



Faculdade de Ciências

Departamento de Ciências Biológicas

Licenciatura em Biologia Aplicada

Culminação de Estudos II

Variante: Investigação

Avaliação da Produção de Carragena e Bioplástico a partir das Macroalgas *Eucheuma denticulatum* e *Kappaphycus alvarezii*

Autora:

Tonelda João Mucavele

Maputo, Março de 2025



Faculdade de Ciências

Departamento de Ciências Biológicas

Licenciatura em Biologia Aplicada

Culminação de Estudos II

Variante: Investigação

Avaliação da Produção de Carragena e Bioplástico a partir das Macroalgas *Eucheuma denticulatum* e *Kappaphycus alvarezii*

Autora:

Tonelda João Mucavele

Supervisora:

Prof^a. Doutora Valera Dias

Co- Supervisor:

MSc. Amós Nhaca

Maputo, Março de 2025

AGRADECIMENTOS

À Deus, detentor de amor, misericórdia e sabedoria incomparáveis, pelo dom da vida, pela graça divina que tem me concedido para enfrentar os obstáculos que a vida contém.

Aos meus pais, João Francisco Mucavele e Anabela Jorge Mutombene, por confiarem e apoiarem os meus sonhos, por toda a vez em que me acudiram em momentos de aflição durante a academia e na vida, por garantirem o meu bem-estar físico, psicológico e emocional para o meu sucesso académico. As minhas irmãs Ângela João Mucavele e Ana Cristia João Mucavele, pelo apoio incondicional. Muito obrigada pela força que me deram dentro do campo académico e na vida.

A minha Supervisora Prof. Doutora Valera Dias por quem tenho muita admiração, respeito e carinho, obrigada pela paciência, preocupação e orientação durante a realização da pesquisa. Na mesma senda agradeço ao meu Co-supervisor MSc. Amós Nhaca pelo apoio, acompanhamento, críticas construtivas e partilha de conhecimento durante a realização do trabalho.

Agradeço a todos professores que me deram acompanhamento durante o meu percurso académico, por terem dedicado o seu tempo e atenção para me ensinarem sobre biologia e outras ciências.

Ao Laboratório de Engenharia de Moçambique pela recepção e disponibilização de equipamentos para realização de algumas etapas do meu trabalho científico. Ao Eng. Eleutério Muchanga, Doutora Emília Duarte e Técnica Suzete pelo apoio e supervisão durante o procedimento de maceração das macroalgas. À Faculdade de Engenharia por abrir as portas e me permitir fazer o uso do viscosímetro. Ao Departamento de Química pelo apoio para produção do bioplástico. Aos técnicos do Laboratório B9 que me receberam e apoiaram do início ao fim do trabalho laboratorial.

A turma de Biologia Aplicada 2020 por me proporcionar momentos inesquecíveis, onde conheci pessoas incríveis e que carregarei sempre no coração, os meus amigos: Ciro Santana, Ilda Nhampossa e Paula Chilengue. Aos meus colegas Luís Cuna e Luís Fernando por todo apoio durante a realização do trabalho. Aos meus amigos de 2015, obrigada pelo companheirismo.

Às meninas do quarto 020, o meu muito obrigada por tudo o que fizeram por mim, pela irmandade, pelo carinho, pelo acolhimento, pelos conselhos, serei sempre muito grata.

Muito obrigada a todos que directa ou indirectamente contribuíram para a elaboração deste relatório científico.

DECLARAÇÃO DE HONRA

Eu, Tonelda João Mucavele, declaro por minha honra que o presente trabalho intitulado: **Avaliação da Produção de Carragena e Bioplástico a partir das Macroalgas *Eucheuma denticulatum* e *Kappaphycus alvarezii***, é da minha inteira autoria e que os dados para a realização do mesmo de modo a obter o grau de licenciatura no curso de Biologia Aplicada, foram obtidos por mim mediante a realização de experiências laboratoriais. Declaro ainda que este trabalho não foi apresentado em nenhuma outra instituição para obtenção de qualquer grau académico.

Maputo, Março de 2025

(Tonelda João Mucavele)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a minha família, mormente, a minha família nuclear: meus pais João Francisco Mucavele e Anabela Jorge Mutombene e as minhas irmãs Ângela João Mucavele e Ana Crístia João Mucavele. Sou grata a eles pelo seu amor incondicional, suporte incessante, conselhos de valor inestimável que me mantiveram firme na minha jornada académica e na vida.

EPÍGRAFE

*“Nada na vida é para ser temido, apenas compreendido. Agora é hora de compreender mais,
para que possamos temer menos”*

- Marie Curie

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS, SÍMBOLOS E UNIDADES

%- Percentagem;

cm- Centímetros;

Cp – Centipoises;

KCl- Cloreto de potássio;

NaCl- Cloreto de sódio;

Dp- Desvio padrão;

EAE- Extração assistida por enzimas;

E. denticulatum – *Eucheuma denticulatum*;

FAO - *Food and Agriculture Organization of the United Nations*;

g- Gramas;

°C - Grau Celsius;

K. alvarezii – *Kappaphycus alvarezii*

KOH- Hidróxido de potássio;

MAE -Extração assistida por micro-ondas;

ml- Mililitros;

NaOH- Hidróxido de sódio;

pH- Potencial hidrogeniônico;

PSE- Extração com solvente pressurizado;

Rpm- Rotação por minuto;

SFE- Extração com fluido supercrítico;

UAE- Extração assistida por ultrassom.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Área de cultivo de <i>Kappaphycus alvarezii</i> (<i>Eucheuma cottoni</i>), Ilha de Inhaca, Maputo, Moçambique.	9
Figura 2: <i>Kappaphycus alvarezii</i> , Ilha de Inhaca, Maputo, Mozambique.....	10
Figura 3: Alga da espécie <i>Kappaphycus alvarezii</i> seca.....	10
Figura 4: Alga da espécie <i>Eucheuma denticulatum</i> seca.....	11
Figura 5: Estrutura das três classes principais de carragena.....	13
Figura 6: Descarte da água de coco no mercado Xiquelene situado a arredores na cidade de Maputo.....	16
Figura 7: Esquema do processo de produção de bioplástico a partir do método de <i>casting</i>	18
Figura 8: Mapa da localização geográfica da Ilha de Inhaca representada na cor castanha.	19
Figura 9: Carragena moída extraída de <i>Kappaphycus alvarezii</i> usando como reagente o NaOH (a), KOH (b) e água de coco (c).....	28
Figura 10: Carragena moída extraída de <i>Eucheuma denticulatum</i> usando como reagente o NaOH (a), KOH (b) e água de coco (c).....	28
Figura 11: Média ($\pm$ DP) do rendimento obtido da extração de carragena das algas <i>Kappaphycus alvarezii</i> e <i>Eucheuma denticulatum</i> com o uso de três metodologias diferentes, com hidróxido de sódio (NaOH), hidróxido de potássio (KOH) e água de coco.....	29
Figura 12: Média ($\pm$ DP) da viscosidade da carragena obtida das algas <i>Kappaphycus alvarezii</i> e <i>Eucheuma denticulatum</i> com o uso de três metodologias diferentes, com hidróxido de sódio (NaOH), hidróxido de potássio (KOH) e água de coco.....	31
Figura 13: Bioplásticos feitos de carragena extraída de <i>Eucheuma denticulatum</i> com 1g (a), 2.5g (b) e 5g (c) de carragena.....	32
Figura 14: Bioplásticos a base de carragena extraída de <i>Kappaphycus alvarezii</i> com 1g (a), 2.5g (b) e 5g (c) de carragena.....	32

Figura 15: Bioplástico após 15 dias de biodegradação. Carragena de <i>Eucheuma denticulatum</i> : I (a), II (b) e III(c). Carragena de <i>Kappaphycus alvarezii</i> : I (d), II (e), III (f).....	33
Figura 16: Média ($\pm$ DP) da percentagem de biodegradabilidade em 15 dias das amostras de bioplástico a base de carragena de <i>Kappaphycus alvarezii</i> e <i>Eucheuma denticulatum</i>	34
Figura 17: Média ($\pm$ DP) da absorção de água das amostras de bioplástico a base de carragena de <i>Kappaphycus alvarezii</i> e <i>Eucheuma denticulatum</i>	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Formulação do bioplástico.....	25
---	----

RESUMO

Macroalgas são fonte de matéria-prima para a área da biotecnologia, são usadas para a produção de biocombustíveis, fármacos, cosméticos, ração animal, alimento para humanos, hidrocoloides, entre outros. A carragena é um hidrocólide fortemente estudado na atualidade para a produção de bioplásticos que são uma ótima alternativa em relação aos plásticos convencionais não renováveis, devido a sua biodegradabilidade e biocompatibilidade. Neste sentido, na presente pesquisa buscou-se produzir bioplásticos da carragena extraída das algas *Kappaphycus alvarezii* e *Eucheuma denticulatum*, a partir de um método sustentável. O trabalho foi dividido em duas partes, onde a primeira centrou-se na busca por um método eficiente para extração da carragena, foram comparados três métodos de extração: Extração alcalina com KOH, Extração alcalina com NaOH e Extração com água de coco. A extração foi feita em banho-maria com amostras das duas macroalgas a uma temperatura de 95° C por 4 horas. Na segunda parte da pesquisa foram produzidos bioplásticos com a seguinte formulação: ácido cítrico, água destilada, glicerol, amido de milho e carragena extraída com água de coco (para a adição da carragena foi usado o *Design* Completamente Randomizado de 2 factores com 3 réplicas, onde o primeiro factor consistia em dois tipos diferentes de carragena e o segundo consistia na adição de três quantidades diferentes de carragena: 1g, 2.5g e 5g), a mistura foi agitada (150rpm) a uma temperatura de 70°C, colocada a secar na estufa por 18 horas. O rendimento da extração para *K. alvarezii* foi de 55.5% com KOH, 54% com água de coco e 52.8% com NaOH. A viscosidade foi de 54.30cp com KOH, 11.08cp com NaOH e 6.11cp com água de coco. O rendimento da extração para *E. denticulatum* foi de 45.5% com KOH, 25.1% com NaOH, 43.7% com água de coco. A viscosidade foi de com 0.55cp KOH, 29.42cp com NaOH e 14.61cp com água de coco. Os bioplásticos não apresentaram diferenças significativas quanto a resistência a água (15.60% - 25.58%) e biodegradabilidade (79.95% - 87.34%). Os melhores resultados de extração foram observados na amostra *K. alvarezii* usando os métodos de extração com KOH e água de coco, onde verificou-se um alto rendimento e viscosidade dentro dos padrões da FAO. A melhor formulação para produção de bioplástico foi a com 5 g de carragena de *K. alvarezii*, onde observou-se menor quantidade de rachaduras, tornando-se o melhor tratamento de acordo com características morfológicas.

Palavras-Chave: Macroalgas, *Kappaphycus alvarezii*, *Eucheuma denticulatum*, carragena, bioplásticos.

Índice

AGRADECIMENTOS.....	i
DECLARAÇÃO DE HONRA.....	ii
DEDICATÓRIA.....	iii
EPÍGRAFE.....	iv
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS, SÍMBOLOS E UNIDADES.....	v
LISTA DE FIGURAS.....	vi
LISTA DE TABELAS	vii
RESUMO.....	viii
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Problema.....	3
1.2 Justificativa.....	4
1.3 Objetivos	5
1.3.1 Geral.....	5
1.3.2 Específicos.....	5
1.4 Hipóteses	6
1.4.1 Nula.....	6
1.4.2 Alternativa.....	6
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	7
2.1 Algas marinhas	7
2.2 Cultivo das algas Marinhas (Moçambique e África)	8
2.3 Algas Vermelhas.....	9

2.4	Carragena	12
2.4.1	Estabilidade.....	13
2.4.2	Gelificação.....	14
2.4.3	Viscosidade.....	14
2.5	Métodos de extração da carragena	14
2.5.1	Método de tratamento alcalino.....	15
2.5.2	Método de extração enzimática.....	15
2.5.3	Método de extração assistida por Ultrassom.....	15
2.5.4	Método de extração assistida por micro-ondas.....	16
2.5.5	Método de extração ácida com água de coco.....	16
2.6	Plásticos biodegradáveis	17
2.7	Filmes de carragena	17
2.7.1	<i>Casting</i>	18
3	METODOLOGIA.....	19
3.1	Local de estudo.....	19
3.2	Material	20
3.2.1	Material biológico.....	20
3.2.2	Materiais.....	20
3.2.3	Reagentes	20
3.2.4	Equipamentos.....	21
3.3	Parte I: Extração e avaliação da qualidade da carragena.....	21
3.3.1	Preparação de soluções	21
3.3.2	Pré-tratamento.....	21
3.3.3	Extração alcalina com NaOH.....	22

3.3.4	Extração alcalina com KOH	22
3.3.5	Extração com água de coco.....	23
3.3.6	Determinação do rendimento.....	23
3.3.7	Teste de viscosidade.....	23
3.4	Parte II: Produção de bioplástico a base de carragena extraída das macroalgas <i>Kappaphycus alvarezii</i> e <i>Eucheuma denticulatum</i>	24
3.4.1	Formulações do Bioplástico.....	25
3.4.2	Preparação do bioplástico	25
3.4.3	Teste biodegradação- Teste de enterramento no solo (Método padrão – ASTM D5338)	25
3.4.4	Teste de Resistência a água.....	26
3.5	Análise de dados	27
4	RESULTADOS	28
4.1	Extração de carragena	28
4.1.1	Características físicas da carragena extraída.....	28
4.1.2	Rendimento da extração.....	29
4.1.3	Viscosidade das amostras de carragena extraídas de <i>Eucheuma denticulatum</i> e <i>Kappaphycus alvarezii</i>	30
4.2	Produção de Bioplástico	32
4.2.1	Biodegradação.....	33
4.2.2	Resistência a água.....	34
5	DISCUSSÃO.....	36
5.1	Extração de carragena	36
5.1.1	Características físicas da carragena.....	36
5.1.2	Rendimento.....	36

5.1.3	Viscosidade.....	37
5.2	Bioplástico.....	38
5.2.1	Biodegradação.....	39
5.2.2	Resistência a água.....	39
6	CONCLUSÃO.....	41
7	LIMITAÇÕES	42
8	RECOMENDAÇÕES	43
9	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44
10	ANEXOS.....	58

1 INTRODUÇÃO

Algas marinhas ou macroalgas são organismos fotossintéticos que podem ocorrer em forma de indivíduo ou talo, capturam os nutrientes da água sobrejacente e são classificadas de acordo com a gama de pigmentos que usam na captura da luz para fotossíntese (Levinton, 1995; Blilling *et al.*, 2021).

Segundo a classificação das macroalgas existem: algas verdes (Chlorophytas), vermelhas (Rhodophytas) e algas castanhas (Phaeophytas). As algas vermelhas possuem fibras de celulose na sua parede interna e na externa estão presentes amido, galactanas sulfatadas, agares e carragenas (Leon *et al.*, 2019). São constituídas por mais de 6000 espécies (Guiry *et al.*, 2014). A sua distribuição geográfica está relacionada a sua forma e tamanho (Cian, 2015).

Nas algas vermelhas encontramos as Euquematóides que são as maiores fontes de carragena conhecidas (Afonso, 2023). Dentro das Euquematóides temos os géneros *Eucheuma* sp. e *Kappaphycus* (Doty) que por sua vez englobam as espécies, *Eucheuma denticulatum* e a *Kappaphycus alvarezii*, respectivamente (Hurtado, 2022).

Actualmente uma gama de compostos é isolada das algas marinhas, nomeadamente, terpenóides, esteróis, fenóis, peptídeos, polissacarídeos e alcanos, devido às suas actividades biológicas promissoras (Arrieché *et al.*, 2022). A extração de polissacarídeos faz com que as algas *Eucheuma denticulatum* e a *Kappaphycus alvarezii* sejam destacadas quanto a sua importância na indústria e na economia (Pacheco-Quito *et al.*, 2020).

Os polissacarídeos extraídos das algas possuem 3,6 anidrogactose e grupos sulfato, portanto são Polissacarídeos Sulfatados (PS), alguns dos grupos hidroxilo encontram-se substituídos por agrupamentos de sulfatos e são biologicamente activos, esta característica os diferencia de polissacarídeos oriundos de vegetais superiores (Pérez-Recalde *et al.*, 2014).

A carragena é um polissacarídeo sulfatado, extraído de algumas algas vermelhas da família (Rhodophyceae) (Pereira, 2013). Descoberta em 1785, na Irlanda, é um hidrocolóide oriundo de carragenófitas, como a *Eucheuma denticulatum* e *Kappaphycus alvarezii* que produzem carragena iota e carragena kappa, respectivamente (Aditivos & Ingredientes, 2024).

Existem 3 tipos principais de carragena, Kappa carragena que possui somente um grupo sulfato, a Iota que possui dois grupos sulfato e a Lambda que contém em sua composição três grupos sulfato (Subramanian e Varade, 2017). A classificação da carragena deve-se a posição e quantidade dos grupos SO₃ (Prajapati *et al.*, 2014).

A extração da carragena é realizada de acordo com métodos que envolvem procedimentos como a lavagem, digestão em água quente ou em meios alcalinos (Naseri *et al.*, 2019). O método clássico resume-se na aplicação de água destilada a altas temperaturas, actua quebrando os componentes da parede celular das algas e liberando os mesmos no solvente (Wassie *et al.*, 2021).

Os métodos convencionais de extração de polissacarídeos requerem muito trabalho e para o alcance de rendimentos baixos e médios na extração necessitam de quantidades consideráveis de produtos químicos, água e energia e tem uma grande pegada ecológica, gerando resíduos durante o processo, portanto não são sustentáveis ambiental e economicamente (Abdul Khalil *et al.*, 2018).

A carragena tem propriedades gelificantes, espessantes, estabilizantes, para além de ser biodegradável e ter compatibilidade com materiais biológicos, capacidade de retenção água e uma alta resistência ao formar géis (Pereira, 2013; Prajapati *et al.*, 2014). Na indústria farmacêutica e cosmética, carragena é utilizada em vários produtos. (Liu e Li, 2016). A carragena é um dos materiais sustentáveis derivados de algas marinhas que são promissores para a produção de bioplásticos (Lima *et al.*, 2020).

Bioplásticos são materiais feitos de biomassa animal ou vegetal que devido a sua biodegradabilidade e biocompatibilidade (De Jesus, 2021) tem sido uma alternativa aos plásticos convencionais feitos de matéria-prima não renovável responsáveis por diversos problemas ambientais (Alcivar-Gavilanes, 2022).

A maior vantagem do uso de biopolímeros como a carragena para a produção de filmes biodegradáveis é o facto de permitirem que haja um ciclo natural da matéria fechado, onde o fim de um ciclo permite o início de outro (Kabir *et al.*, 2020).

Esta pesquisa centra-se na busca por um método de extração de carragena eficiente e na caracterização da carragena extraída das macroalgas *Eucheuma denticulatum* e *Kappaphycus alvarezii*, também faz parte do foco do trabalho estabelecer uma formulação adequada para a produção de bioplástico a base de carragena.

1.1 Problema

O processo de extração da carragena é bastante delicado e pode alterar a qualidade da carragena bem como seu rendimento (Sumatupang *et al.*, 2021). Os métodos convencionais alcalinos são ecologicamente inviáveis, pois neles recorre-se ao uso de reagentes e solventes químicos e um enorme consumo de água e energia (Onyango *et al.*, 2021). Com o objetivo de aumentar a eficiência da extração tem surgido novas técnicas para a extração dos polissacarídeos (Yuan *et al.*, 2018).

Métodos de extração verde têm sido desenvolvidos, como é o caso da extração assistida por micro-ondas (MAE), extração assistida por ultrassom (UAE), extração assistida por enzimas (EAE), extração com fluido supercrítico (SFE) e extração com solvente pressurizado (PSE) que tem reduzido o consumo de compostos químicos e melhorado o rendimento e qualidade da carragena. Contudo devido ao gasto financeiro associado à sua implementação e a falta de pesquisas científicas publicadas sobre estes métodos de extração, os métodos alcalinos continuam sendo os mais implementados nas indústrias ao redor do mundo (Abdul Khalil *et al.*, 2018).

