam pela qualidade e segurança, atuando como barreira a contaminações químicas, físicas e microbiológicas (Jorge, 2013).

Segundo a ABRE (2016) a embalagem sustentável “contempla proporção ideal de embalagem versus produto, otimizando o seu peso específico e proporcionando as condições ideais para o acondicionamento do produto”, buscando a sustentabilidade por meio de processos eficientes ao longo de todo ciclo de vida – incluindo consumo e descarte. Segundo Shan et al. (2023), os impactos ambientais têm motivado pesquisas para produzir embalagens que atendam algumas características: sejam biodegradáveis e produzidas a partir de matéria-prima renovável; apresentem propriedades físicas iguais ou superiores às embalagens atualmente utilizadas, e; conservação que permita controlar a proliferação de microrganismos.

Neste contexto, as indústrias de embalagens e alimentos vêm unindo esforços para produzir embalagens a partir de materiais que possuam características biodegradáveis, que sejam renováveis, que tenham baixo custo e

que apresentem propriedades físico-químicas comparáveis às daquelas derivadas de materiais petroquímicos (Wihodo; & Moraru, 2013). Os filmes biodegradáveis são compostos orgânicos criados a partir de polissacarídeos, proteínas, lipídios e seus subprodutos (Dos Santos Constantino et al., 2023). Estes materiais podem ser aplicados na fabricação de embalagens biodegradáveis e representam uma opção conservacionista em contraste com as embalagens sintéticas (Souza et al., 2021).

Deste modo, embalagens biodegradáveis provenientes de polímeros naturais tornam-se uma alternativa aos efeitos causados pelas embalagens convencionais (Friedrichsen et al., 2022). A biodegradabilidade de uma embalagem pode ser afetada pelas características do polímero estabelecido na confecção da embalagem, origem e condições ambientais como luz, temperatura e umidade, do local de onde é depositada (Thulasingh et al., 2021).

De acordo com Bosco (2017), os polímeros biodegradáveis derivados de fontes renováveis são considerados as opções mais sustentáveis para embalagens, além de serem biodegradáveis, esses polímeros possuem características benéficas para o meio ambiente. No geral, as embalagens biodegradáveis podem ser projetadas na forma de filmes ou revestimentos comestíveis e apresentam em sua composição polímeros capazes de formar película e criar uma camada fina protetora na superfície dos alimentos sem interferir em suas propriedades organolépticas (Ferreira et al., 2022). Na sequência, a Figura 04 apresenta um modelo de filme biodegradável.

Figura 04. Filme biodegradável. Fonte: Compre Rural Conteúdo (2022).



Atualmente, percebe-se que os consumidores buscam alimentos mais naturais, de alta qualidade e mais seguros para o seu dia a dia (Ferreira et al., 2022). Além disso, procuram por alimentos que contenham embalagens que não aumentem a poluição e sejam produzidos por processos sustentáveis e de forma acessível (Mohamed et al., 2020).

Para evitar impactos ambientais, as embalagens devem cumprir certas condições de degradação (Silva, 2023). O desenvolvimento de materiais biodegradáveis a partir de fontes renováveis e consequentemente redução do emprego de polímeros plásticos sintéticos reforçam o propósito de preservação ambiental que se espera da indústria de embalagens (Martins da Costa et al., 2020).

2.2.3.1. Embalagens de produtos naturais

Cada vez mais se intensifica a busca por produtos naturais com propriedades poliméricas que possam contribuir para a sustentabilidade, há uma tendência mundial por produtos que não causem impacto negativo ao meio ambiente (De Farias, 2016). Assim sendo, a pesquisa e caracterização dessas novas embalagens vem aumentando nos últimos anos devido principalmente às suas propriedades biodegradáveis (Falguera et al., 2011) e por serem oriundas de recursos naturais renováveis (Cazon et al., 2017).

Nos últimos anos, têm sido desenvolvidos muitos estudos no sentido de descobrir biopolímeros capazes de substituir os polímeros sintéticos em aplicações a embalagens ou revestimentos na indústria alimentar e/ou farmacêutica, polímeros naturais tais como, polissacarídeos, proteínas e lipídios, na fabricação de embalagens de alimentos (De Souza, 2008).

Uma nova e promissora área de estudos são os organismos marinhos devido nos últimos anos terem sido fonte de compostos naturais (Paula, 2013). A alga marinha é uma formação vegetal existente nos oceanos e mares, capaz de realizar a fotossíntese e servir de alimentos e abrigo para muitas espécies de organismos aquáticos (Vidoti; Rollemberg, 2009).

Segundo Dapper et al. (2014), as macroalgas marinhas são uma vasta fonte de matérias-primas e de moléculas biologicamente ativas utilizadas na

indústria farmacêutica, cosmética, alimentícia e agrícola, no qual o interesse pelas macroalgas marinhas surge devido às suas vantagens como o rápido crescimento, produção de grande volume de biomassa e também pelas características exclusivas de seus polissacarídeos.

As algas, especialmente as algas vermelhas, são fontes subaproveitadas de alguns biopolímeros para produção destes biofilmes. O ágar, extraído dessas algas vermelhas, é um biopolímero com uma estrutura única e características singulares que o tornam num potencial candidato no que diz respeito a aplicações a embalagens de alimentos (De Souza, 2008).

Dessa forma, segundo Paula (2013), as pesquisas relacionadas à formação de filmes e de revestimentos a partir de biopolímeros naturais estão em crescimento, pois as algas marinhas constituem uma importante fonte de componentes bioativos e hidrocolóides (polissacarídeos) que apresentam propriedades físico-químicas de grande interesse em aplicações industriais.

2.2.3.1.1. Ágar e suas características

O ágar é um biopolímero da classe dos poligalactanos, originado como um material intracelular proveniente de algumas algas vermelhas conhecidas como agarófitas, sendo as mais exploradas mundialmente da ordem das Gracilariales e Gelidiales (Hoffmann, 2018). O ágar tem como característica importante o fato de ser gelatinoso em temperatura ambiente devido às suas propriedades reológicas e por esse motivo tem sido bastante explorado economicamente em vários ramos industriais, como: cosméticos, biotecnológico, farmacêutico e principalmente alimentício (Armisen, 1995; Lee et al., 2017).

O ágar-ágar é um espessante extraído de algas marinhas e que permite fazer gelatina quente, e é utilizado em alguns restaurantes para fazer espumas ou gelados com os sabores desejados, no momento e à sua vista (Silva, 2023). Seu uso na indústria alimentícia deve-se às suas propriedades específicas: grande poder gelificante, aplicação num amplo campo de pH, resistência ao tratamento térmico, grande histerese entre os pontos de fusão e gelificação, não alteração de sabores, geles reversíveis e estabilidade de gel (Iberagar, 2016).

Esse hidrocolóide é composto por uma mistura heterogênea de dois polissacarídeos: a agarose (fração neutra) e a agarpectina (com carga sulfatada) (Correia, 2016). A interação entre esses componentes confere ao produto final características como alto poder gelificante, elevada força de gel e alta transparência (Vinhas; Almeida; Lima, 2007).

A agarose, fração gelificante, é uma molécula linear neutra, essencialmente livre de sulfatos, formada de cadeias repetidas de unidades alternadas β -1,3 D-galactose e α -1,4-3,6-anidro-L-galactose (Food Ingredients Brasil, 2017; Correia, 2016; Hoffmann, 2018).

A agarpectina, fração não-gelificante, é um polissacarídeo sulfatado composto de agarose e porcentagens variadas de éster sulfato, ácido D-glucurônico e pequenas quantidades de ácido pirúvico (Holanda, 2022).

A agarose está presente em maior quantidade podendo representar até 70%, a qual é o composto gelificante do ágar e a agarpectina é um polissacarídeo sulfatado com baixo poder de gelificação (Santos, 2011). Sua propriedade de formar gel atóxico ocorre devido aos três átomos de hidrogênio em sua estrutura, que limitam a formação de uma hélice pela molécula (Raphael, 2010). A seguir, são representadas a estrutura química do ágar conforme a Figura 05 e a estrutura química da agarose Figura 06.

Figura 05. Estrutura química do ágar (agarose com agarpectina). Fonte: Agargel (2019).

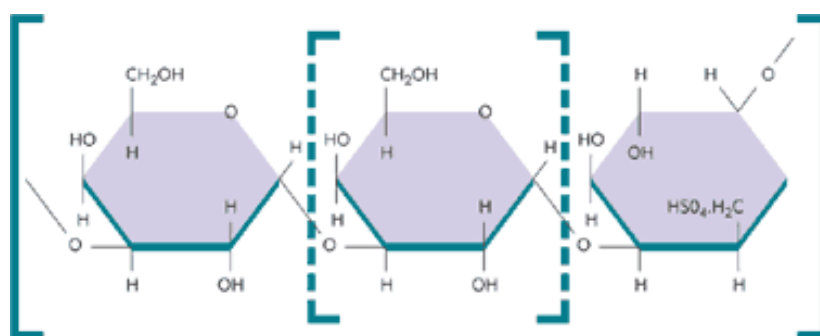
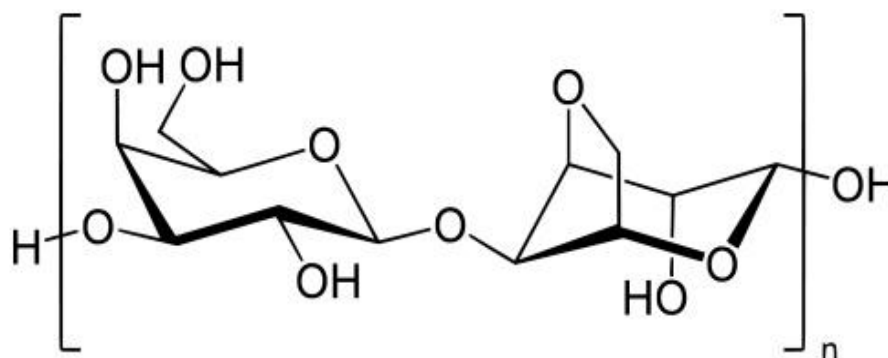


Figura 06. Estrutura química da agarose. Fonte: Science of Cooking (2020).



O ágar possui algumas características que fazem com que se torne gelificante, uma dessas características são: mantendo-se sólido até 40°C e resistente a 120°C, além disso, é fisiologicamente inerte, não tóxico para a maioria dos organismos e difícil de ser degradado por bactérias, o que o torna vantajoso em relação a outros gelificantes (Ferreira, 2015).

A força do gel do ágar é influenciada por diversos fatores, como a concentração, tempo de PT (tempo de pré tratamento), pH e conteúdo de açúcar, onde o pH afeta de forma significativa a força do gel do ágar sendo que, um decréscimo do pH diminui a força do gel (Ferreira, 2015). O conteúdo de açúcar também tem um efeito considerável sobre o gel de ágar, pois o seu aumento resulta num gel com maior dureza, porém com menor coesão (Jarro, 2010).

Na microbiologia, o ágar é um agente gelificante fundamental para a identificação dos microrganismos no meio de cultivo, além disso, pode ser encontrado em pó ou tiras secas, o ágar possui característica maleável, mesmo quando é exposto a altas temperaturas, permitindo seu uso laboratorialmente (Medeiros, 2023).

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). 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 18 hidrofílica (alta sensibilidade à água) e

natureza quebradiça, por isso, é importante o uso de reforços com outros polímeros (Shankar; Reddy; Rhim, 2015). Na literatura existem diferentes trabalhos que usam combinações com o ágar para outros fins, conforme a (Tabela 01).

Tabela 01. Filmes bioplásticos com combinações de ágar e outros polímeros. Adaptado: Medeiros (2023).