O mercado Xiquelene é o maior mercado retalhista localizado na cidade de Maputo (Paganini, 2019). Em mercados como este a água de coco velha é de modo geral descartada por ser considerada resíduo, porém o uso da água de coco como matéria-prima na extração pode agregar valor a mesma (Manuhara, 2016).

O crescimento demográfico, o aumento do consumo de recursos e o descarte incorreto de resíduos guiam o mundo a uma crise ambiental. O plástico, criado a mais de um século revolucionou as indústrias, mas hoje constitui uma das maiores ameaças a holocenose (Baia *et al.*, 2020).

Devido as dificuldades técnicas e económicas, menos de 3% do plástico é reciclado no mundo (HKC, 2016). Nas últimas décadas tem se realizado estudos com o intento de substituir o plástico convencional por filmes de polímeros biodegradáveis a nível mundial (Babu *et al.*, 2013). O uso da carragena como matéria-prima para a produção de bioplásticos tem sido um tema estudado na actualidade (Tavassoli-Kafrani *et al.*, 2016).

Neste contexto, surge a seguinte questão: **A extração da carragena de *Eucheuma denticulatum* e *Kappaphycus alvarezii* usando o como reagente a água de coco pode substituir os métodos alcalinos na extração de carragena para produção de bioplásticos?**

1.2 Justificativa

O método de extração e purificação da carragena de algas vermelhas precisa de uma padronização a fim de ser utilizado em larga escala na indústria (Ramadas *et al.*, 2024).

Cocos nucífera é uma planta com baixa toxicidade e massivamente utilizada na indústria alimentícia onde o uso das partes que são frequentemente descartadas como por exemplo para a extração de polissacarídeos, pode mitigar a poluição causada pelo desperdício (Lima *et al.*, 2015). Numa perspectiva económica o uso da água de coco para extração de carragena é mais rentável que o uso de solventes alcalinos (Manuhara, 2016).

Pesquisas recentes propõem o uso da carragena como matéria-prima para o fabrico de plástico biodegradável (Abdou e Sorour, 2014).

Os polissacarídeos das algas são recursos renováveis que possuem um potencial considerável para produção de bioplásticos a fim de mitigar a carga ambiental imposta pelos plásticos convencionais, no entanto, devido aos altos custos de produção, durabilidade limitada, não tem tido grande aceitação, por isso há uma necessidade de investigar métodos para extração rentáveis e melhorar as propriedades do bioplástico resultante (Sofian *et al.*, 2023).

Economicamente, os bioplásticos se destacam em relação a outros produtos biotecnológicos pois além de contribuírem para a mitigação de problemas ambientais, também tem efeitos positivos na área sócio-económica (Nattrass *et al.*, 2016 e OCDE, 2013).

1.3 Objetivos

1.3.1 Geral

- Analisar a qualidade da carragena das algas *Eucheuma denticulatum* e *Kappaphycus alvarezii* extraída a partir de métodos distintos e prospeção do seu potencial biotecnológico para produção de bioplásticos.

1.3.2 Específicos

- Identificar o melhor método para a extração da carragena de *Eucheuma denticulatum* e *Kappaphycus alvarezii*;
- Determinar a formulação mais adequada para a produção de bioplásticos a base de carragena das duas macroalgas;
- Comparar a qualidade dos bioplásticos produzidos a partir da carragena extraída das macroalgas *Eucheuma denticulatum* e *Kappaphycus alvarezii*.

1.4 Hipóteses

1.4.1 Nula

- Não existe diferença significativa no rendimento e na qualidade da carragena de *Eucheuma denticulatum* e *Kappaphycus alvarezii* extraída com recurso a três métodos diferentes.
- Não existe diferença significativa na biodegradabilidade e na capacidade de resistência a água entre os bioplásticos com quantidades diferentes de carragena (1g, 2.5g e 5g) de duas espécies de alga.

1.4.2 Alternativa

- Existe diferença significativa no rendimento e na qualidade da carragena de *Eucheuma denticulatum* e *Kappaphycus alvarezii* extraída com recurso a três métodos diferentes.
- Existe diferença significativa na biodegradabilidade e na capacidade de resistência a água entre os bioplásticos com quantidades diferentes de carragena (1g, 2.5g e 5g) de duas espécies de alga.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Algas marinhas

As algas são organismos eucariontes que sintetizam o próprio alimento, incluem uma gama de variedade de formas e fazem parte deste grupo seres autotróficos e heterotróficos (Raven e Giordano, 2014). Podem ser classificadas em macroalgas, algas visíveis a olho nu e microalgas, que apenas podem ser observadas com o auxílio de equipamentos de ampliação (Perreira e Correia, 2015).

As macroalgas (algas de tamanho macroscópico, visíveis a olho nu) são um grupo de organismos constituído por diversas espécies com adaptações para que habitem em ambiente aquático, crescem fixas a um substrato que receba radiação solar, mesmo com o movimento natural da água provocado por ondas e correntezas. São geralmente encontradas nas regiões costeiras, em costões rochosos, lajes submersas, cascos de embarcações e outros de origem antropogénica (Széchy *et al.*, 2015).

As espécies de macroalga exibem colorações distintas que resultam da combinação de diferentes pigmentos celulares (Pereira e Correia, 2015).

Macroalgas constituem matéria-prima que pode ser obtida através de métodos de baixo custo energético (Jablońska-Trypuć, 2024). O cultivo de macroalgas com o objetivo de utilizá-las como produto alimentar ocupa o primeiro lugar, tradicionalmente elas são cultivadas com o intuito de explorar ficocolóides, como agar, carragena e alginato (Fonseca, 2016).

As algas também podem ser usadas na indústria para produção de bioplásticos que podem servir de alternativas para produtos que tem a sua origem em combustíveis fósseis (exemplo, plástico convencionais) (Cottier-Cook *et al.*, 2021).

As macroalgas são importantes para a alimentação pelo facto de fornecerem nutrientes essenciais, também contém compostos bioactivos capazes de promover a saúde e auxiliar na prevenção de doenças. A eficácia dos compostos naturais das algas, comprovadamente benéficos para a saúde e sem efeitos colaterais indesejados, faz delas uma fonte valiosa para a indústria alimentícia (Fonseca, 2016). Os compostos bioativos, que servem de fonte para ingredientes na indústria farmacêutica, cosmética e alimentar (Jablońska-Trypuć, 2024).

2.2 Cultivo das Macroalgas Marinhas (Moçambique e África)

As macroalgas podem ser cultivadas em águas rasas do mar, este cultivo pode ser feito associadamente com o de outras espécies, como peixes e camarões, com vista a diminuir a carga de poluentes das culturas animais e melhorando a produtividade (Souza, 2011).

A indústria global do cultivo de macroalgas euquematóides sofre constantes mudanças e é desafiadora, porém tem sido notável o potencial dos países tropicais e subtropicais para o cultivo dos géneros *Kappaphycus* (Doty) e *Eucheuma sp.* (Hayashi *et al.*, 2017). Nos últimos anos ocorreu uma rápida expansão do cultivo das algas dos géneros supracitados em áreas tropicais o que contribuiu para o aumento do fornecimento de matéria-prima para a produção de carragena (Eamer, 2016).

O cultivo de algas no continente africano é limitado assim como em todos os outros continentes, com exceção da Ásia, o continente possui um grande número de países que faz o cultivo das algas em escala comercial (FAO, 2020).

Fazem parte dos países africanos produtores de algas os seguintes: Madagáscar, Tanzânia e Moçambique (Hayashi, 2017; Kumar *et al.*, 2020; Rupert *et al.*, 2022). Tanzânia faz parte do grupo dos maiores países produtores de algas, conta com aproximadamente 428 espécies de algas registradas, dentre elas estão, algas vermelhas, algas verdes e algas pardas (Msuya, 2020).

Em Moçambique, o cultivo de macroalgas teve início em 2002, em Pemba no norte de Moçambique, por sua vez expandiu-se para outras regiões do país (Figura 1) (Hayashi, 2017).

Os métodos que são aplicados englobam o método fixo, *off-bottom line*, o método da jangada flutuante e o método da cesta (Kim *et al.*, 2017). A alguicultura apresenta alguns desafios, como pragas, doenças e epífitas, embora tenha um baixo grau de tecnologia e investimento (Kim *et al.*, 2017).



Figura 1: Área de cultivo de *Kappaphycus alvarezii* (*Eucheuma cottonii*), Ilha de Inhaca, Maputo, Moçambique. Fonte: Autor.

2.3 Algas Vermelhas

As algas vermelhas ou Rhodophytas (classificação científica) são algas que possuem coloração rosa brilhante devido a presença de pigmentos de biloproteína (R-ficoetrina e R-ficocianina) e desempenham um papel ecológico importante. Grande parte das espécies do filo Rhodophyta ocorre desde marés baixas até 100 metros de profundidade (Makkar *et al.*, 2016). A cor que caracteriza as algas vermelhas é originada pela combinação de grandes quantidades de pigmentos vermelhos das ficobilinas em relação ao pigmento verde da clorofila (Figura 2) (Hargreaves, 2013).

Estudos revelaram que as espécies do filo Rhodophyta são ricas em vitaminas (A, B, C), proteínas, lípidos, carboidratos, fibras, minerais e aminoácidos essenciais (Gómez-Ordóñez, 2010). As algas vermelhas são mais ricas em proteínas em relação aos outros grupos de algas, verdes e vermelhas, portanto são bastante estudadas na área da nutrição (Alves *et al.*, 2019).



Figura 2: *Kappaphycus alvarezii*, Ilha de Inhaca, Maputo, Mozambique. Fonte: Autor.

Dentro do filo Rhodophyta encontramos 17 géneros comercializados, dos quais os géneros *Eucheuma* sp, *Gracilaria*, *Hydropuntia*, *Hypnea*, *Kappaphycus*, *Cladosiphon* e *Caulerpa* são algas de zonas tropicais e subtropicais (De Gaillande, 2017 e Tiltyanov, 2010).

a) *Kappaphycus alvarezii*



Figura 3: Alga da espécie *Kappaphycus alvarezii* seca.

Reino: Plantae;

Sub-reino: Biliphyta;

Filo: Rhodophyta;

Sub-filo: Rhodophytin;

Classe: Florideophyceae;

Sub-classe: Rhodymeniophycidae;

Ordem: Gigartinales;

Família: Areschougiaceae;

Gênero: *Kappaphycus*;

Espécie: *Kappaphycus alvarezii*.

Kappaphycus alvarezii é uma alga comercialmente conhecida como Cottonii no sector industrial é considerada como fonte principal de K-carragenina pura (Gereniu *et al.*, 2017; Rupert *et al.*, 2022).

É uma alga vermelha, portanto, possui como pigmentos fotossintéticos a clorofila “a” ficobilinas (ficoetrina e ficocianina) e certa quantidade de carotenoides. O que faz com que estas algas exibam a coloração vermelha é a reflexão da luz vermelha e absorção da luz azul causadas pelo pigmento ficoetrina e que dependendo da concentração do mesmo a alga pode ser avermelhada, amarelada, marrom e verde (Rudke *et al.*, 2020).

A concentração dos constituintes químicos da alga *K. alvarezii* são dependentes das condições do cultivo (temperatura da água, salinidade, luz solar, intensidade luminosa, profundidade, potência das ondas e outras). A alga possui um alto teor de carboidratos, mas também possui proteínas, lípidos, cinzas, grupos sulfatados e aromáticos insolúveis (Khalil *et al.*, 2018; Rudke *et al.*, 2020; Solorzano-Chavez *et al.*, 2019).

b) *Eucheuma denticulatum*



Figura 4: Alga da espécie *Eucheuma denticulatum* seca.
Fonte: Autor.

Reino: Plantae;

Sub-reino: Biliphyta;

Filo: Rhodophyta;

Sub-filo: Rhodophytin;

Classe: Florideophyceae;

Sub-classe: Rhodymeniophycidae;

Ordem: Gigartinales;

Família: Areschougiaceae;

Gênero: *Eucheuma*;

Espécie: *Eucheuma denticulatum*.

Eucheuma denticulatum é uma das macroalgas mais cultivadas. É responsável pela produção de carragena iota que é matéria-prima para diversas indústrias (Munawan *et al.*, 2021). A macroalga é uma das mercadorias essenciais em muitos países tropicais (Abdan, 2013).

As algas do género *Eucheuma* sp. apresentam em sua composição aminoácidos, minerais, carboidratos e baixos níveis de lípidos (Mantajun, 2009).

2.4 Carragena

A carragena, carragenina ou E407 são termos que se referem a polissacarídeos extraídos principalmente de algas vermelhas, que realizam uma função estrutural semelhante à da celulose nas plantas. As principais algas utilizadas para extração dessa substância são dos géneros *Eucheuma* sp. e *Kappaphycus*, que correspondem a 35% e 6% do cultivo global de algas, respectivamente (Necas e Bartosikova, 2013 e Silva, 2023).

Quimicamente, a carragena é uma galactana altamente sulfatada (Necas e Bartosikova, 2013). Em sua estrutura a carragena possui unidades de D-galactose sulfatada e 3,6-anidro-galactose ligadas através de ligação α -1,3 e β -1,4- glicosídica. A estrutura química da carragena é altamente heterogénea e podem ser distinguidos três principais classes de carragena comercialmente disponível dependendo do número do éster sulfato na espinha dorsal, com grupos mono, di e trisulfato (Băcăiță *et al.*, 2021; Vignesh *et al.*, 2018).

Os principais tipos ou classes de carragena são: Lambda (λ), Kappa (k) e Iota (i) (Figura 5), e são diferentes devido ao grupo sulfato presente na unidade de repetição (Sedayu *et al.*, 2019). Todavia, existem as carragenas híbridas kappa/iota que são polissacarídeos naturais obtidos das seguintes espécies dos grupos Gigartinaceae, Petrocelidaceae e Phyllophoraceae (Hilliou *et al.*, 2014).

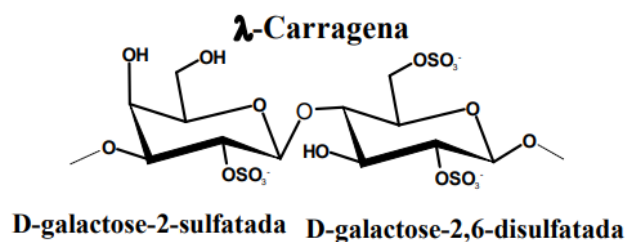
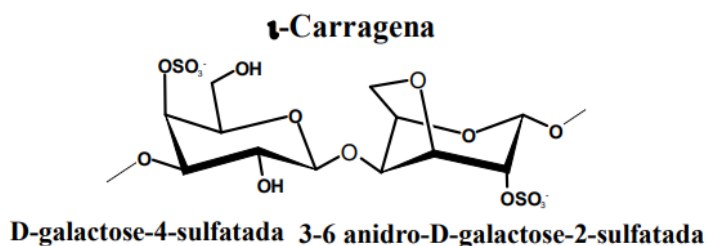
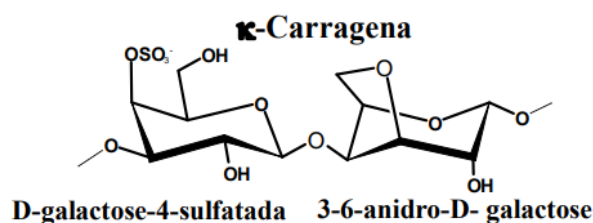


Figura 5: Estrutura das três classes principais de carragena. Fonte: Mota (2022).

Comercialmente a carragena é um colóide que tem importância devido a sua solubilidade em água. A funcionalidade da carragena é altamente dependente das suas propriedades reológicas (Necas e Bartosikova, 2013).

2.4.1 Estabilidade

Uma das características da carragena é a sua alta capacidade de manter-se estável em pHs neutros e alcalinos (Souza, 2017). Porém, em pH ácidos a sua estabilidade é afectada e isso agrava-se a altas temperaturas (Souza, 2017). O fenómeno que ocorre com a diminuição do pH é a hidrólise do polímero da carragena resultando na diminuição da viscosidade e da força de gelificação, portanto, é importante evitar o processamento de soluções de carragena em pHs ácidos a altas temperaturas (Souza, 2017).

2.4.2 Gelificação

Os polímeros de carragena formam uma estrutura de dupla hélice, isto ocorre quando soluções quentes de carragena kappa e iota formam géis através de um processo de resfriamento (Souza, 2017). Sais de potássio e cálcio são essenciais para a formação de gel em água, o contrário acontece no caso do leite (Souza, 2017).

2.4.3 Viscosidade

A viscosidade da carragena depende da concentração, temperatura, presença de outros solutos, do tipo e peso molecular da carragena (Necas e Bartosikova, 2013). A relação da carragena com a sua concentração é diretamente proporcional (Necas e Bartosikova, 2013).

Medir uma característica físico-química como a viscosidade pode fornecer dados relativos a estrutura e composição da carragena, uma alta viscosidade geralmente é associada a uma alta percentagem de sulfatos (Astuti *et al.*, 2017; Montoro *et al.*, 2019). Por sua vez uma alta quantidade de sulfatos na composição da carragena pode significar uma baixa força do gel (Astuti *et al.*, 2017).

A viscosidade de soluções de carragena deve ser determinada em temperaturas suficientemente altas (75°C) para que não haja tendência de ocorrer a gelificação da solução. A viscosidade das carragenas comercializadas está no intervalo de 5 a 800cps determinados em soluções de carragena com 1.5% de concentração e aquecidas a 75°C (Aditivos e ingredientes, 2024).

2.5 Métodos de extração da carragena

Existem dois tipos de carragena, Carragena Semi-refinada (SRC) e Carragena Refinada (RC), a sua classificação depende do método de extração empregado (Tarman *et al.*, 2020). A extração da carragena com base em tratamentos alcalinos resulta em carragena semi-refinada /SRC (Moses *et al.*, 2015). Para a obtenção da carragena refinada / RC o processo é mais dispendioso e complexo sendo adicionados a extração os processos de filtração e precipitação (ex: por álcool e método gel *press*) (Qin, 2018). Todos os tipos de carragena podem ser precipitados com recurso ao álcool, mas o método de gel apenas pode ser aplicado em kappa carragena (FAO, 2014).

O processo de extração tem uma grande influencia na composição bioquímica do polissacarídeo extraído, mas para além deste, outros factores bióticos e abióticos tem influência na composição da carragena (Afonso, 2023). Existem vários processos de extração de carragena, contudo devido a influência do processo de extração na qualidade do polissacarídeo as condições de extração são guardadas em segredo (Afonso, 2023).

2.5.1 Método de tratamento alcalino

Este método é muito usado para a extração de carragena e a eficácia da extração está directamente relacionada ao tipo de solução alcalina utilizada (Jönsson *et al.*, 2020). No tratamento alcalino durante a extração da carragena o componente hidróxido tem o intuito de melhorar a extração do polissacarídeo e acelerar a remoção do sulfato do monómero 3.6-anydro-D-galactose (Rupert *et al.*, 2022). O componente potássio do reagente promove a gelificação da carragena da alga e evita que a carragena derreta na solução quente, portanto ao drenar a solução com o reagente são retirados sais, carboidratos e proteínas solúveis. De seguida o resíduo é enxaguado várias vezes para remover o alcali e qualquer outra coisa que possa se dissolver na água durante o enxague (Bono *et al.*, 2014).

2.5.2 Método de extração enzimática

A extração assistida por enzimas (EAE) se baseia na degradação enzimática da estrutura da parede celular das algas (Rodrigues *et al.*, 2015). É um método mais ecológico em relação aos métodos tradicionais alcalinos (Tarman *et al.*, 2020).