Filmes	Aplicação	Concentrações
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%.
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%.
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).
Gelatina de pele de peixe e ágar	Desenvolver filmes comestíveis bioativos de biopolímeros naturais.	Glicerol foi adicionado às soluções de gelatina ou ágar em diferentes níveis (0, 5, 10, 15, 20 e 25%).
Quitosana/ágar-ágar incorporado com Bacteriocina	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.	Quitosana: ágar: glicerol (0,5 g, 1 g, 0,3 g)

As algas marinhas se apresentam com uma grande variedade de aplicações, sendo o seu uso principal na alimentação humana (Ramos, 2022). Os principais hidrocolóides de interesse comercial são o ágar, a carragenana, sendo que ambos são encontrados em algas vermelhas, e o alginato, nas algas pardas (Bravin; Yoneshigue, 2002). Dentre os hidrocolóides, o ágar é um dos mais utilizados por ser um polímero com a característica de formar géis à temperatura ambiente, o que é extremamente importante para o processamento industrial (Porse, 2017).

O gênero *Gracilaria* é considerado o mais importante como fonte de matéria-prima para a produção de ágar, sendo responsável por mais de 80% de todo o ágar produzido mundialmente (Fernandes et al., 2017; Dyah et al., 2017; Meinita et al., 2018). Diante disso, o ágar extraído dessas espécies é o ficocolóide mais valioso do mercado mundial, compõe-se em duas diferentes substâncias, as quais são a agarose e a agarpectina (Ramos, 2022).

2.2.3.1.2. *Gracilaria domingensis* como fonte de matéria prima de embalagens naturais

A espécie *Gracilaria domingensis*, é uma macroalga vermelha que pertence à ordem Gracilariales, na qual se concentra as principais produtoras de ágar, sendo amplamente encontrada no litoral brasileiro (Bezerra, 2022). A Figura 07 representa a macroalga vermelha *Gracilaria domingensis*.

Figura 07. Macroalga vermelha (*Gracilaria domingensis*). Fonte: Fapesp (2022).



Agar é uma mistura complexa de polissacarídeos encontrada na matriz celular de algas vermelhas, composta por dois componentes principais, comumente conhecidos como agarose e agarpectina (De Mendonça, 2021). O processo de produção convencional do ágar inclui pré-tratamento, extração, filtração, concentração e desidratação (Hernandez-Carmona et al., 2013). No entanto o ágar produzido a partir de *Gracilaria spp.* forma um gel de baixa qualidade, comportamento esse associado ao alto teor de sulfato que atua como dobras na formação da hélice de ágar, dificultando assim a formação da rede de gel (Yarnpakdee et al., 2015).

Filmes poliméricos naturais de polissacarídeos e polipeptídeos foram desenvolvidos em diversas combinações com promissoras características físico-mecânicas (Otoni et al., 2017). No entanto existem alguns estudos que utilizam blendas ou reforço deste polímero para um resultado final com diferentes características, sejam essas químicas, físicas ou mecânicas (Contessa, 2021).

Jridi et al. (2019) utilizaram a união de gelatina e ágar-ágar, resultando assim em filmes mecanicamente mais resistentes. Phanwipa; Harnkarnsujarit (2020) obtiveram melhorias na solubilidade do filme, quando desenvolvido utilizando misturas de amido, ágar-ágar e maltodextrina. Arfat, Ahmed e Jacob (2017) utilizaram de nanopartículas de liga bimetálica (Ag-Cu) em filmes a base de ágar-ágar para aumentar a propriedade de barreira ao oxigênio.

3. MATERIAL E MÉTODOS

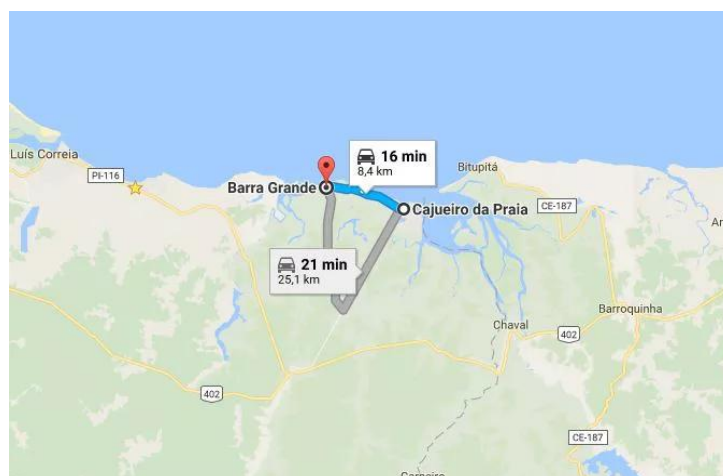
3.1. Coleta da amostra

Para a realização desse trabalho, foram realizadas coletas da alga vermelha *Gracilaria domingensis* (Figura 08) na praia da Barra Grande (Figura 09) localizada no município de Cajueiro da Praia, Piauí, no mês de setembro de 2024.

Figura 08. Alga vermelha (*Gracilaria domingensis*). Fonte: Próprio autor.



Figura 09. Localização da praia de Barra Grande no Cajueiro da Praia. Fonte: Google Maps (2024).



As coletas foram realizadas manualmente, utilizando-se tesouras e canivetes, no período de maré de sizígia de acordo com os dados presentes nas tábuas de marés publicadas pela Diretoria de Hidrografia e Navegação do Ministério da Marinha (DHN, 2024).

3.2. Análises físico-químicas da alga

3.2.1. Umidade, pH e resíduo seco

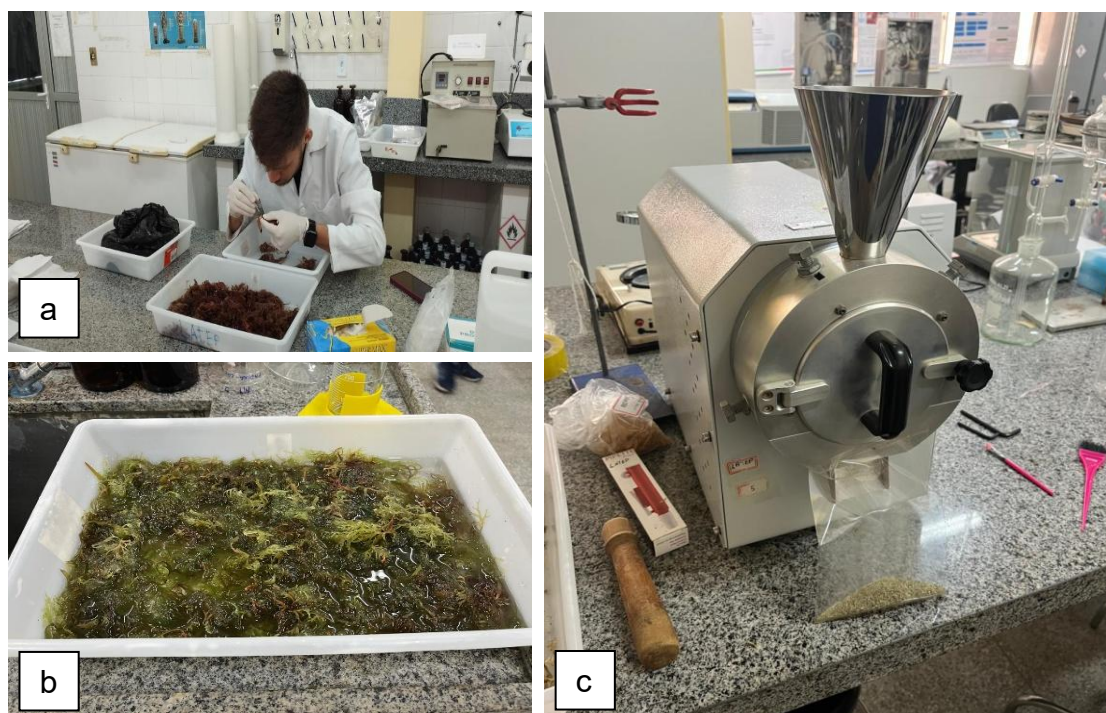
A determinação de umidade (estufa a 60°C), pH e resíduo seco foram efetuados conforme os padrões estipulados pelo Instituto Adolfo Lutz (1989). Todas as análises foram realizadas em triplicata.

3.3. Preparação das amostras e extração do ágar pelo método artesanal

Para o preparo das amostras foram seguidas as diretrizes ditadas por De Mendonça e Vasconcelos (2021). O branqueamento e secagem das algas foram realizadas conforme descrito por Vasconcelos (2014).

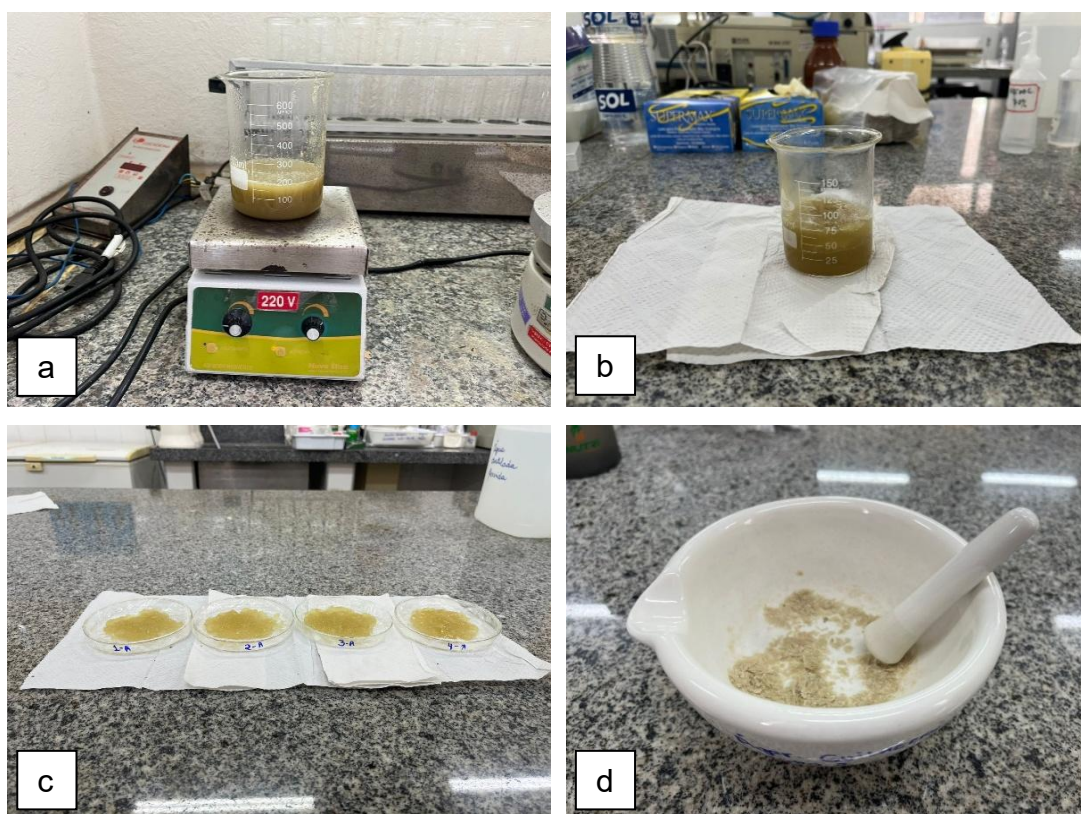
Após secagem as algas foram submetidas a moagem em moinho de bancada (10 Mesh) para obtenção da alga em pó a ser utilizado nas análises posteriores. O processo de preparação das amostras está indicado na Figura 10.

Figura 10. Processo de preparação das amostras para obtenção do pó: triagem (a); branqueamento das algas (b) e trituração das algas no moinho (c).



Para a extração do ágar pelo método artesanal, seguiu-se as diretrizes contidas em Vasconcelos (2014). O ágar úmido assim obtido foi encaminhado a uma estufa para secagem a 60°C. O ágar seco foi macerado para redução da granulometria e devidamente embalado para posterior uso. O processo de extração artesanal está apresentado na Figura 11.

Figura 11. Processo de extração artesanal do ágar: ágar sob agitação (a); ágar filtrado (b); ágar artesanal em placas de Petri com acetato (c); processo de maceração do ágar (d).

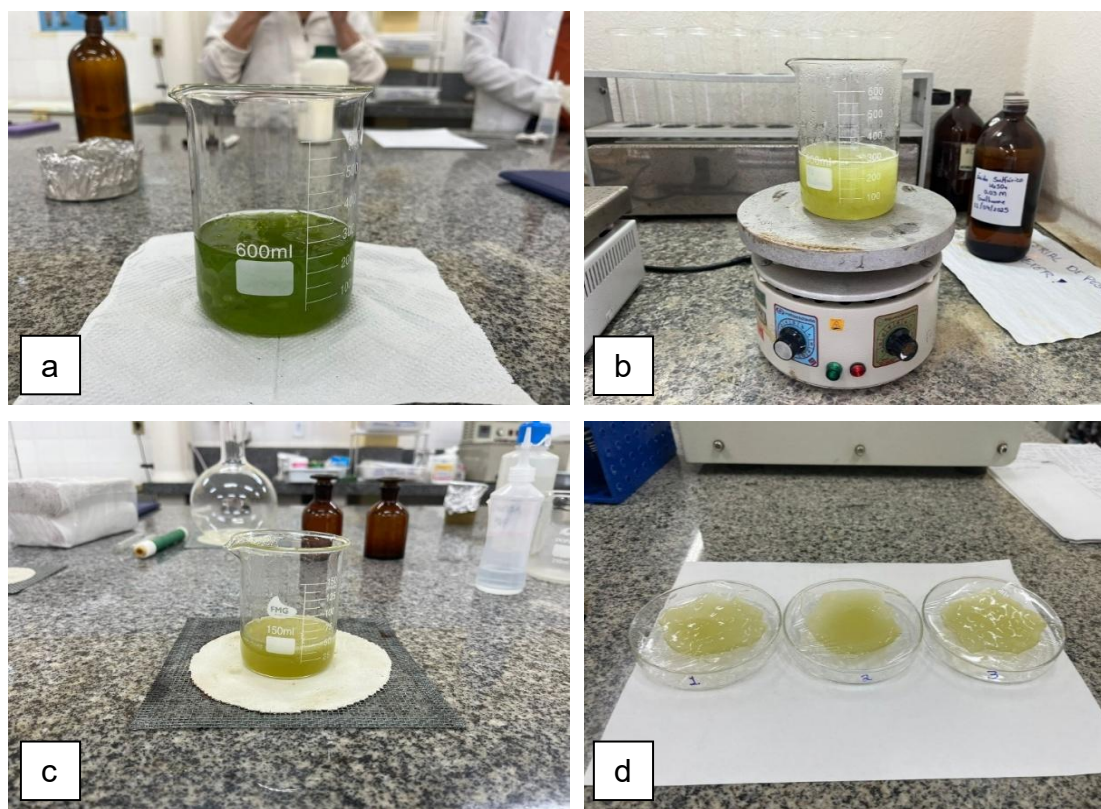


3.4. Preparação das amostras e extração do ágar pelo método químico

Para preparação das amostras pelo método químico seguiu-se a orientação de Ferreira (2015), com algumas modificações. Foram lavadas cerca de 25 g de alga úmida, mergulhadas em 250 mL de NaOH 6% (1:10) e mantidas neste sistema por três dias em repouso sob temperatura ambiente. Após esse tempo, as algas foram lavadas abundantemente até a neutralização em pH 7.0.

Após a neutralização procedeu-se a extração do ágar de acordo com Ferreira (2015). Procedeu-se a secagem e maceração do ágar conforme item 3.3. O processo de extração química está apresentado na Figura 12.

Figura 12. Processo de extração química: algas mergulhadas em 250 mL de NaOH à 6% (a); processo de extração sob agitação (b); ágar filtrado em um béquer de 250 mL; ágar químico em placas de Petri com acetato (d).



3.5. Elaboração de embalagem biodegradável

Para a elaboração dos filmes, foram utilizados os seguintes componentes: água destilada (89,37%), glicerina (1,33%), ácido acético 4% (1,33%), amido (fécula de mandioca) e ágar. Para o amido e ágar foram utilizados diferentes percentuais de concentrações, conforme a Tabela 02, os demais ingredientes foram fixados independentemente da metodologia de extração de ágar (artesanal e química).

Tabela 02. Diferentes concentrações dos componentes de amido e ágar na elaboração dos filmes.

Concentração (%)	Ingredientes	Peso (g)
5,00	Amido	0,13
5,00	Ágar	0,40
2,50	Amido	0,32
2,50	Ágar	0,20
1,25	Amido	0,42
1,25	Ágar	0,01

3.5.1. Avaliação reológica dos filmes elaboradas

3.5.1.1. Densidade

Para o teste de densidade o objetivo foi determinar a densidade das soluções preparadas a partir de diferentes concentrações, utilizando métodos artesanal, químico, amido (0%) e acetato como referências comparativas. Foi utilizado um volume padrão de 5 mL de cada solução, medindo-se o volume final após a adição de uma massa padrão (0,04 g). Para a determinação da densidade dos filmes, utilizou-se o cálculo pela seguinte fórmula:

$$d = m / V \quad \text{onde } V = (V_f - V_i).$$

Foram realizadas três repetições por concentração (1,25%, 2,5% e 5%) para ambos os métodos, além do filme de amido (0%) e acetato.

3.5.1.2. Espessura

Para a determinação da espessura, avaliou-se a espessura média dos filmes produzidos com diferentes concentrações, comparando os métodos artesanal, químico, amido (0%) e o acetato. As medidas foram feitas em três regiões dos filmes (lateral 1, meio e lateral 2), com o auxílio de um paquímetro digital (INSIZE), conforme a Figura 13.

Figura 13. Determinação de espessura dos filmes produzidos com ágar extraído da *G. domingensis*.



3.6. Propriedades físico-químicas dos filmes

3.6.1. Capacidade de retenção de água (WHC) e determinação do pH

A capacidade de retenção de água/ *Water-holding capacity* (WHC) dos diferentes filmes foi determinada pelo método de centrifugação descrito por Suzuki et al. (1996) com algumas modificações. Foram colocadas 100 mg das diferentes concentrações de filmes em tubos de centrífuga pré-pesados, foi adicionado 10 mL de água destilada (pH 7,56). Os tubos foram agitados em vórtex (BIOMIXER) por 5 minutos sob temperatura ambiente. Após esse tempo, os tubos foram encaminhados a uma centrífuga (3.000g) (EXCELSA II) para proceder-se a centrifugação por 10 min. O pH do sobrenadante das amostras foi avaliado em pHmetro de bancada (QUIMIS). Em seguida, a amostra foi deixada decantar, sendo desprezado o sobrenadante e, pesado os sólidos obtidos. Esta análise foi realizada em triplicada. A capacidade de retenção de água passou a ser calculada de acordo com Kandasamy et al. (2012), Equação [1]:

$$\text{WHC g H}_2\text{O g DW}^{-1} = \frac{W_2 - W_1}{W_0} \quad [1]$$

Onde W_0 é o peso da amostra do filme seca (g), W_1 é o peso do tubo mais a amostra do filme seca (g) e W_2 é o peso do tubo mais o sedimento (g).

3.6.2. Capacidade de retenção de óleo (OHC)

Para a determinação da capacidade de retenção de óleo, seguiu-se o protocolo citado por Yaich et al. (2011), com algumas modificações. Foram colocadas 0,20 g das diferentes concentrações dos filmes previamente secos e foram dispersos em 2.5 mL de óleo de girassol de grau alimentício em tubos de centrifuga. Foi efetuada a agitação dos tubos em um vórtex (BIOMIXER) e incubados em banho maria a 37°C por 1 h. Depois desse tempo, foram centrifugadas (EXCELSA II) a 3000g por 25 min. Esta análise foi realizada em duplicata. O OHC passou a ser expresso em gramas de óleo contidos em 1g de amostra (peso seco), conforme Yaich et al. (2011), considerando-se a densidade do óleo de girassol como sendo 0,92 g mL⁻¹ conforme a Equação [2]:

$$\text{OHC (g de óleo)} = \frac{F_2 - F_1}{F_0} \quad [2]$$

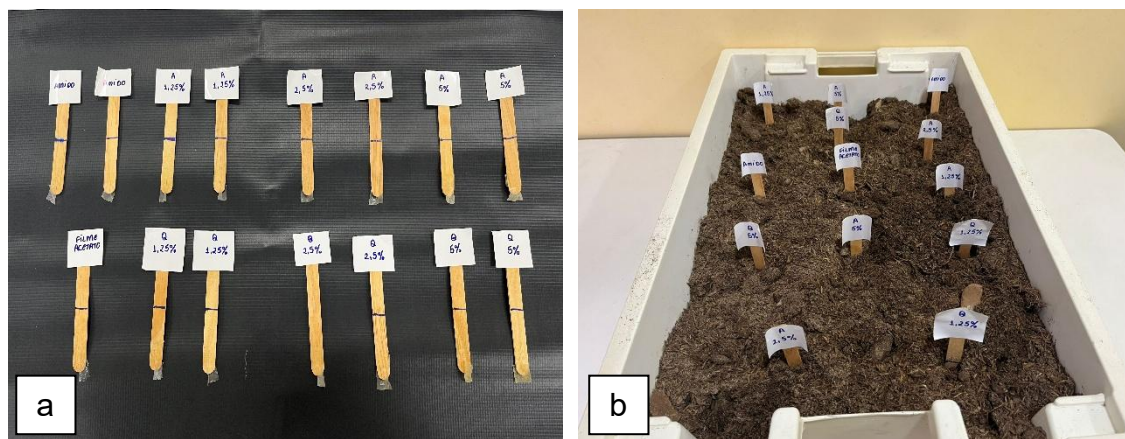
Onde F0 é o peso da amostra seca (g), F1 é o peso do tubo mais a amostra seca (g) e F2 é o peso do tubo mais o sedimento (g).

3.7. Biodegradabilidade

O teste de biodegradabilidade foi realizado com o objetivo de avaliar a degradação dos filmes produzidos com diferentes concentrações de ágar, utilizando dois métodos: artesanal (A) e químico (Q). As concentrações analisadas foram de 1,25%, 2,5% e 5%, além de um controle adicional com filmes de amido (0%) e filmes de acetato, servindo como referências comparativas. Cada amostra foi devidamente identificada com etiquetas contendo o tipo de filme (A ou Q) e sua respectiva concentração. Para garantir a uniformidade do teste, todas as amostras de filmes foram cortadas em tamanhos iguais e fixadas simultaneamente em um canteiro contendo solo previamente preparado para este fim.

As amostras foram realizadas em duplicata e fixadas ao solo, como observado na Figura 14.

Figura 14. Processo de degradação: amostras com diferentes concentrações (a); amostras enterradas em solo (b).



Para o teste de biodegradabilidade seguiu-se o esquema plotado no Quadro 01.

Quadro 01. Processo de acompanhamento dos filmes em solo e determinação das análises.

Discriminação	Dias									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
T0 (Início)										
T1										
T2										
T3										
TF (Final)										
Umidificação do solo										

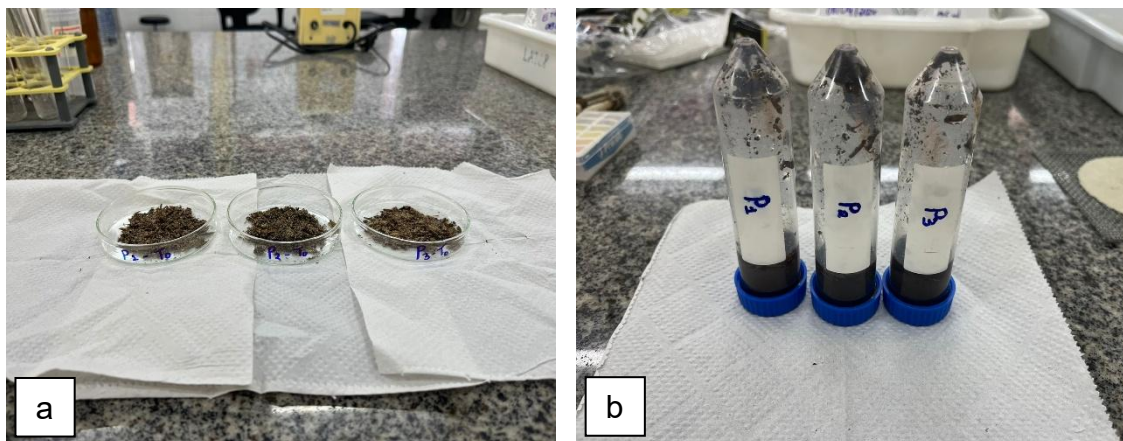
Notação: Para cada tratamento foram realizadas medições de umidade (U%), temperatura (T°C) e pH do solo.