2.5.3 Método de extração assistida por Ultrassom

A extração empregando energia de onda (UAE) aumenta a eficiência da extração e reduz o tempo gasto no processo por meio do uso da propagação de ondas ultrassónicas por um líquido para produzir variações de pressão que resultam na formação de bolhas de cavitação que no final colapsam e facilitam a liberação de compostos bioativos (Carreira-Casais *et al.*, 2021). Este método é considerado ambientalmente sustentável (Talmaciu *et al.*, 2015).

2.5.4 Método de extração assistida por micro-ondas

A extração assistida por micro-ondas (MAE) efectua a ruptura das células da amostra com base no aquecimento do solvente em contacto com a amostra usando a energia do micro-ondas (Yuan *et al.*, 2018).

2.5.5 Método de extração ácida com água de coco

O coco, nome científico *Cocos nucifera* L. é uma planta de regiões tropicais e subtropicais, maioritariamente produzida na Indonésia, Filipinas e na Malásia (Halim *et al.*, 2018). A maioria das partes que compõe o coco podem ter aplicação na vida cotidiana (Burns *et al.*, 2020).

Com o objetivo de aumentar a eficiência da extração tem surgido novas técnicas de extração para polissacarídeos onde a água de coco tem um grande potencial como solvente na extração de carragena. Usar água de cocos velhos que geralmente é descartada em mercados a céu aberto por ser considerada resíduo como matéria-prima para a extração pode agregar valor a mesma (Figura 6). O uso de água de coco como solvente é mais rentável em relação ao uso de solventes alcalinos que carecem de um alto investimento para a sua aquisição (Manuhara *et al.*, 2016).

A água de coco suaviza as paredes celulares das algas, isto acontece devido ao processo de hidrólise que torna as paredes celulares das algas mais permeáveis e suaves para que ocorra a difusão e a extração de carragena torna-se mais fácil e eficiente (Ega *et al.*, 2016).



Figura 6: Descarte da água de coco no mercado Xiquelene situado a arredores na cidade de Maputo. Fonte: Autor.

2.6 Plásticos biodegradáveis

Ao contrário dos bioplásticos que tem como base para a sua produção matéria-prima agrícola (exemplo: milho), as algas são cultivadas em ambiente marinho, portanto, não estabelecem uma relação de competição por áreas de cultivo com os produtos da indústria alimentar (Majeed *et al.*, 2023).

2.7 Filmes de carragena

Os bioplásticos ou filmes são formados pela alteração da estrutura dos biopolímeros (Malajovich, 2016). Biopolímeros são moléculas oriundas de fontes sustentáveis de biomassa, são exemplos de biopolímeros óleos, gorduras vegetais, amido e celulose ou pela polimerização de uma molécula inicial como o ácido láctico (Malajovich, 2016). Os bioplásticos produzidos a partir de biomassa vegetal ou animal possuem um alto potencial para a substituição dos plásticos sintéticos que tem como matéria-prima recursos não renováveis (Gavilanes *et al.*, 2022).

A produção de filmes a partir de polissacarídeos tem como fundamento a quebra de cadeias poliméricas e na formação de novas ligações hidrofílicas, ligações de hidrogênio e forças de van der Waals (Lisitsyn *et al.*, 2021; Suhag *et al.*, 2020).

A carragena é um biopolímero extraído de algas vermelhas e é hidrofílico (Pacheco-Quito, *et al.*, 2020; Zakaria *et al.*, 2023). Sendo conhecida pelas suas propriedades de formar filmes, que são promissores para a produção de embalagens (Ramadas *et al.*, 2024). Filmes de carragena possuem um elevado potencial, contudo, as suas propriedades físicas, como a solubilidade em água e propriedades de barreira precisam ser melhoradas (Ramadas *et al.*, 2024). A mistura de bioplásticos derivados de algas marinhas com outros aditivos ou biopolímeros promove a melhoria das suas propriedades físicas e mecânicas (Agarwal *et al.*, 2023). Está comprovado que associar a carragena e o amido na formulação de bioplásticos melhora as suas características mecânicas e sua solubilidade (Fadhallah, 2024).

O amido é um polissacarídeo oriundo das partes aéreas da planta (milho, trigo, arroz) e quando provém das partes subterrâneas e denominado fécula (mandioca, batata, inhame) (Costa *et al.*,

2022). O amido de milho destaca-se na produção de polímeros biodegradáveis para a produção de embalagens por se tratar de uma matéria-prima abundante, não tóxica, comestível e elevada capacidade de gelificar e é comestível (Luchese, 2018).

O glicerol é um álcool com uma alta afinidade à água e tem como maior fonte de obtenção a indústria de biodiesel (Beatriz *et al.*, 2011). O glicerol tem como papel conferir a maleabilidade e tenacidade ao bioplástico (Barnabé *et al.*, 2020).

O ácido cítrico participa na quebra das cadeias de amido inserido na formulação do bioplástico e possui ação antifúngica (Melo, 2014; Hassan, 2015).

2.7.1 Casting

O processo de *casting* é um processamento por via húmida maioritariamente utilizado em escala laboratorial ou piloto para o desenvolvimento de filmes (Monteiro *et al.*, 2017). Também chamado de método de evaporação do solvente é um processo simples e não demanda muitos equipamentos sofisticados e requer um longo tempo de secagem, que vai desde 12 a 48 h (Figura 7) (Otoni *et al.*, 2017).

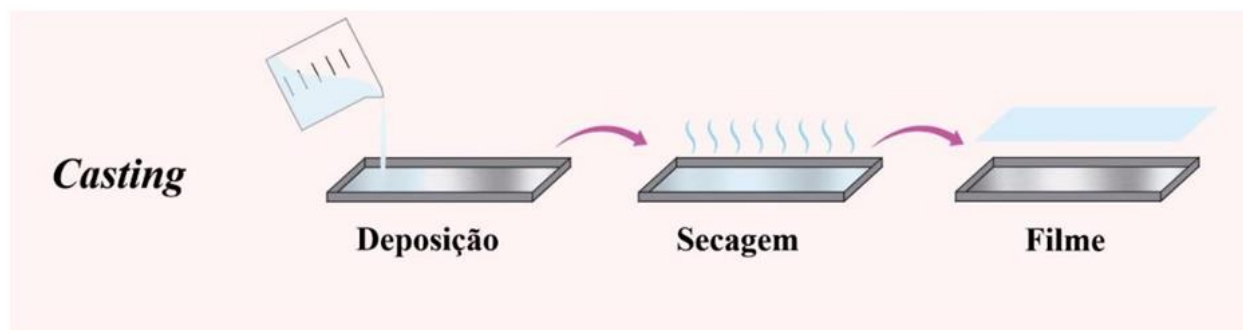


Figura 7: Esquema do processo de produção de bioplástico a partir do método de casting. Fonte: Aleli (2023).

3 METODOLOGIA

3.1 Local de estudo

A Ilha da Inhaca está situada a 32 km defronte da Cidade de Maputo. É uma ilha com 42 km² de área e dimensões de norte-sul de 12.5 km e oeste-este de 6.5 km, sendo desta forma considerada a maior das duas ilhas que formam o arquipélago de Inhaca. A Ilha de Inhaca possui as seguintes coordenadas geográficas 26°S de latitude e 33°E de longitude. De acordo com a divisão político-administrativa, Inhaca pertence ao Município da Cidade de Maputo e integra o Distrito Municipal Ka-Nhaca, que está dividido em três bairros, a saber: Ribjene, Inguane e Nhaquene (Figura 8) (Pereira e Nascimento, 2016).

Fazem parte dos meios de subsistência da população da Ilha de Inhaca a pesca e a exploração de recursos florestais (Pereira e Nascimento, 2016). O transporte de carga via marítima tem acelerado o desenvolvimento socioeconómico da Ilha de Inhaca, devido a garantia da possibilidade de realização de transporte de cargas e pessoas, contudo, devido a tributação exacerbada, burocracia complexa os comerciantes locais são obrigados a revender os produtos vindos da cidade de Maputo a um preço elevado (Chirindza e Massamba, 2022).

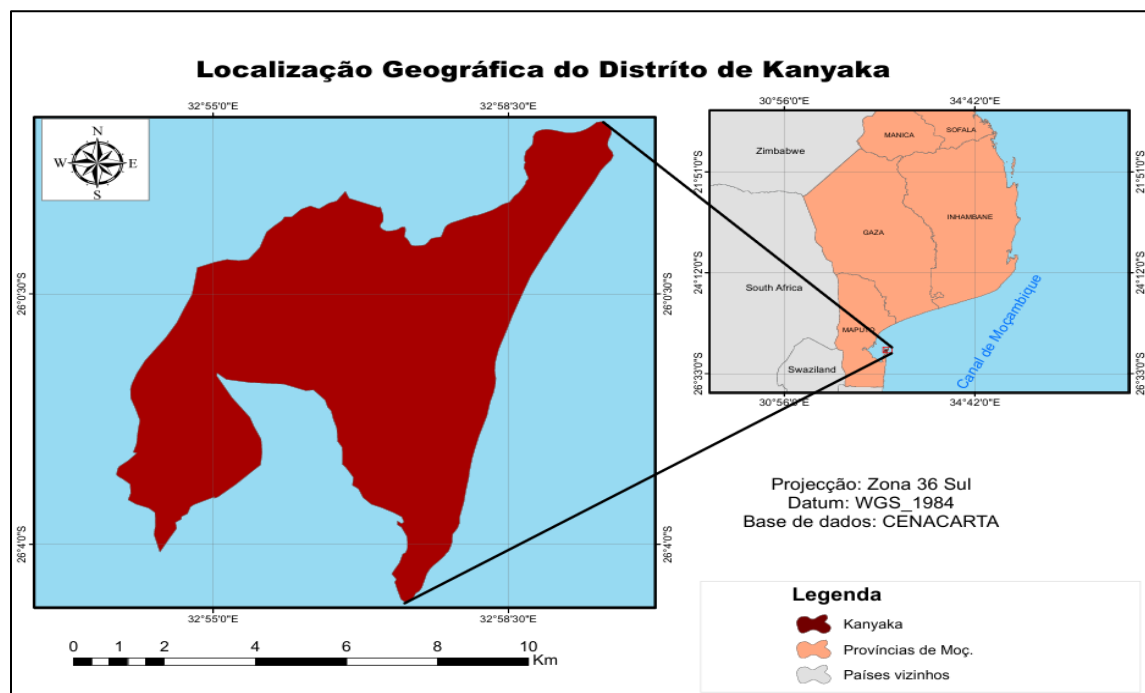


Figura 8: Mapa da localização geográfica da Ilha de Inhaca representada na cor castanha. Fonte: CENACARTA adaptado pelo autor.

3.2 Material

3.2.1 Material biológico

- *Eucheuma denticulatum*;
- *Kappaphycus alvarezii*.

3.2.2 Materiais

- Algodão;
- Balões de *Erlenmeyer*;
- Bandeja plástica;
- Copos Becker (1000ml);
- Crivos;
- Espátulas;
- Fita elástica;
- Frascos de reagente;
- Garrafas pet;
- Gaze;
- Marcador;
- Papel;
- Papel absorvente;
- Papel aderente;
- Papel de alumínio;
- Pipeta;
- Placa de Petri;
- Provetas;
- Sacos plásticos com fechos de zip;
- Solo;
- Termómetro;
- Tesoura;
- Vidro relógio.

3.2.3 Reagentes

- Ácido cítrico (HCl);
- Água de coco;
- Água destilada;
- Amido de milho comercial (Maizena);
- Cloreto de potássio (KCl);
- Cloreto de sódio (NaCl);
- Etanol (C₂H₆O) a 99 %;
- Glicerol (C₃H₈O₃);
- Hidróxido de sódio (NaOH);
- Hidróxido de potássio (KOH);
- Hipoclorito de sódio (NaClO).

3.2.4 Equipamentos

- Agitador magnético;
- Balança;
- Banho-maria (JP Selecta Precistern, 6000141);
- Estufa;
- Exsicador;
- Trituradora (Fritsch pulverisette tipo 2, número 2321);
- Viscosímetro redwood (TWRV-E1).

3.3 Parte I: Extração e avaliação da qualidade da carragena

3.3.1 Preparação de soluções

Solução de KOH a 7%: para a preparação desta solução foram pesados 82.35g de KOH com 85% de pureza e de seguida dissolvidos em um copo Becker com 300 ml de água destilada com o auxílio de um agitador magnético. Foi adicionada água destilada a mistura até completar 1000 ml, no passo seguinte foi transferida para um frasco de reagente de 1000 ml e rotulada.

Solução de KCL a 1.5%: para obter uma solução com 1.5% de concentração de KCl, foram pesados 15.07 g de KCL (99.5 % de pureza), e dissolvidos em um copo Becker com 300ml de água destilada com o auxílio de um agitador magnético. A mistura foi completada até 1000ml com água destilada e foi colocada em um frasco de reagente, rotulada e devidamente fechada.

Solução de ácido cítrico a 1%: para obtenção da solução de ácido cítrico com 1% de concentração foi pesado 1g de ácido cítrico (100% de pureza), e dissolvido em um Becker com 100ml de água destilada com o auxílio de um agitador magnético. A mistura foi colocada em um frasco de reagente fechado e rotulada.

3.3.2 Pré-tratamento

As algas foram colhidas no sistema de cultivo da Ilha de Inhaca, foram lavadas com água do mar, em seguida foram secas ao sol e trituradas.

Amostras de 10g de macroalga em pó, foram lavadas em água corrente, de seguida, foram lavadas novamente em uma solução hipoclorito a 1% para remoção das impurezas, por fim lavadas em água destilada para remoção do hipoclorito a fim de evitar interferências posteriores devido a alta reatividade do mesmo.

3.3.3 Extração alcalina com NaOH

Para a extração alcalina com NaOH, 10g da amostra do pré-tratamento foram colocados em um béquer de 1000 ml com 800 ml de água destilada. De seguida a amostra foi fervida a 95°C em banho-maria e após 30 minutos foram adicionados 3,43 g de NaOH; e deu-se seguimento a fervura por 3 horas e 30 minutos enquanto mexia-se e reabastecia-se a água perdida periodicamente. De seguida foram adicionados 11,43g de NaCl cerca de 5 minutos antes de filtrar, posteriormente, a mistura foi filtrada com o auxílio de gaze e fita elástica. O resíduo foi lavado com 100 ml de água destilada quente, e a carragena foi recuperada do filtrado adicionando lentamente etanol 99% (1:2) enquanto mexia-se, o excesso de etanol foi exprimido e a carragena seca numa estufa a 55°C por 48 horas até peso constante. Após o tempo na estufa, a carragena foi levada para o exsiccador por 1 hora, em seguida moída em pó fino e conservada em plásticos com fechos de zip.

3.3.4 Extração alcalina com KOH

Para a extração alcalina com KOH foi usado o método proposto por Dhewang *et al.* (2023) com algumas modificações alga do pré-tratamento foi embebida em uma solução com 96ml de KOH a 7% por 24 horas, em seguida a amostra foi lavada em água corrente e água destilada. Foram adicionados 400 ml e foi realizada a extração com aquecimento em banho maria a 95°C por 4 horas. Terminado o processo de extração, a mistura foi filtrada com o auxílio de gaze e fita elástica, o resíduo de alga foi lavado com 100 ml de água destilada e novamente filtrado e coagulado com KCl a 1.5% (1:1). A carragena foi recuperada do filtrado adicionando etanol a 99% (1:2). O precipitado foi seco na estufa a 55°C por 48 horas. A carragena foi colocada no exsiccador por 1 hora e por fim moída no almofariz até formar pó e conservada em plásticos com fechos de zip.

3.3.5 Extração com água de coco

Para a extração com água de coco foi utilizada a metodologia proposta por Harnini *et al.* (2024) com algumas modificações, 10 g da amostra do pré-tratamento foram colocados em um copo Becker de 1000ml e foi adicionada água de coco numa proporção de 25mL g⁻¹, e a extração foi feita com aquecimento em banho-maria numa temperatura de 95 °C por 4 horas. Terminado o processo de extração, a mistura foi filtrada com o auxílio de gaze e fita elástica, o resíduo de alga foi lavado com 100 ml de água destilada e novamente filtrado. A carragena foi recuperada do filtrado adicionando etanol a 99% (1:2). O precipitado foi seco na estufa a 55 °C por 48 horas. A carragena foi levada ao exsiccador por 1 hora e por fim moída no almofariz até formar pó e conservada em plásticos com fechos de zip.

3.3.6 Determinação do rendimento

O rendimento da carragena extraída foi calculado de acordo com a equação de Leksono *et al.* (2018):

$$Y_{carragena} = \frac{P}{AS} \times 100\%$$

Onde:

Y- carragena é o rendimento da carragena (%);

P - é a quantidade de carragena em pó (g);

AS - é a quantidade de alga (g) utilizada na extração em base seca.

3.3.7 Teste de viscosidade

A determinação da viscosidade da carragena foi feita com base na metodologia de Cavalcanti *et al.* (2015), Cuna (2022), Naseri *et al.* (2020) e Vale *et al.* (2017), onde, foram dissolvidos 1.5g de carragena em 100ml de água destilada quente (solução 1,5%), a 90 °C e a mistura foi dispersa num agitador magnético por 20 minutos. De seguida, a solução foi deixada estabilizar no banho-maria a 60 graus por 15 minutos para eliminar as bolhas formadas durante o processo de aquecimento a

uma temperatura próxima a de ebulição. Posteriormente, a solução foi colocada na estufa a 25°C até a estabilização da temperatura da amostra.

A viscosidade cinemática foi determinada usando um viscosímetro a uma temperatura de 75 °C, onde foi calculado o tempo que cada amostra levou para atingir o menisco num balão de *erlemeyer* de 50ml e as medidas foram convertidas para viscosidade cinemática por interpolação usando a tabela do manual do fabricante.

Foi calculada a densidade das amostras com a seguinte fórmula:

$$d = \frac{m}{v}$$

Onde:

D - é a densidade em g/cm³;

m - é o peso em gramas;

v - é o volume em cm³.

A viscosidade cinemática foi convertida em viscosidade dinâmica através da seguinte fórmula:

$$v (cp) = v \left(\frac{mm^2}{s} \right) \times d$$

Onde:

d - é a densidade em g/cm³;

v - é a viscosidade.

3.4 Parte II: Produção de bioplástico a base de carragena extraída das macroalgas *Kappaphycus alvarezii* e *Eucheuma denticulatum*.

3.4.1 Formulações do Bioplástico

Para a elaboração das soluções de filmes foi feito um experimento usando o *Design Completamente Randomizado* de 2 fatores com 3 réplicas. O primeiro factor consistia em usar dois tipos diferentes (carragena de *Eucheuma denticulatum* e carragena de *Kappaphycus alvarezii*). O segundo factor consistia em adicionar três níveis de concentração de carragena (m/v): 1g, 2,5g e 5 g.

Tabela 1: Formulação do bioplástico

1	Espécie de alga	<i>Eucheuma denticulatum</i>			<i>Kappaphycus alvarezii</i>		
2	Tratamento	I	II	III	I	II	III
3	Carragena (g)	1	2.5	5	1	2.5	5
4	Amido (g)	5	5	5	5	5	5
5	Glicerol (ml)	5	5	5	5	5	5
6	Água destilada (ml)	100	100	100	100	100	100
7	Ácido cítrico (ml)	2	2	2	2	2	2

3.4.2 Preparação do bioplástico

A preparação do bioplástico foi levada a cabo com base na metodologia proposta por Sofianto *et al.* (2022) e Fadhallah *et al.* (2024) com algumas alterações. O amido de milho (5g) foi dissolvido em 100ml de água destilada e agitada com uma espátula para homogeneizar. Em seguida foi adicionada a carragena extraída com a água de coco como reagente de acordo com a formulação, 5ml de glicerol, 2ml de ácido cítrico (1%). A mistura foi agitada (150rpm) a 70 °C por 30 minutos.