3.7.1. Análise do solo

O teste de análise de solo foi realizado conforme especificado no Quadro 01, para determinar o comportamento dos parâmetros durante o processo

de degradação dos filmes. Foi realizada umidificação do solo. Tais parâmetros foram analisados em função da temperatura ($^{\circ}\text{C}$), pH (QUIMIS) e umidade (%) estufa a 105°C . As análises foram realizadas em triplicata conforme Figura 15.

Figura 15. Processo de determinação da temperatura, pH e umidade do solo: retirada das amostras em placas de Petri (a); análise dos parâmetros em tubos (b).



3.8. Avaliação estatística dos dados obtidos

Todos os dados foram expressos em termos de média \pm desvio padrão. ANOVA (one way) foi utilizada para estudo de comparação das médias. Para determinação das diferenças entre os tratamentos utilizados (extração artesanal e química e concentração de ágar nos filmes elaborados) foi usado o teste de comparação múltipla post-hoc Tukey-HSD. O coeficiente de correlação de Pearson (r) para testar a relação entre a metodologia de extração e os demais parâmetros analisados (reológicos e físico-químicos do filme e do solo) foi igualmente avaliado. Todos os testes utilizados foram realizados do programa PastStatistical versão 4.03 (Copyright Ø. Hammer 1999-2020).

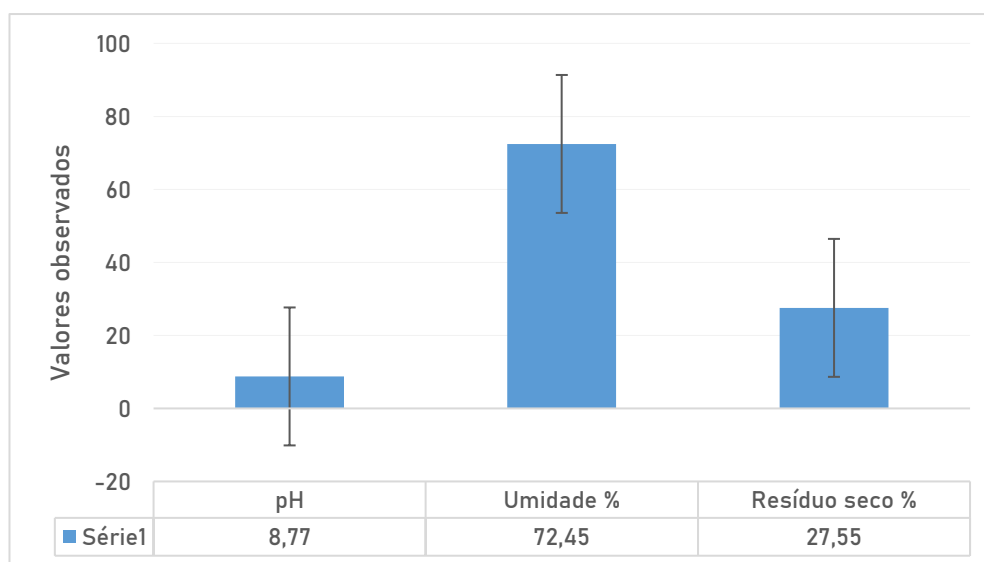
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análises físico-químicas da alga

4.1.1. Umidade, pH e resíduo seco

Os resultados da avaliação da composição físico-química da alga *Gracilaria domingensis* obtidos nesta pesquisa estão contidos na Figura 16.

Figura 16. Histograma representativo da composição físico-química de *Gracilaria domingensis*.



Notação: As barras acima do histograma representam o desvio padrão.

Ao analisar a Figura 16, evidencia-se que o percentual de umidade foi de aproximadamente 72,45% correspondendo o componente mais abundante da alga, seguido de um pH correspondente a 8,77 e resíduo seco de 27,55%.

O percentual de umidade neste estudo apresentou-se acima daquele reportado por Vasconcelos (2015) de 68% resguardando-se a diferença entre as espécies estudadas. Nesse sentido, Florêncio et al. (2012) estudando *G. caudata* obteve um percentual de 85,1%, Simões (2009) indicou valores entre 88,37 % (período seco) e 89,06 % (período chuvoso) pesquisando o crescimento e a qualidade de *G. birdiae* cultivada na praia de Pau Amarelo/PE.

Para o valor do pH (8,77) ficou evidenciada uma certa tendência alcalina para a alga estudada. Calado (2012) em pesquisa com *G. birdiae* e *G. domingensis* desidratadas encontrou valores de pH próximos à neutralidade (7,24 para *G. birdiae* e 7,18 para *G. domingensis*).

A composição centesimal de macroalgas difere entre si, inclusive dentro da mesma espécie. Isso ocorre porque o ambiente e as estações do ano influenciam nesses percentuais da composição centesimal (Marinho-Soriano et al., 2005; Benjama e Masniyom, 2011).

4.2. Extração e elaboração dos filmes de ágar

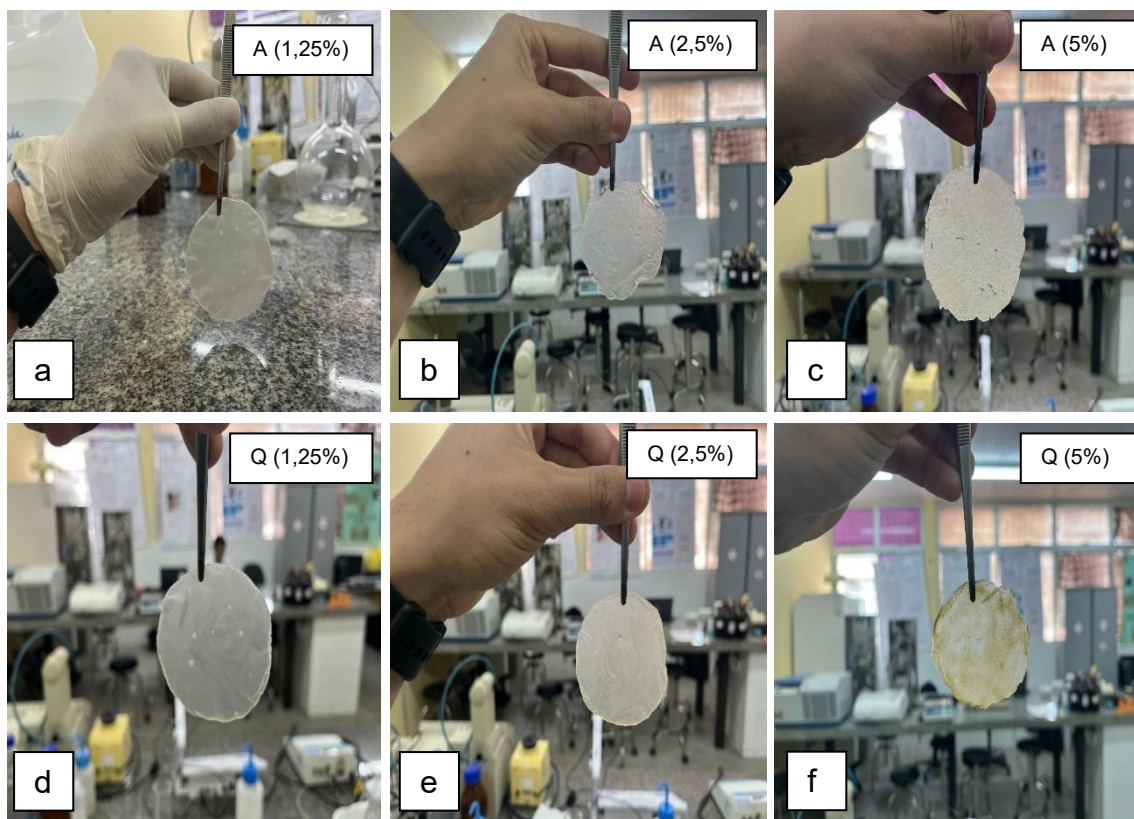
O rendimento obtido pela extração artesanal do ágar foi de 23% em função do peso seco da amostra, enquanto que, para a extração química foi utilizada a amostra úmida com um rendimento do processo de 5%.

De Mendonça e Vasconcelos (2021), reportaram valores, em peso seco, entre 45% e 89% para a extração aquosa e alcalina. Ferreira (2015) encontrou resultados entre 8% a 15% do ágar com tratamento alcalino a (NaOH à 6%), valores esses maiores em relação ao presente estudo. Souza (2008) estudando *G. vermiculophylla* obteve rendimentos de 13,3 a 17,5% para o ágar obtido a partir de tratamento aquoso e, para o alcalino de 28,1 a 33,1 e 24,3 a 31,7% respectivamente de 6 a 8% de NaOH.

A caracterização dos filmes elaborados pelos métodos artesanal (A) e químico (Q), com diferentes concentrações, revelou variações significativas em sua aparência, diretamente relacionadas às proporções dos componentes utilizados, como ágar e amido. Para observar as características visuais dos filmes das diferentes concentrações, foi realizado um registro fotográfico de cada um, conforme especificado na Figura 17.

Os filmes formulados na presente pesquisa analisados, informalmente, pelo aspecto de aparência, indicaram padrões diferentes variando de transparente às tonalidades mais amareladas. Independentemente do tipo de extração (artesanal ou química) os filmes contendo 1,25% (Fig. 17a e Fig.17d) e 2,5% (Fig. 17b e Fig.17e) apresentaram-se mais transparentes.

Figura 17. Aspecto visual dos filmes artesanais (A) e químicos (Q) com diferentes concentrações: filme artesanal de 1,25% (a); filme artesanal de 2,5% (b); filme artesanal de 5% (c); filme químico de 1,25% (d); filme químico de 2,5% (e); filme químico de 5% (f).



Filmes com concentração de 5% de ágar (Fig. 17c e Fig.17f) exibiram uma coloração amarelada, provavelmente relacionado a uma dissolução não uniforme do ágar. Contessa (2021) observou comportamento semelhante usando ágar e quitosana, indicando que a adição de extrato diminuiu a transparência do filme e a cor ficou levemente amarelada.

4.2.1. Avaliação reológica dos filmes elaboradas

4.2.1.1. Densidade e espessura

Os dados obtidos para densidade e espessura dos filmes produzidos a partir dos métodos artesanal (A) e químico (Q) em função de diferentes concentrações do ágar estão dispostos na Tabela 03. Ressalta-se que, utilizou-se um controle de acetato cujos valores de densidade, $0,17 \text{ g mL}^{-1}$ e espessura de

0,01 mm, foram previamente analisados para comparação com os demais tratamentos.

Tabela 03: Densidade e espessura dos filmes a base de ágar sob diferentes concentrações.

Concentração (%)	Densidade (g mL ⁻¹)		Espessura (mm)	
	A	Q	A	Q
5	1,10 ^a ± 0,19	0,20 ^b ± 0,01	0,16 ^a ± 0,01	0,17 ^a ± 0,01
2,5	0,18 ^{bc} ± 0,06	0,17 ^{ac} ± 0,03	0,14 ^b ± 0,03	0,12 ^b ± 0,01
1,25	0,17 ^{bc} ± 0,04	0,19 ^{ac} ± 0,08	0,06 ^c ± 0,01	0,11 ^c ± 0,01
0	0,26 ^{abc} ± 0,11	0,26 ^{abc} ± 0,11	0,11 ± 0,01	0,11 ^c ± 0,01

Notação: Letras diferentes em uma mesma coluna indicam diferença significativa para $p < 0,05$. Os dados estão expressos com média \pm desvio padrão. Métodos (A) artesanal e (Q) químico.

A análise dos dados de densidade dos filmes, apresentados na Tabela 03, evidencia diferenças significativas ($p < 0,05$) tanto em função da concentração de ágar quanto em relação ao método A ou Q. Observa-se que o método artesanal (A), principalmente na concentração de 5%, apresentou o maior valor de densidade, demonstrando que a maior quantidade de sólidos na formulação contribuiu para uma estrutura de filme mais compacta. Já nas concentrações mais baixas (2,5%, 1,25% e 0%), a densidade foi consideravelmente inferior, o que reflete a menor quantidade de material sólido na matriz do filme. Por outro lado, os filmes obtidos pelo método químico (Q) apresentaram uma diferença significativa, porém mais homogêneos entre as concentrações. Observou-se uma forte correlação positiva ($r = 0,96$, $p < 0,05$), entre os filmes elaborados com ágar na proporção de 2,5% e aqueles utilizados como controle (acetato). Comportamento semelhante foi observado entre os filmes de amido (0%) e os de 1,25% ($r = 0,70$, $p < 0,05$) e 5% ($r = 0,88$, $p < 0,05$). No entanto, esse último (5%) foi inversamente proporcional aos de 1,25% ($r = -0,57$, $p < 0,05$).

O método químico, por envolver etapas de purificação, pode ter gerado filmes com menor teor de impurezas e, conseqüentemente, menor compactação de massa por volume nas concentrações mais altas, como observado no valor relativamente baixo de densidade mesmo em 5% ($0,20 \pm 0,01$ g/mL).

De Sales et al. (2021) estudando filmes biodegradáveis de amido incorporados de extrato de própolis encontrou resultados diferentes da presente

pesquisa para densidade, no entanto apresentou melhor homogeneidade com o filme do método artesanal de (5%). Dias (2008) ao desenvolver filmes biodegradáveis de amido e de farinha de arroz, observou valores de densidade semelhantes em todas as formulações, o qual apresentou-se diferente deste estudo.

A espessura dos filmes depende tanto da composição do filme quanto dos parâmetros de processamento (Garcia et al., 2009). A análise da espessura dos filmes, apresentada na Tabela 03, demonstra que houve diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os tratamentos, dependendo tanto da concentração de ágar quanto do método de extração utilizado. Observa-se que os filmes com maior concentração de ágar 5% apresentaram as maiores espessuras, os de 2,5% os valores foram de 0,14 (A) e 0,12 mm (Q), para a concentração mais baixa de 1,25%, os filmes apresentaram as menores espessuras, com 0,06 mm (A) e 0,11 mm (Q). Foi observada uma correlação positiva perfeita ($r=1$, $p < 0,05$) entre o controle de acetato e todas as demais concentrações (0; 1,25; 2,5 e 5,0). Afora isso, a concentração de 5% correlacionou-se positivamente com a de 2,5% ($r=0,88$, $p < 0,05$). O incremento na concentração de ágar eleva a quantidade de sólidos presentes na solução, o que favorece a formação de filmes com maior espessura. Um estudo aprofundado sobre a capacidade de formação e força do gel e, seu poder de extensibilidade e termorresistência, seriam importantes para melhor avaliar os resultados obtidos na presente pesquisa.

Resultados semelhantes foram encontrados por Pretto (2023) com valores de espessura entre $119 \pm 5 \mu\text{m}$ a $125 \pm 7 \mu\text{m}$ utilizando filmes com concentrações de 0%, 5%, 10% e 15% de ágar, glicerol e glutaraldeído e observou um aumento da espessura em função do aumento de concentração. Arham et al. (2016) obteve espessuras de $31,2 \pm 0,7 \mu\text{m}$ a $69,6 \pm 2,3 \mu\text{m}$ com concentrações de 1%, 2% e 3% de ágar e 5%, 10% e 15% de glicerol. Souza (2023) obteve espessura de $0,07 \pm 0,01 \text{ mm}$ estudando filmes a base de ágar.

4.3. Propriedades físico-químicas dos filmes

Os dados referentes às propriedades físico-químicas dos filmes avaliadas neste estudo encontram-se na Tabela 04. Vale ressaltar que, utilizou-

se um controle de acetato cujos valores de WHC 5,56 g H₂O g DW⁻¹ e OHC, 6,34 g óleo g DW⁻¹ foram previamente analisados para comparação com os demais tratamentos.

Tabela 04: Avaliação das propriedades físico-químicas dos filmes elaborados em relação aos diferentes métodos e concentrações de ágar aplicados.

Concentração (%)	Parâmetros físico-químicos					
	pH		WHC (g H ₂ O g DW ⁻¹)		OHC (g óleo g DW ⁻¹)	
	A	Q	A	Q	A	Q
5	9,66 ^a ±0,40	9,80 ^a ±0,30	15,99 ^a ±0,48	14,09 ^a ±0,17	1,38 ^a ±0,10	1,40 ^a ±0,20
2,5	9,60 ^a ±0,27	10,40 ^a ±0,36	9,07 ^b ±0,63	13,37 ^b ±0,72	1,37 ^a ±0,13	1,30 ^a ±0,13
1,25	9,53 ^a ±0,23	10,83 ^a ±0,25	8,96 ^c ±0,32	7,07 ^c ±0,66	1,20 ^a ±0,19	1,10 ^a ±0,19
0	7,30 ^b ±0,44	7,30 ^b ±0,44	4,49 ^d ±1,93	4,49 ^d ±1,93	1,72 ^a ±0,24	1,72 ^a ±0,24

Notação: Os dados estão expressos como média ± desvio padrão. WHC indica a capacidade de retenção de água; OHC capacidade de retenção de óleo; DW peso seco; Métodos (A) artesanal e (Q) químico. Letras diferentes em uma mesma coluna indicam diferença significativa para p<0,05.

As propriedades físico-químicas foram significativamente influenciadas (p<0,05) pelo método de extração e pelo percentual de ágar para a elaboração dos filmes.

Conforme a Tabela 04, o pH não variou em amostras contendo ágar, no entanto, apesar desse comportamento, informam De Oliveira et al. (2020) que o valor do pH pode ser alterado dependendo do polímero e plastificante utilizados, assim como das concentrações de cada componente e metodologia empregada. Em função disso, pode se observar que o pH na amostra úmida de *G. domingensis* foi de 8,77, valor esse abaixo dos valores reportados na Tabela 04 independentemente do método de extração aplicado. A exceção encontrada foi relativa as amostras sem conter o ágar (7,30 ± 0,44). Resultado esse que colabora com as informações dos autores acima referidos, indicando que na presente pesquisa a variação do pH foi alterada por depender da concentração do ágar.

A capacidade de retenção de água/WHC dos filmes variou de forma significativa (p<0,05) em função das diferentes concentrações aplicadas, sendo maior nos filmes contendo 5% de ágar independentemente do método de extração utilizado (15,99 g H₂O g DW⁻¹ e 14,09 g H₂O g DW⁻¹, respectivamente para o método químico e artesanal). A redução da concentração do ágar na elaboração dos filmes, em ambos os métodos, diminuiu significativamente (p<0,05) os valores

de WHC. Esses resultados demonstram que a concentração de ágar tem influência direta na capacidade de retenção de água. Em relação a isso, observou-se uma correlação positiva entre os filmes de 0% e aqueles de 1,25% ($r=0,98$, $p<0,05$), 2,5% ($r=0,85$, $p<0,05$) e 5% ($r=0,64$, $p<0,05$). Entretanto o filme controle (acetato), também apresentou correlação com os filmes de 1,25% ($r=0,86$, $p<0,05$). No entanto, uma correlação negativa foi indicada entre os filmes de 1,25% e os de 2,5% ($r=-0,86$, $p<0,05$). Este último (2,5%) apresentou igualmente a mesma proporcionalidade inversa em relação ao de 5% ($r=-0,95$, $p<0,05$).

Marques (2019) estudando filmes comestíveis com base em algas marinhas para salmão congelado obteve resultados de 49,04 a 56,24 para valores de WHC. Gonçalves (2023) ao desenvolver filmes com quitosana extraída de casca de camarão, quitosana comercial e glicerol obteve resultados que variaram de 0 a 1,3738 de WHC, resultados esses menores dos indicados nesta pesquisa.

De acordo com as observações de Gómez-Guillén et al. (2011), um filme com WHC muito alta pode apresentar danos durante sua aplicação como embalagem de alimentos, pois tenderá a se dissolver quando em contato com alimentos que possuem alto teor de umidade em sua estrutura.

Quanto a capacidade de retenção de óleo/OHC não foi observada diferenças significativas no tocante às concentrações (0%, 1,25%, 2,5% e 5%) nem mesmo quanto ao método de extração aplicado para obtenção do ágar. Os valores de OHC ficaram entre 1,10 a 1,72g óleo g^{-1} DW. Jesus (2021) estudando filmes a base de carragenana com diferentes concentrações obteve valores para permeabilidade ao óleo variando de 2,081 a 4,662 $g.mm.m^{-2}.d^{-1}$. valores superiores comparados a este estudo. Como o esperado, a capacidade de retenção de óleo (OHC), indicou relação inversa ($r=-1$, $p<0,05$), entre os filmes de 0% (amido) e o controle de acetato. Comportamento semelhante foi também indicado entre os filmes de 1,25% e aqueles de 2,5% ($r=-0,72$, $p<0,05$). Afora uma tendência de proporcionalidade negativa, os filmes de amido (0%) apresentaram correlação positiva com as demais concentrações aplicadas nesta pesquisa (com os de 2,5% $r=0,99$, 1,25% $r=0,71$; e 5% $r=0,70$, $p<0,05$).

OHC é outra propriedade funcional de ingredientes alimentícios utilizados em alimentos formulados. Ingredientes com altos valores de OHC permitem a estabilização de emulsões alimentícias e produtos alimentícios ricos em gordura (Benjama; Masniyom, 2011).

De um modo geral, indicam Cofrades et al. (2008) que, baixas propriedades de ligação com água e gordura estão associadas a menor capacidade de solubilização das proteínas presentes no composto, o que induz à formação de géis menos termoresistentes. O acompanhamento da resistência térmica, dos filmes elaborados nesta pesquisa, não foi investigado, no entanto, tais dados seriam de grande valia para viabilizá-los na indústria de embalagem de alimentos.

4.4. Análise do solo e biodegradabilidade

Os resultados das análises físico-químicas do solo em relação os diferentes tratamentos nesta pesquisa encontram-se na Tabela 05.

Tabela 05: Parâmetros físico-químicos do solo sob diferentes tempos de tratamentos.

Parâmetros	Tempos de tratamentos				
	T0	T1	T2	T3	TF
pH	7,77 ^{abc} ±0,65	8,23 ^a ±0,38	7,93 ^{abc} ±0,15	7,27 ^{bc} ±0,15	7,07 ^{bc} ±0,15
Temperatura (°C)	22,83 ^c ±0,31	23,33 ^c ±0,06	24,94 ^b ±0,15	26,07 ^a ±0,15	24,70 ^b ±0,26
Umidade (%)	21,55 ^{ab} ±2,43	24,72 ^a ±2,89	22,36 ^{ab} ±0,67	20,89 ^{ab} ±1,30	18,18 ^b ±1,73

Notação: Letras diferentes em uma mesma linha indicam diferença significativa para $p < 0,05$. Os dados estão expressos com média \pm desvio padrão.