A solução foi colocada numa placa de Petri (9cmX9cm) e seca a 65 °C por 18 horas. O filme foi colocado por 2 horas a temperatura ambiente antes de ser retirado da placa, e em seguida o bioplástico foi submetido aos testes de biodegradação e de resistência a água para a avaliação da a sua qualidade.

3.4.3 Teste biodegradação- Teste de enterramento no solo (Método padrão – ASTM D5338)

Para o teste de biodegradação foi usado o método proposto por Choubey *et al.* (2023). O bioplástico foi cortado em pedaços de 2cm² e foi enterrado com 2 cm de profundidade num solo

coletado perto de raízes de plantas com um pH de 9.37. Os ensaios foram deixados a temperatura ambiente durante 15 dias. O peso do bioplástico foi medido antes e depois do teste.

A equação usada para calcular foi a seguinte:

$$WI(\%) = \frac{(W_o - W)}{W_o} \times 100\%$$

Onde,

W - é a massa perdida durante o teste;

W_o - é a massa da amostra antes do teste;

WI - é a percentagem de biodegradabilidade.

3.4.4 Teste de Resistência a água

O teste de solubilidade em água foi realizado seguindo a metodologia proposta por Sofianto *et al.* (2022). As amostras de bioplástico foram cortadas em quadrados de 2cm², pesadas e registado o peso inicial das mesmas. As amostras foram colocadas em um copo becker com 30 ml de água destilada durante 3 minutos para que ocorra a absorção de água. As amostras foram removidas e o excesso de água foi retirado com a ajuda de porção de gaze, e finalmente foi medido o peso final. A percentagem de água absorvida foi calculada de acordo com a fórmula:

$$S(\%) = \frac{(W_o - W_f)}{W_o} \times 100\%$$

Onde,

S - é a dilatação em água;

W_o - é a massa do bioplástico antes do teste;

W_f - é a massa do bioplástico no fim do teste.

3.5 Análise de dados

Os dados recolhidos a partir dos experimentos supracitados foram inseridos no Microsoft Excel Professional Plus 2019 para análise, determinação das médias e desvio padrão. Os mesmos foram inseridos no software GraphPad Prism versão 8.2.1 de 2019 para a realização do teste de normalidade e para elaboração dos gráficos. Os resultados foram submetidos aos seguintes testes estatísticos: Anova One Way, Anova Two way e teste Tukey, no programa Microsoft Excel Professional Plus 2019, considerando o nível de significância de 5% (0.05).

4 RESULTADOS

4.1 Extração de carragena

4.1.1 Características físicas da carragena extraída

Foi realizada a extração da carragena das algas *Kappaphycus alvarezii* e *Eucheuma denticulatum* usando três reagentes diferentes. Na espécie *K. alvarezii* foi obtida carragena com coloração amarela clara na extração com o reagente NaOH e KOH e amarelada escura na extração com água de coco. Quanto a rigidez a carragena extraída com recurso a água de coco era mais rígida, tornando mais difícil a sua maceração (Figura 9).

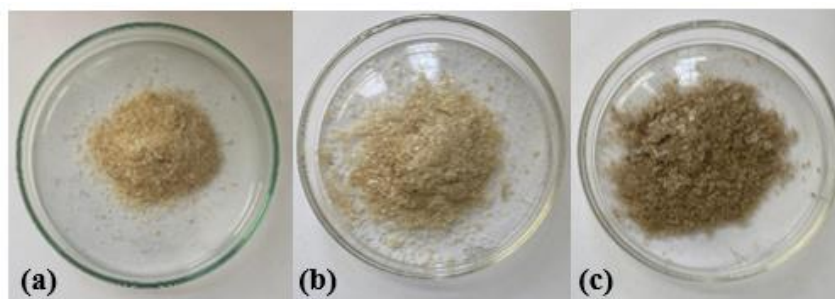


Figura 9: Carragena moída extraída de *Kappaphycus alvarezii* usando como reagente o NaOH (a), KOH (b) e água de coco (c).

Na espécie *E. denticulatum* foi obtida carragena com coloração amarela clara na extração com o reagente NaOH, amarelada escura na extração com água de coco, e na extração com o reagente KOH obteve-se a coloração mais avermelhada. Quanto a rigidez a carragena extraída com recurso a água de coco era mais rígida, tornando mais difícil a sua maceração em relação a carragena obtida a partir de outros tratamentos (Figura 10).

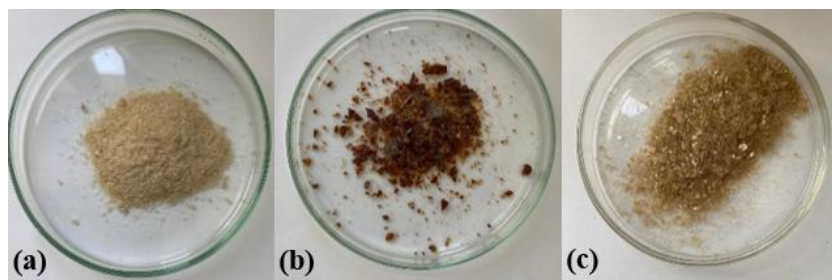


Figura 10: Carragena moída extraída de *Eucheuma denticulatum* usando como reagente o NaOH (a), KOH (b) e água de coco (c).

4.1.2 Rendimento da extração

O rendimento foi obtido através da pesagem do extrato seco de carragena onde o maior rendimento foi obtido na extração realizada na alga *K. alvarezii* com o reagente KOH onde o rendimento foi de 55.5% seguido da extração com água de coco com 54% e na extração com NaOH obteve-se um rendimento de 52.8%. A alga *E. denticulatum* na extração com KOH obteve-se 45.5% de rendimento, a extração com água de coco com 43.7% e na extração NaOH com 25.1% (Figura 11).

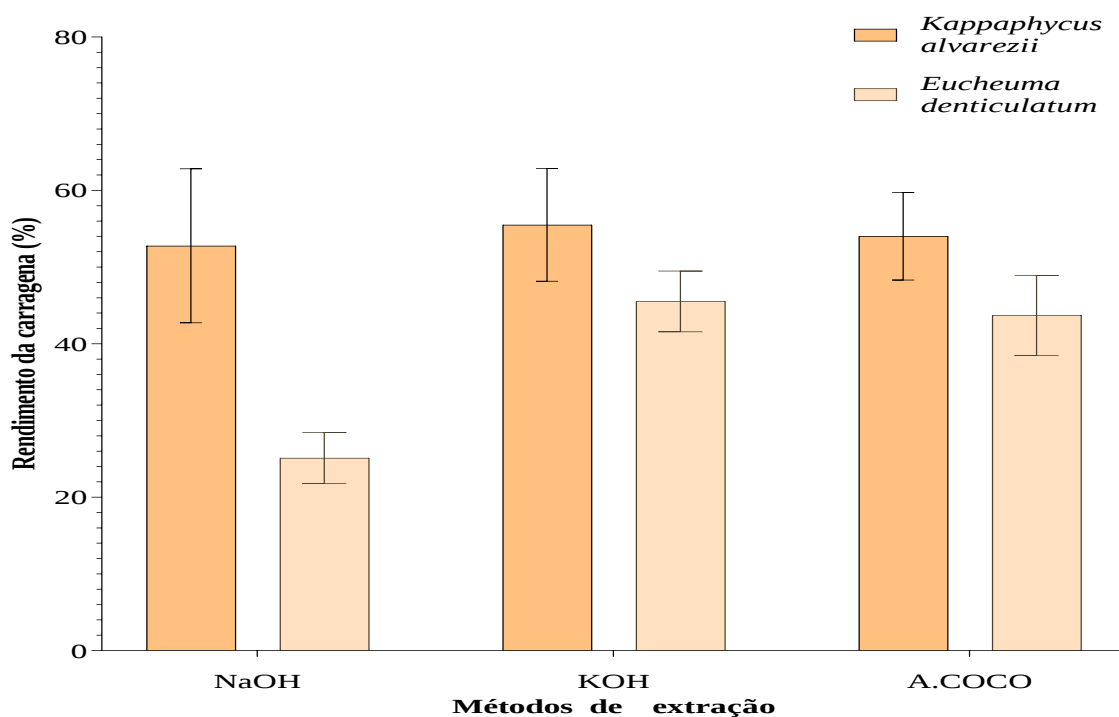


Figura 11: Média ($\pm$ DP) do rendimento obtido da extração de carragena das algas *Kappaphycus alvarezii* e *Eucheuma denticulatum* com o uso de três metodologias diferentes, com hidróxido de sódio (NaOH), hidróxido de potássio (KOH) e água de coco.

As análises estatísticas (Anexo-1) mostraram que existe uma diferença significativa entre o rendimento de extração de carragena obtido nas espécies *K. alvarezii* e *E. denticulatum* ($P < 0.05$). A interação entre os factores tipo de alga e reagente de extração influenciam de maneira significativa no rendimento da extração ($P < 0.05$) (Anexo 11).

O teste de Tukey demonstrou que não há diferença significativa entre o rendimento obtido nas duas algas na extração com água de coco e na extração usando o reagente KOH, mas apresentaram diferença significativa no rendimento obtido nas duas algas usando o reagente NaOH.

O rendimento obtido a partir da extração com os três reagentes na alga *K. alvarezii* não apresenta uma diferença significativa ($P>0.05$) (Anexo 12). Na alga *E. denticulatum* o rendimento não apresentou diferença significativa entre a extração com o reagente KOH e com água de coco, mas os dois tratamentos apresentaram rendimento significativamente diferente do obtido na extração com NaOH.

4.1.3 Viscosidade das amostras de carragena extraídas de *Eucheuma denticulatum* e *Kappaphycus alvarezii*.

As amostras de carragena foram submetidas a um teste de viscosidade no viscosímetro redwood onde obteve-se a viscosidade cinemática por interpolação, esta por sua vez foi convertida em viscosidade dinâmica em centipoises.

Os resultados mostraram que houve maior viscosidade na carragena do tratamento *Kappaphycus alvarezii* (KA) KOH com a média 54.30 (± 7.12) cp, seguida de *Eucheuma denticulatum* (EU) NaOH com 29.42 (± 5.68) cp de média, EU COCO com 14.61 (± 12.62) cp de média, KA NaOH com 11.08 (± 7.49) cp de média, carragena, KA COCO com 6.11 (± 2.13) cp de média e por fim carragena do tratamento EU KOH com 0.5 (± 0.35) de média (Figura 12).

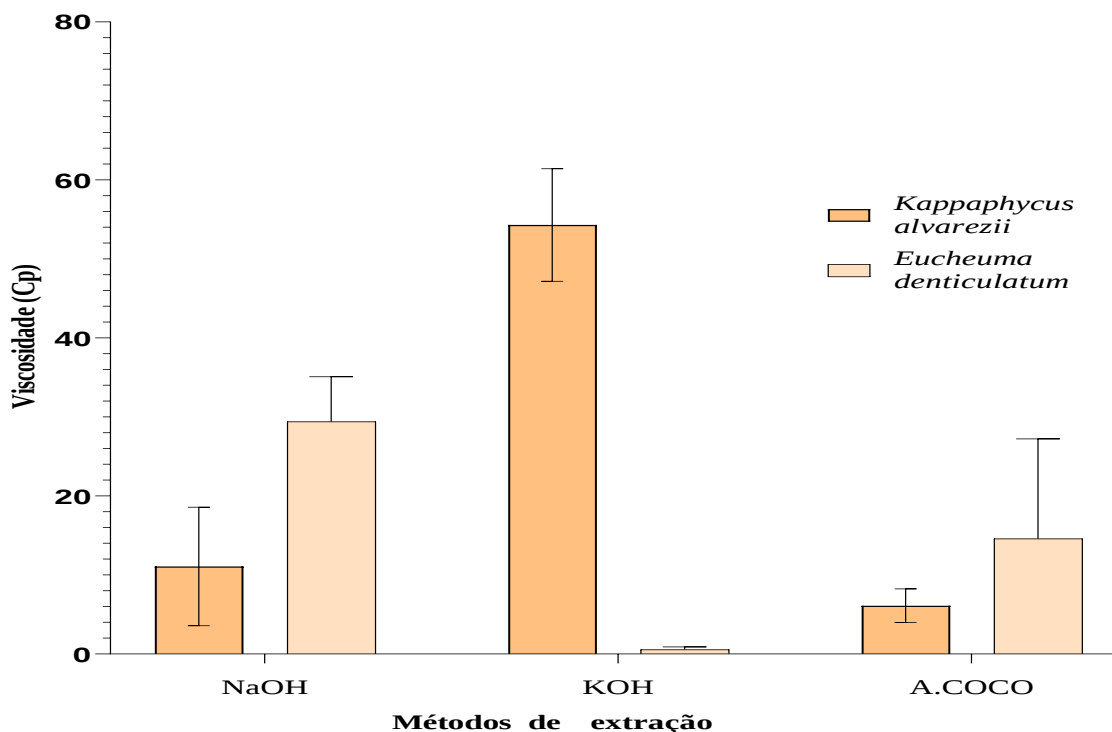


Figura 12: Média ($\pm$ DP) da viscosidade da carragena obtida das algas *Kappaphycus alvarezii* e *Eucheuma denticulatum* com o uso de três metodologias diferentes, com hidróxido de sódio (NaOH), hidróxido de potássio (KOH) e água de coco.

Realizadas as análises estatísticas observou-se que a interação entre os factores tipo de alga e reagente para extração influi de maneira significativa na viscosidade da carragena ($P < 0.05$) (Anexo 14). A carragena extraída com os reagentes NaOH e KOH apresentou diferença significativa na viscosidade em virtude do tipo de alga usada, porém no tratamento com água de coco a diferença não foi significativa.

A viscosidade da carragena da espécie *K. alvarezii* não apresentou diferença significativa nos tratamentos com NaOH e com água de coco, somente o tratamento com KOH foi estatisticamente diferente. A viscosidade da carragena da espécie *Eucheuma denticulatum* apresentou diferença significativa nas médias dos três tratamentos (Anexo 16).

4.2 Produção de Bioplástico

Foram produzidos bioplásticos com 6 formulações diferentes, três tratamentos com a alga *E. denticulatum* e três da alga *K. alvarezii*, os bioplásticos apresentaram como características a maleabilidade e resistência. Observou-se uma cor marrom nos bioplásticos e a intensidade da cor apresentou uma variação diretamente proporcional ao aumento da concentração de carragena, o contrário foi verificado na presença de rachaduras nos bioplásticos que diminuía com o aumento da concentração da carragena, e por sua vez foram verificadas maioritariamente nos bioplásticos a base de carragena extraída de *E. denticulatum* (Figuras 13 e 14).

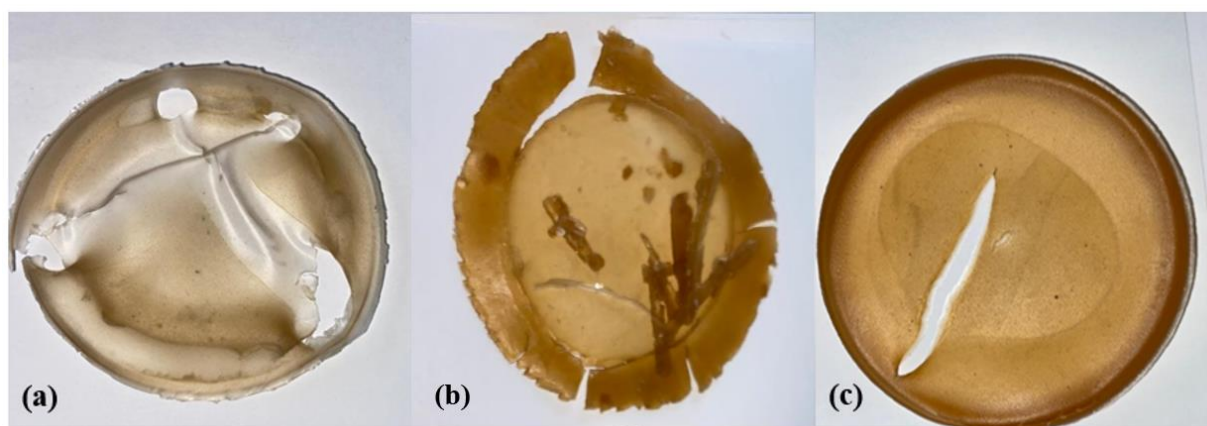


Figura 13: Bioplásticos feitos de carragena extraída de *Eucheuma denticulatum* com 1g (a), 2.5g (b) e 5g (c) de carragena.

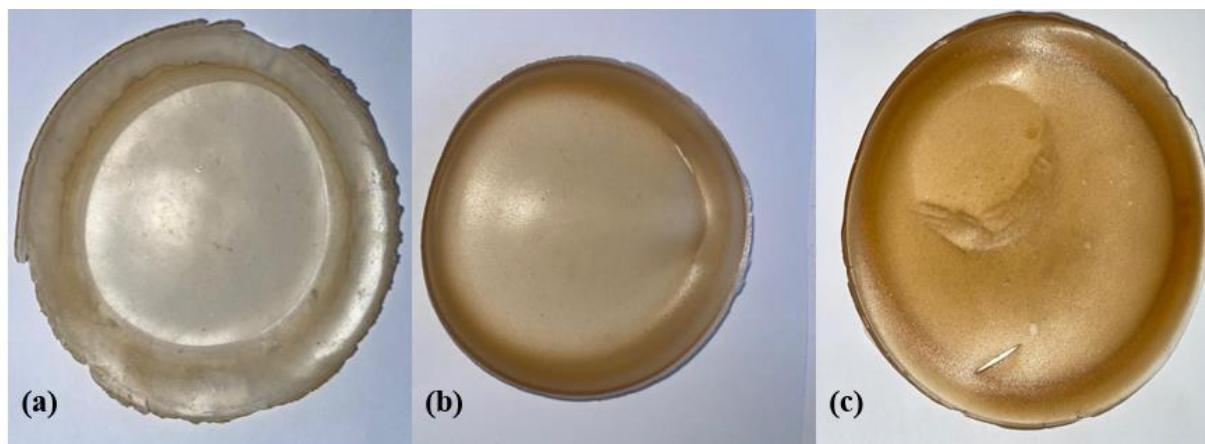


Figura 14: Bioplásticos a base de carragena extraída de *Kappaphycus alvarezii* com 1g (a), 2.5g (b) e 5g (c) de carragena.

4.2.1 Biodegradação

Realizou-se um teste de biodegradação em solo das amostras de bioplástico feito a partir da carragena extraída das duas amostras de algas. Após os 4 dias em que as amostras de bioplástico foram submetidas a biodegradação verificou-se sinais de colonização por microrganismos decompositores e as amostras se apresentavam turgidas por terem absorvido a água do solo. Após 10 dias de teste as amostras de bioplástico apresentavam maior índice de proliferação de microrganismos decompositores e uma consistência frágil e pouco maleável. Após 15 dias os bioplásticos apresentavam sinais de diminuição de massa total de cada amostra, a partir destas amostras foi realizada a pesagem final para o cálculo da percentagem de biodegradação (Figura 15).

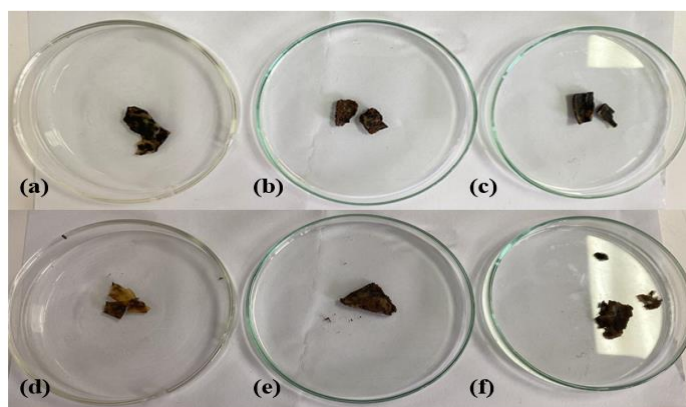


Figura 15: Bioplástico após 15 dias de biodegradação. Carragena de *Eucheuma denticulatum*: I (a), II (b) e III (c). Carragena de *Kappaphycus alvarezii*: I(d), II (e), III (f).