Na análise do pH do solo, observou-se diferença significativa entre alguns tratamentos ($p < 0,05$). O tratamento T1 apresentou o maior valor de pH (8,23), sendo superior ao T3 (7,27) e ao TF (7,07). Essa diferença indica que o solo sob o tratamento T1 apresentou uma condição mais alcalina em comparação aos demais, especialmente em relação aos tratamentos T3 e TF, que apresentaram os menores valores de pH. Machado (2018) estudando biodegradação de filmes de amido em solo húmus encontrou valores de pH em torno de 7,24.

Ao avaliar a temperatura do solo, foi possível identificar uma diferença significativa ($p < 0,05$) entre os tratamentos. O tempo T3 apresentou a maior temperatura média (26,07 °C), sendo estatisticamente superior aos demais tratamentos (T0 de 22,83 °C, T1 de 23,33 °C e T2 de 24,94 °C). Esse comportamento pode estar relacionado a variações na atividade microbiana

provocando maior liberação de calor. Acerca disso, Brito (2006) informa que a produção de calor depende da velocidade a que a decomposição se processa, ou seja, da velocidade a que os microrganismos crescem e atuam.

Foram constatadas diferenças significativas ($p < 0,05$) entre os tratamentos na variável umidade do solo. O tratamento T1 apresentou a maior média de umidade (24,72%), sendo significativamente superior ao tratamento TF (18,18%). Os demais tratamentos (T0, T2 e T3) apresentaram valores intermediários, não mostrando diferença significativa em relação ao T1 e ao TF. Resultados semelhantes para umidade do solo foram encontrados por Souza (2023), quando estudou biodegradação de filmes em solo e em água doce de membranas de diferentes bases biopoliméricas, com valor de umidade de 25,03%. Machado (2018) identificou comportamento semelhante em experimentos com a embalagem Cbpak (embalagens biodegradáveis de fécula de mandioca), que apresentou umidade do solo de 13% já no 5º dia de ensaio, valor próximo ao registrado no tratamento TF (18,18%).

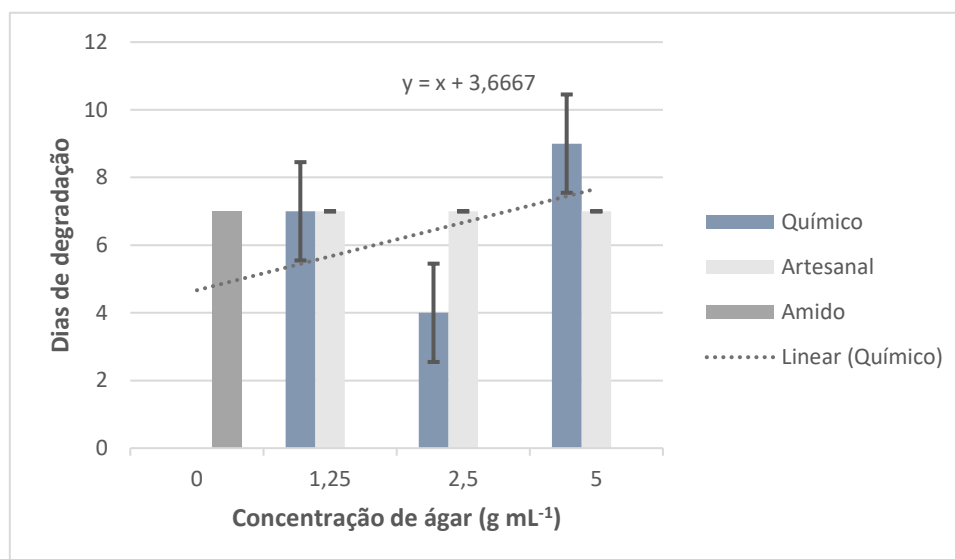
As variações de umidade (%), pH e temperatura (°C) observadas nos diferentes tratamentos aplicados nesta pesquisa podem influenciar diretamente na atividade microbiana do solo, que está fortemente relacionada à degradação dos materiais. Segundo Galli (1964), a população microbiana é flutuante, e depende de diversos fatores do ambiente, como temperatura, umidade, pH, composição e idade da matéria orgânica, entre outros. Isso explica, em parte, os comportamentos diferenciados entre os tratamentos, já que tais condições interferem diretamente na velocidade e intensidade do processo de biodegradação.

Conforme a Figura 18, os resultados indicaram que o tempo de degradação dos filmes foi influenciado tanto pela concentração de ágar quanto pelo método de extração (químico ou artesanal). Os filmes obtidos com ágar extraído de forma artesanal apresentaram uniformidade de degradação independentemente das concentrações de ágar (1,25%, 2,5% e 5%), sendo os mesmos degradados em 7 dias. Enquanto que os filmes elaborados com ágar extraído pelo método químico reportaram maior variação (em 2,5% de ágar 4 dias, em 1,25% 7 dias e, em 5% 9 dias).

De um modo geral, para a degradação dos filmes elaborados nesta pesquisa foram necessários, no máximo, 9 dias, comportamento esse indicativo de alta biodegradabilidade. Marques (2019) obteve para filmes de alginato com

Sargassum muticum e *Grateloupia turutu* uma degradação completa em 10 dias. Jaramillo et al. (2017) estudando filmes de amido de mandioca adicionados de extrato de erva mate reportaram resultados de degradação em 12 dias. Tais resultados estiveram acima do tempo observado na presente pesquisa.

Figura 18. Degradação dos filmes de diferentes métodos em função da quantidade de dias.



Notação: Barras acima do histograma representam o erro padrão, n=2.

A temperatura do sistema foi o principal fator de influência positiva na degradação dos filmes obtidos por extração artesanal, independentemente da concentração de ágar ($r=0,72$, $p<0,05$), seguida pela umidade do solo, que também apresentou correlação significativa ($r=0,66$, $p<0,05$). Para os filmes obtidos por extração química, apenas a formulação com 1,25% de ágar apresentou comportamento semelhante. Por outro lado, pH ($r=-0,57$, $p<0,05$) e umidade do solo ($r=-0,63$, $p<0,05$) correlacionaram-se negativamente com a degradação do filme contendo 5% de ágar.

Para os filmes com 2,5% de ágar extraído quimicamente, observou-se comportamento oposto, com correlações positivas tanto para o pH ($r=0,56$, $p<0,05$) quanto para a umidade ($r=0,60$, $p<0,05$). Enquanto que, os filmes compostos exclusivamente por amido apresentaram correlação perfeita com todas as formulações contendo ágar artesanal ($r=1$, $p<0,05$) e, no caso da extração química, apenas com a formulação de 1,25% de ágar. O que possivelmente pode significar que o teor de amido contido nesses filmes foi um

fator importante para a biodegradação dos filmes, especialmente extraídos artesanalmente ou sob baixo teor de ágar extraído quimicamente, aliados à temperatura e umidade do solo. Fatores como conhecimento da comunidade microbiológica do solo e seus processos não foram objeto de investigação do presente estudo, porém seriam de expressivo interesse para consolidação dos resultados.

5. CONCLUSÃO

Conforme os resultados obtidos nesta pesquisa, pode-se concluir que a concentração de ágar nos filmes elaborados foi fator determinante para determinar as características reológicas estudadas (densidade e espessura). Nesse sentido, os filmes contendo 1,25% de ágar apresentaram os resultados mais favoráveis sob os aspectos visuais (transparência e coloração), reológicos e físico-químicos, sob metodologias de extrações artesanal e química. Os padrões estiveram próximos aos exibidos pelo filme de acetato comercialmente utilizado na indústria de alimentos, sendo, portanto, essa concentração mais promissora, dentro dos padrões estipulados nesta pesquisa, para a elaboração de embalagens alimentícias.

Independentemente do método de extração (artesanal ou química) e de concentração de ágar (1,25; 2,5 ou 5,0) os filmes exibiram alta biodegradabilidade, com um limite máximo de degradação em 9 dias, comportamento esse atrelado fortemente à concentração de amido em sua elaboração. Esses dados reforçam uso potencial desses filmes como alternativa viável e sustentável ao fabrico de embalagens naturais.

Entretanto, para melhor aprofundamento de tais resultados, sugere-se que novas pesquisas sejam direcionadas, em especial, às análises de força e capacidade formadora de gel, extensibilidade e resistência térmica, além de ensaios sobre os padrões microbiológicos do solo.

REFERÊNCIAS

ABEJÓN, R.; LASO, J.; MARGALLO, M.; ALDACO, R.; BLANCA-ALCUBILLA, G.; BALA, A.; PALMER, P. F. Environmental impact assessment of the implementation of a Deposit-Refund System for packaging waste in Spain: A solution or an additional problem? **Science of the Total Environment**, v.721, n.137744, 2020. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137744>.

ABIEF. Associação Brasileira da Indústria de Embalagens Plásticas Flexíveis. **Pesquisa trimestral**. Maxquim. 2022.

ABRE. Associação Brasileira de Embalagens. **Embalagens**. São Paulo: ABRE, 2018.

ADMIN. **Combate ao desperdício de alimentos: como o plástico pode ajudar? - Neuplast**. 2019. Disponível em: <https://www.neuplast.com.br/blog/combate-ao-desperdicio-de-alimentos-como-o-plastico-pode-ajudar/>.

AGARGEL. **Agar-Agar | AgarGel**. 2019. Disponível em: <https://agargel.com.br/en/agar-agar/>.

ARHAM, R. et al. Physical and mechanical properties of agar based edible film with glycerol plasticizer. **International Food Research Journal**, v. 23, n. 4, 2016.

ARFAT, Y. A.; AHMED J.; JACOB H. Preparation and characterization of agarbased nanocomposite films reinforced with bimetallic (Ag-Cu) alloy nanoparticles. **Carbohydrate Polymers**, v. 155, p. 382-390, 2017. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.08.097>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0144861716310499>. Acesso em: 27 set. 2024.

ARMISEN, R. World-wide use and importance of Gracilaria. **Journal of applied phycology**, [s. l.], v. 7, n. 3, p. 231, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMBALAGEM (ABRE). **Embalagem sustentável**. São Paulo. a. Disponível em: <http://www.abre.org.br/comitesdetrabalho/meioambiente-e-sustentabilidade/embalagem-sustentavel/>. Acesso: em 16 set. 2016.

AVELHAN, A. D. S. et al. PROTEIN UP, um estudo de Design de Embalagens para alimentos proteicos ultracongelados. **Revista Científica Theobaldo De Nigris**, v. 3, n. 3, 2023.

BARÃO, M. Z. **Embalagens para produtos alimentícios**: Dossiê Técnico. Curitiba: Instituto de Tecnologia do Paraná - TECPAR, 2011.

BARROS, M. **O que são alimentos perecíveis e não perecíveis**. Blog tudo gostoso, 16 de abr. de 2019. Disponível em: <https://blog.tudogostoso.com.br/materia/alimentos-pereciveis-e-nao-pereciveis/>. Acesso em: 10 set. 2024.

BENJAMA, O., & MASNIYOM, P. (2011) Nutritional composition and physicochemical properties of two green seaweeds (*Ulva pertusa* and *U.*

intestinalis) from the Pattani Bay in Southern Thailand. **Songklanakarin J. Sci. Technol.**, Songkla, n., p.575-583, out.

BEZERRA, J. N. S. **Avaliação do desempenho da macroalga *Gracilaria domingensis* sob diferentes fontes de nutrientes dentro de um contexto nutricional**. 2022. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

BOSCO, T. C. D. **Compostagem e vermicompostagem de resíduos sólidos: resultados de pesquisas acadêmicas**. São Paulo: Blucher, p. 266, 2017. Disponível em: https://www.blucher.com.br/compostagem-e-vermicompostagem-de-residuos-solidos_9788580392371. Acesso em: 16 set. 2024.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Impacto das embalagens no meio ambiente**. Brasília: MMA, 2018.

BRAVIN, I.C. & YONESHIGUE-VALENTIN, Y. **The influence of environment factors on in vitro growth of *Hypnea musciformis* (Wulfen) Lamouroux (Rhodophyta)**. Rev. Bras. Bot., v.25, p.469-474, 2002.