Nas amostras de bioplástico feito a partir de carragena de *Eucheuma denticulatum* obteve-se um percentual de 79.94 (± 6.36) % de biodegradação no bioplástico com formulação I, 80.66 (± 3.55) % no bioplástico com a formulação II e 83.28 (± 9.62) % no bioplástico com a formulação III. Nas amostras de bioplástico feito a partir de carragena de *Kappaphycus alvarezii* obteve-se 80.55 (± 2.09) % de percentagem de biodegradação no bioplástico com formulação I, 80.76 (± 4.66) % no bioplástico com a formulação II e 87.34 (± 1.36) % no bioplástico com a formulação III (Figura 16).

De acordo com a teste Anova não houve diferença significativa na percentagem de biodegradação entre as amostras de bioplástico da carragena das duas espécies de alga onde $P > 0.05$ (Anexo 17),

na mesma senda observou-se que não houve diferenças significativas na percentagem de biodegradação entre as diferentes formulações.

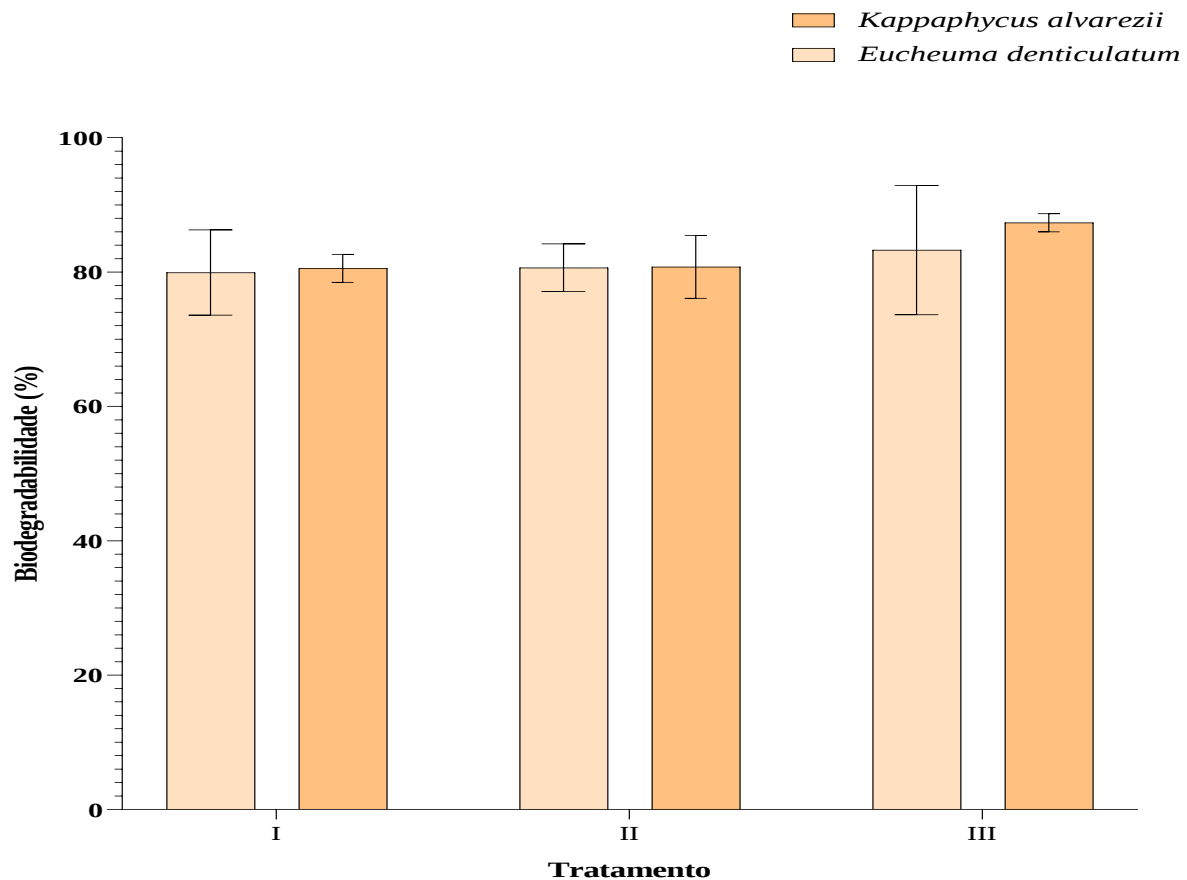


Figura 16: Média ($\pm$ DP) da percentagem de biodegradabilidade em 15 dias das amostras de bioplástico a base de carragena de *Kappaphycus alvarezii* e *Eucheuma denticulatum*.

4.2.2 Resistência a água

Realizou-se o teste de resistência a água onde foi calculada a percentagem de água absorvida em 3 minutos de submersão em água destilada pelas amostras de bioplástico feitas a partir de carragena de duas espécies de algas com o uso de três formulações diferentes. Este teste mostra a percentagem de água absorvida, quanto menor for a percentagem de água absorvida pelo bioplástico maior é a sua resistência a água.

Nas amostras de bioplástico feito a partir de carragena de *Eucheuma denticulatum* obteve-se 18.47 (± 1.83) % de percentagem de água absorvida no bioplástico com formulação I, 25.58 (± 8.89) % no bioplástico com a formulação II e 24.62 (± 10.08) % no bioplástico com a formulação III. Nas amostras de bioplástico feito a partir de carragena de *Kappaphycus alvarezii* obteve-se de 24.27 (± 5.65) % de percentagem de água absorvida no bioplástico com formulação I, 15.60 (± 5.74) % no bioplástico com a formulação II e 19.99 (± 5.51) % no bioplástico com a formulação III (Figura 17).

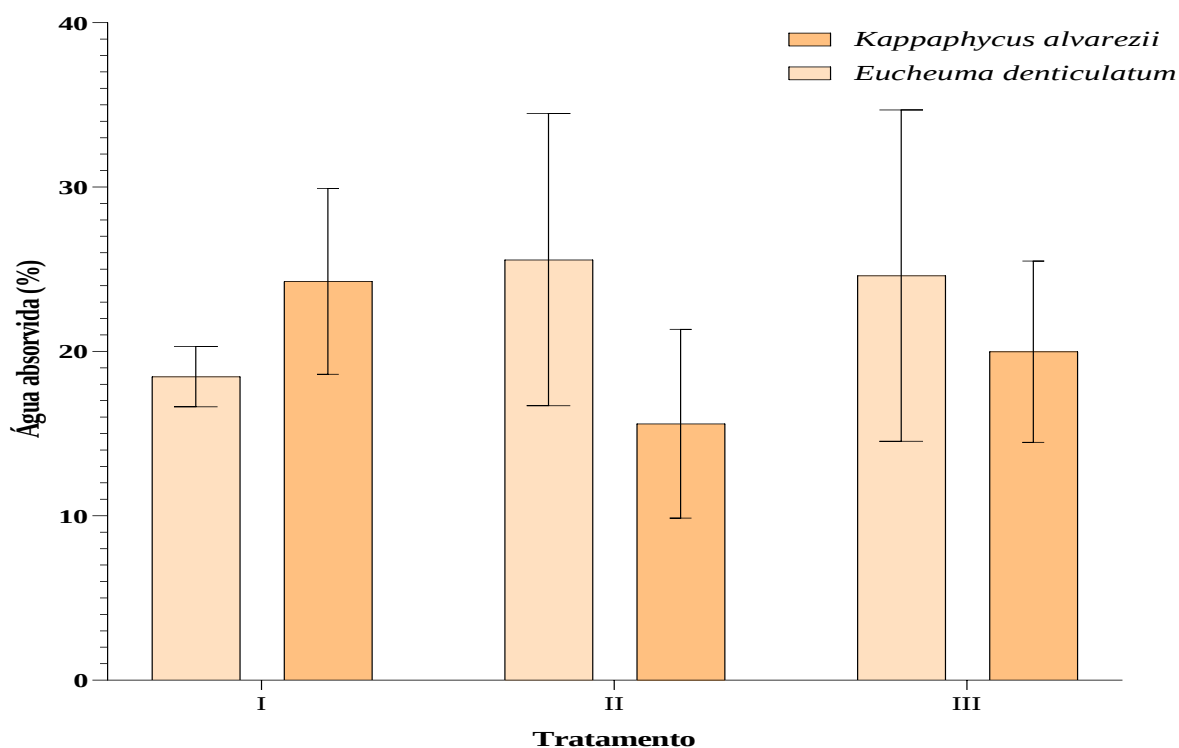


Figura 17: Média ($\pm$ DP) da absorção de água das amostras de bioplástico a base de carragena de *Kappaphycus alvarezii* e de *Eucheuma denticulatum*.

De acordo com a Anova não houve diferença significativa na percentagem de água absorvida entre as amostras de bioplástico da carragena das duas espécies de alga onde $P > 0.05$ (Anexo 18), na mesma senda observou-se que não houve diferenças significativas na percentagem de água absorvida entre as diferentes formulações, portanto, não houve diferença significativa na capacidade de resistência a água entre as amostras de filmes de biodegradáveis.

5 DISCUSSÃO

5.1 Extração de carragena

5.1.1 Características físicas da carragena

A extração da carragena seguindo os três métodos resultou numa carragena de coloração amarela em *K. alvarezii*. A carragena extraída de *E. denticulatum* apresentou a coloração amarelada, excepto pela extração com KOH, o que pode representar que existem vestígios de KOH na carragena. A cor amarela da carragena segue o padrão normal das características morfológicas deste polissacarídeo que geralmente é apresentarem cor branca ou amarelada (Chan *et al.*, 2013). Os resultados corroboram com o estudo feito por Lestari *et al.*, 2024, com amostras da macroalga *Kappaphycus alvarezii* usando o reagente alcalino KOH para extração de carragena que resultou em extratos de cor amarela esbranquiçada. Cuna (2022) relata que a coloração da carragena extraída de *Eucheuma denticulatum* apresenta coloração amarela, esta afirmação é baseada nos resultados de sua pesquisa onde a extração foi realizada através de métodos alcalinos.

5.1.2 Rendimento

O rendimento da carragena obtida da alga *K. alvarezii* de 52.8%-55.5% encontra-se dentro do esperado de acordo com estudos de outros autores. 52.95% (Harnini *et al.*, 2024). 53.7 % (Youssuf *et al.*, 2017).

Estudos realizados por Perreira *et al.*, 2013 e Manuhara *et al.*, 2016 referem-se ao rendimento da carragena em valores como 38.7% e 19.50% à 43.91%, respetivamente. No presente estudo rendimento da carragena obtida da alga *E. denticulatum* de 25.1%-45.5% encontra-se dentro do esperado de acordo com estudos dos autores supracitados.

Da extração da carragena o maior rendimento foi observado em amostras da alga *K. alvarezii* nas nos tratamentos com KOH, NaOH e água de coco com os rendimentos de 55.5%, 54% e 52,8 %, respectivamente, sem diferenças significativas. Estes resultados refletem o que está descrito na literatura, o rendimento da carragena extraída a partir de métodos alcalinos geralmente é maior que 30% (Luhan *et al.*, 2022). A extração com água de coco contribui para o aumento do rendimento (Anggriani *et al.*, 2022; Manuhara *et al.*, 2016).

A espécie *K. alvarezii* apresentou maiores rendimentos de extração em relação a *E. denticulatum*. O tratamento que apresentou o rendimento mais baixo foi a extração de carragena na alga *E. denticulatum* com NaOH com 25.1%. Isto porque, a alga *Kappaphycus alvarezii* comparada a outras algas vermelhas, apresenta maior percentagem de carragena (Wullandari *et al.*, 2021). Num estudo feito por Abel *et al.* (2024), a extração da carragena nas espécies *K. alvarezii* e *E. denticulatum* foram submetidas as mesmas condições de extração e a espécie *K. alvarezii* apresentou maior rendimento. O baixo rendimento de carragena na espécie *E. denticulatum* pode dever-se a vários factores como método de extração ou as condições de cultivo (Lomartine e Gonçalves, 2022).

A extração da carragena em *K. alvarezii* usando água de coco na solução de extração a 95°C resultou num rendimento de 54 %, o que indica que a temperatura pode ter influenciado no rendimento da extração com este reagente. Em um estudo foi feita a extração de carragena com água de coco a uma temperatura de 90°C e resultou num rendimento de 52.95% (Harnini *et al.*, 2024).

5.1.3 Viscosidade

A maior viscosidade de carragena foi observada na extração com KOH na alga *K. alvarezii*. O resultado espelha o facto de a adição de iões de potássio aumentar a força do gel (Andrade *et al.*, 2016). A viscosidade é proporcional a força do gel (Barreto e Beirão, 1999).

Na alga *K. alvarezii* a viscosidade foi igual na extração com NaOH e com água de coco. A carragena extraída usando a água de coco como reagente apresenta boa qualidade por estar dentro dos padrões da FAO (Anggriani *et al.*, 2022).

Na alga *E. denticulatum* a viscosidade foi maior no tratamento com NaOH, seguida de água de coco e por fim KOH. Mesmo apresentando vários benefícios o tratamento alcalino pode levar a uma degradação do polissacarídeo devido ao calor extremo e a alta concentração de alcalinidade que levam a uma despolimerização da carragena (Rupert *et al.*, 2022).

A viscosidade é um dos parâmetros medidos para a avaliação da qualidade da carragena, um dos factores que influenciam na qualidade da carragena é o local de origem das algas das quais a carragena foi extraída (Lomartine e Gonçalves, 2022).

As viscosidades de todas as amostras estavam no intervalo de 5 a 800 cp, o que mostra que estão dentro dos padrões para o uso na indústria alimentícia, exceptuando a carragena da alga *E. denticulatum* que de acordo com os resultados apresentou viscosidade abaixo de 5cp (Aditivos e ingredientes, 2024).

5.2 Bioplástico

A carragena usada para a produção de bioplástico foi a carragena do tratamento com água de coco pelo facto de esta apresentar boa qualidade e por ter sido obtida a partir de um método ecológico (Anggriani *et al.*, 2022).

Foram produzidos bioplásticos com 6 formulações diferentes, três tratamentos com a alga *E. denticulatum* e três da alga *K. alvarezii*, os bioplásticos apresentaram como características a maleabilidade e resistência. Um dos factos que contribui para estes resultados é a presença do glicerol que é uma substância não volátil que promove mudanças físicas e mecânicas no bioplástico, contribuindo para a sua maleabilidade e resistência (Balqis *et al.*, 2017).

Observou-se uma cor marrom nos bioplásticos e a intensidade da cor apresentou uma variação diretamente proporcional ao aumento da concentração de carragena, a cor dos biofilmes é influenciada pela composição da mistura e de outros aditivos incorporados na produção do bioplástico (De Jesus, 2021).

Verificou-se nos biofilmes a presença de rachaduras que diminuía com o aumento da concentração da carragena, e por sua vez foram verificadas maioritariamente nos bioplásticos a base de carragena extraída de *E. denticulatum*. Quanto maior for a concentração de carragena no biofilme, maior será o número de ligações entre as moléculas na estrutura do bioplástico, tornando-o mais compacto resistente (Harijiono e Mustikaasari, 2001).

5.2.1 Biodegradação

Todos os bioplásticos apresentaram pontos de coloração verde, sinal de colonização por micro-organismos após 4 dias, ao fim de 15 dias, a consistência do bioplástico era mole. Este resultado demonstra que a degradação do bioplástico ocorre de forma rápida no solo onde estão presentes bactérias que degradam os polímeros e transformam-nos em monómeros e causam alterações físicas nos filmes que resultam na sua decomposição completa (Emadian *et al.*, 2017).

Sobre a percentagem de biodegradação, o estudo mostrou que não houve diferença significativa entre as três formulações para a produção de bioplástico, não houve diferença significativa na biodegradação do bioplástico da carragena de *K. alvarezii* e *E. denticulatum*, todos os bioplásticos apresentaram uma percentagem alta de biodegradação após 15 dias de teste. A natureza hidrofílica da carragena leva a altos níveis de biodegradação (Illing e Satriawan, 2018).

O intervalo da percentagem de biodegradação de 79.94% - 87.34% esteve dentro do esperado. 44.29% -60.91%, usando sorbitol como plastificante (Sofianto *et al.*, 2022).

5.2.2 Resistência a água

Fez-se a análise da percentagem de água absorvida nos filmes de carragena, o teste revelou que não houve diferenças significativas na capacidade de resistência a água numa comparação entre as diferentes formulações e entre as duas espécies de algas. Esta observação pode estar relacionada ao facto de ter-se adicionado a mesma quantidade de ácido cítrico em todas as amostras, que é responsável pela reticulação (*Crosslinking*) da estrutura molecular, neste fenómeno os grupos hidroxilo do amido reagem com moléculas de grupos multifuncionais formando ligações entre as cadeias poliméricas, o que pode resultar na formação de ésters (hidrofóbicos) que substituem os grupos hidróxido (hidrofílicos) (Seligra *et al.*, 2016).

A percentagem de água absorvida pelos bioplásticos esteve no intervalo de 15.60% a 25.58 %, uma percentagem baixa comparada a outros estudos. 77.39% - 132.2% usando sorbitol como plastificante (Sofianto *et al.*, 2022). 28.72% - 58.09% com o uso de amido de mandioca (Fadhallah *et al.*, 2024).

Uma alta absorção de água e consequente baixa resistência a água pode se dever a natureza porosa e alta solubilidade da matéria-prima a base de alimentos, como é o caso do amido de milho, portanto, é importante estabelecer uma percentagem ideal para a formulação de bioplásticos com este tipo de matéria-prima, com 10% de amido de milho obteve-se bons resultados no teste de resistência a água (Choubey *et al.*, 2023).

6 CONCLUSÃO

- A carragena das macroalgas *Kappaphycus alvarezii* e *Eucheuma denticulatum* foi extraída com sucesso a partir dos três métodos, resultando em um pó de coloração amarela clara na extração com os reagentes NaOH e KOH, amarela mais escura na extração com água de coco e avermelhada na extração feita na macroalga *Eucheuma denticulatum* efectuada com o reagente KOH.
- O método utilizado para a extração da carragena tem influência no seu rendimento e na qualidade da carragena. A espécie *Kappaphycus alvarezii* apresenta maior rendimento de extração (52.8%– 55.5%) e viscosidade (6.11cp -54.30 cp) em relação a *Eucheuma denticulatum* (rendimento: 25.1% - 52.2%; viscosidade: 0.55cp – 29.42cp) em todos os métodos utilizados para a extração.
- As extrações efectuadas com água de coco e com KOH apresentaram os melhores rendimentos em ambas as espécies de alga e a viscosidade da carragena (com excepção da *E. denticulatum*) extraída apresentava boa qualidade estando dentro dos padrões da FAO, sendo a água de coco um reagente sustentável do ponto de vista económico e ambiental, o método de extração com água de coco destaca-se de forma positiva.
- Todas as 6 formulações do bioplástico apresentaram boas percentagens de biodegradação e boa resistência a água. Os bioplásticos das duas macroalgas apresentaram melhores características morfológicas na formulação com maior quantidade de carragena (5g), com destaque para a espécie *Kappaphycus alvarezii*.
- Pode se inferir o método de extração com água de coco é um método sustentável para a produção de carragena devido ao baixo custo associado a aquisição do reagente e a contribuição do seu uso na mitigação da poluição ambiental, a carragena obtida pode ser utilizada no fabrico de biofilmes resultando em bioplásticos com óptimos níveis de biodegradação e resistência a água.

7 LIMITAÇÕES

- Falta de equipamentos para medição de outros parâmetros para avaliação da qualidade da carragena, nomeadamente: conteúdo de sulfatos (de 15% a 40%); deteção de proteínas, lípidos e amido (abaixo de 5%).