BRITO, L. M. Compostagem para a agricultura biológica. **Manual de Agricultura Biológica-Terras de Bouro. Escola Superior Agrária de Ponte de Lima. /IPVC**, p. 1-21, 2006.

CALADO, C. M. B.; PIRES, V. C. FRANÇA; PACHECO, A. Algas comestíveis: comparação nutricional entre espécies de *Gracilaria* (*G. córnea* e *G. domingensis*) de ocorrências no litoral nordestino. **Ciência e Tecnologia UEPB**, v. 1, p. 54-62, 2012.

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

CARVALHO, J. S.; OLIVEIRA, J. S. C.; DE SÃO JOSÉ, J. F. B. Reflexões sobre embalagens de alimentos e sustentabilidade. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v. 12, n. 3, p. 586-597, 2021.

CAZON, P., VELAZQUEZ, G., RAMÍREZ, J., VAZQUEZ, M. Polysaccharide-based films and coatings for food packaging: A review. **Food Hydrocolloids**, 68, p. 136–148, 2017.

CHAVAN, P.; LATA, K.; KAUR, T.; JAMBRAK, A. R.; SHARMA, S.; ROY, S.; SINHMAR, A.; THORY, R.; SINGH, G. P.; AAYUSH, K.; ROUT, A. Recent advances in the preservation of postharvest fruits using edible films and coatings: A comprehensive review. **Food Chemistry**, v. 418, p. 135916, 2023. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814623005332>. Acesso em: 31 ago. 2024.

COFRADES, S. et al. (2008). Influence of different types and proportions of added edible seaweeds on characteristics of low-salt gel/emulsion meat systems. **Meat Sci** 79(4):767-776.

COMPRE RURAL CONTEÚDO. **Filme biodegradável para embalar alimentos usa gelatina — CompreRural**. 2022. Disponível em: <https://www.comprerural.com/filme-biodegradavel-para-embalar-alimentos-usa-gelatina/>.

CONTESSA, C. R. **Bioplástico de Quitosana/ágar-ágar incorporado com bacteriocina para aplicação como embalagem ativa**. 2021.

CORREIA, M. F. **Produção e caracterização físico-química de filmes a base de colágeno bovino, ágar-ágar e agarose**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

DANTAS, R. H. A. **Influência das Embalagens na Vida de Prateleira dos Alimentos**. 2023.

DAPPER, T. B. et al. Potencialidades das macroalgas marinhas na agricultura: revisão. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 7, n. 2, 2014.

DE FARIAS, S. S. et al. Biopolímeros: uma alternativa para promoção do desenvolvimento sustentável. **Revista Geonorte**, v. 7, n. 26, p. 61-77, 2016.

DE FREITAS, P. M. C. T. et al. **Migração dos compostos de embalagens em alimentos destinados aos bebês**: uma revisão da literatura. 2022.

DE LUCENA, L. B.; AZEVEDO, D. J. Estudo das Embalagens Primárias Alumínio/Pvc/Pvdc em medicamentos sólidos no Brasil. **Faculdade Metropolitana de Anápolis–FAMA**, 2018.

DE MENDONÇA, A. J. C.; VASCONCELOS, M. M. M. Caracterização estrutural do ágar de *Gracilaria birdiae* G. Domingensis e *G. Intermedia* extraído com uso de ingredientes naturais. In: **Engenharia de Pesca: Aspectos Teóricos e Práticos-Volume 2**. Editora Científica Digital, 2021. p. 46-59.

DE OLIVEIRA, J. S. et al. Influência do pH e da adição de carboximetilcelulose sobre a fabricação e propriedades de filmes a base de proteína de soja. **Ciência e Tecnologia dos Alimentos Volume 9**, p. 36. 2020

DE SALES, P. F. et al. Caracterização e aplicação de filmes biodegradáveis de amido de incorporados de extrato de própolis-verde. **ForScience**, v. 9, n. 2, p. e00958-e00958, 2021.

DE SOUSA, A. M. M. **Aplicação de biopolímeros extraídos de algas na produção de embalagens biodegradáveis**. 2008. Dissertação de Mestrado. Universidade do Porto (Portugal).

DIAS, A. B. et al. **Desenvolvimento e caracterização de filmes biodegradáveis obtidos de amido e de farinha de arroz**. 2008.

DILUCIA, F.; LACIVITA, V.; CONTE A.; DEL NOBILE, M. A. Sustainable Use of Fruit and Vegetable By-Products to Enhance Food Packaging Performance. **Foods**, v.9, n.857, 2020. DOI: <http://doi.org/10.3390/foods9070857>.

DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO – DHN. **Previsões de Marés (máximas e mínimas diárias)**. Centro de Hidrografia da Marinha (CHM). Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO). Disponível em: <http://www.mar.mil.br/dhn/chm/tabuas/index.htm>. Acesso em: 20 set. 2024.

DOS SANTOS, B. et al. Caracterizações de filmes sustentáveis para uso como embalagens primárias a base de polímero natural e óleo essencial de erva-doce. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 3, p. e16712340249-e16712340249, 2023.

DOS SANTOS CONSTANTINO, P. et al. Avaliação da biodegradabilidade de filmes à base de amidos de fontes de matérias-primas não tradicionais. **Meio Ambiente (Brasil)**, v. 5, n. 4, 2023.

DYAH, M. et al. Enzymatic saccharification of agar waste from *Gracilaria verrucosa* and *Gelidium latifolium* for bioethanol production. **Journal of Applied Phycology**, p. 3201– 3209, 2017.

EMBALAGEM IDEAL. **embalagens para alimentos - Embalagem Ideal**. 2018. Disponível em: <https://www.sacosziplock.com.br/embalagens-para-alimentos>.

EMBRAPA, 2017 - **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/>.

FALGUERA, V., QUINTERO, J. P., JIMÉNEZ, A., MUÑOZ, J. A., IBARZ, A. Edible films and coatings: Structures, active functions and trends in their use. **Trends in Food Science & Technology**, 22, p. 292–303, 2011.

FERNANDES, F. et al. Effect of fertilization pulses on the production of *Gracilaria birdiae* seedlings under laboratory and field conditions. **Journal of Applied Phycology**, v. 29, n. 2, p. 695–705, 2017.

FERREIRA, B. M. R. et al. Produção de filmes biodegradáveis a partir de resíduos de frutas e vegetais: uma revisão atualizada. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 5, p. e54311528544-e54311528544, 2022.

FERREIRA, D.; SILVA, P.; MADEIRA, T. F. Embalagens verdes: conceitos, materiais e aplicações. **Revista Americana de Empreendedorismo e Inovação**, v. 1, n. 2, 2019.

FERREIRA, D. M. O. **Extração de agar de algas vermelhas do gênero *Gracilaria***. 2015. Tese de Doutorado.

FILIPINI, G. S. **Desenvolvimento de embalagens biodegradáveis ativas a partir de polímeros e extrato natural de jambolão**. 2019. Dissertação de Mestrado.

FLORÊNCIO, I. M. et al. Estudo da extração de ágar da macroalga *Gracilaria caudata* J. Agardh para utilização em fins alimentícios. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 7, n. 2, p. 10, 2012.

FLÓREZ, M. et al. Chitosan for food packaging: Recent advances in active and intelligent films. **Food Hydrocolloids**, v. 124, 107328, 2022.

FOOD INGREDIENTS BRASIL. **Gelificante natural com múltiplas aplicações**. revista-fi.com.br. L N° 41 – 2017.

FRIEDRICHSEN, J. S. A. et al. O uso de amido como proposta para embalagens biodegradáveis—Uma revisão. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 14, p. e282111436449-e282111436449, 2022.

GALLI, F. **Micro-organismos do solo**. In: Seção de Fitopatologia e Microbiologia, Escola Superior Agricultura Luiz <http://www.scielo.br/pdf/aesalq/v21/21.pdf> de Queiroz, 1964. In: <http://www.scielo.br/pdf/aesalq/v21/21.pdf>.

GARCIA, M.A et al. 2009. Characterization of starch and composite edible films and coatings. In Embuscado, M.E. and Huber, K.C. (Eds.), **Edible Films and Coatings for Food Applications**, p. 169-210. New York: Springer.

GAVA, A. J; FRIAS, J. R.G; SILVA, C.A.B. **Tecnologia de alimentos: princípios e aplicações**. São Paulo: Nobel, 2008.

GAVA, A. J. **Tecnologia de alimentos**. NBL Editora, 2017. p. 25.

GOMES, B. **Utilização De Materiais De Embalagem Na Indústria Farmacêutica: Estudo Exploratório Do Uso De Vidro Ou PET Em Frascos De Xarope**. XXVI EGENEP, 2006.

GÓMEZ-GUILLÉN, M. C. et al. Functional and bioactive properties of collagen and gelatin from alternative sources: A review. **Food Hydrocolloids**. 2011. 25, 1813-1827.

GONÇALVES, A. P. **Desafios para redução das embalagens plásticas de alimentos pós-consumo nos rejeitos da coleta seletiva: um estudo de caso em uma cooperativa no município de Assis â SP**. 2022. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

GONÇALVES, F. I. T. **Compostos Bioativos de Resíduos de Cascas de camarão: o seu Potencial e Incorporação em Produtos de Valor Acrescentado**. 2023. Dissertação de Mestrado. Universidade do Porto (Portugal).

GOUVEA. N. N. **O genoma da alga vermelha *Gracilaria domingensis* (Rhodophyta, Gracilariales)**. 2022. 74p. Dissertação (Mestrado em ciências, na Área de Concentração em Bioinformática) - Instituto de Matemática e Estatística, Universidade de São Paulo, SP, 2022.

HAMDAN, M. A. et al. Tuning mechanical properties of seaweeds for hard capsules: A step forward for a sustainable drug delivery medium. **Food Hydrocolloids for Health**, v. 1, p. 100023, 2021.

HASIJA, V. et al. Green synthesis of agar/Gum Arabic based superabsorbent as an alternative for irrigation in agriculture. **Vacuum**, v. 157, p. 458-464, 2018.

HERNANDEZ-CARMONA, G.; FREILE-PELEGRÍN, Y.; HERNÁNDEZ- GARIBAY, E. Conventional and alternative technologies for the extraction of algal polysaccharides. In: **Functional ingredients from algae for foods and nutraceuticals**. Woodhead Publishing, 2013. p. 475-516.

HOFFMANN, F. Z.; SIGUEL, F. **Produção de filmes biodegradáveis a base de lignina, ágar e nanocelulose**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

HOLANDA, N. N. A. de. **Influência da adição de cera de abelha e tween80 na solubilidade de filmes de ágar**. 2022.

HUANG, D. et al. Synergistic effect of chitosan and halloysite nanotubes on improving agar film properties. **Food Hydrocolloids**, v. 101, 2020. <DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105471>>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268005X19313384>. Acesso em: 31 ago. 2024.

IBERAGAR. AGAR-AGAR. PODEROSO ESPESSANTE E GELIFICANTE NATURAL. **A alternativa mais saudável e produtiva a outros aditivos**. 2016. Disponível em: https://aditivosingredientes.com/upload_arquivos/201604/2016040819448001461092609.pdf. Acesso em 17 mar. 2025.

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://revistafi.com/upload_arquivos/201606/2016060964594001465322072.pdf.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Embalagens**. 2014. Disponível em: https://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/industria/pimpfbr_embalagem/notas_metodologicas.shtm. Acesso em: 14 set. 2024.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ, Normas Analíticas, Vol.1: **Métodos Químicos e Físicos para Análises de Alimentos**. São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 3º Ed. 1985.

JARAMILLO, C.; OCHOA-YEPES, O.; BERNAL, C.; FAMÁ, L. Active and smart biodegradable packaging based on starch and natural extracts. **Carbohydrate Polymers**, v. 176, n. May, p. 187–194, 2017.

JARRO. 2010. Agar ou agar-agar, o mais antigo ficocoloide. **Aditivos & Ingredientes**. 2010.

JESUS, G. A. M. **Desenvolvimento de filmes biodegradáveis, a base de carragena, com propriedades antioxidantes**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

JORGE, N. **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>. Acesso em: 30 ago. 2024.