8 RECOMENDAÇÕES

- Estudar a composição química da carragena extraída para auferir a pureza da carragena;
- Aperfeiçoar a fórmula para a formulação do bioplástico adicionando ácido ascórbico para o melhoramento da cor;
- Submeter o bioplástico a um tratamento para melhoria da resistência a água.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abdan, R. A. R. (2013). Pengaruh Jarak Tanam Terhadap Pertumbuhan dan Kandungan Keragenan Rumput Laut (*Eucheuma Spinosum*) Menggunakan Metode Long Line. *Jurnal Mina Laut Indonesia*. 3 113-123.
2. Abdou, E., Sourour, M. (2014). Preparation and Characterization of Starch/Carrageenan Edible Films. *International Food Research Journal*. 21(1): 189-189).
3. Abdul Khalil, H. P. S., Lai, T. K., Tye, Y. Y., Rizal, S., Chong, E. W. N., Yap, S. W., Hamzah, A. A., Nurul Fazita, M. R., Paridah, M. T. (2018). Uma Revisão das Extrações de Hidrocolóides de Algas Marinhas: Propriedades e Aplicações. *Letras Expressas de Polímero*, 12(4), 296–317. DOI: <https://doi.org/10.3144/expresspolymlett>.
4. Abel, E. J., Dee, P., Tolentino, H. (2024). Characteristics of Carragenan Extracted from Cormmercially Important Seaweeds from the MIMAROPA Region, Philippines. *Fishery Tecnology*. 61: 45-52.
5. Aditivos & Ingredientes. Carragenas: Kappa, Iota, Lambda, Um, Nu e Theta. Disponível em: https://aditivosigredientes.com.br/upload_arquivo/201602/2016020229627001454324315. Acesso em 22 de Dezembro 2024.
6. Andrade, S. V., Araújo, O. I., Agibert, C. A. S., Fernandes, S. H. P. (2016). Influência dos Iões de Cálcio e Potássio nos Géis de Carragena Kappa e Iota. *Revista Eletrônica TEECCEN*. 5 (2): 31-42.
7. Afonso, M. M. M. (2023). *Novel Extraction Methods, Yield, Structural and Rheological Properties of Carrageenan from Novel **Kappaphycus alvarezii** Strains from the Philippines*. Tese de Mestrado. Universidade de Coimbra. Coimbra. 117pp.
8. Agarwal, S., Singhal, S., Godiya C. B., Kumar, S. (2023). Prospects and Applications of Starch-based Biopolymers. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*. 103(18):6907-26.
9. Alcivar-Gavilanes, G. M., Carrillo-Anchundia, L. K., Rieral, M. A. (2022). Desenvolvimento de um Bioplástico a partir de Casca de Banana. 42(3): 0120-5609.
10. Aleli, S. O. E. (2023). Bioplásticos de Hidroxipropil Metilcelulose Obtidos por um Método Inovador: Casting Centrífugo. Universidade Federal do Amazonas. Manaus. 100pp.

11. Alves, C., Silva, J., Freitas, R., Pinteus, S., Reboleira, J., Pedrosa, R., Bernardino, S. (2019) Chapter 3.35—Red Algae. In *Nonvitamin and Nonmineral Nutritional Supplements*; Nabavi, S. M., Silva, A. S., Eds.; Academic Press: Cambridge, MA, USA, pp. 375–382, ISBN 978-0-12-812491-8.
12. Anggriani, R., Nisa R. K., Harini, N. (2022). The Difference of Coconut Varieties and Temperature in Carrageenan Extraction from Seaweed (*Eucheuma Cottoni*). *Journal Teknologi Pagan*. 16(1):103-115pp.
13. Arrieche, D., Carrasco, H., Olea A., F., Espinoza, L., San-Martin, A., Taborga, L. (2022). Secondary Metabolites Isolated form Chilean Marine Algae: Review. *Marine Drugs*, 20 (5): 337.
14. Astuti, K. W., Putu, N., Wijayanti, A. D., Ngurah, G., Dewantara Putra, A., Laksmiani, L. (2017). Optimization Of Isolation Method of Carrageenan from *Kappaphycus alvarezii* Doty Using Factorial Experimental Design. *Journal of Health Sciences and Medicine*. 1(2).
15. Babu, R. P., O'Connor K., Seeram R. (2013). Current progress on bio-based polymers and their future trends. *Prog Biomater* 2:8. <https://doi.org/10.1186/2194-0517-2-8>.
16. Băcăiță, E. S., Peptu, C. A., (Logigan), C.L. S., Lutcanu, M., Agop, M. (2021). Manifest/Non-Manifest Drug Release Patterns from Polysaccharide Based Hydrogels Case Study on Cyclodextrin κ Carrageenan Crosslinked Hydrogels. *Polymer*. 12 (23):41-47.
17. Baia, B. G., F., Fontanez, F. C., Silva, G. G., Almeida, R. L., Assis, P. M., Cinezi, R. G., Dias, L. (2020). Plásticos e seus Impactos Ambientais. *International Studies on Law & Education*. 3 (4):167-176.
18. Balqis, A. I., Khaizura, M. N., Russly, A. R., Hanani, Z. N. (2017). Effects of Plasticizers on the Physicochemical Properties of Kappa-carrageenan Films Extracted from *Eucheuma cottonii*. *Int. J. Biol. Macromol*. 103: 721–732.
19. Barnabé, P. B., Fernandes, S. B., Lopes, B. G., Otoni, A. K. G., Gonçalves e S. M. (2020). Produção de Bioplástico a partir de Casca de Batata. Universidade, EaD e Software Livre. 6pp.
20. Barreto, M. L. P, Beirão, H. L. (1999). Influência do Amido e Carragena nas Propriedades Texturais de Surimi de Tilápia (*Oreochomis sp.*). *Food Sci. Technol*. 19 (2).
21. Beatriz, A., Araújo, Y. J., K., Lima, D. P. (2011). Glicerol: Um Breve Histórico e Aplicação em Sínteses Estereosseletivas. *Química Nova*. Rio de Janeiro. 34(2): 306-319.

22. Billing S., L., Rostan, J., Tett, P., MacLeod, A. (2021). Is Social License to Operate Relevant for Seaweed Cultivation in Europe? *Aquaculture*, v.534.
23. Bono, A., Anisuzzaman, S. M., Ding, O. W. (2014). Effect of Process Conditions on the Gel Viscosity and Gel Strength of Semi-refined Carrageenan (SRC) Produced from Seaweed (*Kappaphycus alvarezii*). *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 26 (1): 3-9. DOI: .
24. Burns, T. D., Johnston E. L., Michael, J. W. (2020). Authenticity and the Potability of Coconut water - a Critical Review. *AOAC International Journal*. 103 (3): 800–806.
25. Carreira-Casais, A., Otero, P., Garcia-Perez, P., Garcia-Oliveira, P., Pereira, A. G., Carpena, M., Soria-Lopez, A., Simal-Gandara, J., Prieto, M. A. (2021). Benefits and Drawbacks of Ultrasound-Assisted Extraction for the Recovery of Bioactive Compounds from Marine Algae. *Int J. Environ. Res. Public Health*. 18 (17): 9153. Doi: 10.3390/ijerph10179153.
26. Cavalcanti, T. P., Santiago, R. C., Albuquerque, U. R., Santana K. R., Da Cunha, J. D. (2015). *Avaliação das Propriedades Reológicas e de Filtração de Fluidos de Perfuração Argiloso*. 5pp.
27. Chirindza, J., Massamba, J. (2022). Impacto Socioeconómico do Transporte da Carga Via Marítima para o Abastecimento das Comunidades Insulares da Ilha de Kanyaka no Período entre 2015 e 2020. *Revista UI_IPSantarem*. Edição Temática: Ciências Sociais e Humanidades. Número Especial- III Simpósio de Economia e Gestão da Lusofonia. 10(2):99-107. DOI: <https://doi.org/10.25746/ruiips.v10.i2.29081>.
28. Choubey, V., Fatma, E., Smriti, A., Suman, R., Rajak, S. K. (2023). Testing and Evaluation of Potato Starch Based Bio Plastic. *The Pharma Innovation Journal*. 12(11): 05-11. <https://doi.org/10.22271/tpi.2023.v12.illa.23947>.
29. Chan, W. S., Mirhosseini, H., Taip, S. F., Ling, C. T., Tan, P. C. (2013). Comparative Study on the Physiochemical Properties of K-carragenan Extracted from *Kappaphycus alvarezii* (doty) doty ex Silva in Tawau, Sabah, Malaysia and Commercial k-carragenans. *Food Hydrocolloids*. 30: 581-588.
30. Cian, R. E., Drago, R. S., Medina, S. F., Martínez-Augustin, O. (2015). Proteins and Carbohydrates from Seaweeds: Evidence for Beneficial Effects on Gut Function and Microbiota. *Marine Drugs*. 13 (8): 5358-83.

31. Costa, F., Braga, C. R., Bastos, R. S. M., Santos, N. D., Frota, M. M. (2022). Revestimentos Comestíveis à Base de Fécula de Mandioca (*Manihot esculenta*) em Produtos Vegetais: uma Revisão. *Research, Society and Development*, 11 (4).
32. Cottier-Cook, E.J., Nagabhatla, N., Asri, A., Beveridge, M., Bianchi, P., Bolton, J., Bondad-Reantaso, M. G., Brodie, J., Buschman, A., Cabarubias, J., Campbell, I., Chopin, T., Critchley, A., De Lombaerde, P., Doumeizel, V., Gachon, C. M. M., Hayashi, L., Hewitt, C. L., Huang, J., Hurtado, A., Kambey, C., Hoon Kim, G., Le Massom, V., Lim, P. E., Liu, T., Malin, G., Matoju, I., Montanescot, V., Msuya, F. E., Potin, P., Puspita, M., Qi, Z., Shaxson, L., Pinto, I. S., Stentiford, G. D., Suyo, J., Yarish C. (2021). Ensuring the Sustainable Future of the Rapidly Expanding Global Seaweed Aqua Culture Industry – a Vision. United Nations University Institute on Comparative Regional Integration Studies and Scottish Association for Marine Science Policy Brief. #06.
33. Cuna L. (2022). *Avaliação de três Métodos para a Extração e Purificação de carragena da Macroalga Vermelha, Eucheuma denticulatum*. Tese de Licenciatura. 80pp. Maputo. Universidade Eduardo Mondlane.
34. De Gaillande, C., Payri, C., Remoissenet, G., Zubia, M. (2017). Caulerpa Consumption, Nutritional Value and Farming in the Indo-Pacific Region. *Journal of Applied Phycology*. 29 (5): 2249-2266. DOI: 10.1007/s110811-016-0912-6.
35. De Jesus, M. A. G. (2021). *Desenvolvimento de Filmes Biodegradáveis, a Base de Carragena, com Propriedades Antioxidantes*. Trabalho de Conclusão de Curso. Apucarana. 40pp.
36. Dewang, B. I., Yudiati, E., Subagiyo, S., Alghazeer R. (2023). Carrageenan Extraction of Khappaphycus alvarezii Seaweed from Nusa Lembongan Waters Using Different Alkaline Treatments. *Jurnal Kelautan Tropis*. 26(2):238-244. DOI: 10.14710/jkt. v26i2.17389.
37. Eamer, C. (2016). Seaweed economics 101: boom and bust in the North Atlantic. *Hakai Magazine*. www.hakaimagazine.com/features/seaweed-economics-101-boom-and-bust-north-atlantic.
38. Ega, L., C.G.C. Lopulalan, F. Meiyasa, J. (2016). Kajian Mutu Karaginan Rumput Laut Eucheuma cottonii Berdasarkan Sifat Fisiko-Kimia pada Tingkat Konsentrasi Kalium Hidroksida (KOH) yang Berbeda. *Aplikasi Teknologi Pangan*, 5 (2): 38–44 [in Bahasa Indonésia] <http://dx.doi.org/10.17728/jatp.169>.

39. Emadian, S. M., Onay, T. T., Demirel, B. (2017). Biodegradation of Bioplastics in Natural Environments. *Waste Management*, 59: 526–536. <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2016.10.006>.
40. Fadhallah, E. G., Zuidar, A. S., Dameswary, A. H., Assa'diyah, I. N., Juwita, N., Tullaia, S., Yudistiro, M. K. K. (2024). Sustainable Bioplastics Made from Cassava Peel Waste Starch and Carrageenan Formulations: Synthesis and Characterization. *Molekul*. 19(1): 36–45.
41. FAO (2020). The State of World Fisheries and Aquaculture 2020. Sustainability in action. FAO, Rome.
42. FAO (2014). *Carrageenan in Compendium of Food Additive Specifications, FAO JECFA Monographs 16, Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives*. United States: Food and Agriculture Organization, 7–12
43. Fonseca, J. A. (2016). *Aplicação de Algas na Indústria Alimentar e farmacêutica*. Projecto de Mestrado em Ciências Farmacêuticas- Universidade Fernando Pessoa, Faculdade de Ciências de Saúde. 75p.
44. Gereniu, C. R. N., Saravana, P. S., Getachew, A. T., Chun, B. S. (2017). Characteristics of Functional Materials Recovered from Solomon Islands Red Seaweed (*Kappaphycus alvarezii*) using Pressurized Hot Water Extraction. *Journal of Applied Phycology*, 29(3), 1609–1621. <https://doi.org/10.1007/S10811-017-1052-3/FIGURES/8>.
45. Gómez-Ordóñez, E., Jiménez-Escrig, A., Rupérez, P. (2010). Dietary Fibre and Physicochemical Properties of Several Edible Seaweeds from the Northwestern Spanish Coast. *Food Res. Int.* 43: 2289–2294.
46. Guiry, M. D. e Guiry, G. M. (2014). *AlgaeBase version 4.2*. World-wide electronic publication. National University of Ireland. Galway.
47. Halim, H. H., Dee, E. W., Pak-Dek, M. S., Hamid, A. A., Ngalim, A., Saari, N., Jaafar, A. H. (2018). Ergogenic Attributes of Young and Mature Coconut (*Cocos nuficera* L.) Water Based on Physical Properties, Sugars, and Electrolytes Contents. *International Journal of Food Properties*. 21 (1):2378-2389.
48. Hargreaves, J. A. (2013). Biofloc Production Systems for Aquaculture. *Southern regional Aquaculture Center*, United States Department of Agriculture, National Institute of Food and Agriculture. n. 4503, 12 p.

49. Harnini, N., Izzah, N., L., Winarshi, S., Ikarini, I., Hanif, Z., Ashari, H., Jan, A. (2024). The Effect of Coconut Water and Temperature on Carrageenan Extraction. *BIO Web of Conferences* 104, 00030. <https://doi.org/10.1051/bioconf/202410400030>.
50. Hassan, R., El-Kadi, S., Sand, M. (2015). Efeito de Alguns Ácidos Orgânicos no Crescimento de Alguns Fungos e na sua Produção de Toxinas. *Internacional Journal Of Advances In Biology*. 2 (1): 1-18.
51. Harijiono, J., K., Mustikasari, S., A. (2001). Pengaruh Kadar Karagenan dan Total Padatan Terlarut Sari Buah Apel Muda terhadap Aspek Kualitas Permen Jeli, *Jurnal Teknol. Pertan*. 2 (2): 110 – 116.
52. Hayashi, L., Reis, P. R., Santos, A. A., Castelar, B. (2017). The Cultivation of *Kappaphycus* and *Eucheuma* in Tropical and Sub-Tropical Waters. *ResearchGate*. Doi:10.1007/978-3-319-63498-2_4.
53. Helmut Kaiser Consultancy (HKC) (2016). Bioplastics Market Worldwide 2014-2015-2020-2025 and historical datas 2 011-12-13. <http://www.hkc22.com/bioplastics.html>. Acesso aos 10 de Janeiro de 2025.
54. Hillou, L., Sereno, A., M., Goncalves, M. P. (2014). Gel Setting of Hybrid Carrageenan Solutions Under Steady Shear. *Food Hydrocolloids*. 35: 531-538.
55. Hurtado, A. Q. (2022). *Genetic Resources for Farmed Seaweeds Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)*. Rome. 88pp.
56. Illing, I. e Satriawan, M. B. (2018). *Pro. Nat. Sem*. 3.90-100.
57. Jabłońska-Trypuć, A. (2024). Algae as Crop Plants Being a Source of Bioactive Ingredients of Pharmaceutical and Dietary Importance. *Agronomy*. 14(5): 895. DOI: 10.3390/agronomy1450895.
58. Jönsson, M., Allahgholi, L., Sardari, R. R. R., Hreggviðsson, G. O., and Karlsson, E. N. (2020). Extraction and Modification of Macroalgal Polysaccharides for Current and Next-Generation Applications. *Molecules* 25:930. Doi: 10.3390/molecules25040930.
59. Kabir, E., Kaur, R., Lee, J., Kim, K.-H., Kwon, E. E. (2020). Prospects of Biopolymer Technology as an Alternative Option for Non-degradable Plastics and Sustainable Management of Plastic Wastes. *J. Clean. Prod*. 258. 120536.
60. Khalil, A. P. S. A., Yap, S. W., Tye, Y. Y., Tahir, P. M., Rizal, S., & Nurul Fazit, M. R. (2018). Effects of Corn Starch and *Kappaphycus alvarezii* Seaweed Blend Concentration

- on the Optical, Mechanical, and Water Vapor Barrier Properties of Composite Films. *BioResources*, 13(1), 1157–1173. <https://doi.org/10.15376/biores.13.1.1157-1173>.
61. Kim, J., K., Yarish, C., Hwang, E., K., Park, M., Kim, Y. (2018). Algas Marinhas Aquicultura: Tecnologias de Cultivo, Desafios e seus Serviços Ecosistêmicos. *Algas*. 32(1): 1.13. <https://doi.org/10.4490/ALGAE.2017.32.3.3>.
 62. Kumar, Y. N., Poong, S. W., Gachon, C., Brodie, J., Sade, A., & Lim, P. E. (2020). Impacto da Temperatura Elevada nas Respostas Fisiológicas e Bioquímicas de *Kappaphycus alvarezii* (Rodófito). *PLOS UM*, 15(9), e0239097.
 63. Leksono, W. B., Pramesti, R., Santosa, G. W., Setyati, W. A. (2018). Jenis Pelarut Metanol dan N-Kelsana Terhadap Aktivitas Antioksidan Ekstrak Rumput Laut *Gelidium* sp. Dari pantai drini Gununkidul-Yogyakarta. *Jurnal Kelautan Tropis*. 21 (1):9-16. DOI: 10.14710/jkt.v21i1.2236.
 64. León, A. D., López, G. N., Ponce, M. M., Núñez-Ramírez, M. L., Silva, C. F., Cruz, R. A., Rodríguez, V. D. (2019). Géneros de Algas Marinhas Tropicales de México. *Algas Rojas*. México. UNAM.
 65. Lestari, F. M., Yusra, S., Fuady, N. I. M., Rahim, H. (2024). Analysis of Carragena Quality of *Eucheuma cottonii* and *Eucheuma spinosum* Seaweed from Bantaeng Regency and its Export Permit regulations in Indonesia. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 1314. DOI: 10.1088/1755-1315/1314/1/012002.
 66. Levinton, S., J. (1995). *Marine Biology Function, Biodiversity, Ecology*. Oxford University press, 420 pp. Inc., Nova York.
 67. Lima B. C., Crepaldi, M. L., Junior, O. O., S., de oliveira, A. C., Martins, A. F., Garcia, P. S., Bonafe, E. G. (2020). Biodegradable films Basedon Commercial k-Carrageenan and Cassava Starch to Achieve Low Productions Costs. *Int. J. Bio.l Macromol*. 165(pt A): 582-590. DOI: 10.1016/j.ijbiomac.2020.09.150.
 68. Lima, E. B. C., Sousa, C. N. S., Meneses, L. N., Ximenes, N. C., Santos, M. A., Júnior, G. Vasconcelos, S., Lima, N. B. C., Patrocínio, M. C. A., Macedo, D., Vasconcelos, S. M. M. (2015). *Cocos nucífera* (L.) (Arecaceae): Uma revisão Fitoquímica e Farmacológica. *Jornal Brasileiro de Pesquisa Medica e Biológica*. 48(11):953-964. DOI:10.1590/1414-431X20154773.