JRIDI, M. et al. Development and characterization of grey triggerfish gelatin/agar bilayer and blend films containing vine leaves bioactive compounds. **Food Hydrocolloids**, v. 89, p.370-378, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.10.039>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0268005X18316394>. Acesso em: 27 set. 2024.

KANDASAMY G, KARUPPIAH SK, & RAO PVS (2012) Salt-and pH-induced functional changes in protein concentrate of edible green seaweed Enteromorpha species. **Fisheries science**, 78(1), 169-176.

KAVOOSI, G. et al. Microencapsulation of zataria essential oil in agar, alginate and carrageenan. **Innovative Food Science & Emerging Technologies**, v. 45, p. 418-425, 2018.

LANDIM, A. P. M. et al. Sustentabilidade quanto às embalagens de alimentos no Brasil. **Polímeros**, v. 26, n. spe, p. 82-92, 2016.

- LEE, W.K. et al. Biosynthesis of agar in red seaweeds: A review. **Carbohydrate polymers**, v. 164, p. 23-30, 2017.
- LUCKACHAN, G. E.; PILLAI, C. K. S. Biodegradable polymers-a review on recent trends and emerging perspectives. **Journal of Polymers and the Environment**, v. 19, p. 637-676, 2011.
- LUZIA, E. C. A. et al. **Logística de alimentos perecíveis: uma pesquisa bibliográfica comparativa com a de alimentos não perecíveis**. 2021.
- MACHADO, F. A. S. et al. **Avaliação da biodegradação de embalagem comercial a base de amido a partir da bioatividade do solo e da respirometria**. 2018.
- MARINHO-SORIANO, E. et al. Cultivo experimental de Gracilaria no Rio Grande do Norte. pp. 115-124. In: **Anais da X Reunião Brasileira de Ficologia**. Salvador 2004. Rio de Janeiro, Museu Nacional. Série Livros 10, 2005.
- MARQUES, S. P. E. **Desenvolvimento de Filmes Comestíveis com Base em Algas Marinhas para Salmão Congelado**. 2019. Dissertação de Mestrado. Instituto Politecnico de Leiria (Portugal).
- MARTINS DA COSTA, J. C., MIKI, K. S. L., RAMOS, A. S., & TEIXEIRA-COSTA, B. E. (2020). Development of biodegradable films based on purple yam starch/chitosan for food application. **Heliyon**, 6, 4.
- MECALUX. **Tipos de embalagens em logística: primária, secundária ou terciária**. 2020. Disponível em: <https://www.mecalux.com.br/blog/tipos-embalagens>.
- MEDEIROS, A. M. de. **Biodegradação de filmes Poliméricos de Ágar em água doce**. 2023.
- MEINITA, M.D.N. et al. Comparison of bioethanol production from cultivated versus wild Gracilaria verrucosa and Gracilaria gigas, **J. Appl. Phycol.** 30 (2018) 143–147.
- MOHAMED, S. A. A.; EL-SAKHAWY, M.; & EL-SAKHAMY, M. A. M. (2020). Polysaccharides, Protein and Lipid -Based Natural Edible Films in Food Packaging: A Review. **Carbohydrate Polymers**, 238, 116178.
- NESPOLO, C. R. et al. **Práticas em tecnologia de alimentos**. Porto Alegre: Artmed, 2015.
- OLIVEIRA, I. R. B. **Revisão sobre a utilização de materiais de embalagem primária em formulações líquidas orais na indústria farmacêutica**. 2016. Disponível em: <http://131.0.244.66:8082/jspui/handle/123456789/282>. Acesso em: 20 mar. 2025.
- OTONI, C. G. et al. Recent Advances on Edible Films Based on Fruits and Vegetables A Review: Fruit and vegetable edible films.... **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 16, n. 5, p. 1151–1169, set. 2017.
- PAULA, G. A. de. **Desenvolvimento de filmes à base de carrageanas das algas marinhas Solieria filiformis e Hypnea murciformis e de um alginato comercial**. 2013.

PERVEZ, S. 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, 2019. <DOI: <https://doi.org/10.1016/j.carres.2019.107860>>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S000862151930285X#bib12>. Acesso em: 31 ago. 2024.

PETKOSKA, A. T. et al. Edible packaging: sustainable solutions and novel trends in food packaging. **Food Research International**, v. 140, p. 109981, 2021. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109981>.

PHANWIPA, W.; HARNKARNSUJARIT, N. Characterization of starch, agar and maltodextrin blends for controlled dissolution of edible films. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 156, p. 80-93, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.04.056>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141813020329081>. Acesso em: 27 set. 2024.

PORSE, H.; RUDOLPH, B. The seaweed hydrocolloid industry: 2016 updates, requirements, and outlook. **Journal of Applied Phycology**, [s. l.], v. 29, n. 5, p. 2187-2200, 2017.

PRETTO, G. L. **Produção e caracterização de filmes poliméricos à base de ágar-ágar**. 2023.

PRIYADARSHI, R., & RHIM, J-W. (2020). Chitosan-based biodegradable functional films for food packaging applications. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**. 62, 102346.

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-serveesse-meio-de-cultura/>. Acesso em: 18 mar. 2025.

RAMALHOSA, E.; Pereira, J. A. Prazos de validade em géneros alimentícios: o que significam e como são determinados? **Voz do Campo**, n. 185, p. iv-v, 2015. Disponível em: <https://bibliotecadigital.ipb.pt/bitstream/10198/14281/3/Artigo%20Prazos%20de%20Validade.pdf>.

RAMOS, N. S. Descrição da atividade antioxidante de polissacarídeos sulfatados com estrutura química elucidada do género *Gracilaria*: uma revisão da literatura. **Campus UFRJ-Macaé, Macaé**, 2022.

RAPHAEL, E. **Estudo de eletrólitos poliméricos à base de ágar para aplicação em dispositivos eletrocromáticos**. 2014. 147 f. Curso de Físico-química Orgânica, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

SADEGHI, A.; RAZAVI, S. M. A.; SHAHRAMPOUR, D. Fabrication and characterization of biodegradable active films with modified morphology based on polycaprolactone-poly(lactic acid)-green tea extract. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 205, p. 341–356, 2022.

SCHNEIDER, F. **Preparação de selos pH-responsivos para aplicação em embalagem de alimentos perecíveis**. 2022.

SCIENCE OF COOKING. **Chemical and Physical Properties of Agar in Cooking**. 2020. Disponível em: https://www.scienceofcooking.com/chemical_physical_properties_agar.htm.

SHAN, P., WANG, K., YU, F., YI, L., SUN, L., & LI, H. (2023). Gelatin/sodium alginate multilayer composite film crosslinked with green tea extract for active food packaging application. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**. 662, 131013.

SHANKAR, S.; REDDY, J. P.; RHIM, J. W. **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.

SILVA, M. de F. da. **Perfil sensorial de um bolo vegano sabor chocolate com a utilização de gomas xantana e agar agar**. 2023.

SILVA, R. A. A. **Desenvolvimento de embalagens biodegradáveis com pó de bambu e lignina**. 2023.

SILVA, R. F.; MOURA, L. L.; GAVIÃO, L. O.; PONTES, A. T.; LIMA, G. A. B.; BIDONE, E. D. Interdependências e trade-offs entre os objetivos do desenvolvimento sustentável: avaliação de municípios brasileiros pelas três dimensões da sustentabilidade. **Interações**, Campo Grande, v. 22, n. 2, p. 637-52, abr./jun. 2021.

SIMÕES, M. A. **Estudo de cultivo e de biomoléculas da macroalga *Gracilaria birdiae* (Rhodophyta, Gracilariales)**. (Dissertação de Mestrado). UFRPE. 54p. 2009.

SOARES, N. F. F. et al. Novos desenvolvimentos e aplicações em embalagens de alimentos. **Ceres**, v. 56, n. 4, 2009.

SOUZA, A. M. N. **Biodegradação em solo e em água doce de membranas de diferentes bases biopoliméricas**. 2023.

SOUSA, J. V. L. C.; ALVES, J. C.; PIMENTEL, M. M. N. S. C.; ANDRADE, R. C.; FIGUEREDO, C. S.; VIANA, S. N. A.; PEREIRA, T. D. R. S. Filmes biodegradáveis a base de amido—Mapeamento tecnológico Biodegradable starch-based films Technological Mapping. **Brazilian Journal of Development**, v. 7, n. 9, p. 87635-87646, 2021.

SUZUKI T, OHSUGI Y, YOSHIE Y, SHIRAI T, & HIRANO T (1996) Dietary fiber content, water-holding capacity and binding capacity of seaweeds. **Fisheries science** 62(3):454-461.

THULASISINGH, A., Kumar, K., Yamunadevi, B., Poojitha, N., SuhailMadharHanif, S., & Kannaiyan, S. (2021). Biodegradable packaging materials. **Polymer Bulletin**, 1-30.

TREIN, M. **Saiba o significado dos símbolos de reciclagem nas embalagens - Lagoa Fm - A Primeira FM de Lagoa Vermelha**. 2022. Disponível em: <https://lagoafm.com.br/saude/saiba-o-significado-dos-simbolos-de-reciclagem-nas-embalagens/>. Acesso em: 24 maio. 2025.

VALLE, M. P. V.; GUARNIERI, P.; FILIPPI, A. C. G. Adoção de embalagens plásticas sustentáveis agroalimentares: um olhar na dinâmica da produção

orgânica e sustentável em face da Economia Circular. **Interações (Campo Grande)**, v. 24, p. 211-227, 2023.

VASCONCELOS, B. M. F. **Utilização da macroalga *Gracilaria birdiae* no desenvolvimento de produtos alimentícios**. 2015.

VASCONCELOS, M. M. M. **Manual de beneficiamento de algas marinhas: uma ação extensionista no litoral do Piauí**. Teresina: EDUFPI, 2014. 32p.

VIDOTI, E. C.; ROLLEMBERG, M. C. E. **Algas: da economia nos ambientes aquáticos à bioremediação e à química analítica**. Química Nova. 2004. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422004000100024. Acesso em: 18 set. 2024.

VIÉGAS, L. P. **Preparação e caracterização de filmes biodegradáveis a partir de amido com quitosana para aplicação em embalagens de alimentos**. 2016. Tese de Doutorado. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais), Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes.

VINHAS, G.; ALMEIDA, Y.; LIMA, M. Estudo das propriedades e biodegradabilidade de blendas de poliéster/amido submetidas ao ataque microbiano. **Química Nova**, v. 30, n. 7, p.1584-1588, 2007.

VITALE, G.; MOSNA, D.; BOTTANI, E.; MONTANARI, R.; VIGNALI, G. Environmental impact of a new industrial process for the recovery and valorisation of packaging materials derived from packaged food waste. **Sustainable Production and Consumption**, v.14, n.105-121, 2018. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.spc.2018.02.001>.

WIHODO, M., & MORARU, C. I. (2013). Physical and chemical methods used to enhance the structure and mechanical properties of proteins films: An Review. **Journal of Food Engineering**. 114 (3), 292-302.

WORLD WIDE FUND FOR NATURE [WWF]. Brasil é o 4º país do mundo que mais gera lixo plástico. **WWF** [online], 4 mar. 2019. Disponível em: <https://www.wwf.org.br/?70222/Brasil-e-o-4-pais-do-mundo-quemais-gera-lixo-plastico>. Acesso em: 12 set. 2024.

YAICH H, GARNA H, BESBES S, PAQUOT M, BLECKER C, & ATTIA H (2011) Chemical composition and functional properties of *Ulva lactuca* seaweed collected in Tunisia. **Food Chem** 128(4):895-901.

YARNPAKDEE, S.; BENJAKUL, S.; KINGWASCHARAPONG, P. Physico-chemical and gel properties of agar from *Gracilaria tenuistipitata* from the lake of Songkhla, Thailand. **Food Hydrocolloids**, v. 51, p. 217-226, 2015.