69. Liu, S., Li, L. (2016). Gelificação Termossensível e Comportamento de Escamação de Hidrogéis de k-carragena Induzidos por Ca^{2+} . *Food Hydrocolloids*, 61, pp 793-800.
70. Lisitsyn, A., Semenova, A., Nasonova, V., Polishchuk, E., Revutskaya, N., Kozyrev, I., Kotenkova, E. (2021). Approaches in Animal Proteins and Natural Polysaccharides Application for Food Packaging: Edible Film Production and Quality Estimation. *Polymers*. 13 (10): 1592.
71. Lomartine, S., Gonçalves, A. M. (2022). Novel Technologies for Seaweeds Polyssaccharides Extraction and their use in Food with Therapeutically Applications- a Review. *Foods*. 11(17): p.2654.
72. Luchese, L. C. (2018). *Desenvolvimento de Embalagens Biodegradáveis a partir de Amido Contendo Subprodutos Provenientes do Processamento de Alimentos*. Universidade Federal do Rio Grande do sul. Porto Alegre. 226pp.
73. Luhan, M. R. J., Mateo, J. P., Sollesta-Pitogo, H. (2022). Growth and Carrageenan Quality of Sporophyte and Gametophyte of the Commercially Important Red Seaweed *Kappaphycus alvarezii*. *Philippine Journal of Science*, 151(1), 129–134.
74. Majeed, T. M., Zubair, U., Asim, F., Sarwar, K., e Kaleem, S. (2023). Seaweed Selection: Exploring Best Type for Bioplastic Production. *National Journal of Biological Sciences*. 4(2): 36. <https://doi.org/10.37605/v4i2/3>.
75. Makkar, H. P., Tran, G., Heuzé, V., Giger-Reverdin, S., Lessire, M., Lebas, F., Ankers, P. (2016). “Seaweeds for Livestock diets: A review”. *Animal Feed Science and Technology* 212: 1-17.
76. Malajovich, M. A. (2016). Guias de Atividades Biotecnologia: ensino e divulgação. Disponível em: <http://www.bteduc.bio.br>. Acesso aos 05/02/2025.
77. Manuhara, G. J., Praseptianga, D., Riyanto, R. A. (2016). Extraction and Characterization of Refined K-carrageenan of Red Algae [*Kappaphycus alvarezii* 22 (Doty ex P.C. Silva, 1996)] Originated from Karimun Jawa Islands. *Aquat Procedia*, 7: 106–111 (2016) <https://doi.org/10.1016/j.aqpro.2016.07.014>.
78. Monteiro, B., Rico, M., Rodriguez-Llamazares, S., Barra, L., Bouza, R. (2017). Effect of Nanocellulose as a Filer on Biodrgradable Thermoplastic Starch Films from Tube, Cereal and Legume. *Carbohydrate Prolymer*. V. 157: 1094-1104.

79. Matanjun, P., Mohamed, S., Mustapha, N. M., Muhammad, K. (2009). Nutrient Content of Tropical Edible Seaweeds, *Eucheuma cottonii*, *Caulerpa lentillifera* and *Sargassum polycystum*. *J. Appl. Phycol.* 21: 75–80.
80. Melo, N. V. S., dos Santos, Y. D. R., Pimente, Y. D. G., da Silva, L. V. A. T., dos Santos, J. V. I., Silva, V. N. T. (2014). Utilização do Amido E Vinagre para a Produção de Plásticos Biodegradáveis. Sétimo Encontro Nacional de Tecnologia Química. Disponível em: http://www.abq.org.br/entequi/2014/trabalhos/50/50_4810-18760.html.
81. Mota, O. L. (2022). Hidrogéis de Celulose Microcristalina Oxidativa via Medição por Tempo Modificados com m β -ciclodextrina e k-carragena para Aplicação como Adsorvente. São Cristóvão. Tese de Doutorado. 121pp.
82. Montoro, M. A., Francisca, F. M. (2019). Effect of Ion Type and Concentration on Rheological Properties of Natural Sodium Bentonite Dispersions at low Shear Rates. *Applied Clay Science*, 178, 105132. <https://doi.org/10.1016/J.CLAY.2019.105132>.
83. Moses, J., Anandhakumar, R., Ahanmugam, M. (2015). Effect of Alkaline Treatment on the Sulfate Content and Quality of Semi-refined Carrageenan Prepared from Seaweed *Kappaphycus alvarezii* Doty (Doty) Farmed in Indian waters. *African Journal of Biotechnology*. 14 (18): 1584- 1589. DOI: 10.5897/AJB2014.14203.
84. Msuya, F. E. (2020). Seaweed Resources of Tanzania: Status, Potential Species, Challenges and Development Potentials. *Bot Mar.* 63:371–380.
85. Munawan, Kasim, M., Ruslaini (2021). Growth Rate of *Eucheuma denticulatum* Cultivated in Horizontal Net and Vertical Net. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 925:012018.
86. Naseri, A., Jacobsen, C., Sejberg, J. P., Pedersen, T. E., Larsen, J., Hansen, K. M., Holdt, S. L. (2020). Multi-Extração e Qualidade da Proteína e Carragena de Espinhoso Comercial (*Eucheuma denticulatum*). *Alimentos*. 9(8):908-1072.
87. Naseri, A., Holdt, S. L., Jacobsen, C. (2019). Composição Bioquímica e Nutricional de Algas Vermelhas Industriais Usadas na Produção de Carragena. *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 28 (9): 967-973.
88. Nattrass, L., Biggs, C., Bauen, A., Parisi, C., Cerezo, E. R., Gomez-Barbero, M. (2016). The EU Bio-based Industry: Results from a Survey (Relatório de Pesquisa/2016). Doi: 10.2791/806858.

89. Necas, J., Bartosikova, L. (2013). Carrageenan: a review. *Veterinarni Medicina*. 58 (4):187-205.
90. Onyango, H., O., Ochiewo, C., M., Aura, R., Kayanda, S., S., Sunil, P., W., Otuo, J., A., Obuya, and J., M., Njiru. (2021). The Lost Coin: redefining the Economic and Financial Value of Small-scale Fishers, the Case of Lake Victoria. Kenya. *Social Sciences and Humanities*. Open 4: 100221. DOI: 10.1016/j.ssaho.2021.100221.
91. Organização para Cooperação e Desenvolvimento Económico (2013). Policies of Bioplastics in the Context of Bioeconomy. OECD Science. *Technology and Industry Policy Papers*, 10. Paris OECD Publishing. Doi: 10.1787/ 5k3xpfrw6d.en.
92. Otoni, C. G., Avena-Bustillos, J., R., Azeredo, C. M. H., Lorevice, V. M., Moura, R. M., Mattoso, C. H. L., McHugh, H. T. (2017). Recent Advances on Edible Films Based on Fruits and Vegetables- A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 16(5):1151-1169. DOI: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12281>.
93. Pacheco-Quito, E., Ruiz-Caro, R., Rubio, J., Tamayo, A., Veiga, M. (2020). Carrageenan Based Acyclovir Mucoadhesive Vaginal Tablets for Prevention of Genital Herpes. *Mar. Drugs*, 18: 249. DOI: 10.3390/md8110583.
94. Pereira, F. J. J. I., Nascimento, R. F. (2016). Avaliação dos Recursos Naturais na Ilha de Inhaca (Oceano Índico, Moçambique): Primeira Aproximação. *Boletim Goiano da Geografia*. Vol36, num. 2, pp. 307-325.
95. Pereira, L. (2013). Population Studies and Carragenan Properties in Eight Gigartinales (Rhodophyta) from Western Coast of Portugal. *The Scientific Word Journal*, V.
96. Pereira, L., Correia, F. (2015) Macroalgas Marinhas da Costa Portuguesa. – biodiversidade, ecologia e utilizações.
97. Pereira, L., Gheda, S. F., Ribeiro-Claro, P. J. A. (2013). Analysis by Vibrational Spectroscopy of Seaweed Polysaccharides with Potential Use in Food, Pharmaceutical, and Cosmetic Industries. *Int. J. Carbohydr. Chem.* 2013 (22):7. DOI: 10.1155/2013/537202.
98. Pérez-Recalde, M., Matulewicz, M. C., Pujol, C. A., Carlucci, M. J. (2014). In Vitro and in Vivo Immunomodulatory Activity of Sulfated Polysaccharides from Red Seaweed Nemalion Helminthoides. *International Journal of Biological Macromolecules*, 63: 38-42.
99. Prajapati, V. D., Maheriya, P. M., Jani, G. K., Solanki, H. K. (2014). *Carragenan: A natural Seaweed Polysaccharide and its Applications*. *Carbohydrate polymers*. 105:97-112.

100. Qin, Y. (2018). Bioactive Seaweeds for Food Applications: Natural Ingredients for Healthy Diets. *Academic Press*. 74 pp.
101. Ramadas, K. B., Rim W. J., Roy S. (2024). Recent Progress of Carrageenan-Based Composite Films in Active and Intelligent Food Packaging Applications. *Polymers*, 16(7), 1001. DOI: <https://doi.org/10.3390/polym16071001>.
102. Raven, A. G., Giordano, M. (2014). Algae. *Current biology*. 24 (13): 590-595.
103. Rodrigues, D., Sousa, S., Silva, A., Amorim, M., Pereira L., Rocha-Santos T. A., Gomes A. M., Duarte, A. C., Freitas, A. C. (2015). Impact of Enzyme- assisted and Ultrason-assisted Extraction Methods on Biological Properties of Red, Brown, and Green Seaweeds from the Central West Coast of Portugal. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63 (12): 3177-3188.
104. Rodrigues, D., Freitas, A. C., Pereira, L., Rocha-Santos, T. A. P., Vasconcelos, M. W., Roriz, M., Rodríguez-Alcalá, L. M., Gomes, A. M. P., & Duarte, A. C. (2015). Chemical Composition of Red, Brown and Green Macroalgae from Buarcos bay in Central West Coast of Portugal. *Food Chemistry*, 183, 197–207.
105. Rudke, A. R., de Andrade, C. J., Ferreira, S. R. S. (2020). *Kappaphycus alvarezii* Macroalgae: An unexplored and valuable biomass for green biorefinery conversion. *Trends in Food Science & Technology*, 103, 214–224. <https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2020.07.018>
106. Rupert, R., Rodrigues, K. F., Thien, V. Y., Yong, W. T. L. (2022). Carrageenan From *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Solieriaceae): Metabolism, Structure, Production, and Application. *Frontiers in Plant Science*. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.859635>.
107. Sedayu, B. B., Cran, M. J., Bigger, S.W. (2019). A Review of Property Enhancement Techniques for Carrageenan-Based Films and Coatings. *Carbohydr. Polym.* 216, 287–302.
108. Seligra, P., G., Jaramillo, M., Famà, C., Goyanes, S. (2016). Biodegradable and Non-retrogradable Eco-films Based on Starch–glycerol With Citric Acid as Crosslinking Agent. *Carbohydrate Polymers*. Volume 138: 66-74.
109. Silva, M. V. (2023). *Algas como Recurso Sustentável e Criação de Embalagens a base de Alginato para Saladas Prontas para Comer*. Dissertação de Mestrado. Universidade do Minho- Escola de Engenharia.

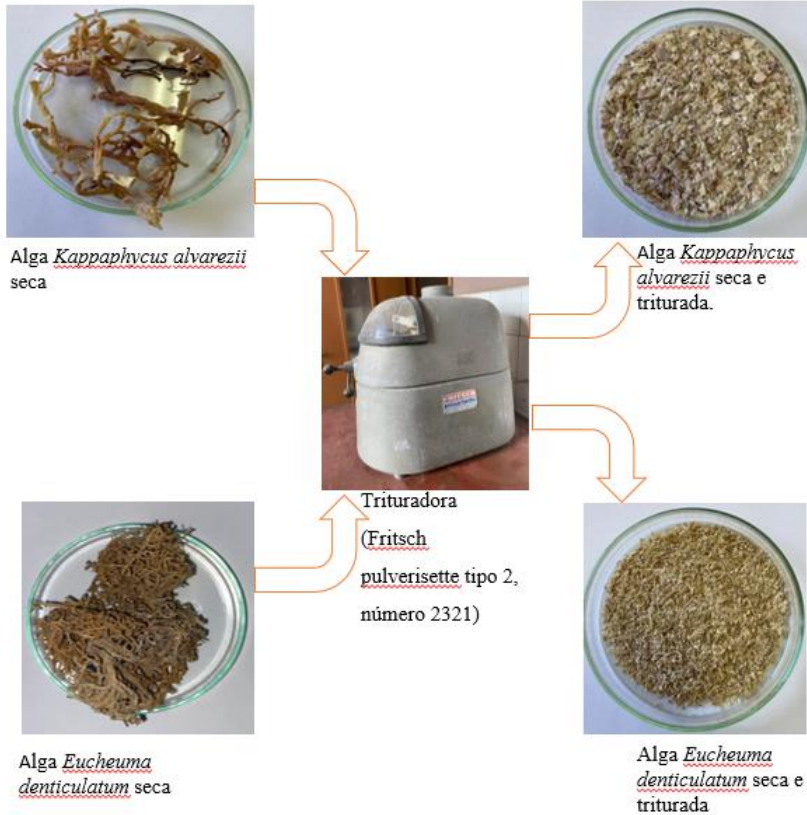
110. Simatupag, N., F., Pong-Masak, P., K., Ratnawati, P., Agusman, P., N., A., Rimmer, M., A. (2021). Growth and Product Quality of the Seaweed *Kappaphycus alvarezii* from Different Farming Locations in Indonesia. *Aqua. Rep.* 20:100685.
111. Sofian, A. B. A. B. A., Lim, H. R., Manickam, S., Amg, W. L., Show, P. L. (2023). Towards a Sustainable Circular Economy: Algae-Based Bioplastics and the Role of Internet-of-Things Machine Learning. *ChemBioEng Reviews.* 11(1):39.59 pp. DOI: 10.1002/cben.202300028.
112. Sofianto, A. R., Alamsjah, M. A., Pujiastuti, D. Y. (2022). Application of Modified Starch on Plastic Bag Bioplastic Based on Carrageenan from *Eucheuma cottoni* on Mechanic and Degradation Properties. *IOP Conf. Series: Earth Environmental Science.* DOI: 10.1088/1755-1315/1036/1/012033.
113. Solorzano-Chavez, E. G., Paz-Cedeno, F. R., Ezequiel de Oliveira, L., Gelli, V. C., Monti, R., Conceição de Oliveira, S., Masarin, F. (2019). Evaluation of the *Kappaphycus alvarezii* Growth Under Different Environmental Conditions and Efficiency of the Enzymatic Hydrolysis of the Residue Generated in the Carrageenan Processing. *Biomass and Bioenergy*, 127. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2019.105254>
114. Souza, F. M. (2017). Dinâmica dos Fluidos Não Newtonianos TCE 00038. Tese de Pós-graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Federal Fluminense. 44pp.
115. Souza, G. C. C. F. (2011). *Algas marinhas, Dossiê Técnico*. Instituto de Tecnologia do Paraná – TECPAR. 27p.
116. Subramarian, V., Varade, D. (2017). 5- Thermoelectric Properties of Biopolymer Composites. *Biopolymer Composites in Electronics.* pp.155-183.
117. Suhag, R., Kumar, N., Trapjkovska Petkoska, A., Upadhyay, A. (2020). Film formation and Deposition Methods of Edible Coating on Food Products: A review. *Food Research International.* DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109582>.
118. Széchy, M. T. M., Moraes, F. C., Cassano, V., Pereira, M. (2015). *ICMBio Guia de Macroalgas Marinhas*. Rio de Janeiro. 54pp.
119. Talmaciu, A. I., Volf, I., Popa, V. I. (2015). A Comparative Analysis of the ‘green’ Techniques Applied for Polyphenols Extraction from Bioresources. *Chem. Biodivers.* 12, 1635–1651. DOI: 10.1002/cbdv.201400415.

120. Tarman, K., Sadi, U., Santoso, J., and Hardjito, L. (2020). "Carrageenan and its Enzymatic Extraction," in *Encyclopedia of Marine Biotechnology*. ed. S.-K. Kim (United States: John Wiley and Sons, Inc), 147–159. DOI: 10.1002/ 9781119143802.ch7.
121. Tavassoli-Kafrani, E., Shekarchizadeh, H., Masoudpour-Behabadi, M. (2016). Development of Edible Films and Coatings from Aginates and Carrageenans. *Carbohydr. Polym.* 137:360–374. <http://dx.doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.10.074>.
122. Tilyanov, E. A, Tilyanov, T. C., Yamazato, K., Van Woeski, R. (2001). Photo-Aclimatation of the Hermatypic Coral *Stylophora pistillata* while Subjected to Either Starvation or Food Provisioning. *J. Exp. Mar. Biol. Ecol.* 257(2):163-181.
123. Vale, M. M., Curbelo, F. D. S., Braga, G. S., Garnica, A. I. C. (2017). Estudo do Comportamento Reológico de Fluidos de Perfuração Base Água: Efeito de Concentração de NaCl. *Holos*. 1(33): 214-228. DOI: 10.15628/holos.2017.5162.
124. Vignesh, S., Gopalakrishnan, A. R, P. M.; Poorna, M. R., Shantikumar, V. N., Jayakumar, R., Mony, U. (2018). Fabrication of Micropatterned alginate-gelatin and k-carrageenan Hydrogels of Defined Shapes Using Simple wax Mould Method as a Platform for stem cell/induced Pluripotent Stem Cells (iPSC) Culturell. *International Journal of Biological Macromolecules*. 106: 737–744.
125. Wassie, T., Niu, K., Xie, C., Wang, H., Xin, W. (2021). Extraction Techniques, Biological Activities and Health Benefits of Marine Algae *Enteromorpha prolifera* Polysaccharide. *Frontiers in Nutrition*, 8: 1-13.
126. Wullandari, P., Sedayu, B. B., Novianto, T. D., Prasetyo, A. W. (2021). Characteristic of Semi Refined and Refined Carrageenan Flours Used in the Making of Biofilm (bioplastic). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* 733(1): 012112. DOI: 10.1088/1755-1315/733/1/012112.
127. Yadah, K. A., Tiwari, A., Pal., N. (2024). Qualitative Analysis of Coconut Water: A Review. *Idealist Journal of Advanced Research in Progressive Spectrums*. 3 (7): 5-16.
128. Youssouf, L., Lallemand, L., Giraud, P., Soulé, F., Bhaw-Luximon, A., Meilhac, O., D’Hellencourt, C., L., Jhurry, D., e Couprie, J. (2017). Extração Assistida por Ultrassom e Caracterização Estrutural por RMN de Alginatos e Carrageninas de Algas marinhas. *Polímeros de Carboidratos*. 166: 55-63.

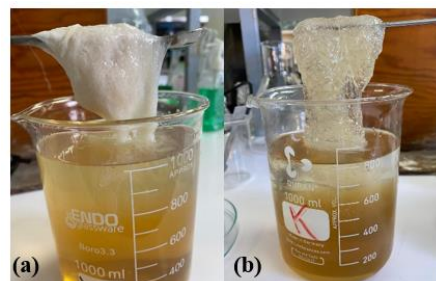
129. Yuan, Y., Xu, X., Jing, C., Zou, P., Zhang, C., Li, Y. (2018). Microwave Assisted Hydrothermal Extraction of Polysaccharides from *Ulva Prolifera*: Functional Properties and Bioactivities. *Carbohydrate Polymers*, 181: 902-910.
130. Zakaria, Z., Kamarudin, S. K., Osman, S. H., Mohamad, A. A., Razali, H. (2023). A Review of Carrageenan as a Polymer Electrolyte in Energy Resource Applications. *J. Polym. Environ.* 31, 4127–4142.

10 ANEXOS

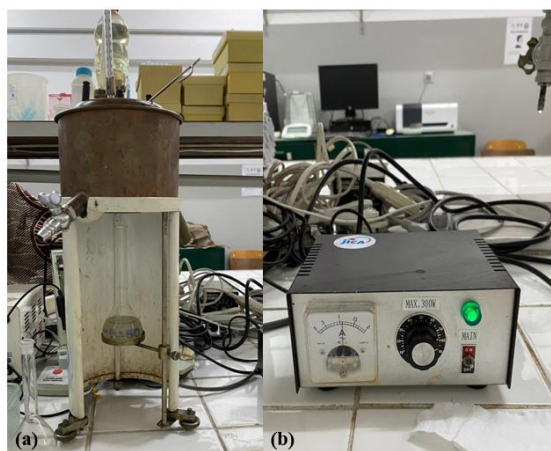
Anexo 1: Procedimento de maceração das macroalgas pelo triturador.



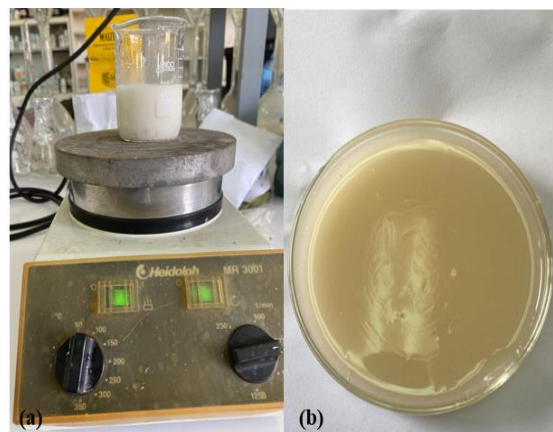
Anexo 2: Procedimento separação do gel e dos resíduos de alga durante o processo de extração através da filtração com gaze.



Anexo 3: Precipitação da carragena obtida das algas: *Eucheuma denticulatum* (a) e *Kappaphycus alvarezii* (b).



Anexo 4: Procedimento de mensuração da viscosidade da carragena. (a) Viscosímetro de redwood. (b) regulador de voltagem.



Anexo 5: Preparação do bioplástico. (a) Aquecimento para homogeneização dos componentes do bioplástico. (b) Solução de bioplástico na placa de Petri para secagem.



Anexo 6: Soterramento de bioplásticos para o teste de biodegradação.

Anexo 7: Resultados da extração de carragena das algas *Kappaphycus alvarezii* e *Eucheuma denticulatum* seguindo três métodos diferentes.

Tabela 2: Rendimento da carragena na alga *Kappaphycus alvarezii* obtida a partir do método alcalino com NaOH.

Espécie	N ° da réplica	Solução de extração	Tempo de extração (horas)	Temperatura da extração (° C)	Rendimento			Desvio Padrão
					R(g)	R (%)	Média	
Ka	1	NaOH	3	95	5.01	50.10%	5.278	1.004052
Ka	2	NaOH	3	95	5.83	58.83%		
Ka	3	NaOH	3	95	5.89	58.90%		
Ka	4	NaOH	3	95	6.03	60.30%		
Ka	5	NaOH	3	95	3.63	36.30%		

Tabela 3: Rendimento da carragena na alga *Eucheuma denticulatum* obtida a partir do método alcalino com NaOH.

Espécie	N ° da réplica	Solução de extração	Tempo de extração (horas)	Temperatura da extração (° C)	Rendimento			Desvio Padrão
					R(g)	R (%)	Média	
Eu	1	NaOH	3	95	2.88	28.80%	2.512	0.33192
Eu	2	NaOH	3	95	2.46	24.60%		
Eu	3	NaOH	3	95	2.02	20.20%		
Eu	4	NaOH	3	95	2.45	24.45%		
Eu	5	NaOH	3	95	2.75	27.50%		

Tabela 4: Rendimento da carragena na alga *Kappaphycus alvarezii* obtida a partir do método alcalino com KOH.

Espécie	N ° da réplica	Solução de extração	Tempo de extração (horas)	Temperatura da extração	Rendimento			Desvio Padrão
					R(g)	R (%)	Média	
Ka	1	KOH	3	95	5.68	56.80%	5.55	0.73389
Ka	2	KOH	3	95	6.17	61.70%		
Ka	3	KOH	3	95	4.84	48.40%		
Ka	4	KOH	3	95	6.32	63.20%		
Ka	5	KOH	3	95	4.74	47.40%		

Tabela 5: Rendimento da carragena na alga *Eucheuma denticulatum* obtida a partir do método alcalino com KOH.

Espécie	N ° da réplica	Solução de extração	Tempo de extração (horas)	Temperatura da extração (° C)	Rendimento			Desvio Padrão
					R(g)	R (%)	Média	
Eu	1	KOH	3	95	4.91	49.10%	4.554	0.3964
Eu	2	KOH	3	95	4.86	48.60%		
Eu	3	KOH	3	95	4.44	44.40%		
Eu	4	KOH	3	95	4.63	46.30%		
Eu	5	KOH	3	95	3.93	39.30%		

Tabela 6: Rendimento da carragena na alga *Kappaphycus alvarezii* obtida a partir do método ácido com água de coco.

Alga	N ° da réplica	Solução de extração	Tempo de extração (horas)	Temperatura da extração (° C)	Rendimento			Desvio Padrão
					R(g)	R (%)	Média	
Ka	1	A. coco	3	95	4.44	44.40%	5.402	0.5694
Ka	2	A. coco	3	95	5.65	56.50%		
Ka	3	A. coco	3	95	5.34	53.40%		
Ka	4	A. coco	3	95	5.84	58.40%		
Ka	5	A. coco	3	95	5.74	57.40%		

Tabela 7: Rendimento da carragena na alga *Eucheuma denticulatum* obtida a partir do método ácido com água de coco.

Alga	N ° da réplica	Solução de extração	Tempo de extração (horas)	Temperatura da extração (° C)	Rendimento			Desvio Padrão
					R(g)	R (%)	Média	
Eu	1	A. coco	3	95	5.07	50.70%	4.37	0.52226
Eu	2	A. coco	3	95	4.38	43.80%		
Eu	3	A. coco	3	95	3.66	36.60%		
Eu	4	A. coco	3	95	4.15	41.50%		
Eu	5	A. coco	3	95	4.59	45.90%		

Tabela 8: Densidade da solução de carragena 1.5 % de concentração.

Densidade						
Tratamento	Réplicas	peso (g)	Volume (cm³)	Densidade (g/ cm³)	Média	DP
KA NAOH	1	38.69	40 ml	0.967	0.95	0.025
	2	38.35	40 ml	0.959		
	3	38.3	40 ml	0.958		
	4	37.57	40 ml	0.939		
	5	36.25	40 ml	0.906		
EU NAOH	1	37.57	40 ml	0.939	0.94	0.018
	2	38.72	40 ml	0.968		
	3	36.99	40 ml	0.925		
	4	36.96	40 ml	0.924		
	5	37.57	40 ml	0.939		
KA KOH	1	39.07	40 ml	0.977	0.94	0.034
	2	37.06	40 ml	0.902		
	3	36.24	40 ml	0.906		
	4	37.92	40 ml	0.948		
	5	38.65	40 ml	0.966		
EU KOH	1	36.32	40 ml	0.908	0.93	0.037
	2	36.28	40 ml	0.907		
	3	37.16	40 ml	0.929		
	4	39.9	40 ml	0.998		
	5	37.1	40 ml	0.928		
KA COCO	1	36.76	40 ml	0.919	0.93	0.021
	2	36.46	40 ml	0.912		
	3	37.72	40 ml	0.943		
	4	38.6	40 ml	0.965		
	5	37.35	40 ml	0.934		
EU COCO	1	38.65	40 ml	0.966	0.94	0.035
	2	38.25	40 ml	0.956		
	3	36.79	40 ml	0.92		
	4	35.35	40 ml	0.884		
	5	38.5	40 ml	0.963		

Tabela 9: Viscosidade da solução de carragena 1.5 % de concentração.

Tratamento	Réplicas	Viscosidade						Média	DP
		Tempo 1(s)	Tempo 2(s)	Tempo 3 (s)	Tempo médio (1,2,3)	Viscosidade (mm/s²)	Viscosidade (cp)		
KA NAOH	1	107.7	99.4	107.5	104.9	24.77	23.95	11.08	7.49
	2	59.6	53.2	54.4	55.7	11.1	10.64		
	3	50.5	49.8	52.1	50.8	9.48	9.1		
	4	38.7	38.7	44.5	40.6	5.9	5.65		
	5	41.4	43.6	43.2	42.7	6.67	6.04		
EU NAOH	1	114.5	154.9	145.8	138.4	33.62	31.57	54.30	5.68
	2	120.1	130.3	134.3	128.2	31	30		
	3	161.5	161.8	189.7	171.0	41.87	32.73		
	4	84	89.2	97.5	90.2	21.1	19.5		
	5	135.7	138.7	162.6	145.7	35.44	33.28		
KA KOH	1	243.3	278.5	242.2	254.7	62.38	60.94	54.30	7.12
	2	241.2	213	214.5	222.9	54.85	49.47		
	3	234.1	222	236.4	230.8	56.9	51.32		
	4	281.7	291	239	270.6	66.27	62.82		
	5	188	221.7	186.2	198.6	48.62	46.97		
EU KOH	1	29.4	28.3	27.8	28.5	1.22	1.11	0.55	0.35
	2	26.7	26.5	26.5	26.6	0.46	0.42		
	3	26.2	25.6	26	25.9	0.18	0.17		
	4	25.9	26	27.5	26.5	0.42	0.42		
	5	28	26.8	26.9	27.2	0.7	0.65		
KA COCO	1	56.2	52.1	52.9	53.7	10.46	9.61	6.11	2.13
	2	37.4	36.1	38	37.2	4.66	4.24		
	3	44	44	43	43.7	6.98	6.58		
	4	37.4	38.9	40	38.8	5.25	5.07		
	5	40.8	38.1	39	39.3	5.43	5.07		
EU COCO	1	68.2	66.7	67	67.3	14.42	13.93	14.61	12.62
	2	45.8	45.2	44.9	45.3	7.76	7.42		
	3	68	64	67	162.8	39.81	36.63		
	4	47.2	47	48.4	47.5	8.33	7.36		
	5	42.5	41.7	42.6	42.3	7.99	7.69		

Tabela 10: Tabela de percentagem de biodegradabilidade.

Espécie	Tratamento	Réplicas	Biodegradação					Média	DP
			Peso inicial (W0)	Peso final (Wf)	WA -W0- Wf	Si=WA/ W0	Si X 100%		
<i>E. denticulatum</i>	I	1	0.812	0.1517	0.6603	0.8132	81.32%	79.94%	6.36%
		2	1.2505	0.1811	1.0691	0.8549	85.49%		
		3	0.8338	0.2251	0.6087	0.73	73.00%		
	II	1	0.6286	0.1099	0.5187	0.8252	82.52%	80.66%	3.55%
		2	0.7247	0.124	0.6007	0.8289	82.89%		
		3	0.9634	0.2258	0.7376	0.7656	76.56%		
	III	1	0.5685	0.09	0.4785	0.8416	84.16%	83.28%	9.62%
		2	0.836	0.0633	0.7727	0.9243	92.43%		
		3	0.6602	0.1766	0.4836	0.7325	73.25%		
<i>K. alvarezii</i>	I	1	1.1207	0.2002	0.9205	0.8214	82.14%	80.55%	2.09%
		2	0.7047	0.1315	0.5732	0.8133	81.33%		
		3	0.5666	0.1236	0.443	0.7819	78.19%		
	II	1	0.5115	0.1237	0.3878	0.7582	75.82%	80.76%	4.66%
		2	0.5148	0.0768	0.438	0.8508	85.08%		
		3	0.9619	0.1787	0.7829	0.8139	81.39%		
	III	1	0.7906	0.1124	0.6782	0.8578	85.78%	87.34%	1.36%
		2	1.8734	0.2238	1.6496	0.8805	88.05%		
		3	0.7686	0.0915	0.6771	0.882	88.20%		

Tabela 11: Tabela de percentagem de resistência a água.

Água absorvida									
Espécie	Tratamento	Réplicas	Peso inicial (W0)	Peso final (Wf)	WA -W0- Wf	Si=WA/ W0	Si X 100%	Média	DP
<i>E. denticulatum</i>	I	1	0.86	1.03	0.17	0.20	19.76%	18.47%	1.83%
		2	1.16	1.35	0.19	0.16	16.37%		
		3	0.83	0.99	0.16	0.19	19.28%		
	II	1	0.36	0.48	0.12	0.33	33.33%	25.58%	8.89%
		2	0.69	0.88	0.19	0.28	27.53%		
		3	1.07	1.24	0.17	0.16	15.88%		
	III	1	0.88	1.03	0.15	0.17	17.04%	24.62%	10.08%
		2	1.06	1.28	0.22	0.21	20.75%		
		3	0.61	0.83	0.22	0.36	36.06%		
<i>K. alvarezii</i>	I	1	0.93	1.12	0.19	0.20	20.43%	24.27%	5.65%
		2	0.74	0.9	0.16	0.22	21.61%		
		3	0.39	0.51	0.12	0.31	30.76%		
	II	1	0.7	0.87	0.17	0.12	11.90%	15.60%	5.74%
		2	0.72	0.88	0.16	0.22	22.22%		
		3	1.26	1.42	0.16	0.13	12.69%		
	III	1	0.74	0.91	0.17	0.23	22.97%	19.99%	5.51%
		2	1.32	1.5	0.18	0.14	13.63%		
		3	0.77	0.95	0.18	0.23	23.37%		

Análise estatística

Anexo 11: Comparação do rendimento da extração de carragena nas duas espécies de alga a partir de 3 tratamentos.

Há diferença significativa no rendimento da extração nas amostras das espécies *Kappaphycus alvarezii* e *Eucheuma denticulatum*, f calculado (47.66182) > f crítico (4.259677), deste modo, rejeita-se a hipótese nula.

Há diferenças significativas no rendimento obtido nos três tratamentos, NaOH, KOH e COCO, pois f calculado (9.739924) > f crítico (3.402826), deste modo rejeita-se a hipótese nula.

O rendimento da extração é afetado de forma significativa pela interação entre os dois factores, espécie de alga e tratamento, f calculado (6.367666) > f crítico (3.402826), deste modo rejeita-se a hipótese nula.

ANOVA						
Fonte de variação	SQ	Gl	MQ	F	valor P	F crítico
Amostra	19.15203	1	19.15203	47.66182	3.86E-07	4.259677
Colunas	7.82762	2	3.91381	9.739924	0.0008	3.402826
Interações	5.11746	2	2.55873	6.367666	0.006047	3.402826
Dentro	9.64396	24	0.401832			
Total	41.74107	29				

Anexo 12: Comparação do rendimento da extração de carragena na espécie *Kappaphycus alvarezii* a partir de 3 tratamentos.

Não há diferença significativa no rendimento de carragena da alga *Kappaphycus alvarezii* extraída a partir de três tratamentos diferentes, f calculado (0.148674) < f crítico (3.885294), deste modo, aceita-se a hipótese nula.

ANOVA						
Fonte de variação	SQ	Gl	MQ	F	valor P	F crítico
Entre grupos	0.18544	2	0.09272	0.148674	0.863413	3.885294
Dentro de grupos	7.48376	12	0.623647			
Total	7.6692	14				

Anexo 13: Comparação do rendimento da extração de carragena na espécie *Eucheuma denticulatum* a partir de 3 tratamentos.

Há diferença significativa no rendimento de carragena da alga *Eucheuma denticulatum* extraída a partir de três tratamentos diferentes, f calculado (35.44016) > f crítico (3.885294), deste modo, rejeita-se a hipótese nula.

ANOVA						
Fonte de variação	SQ	Gl	MQ	F	valor P	F crítico
Entre grupos	12.75964	2	6.37982	35.44016	9.21E-06	3.885294
Dentro de grupos	2.1602	12	0.180017			
Total	14.91984	14				

Anexo 14: Comparação da viscosidade da carragena extraída nas duas espécies de alga a partir de 3 tratamentos.

Há diferença significativa na viscosidade da carragena nas amostras das espécies *Kappaphycus alvarezii* e *Eucheuma denticulatum*, f calculado (11.95086) > f crítico (4.259677), deste modo, rejeita-se a hipótese nula.

Há diferenças significativas na viscosidade obtida nos três tratamentos, NaOH, KOH e COCO, pois f calculado (14.53671) > f crítico (3.402826), deste modo rejeita-se a hipótese nula.

A viscosidade da carragena é afetada de forma significativa pela interação entre os dois factores, espécie de alga e tratamento, f calculado (75.60649) > f crítico (3.402826) deste modo rejeita-se a hipótese nula.

ANOVA						
Fonte de variação	SQ	Gl	MQ	F	valor P	F crítico
Amostra	603.8156	1	603.8156	11.95086	0.002049	4.259677
Colunas	1468.931	2	734.4654	14.53671	7.31E-05	3.402826
Interações	7640.015	2	3820.007	75.60649	4.36E-11	3.402826
Dentro	1212.597	24	50.52486			
Total	10925.36	29				

Anexo 15: Comparação da viscosidade da carragena extraída na espécie *Kappaphycus alvarezii* a partir de 3 tratamentos.

Há diferença significativa no rendimento de carragena da alga *Kappaphycus alvarezii* extraída a partir de três tratamentos diferentes, f calculado (94.64945) > f crítico (3.885294), deste modo, rejeita-se a hipótese nula.

ANOVA						
Fonte de variação	SQ	Gl	MQ	F	valor P	F crítico
Entre grupos	7025.929	2	3512.965	94.64945	4.49E-08	3.885294
Dentro de grupos	445.3864	12	37.11553			
Total	7471.316	14				

Anexo 16: Comparação viscosidade da carragena extraída na espécie *Eucheuma denticulatum* a partir de 3 tratamentos.

Não há diferença significativa no rendimento de carragena da alga *Eucheuma denticulatum* extraída a partir de três tratamentos diferentes, f calculado (16.29032) > f crítico (3.885294), deste modo, rejeita-se a hipótese nula.

ANOVA							
Fonte de variação	SQ	Gl	MQ	F	valor P	F crítico	
Entre grupos	2083.016	2	1041.508	16.29032	0.00038	3.885294	
Dentro de grupos	767.2104	12	63.9342				
Total	2850.227	14					

Anexo 17: Comparação da percentagem de biodegradação do bioplástico feito de carragena das espécies *Kappaphycus alvarezii* e *Eucheuma denticulatum* usando três formulações diferentes.

Não existe diferença significativa na percentagem de biodegradação no bioplástico feito de carragena das espécies *Kappaphycus alvarezii* e *Eucheuma denticulatum*, f calculado (0.396110994) < f crítico (4.747225347), deste modo, aceita-se a hipótese nula.

Não há diferenças significativas na percentagem de biodegradação obtida a partir da formulação I, II, III, pois f calculado (1.62726058) < f crítico (3.885293835), deste modo aceita-se a hipótese nula. A percentagem de biodegradação não foi afetada de forma significativa pela interação entre os dois factores, espécie de alga e formulação, f calculado (0.240261636) < f crítico (3.885293835), deste modo aceita-se a hipótese nula.

ANOVA							
Fonte de variação	SQ	Gl	MQ	F	valor P	F crítico	
Amostra	0.001145609	1	0.001145609	0.396110994	0.540901778	4.747225347	
Colunas	0.009412534	2	0.004706267	1.62726058	0.236971435	3.885293835	
Interacções	0.001389741	2	0.000694871	0.240261636	0.790115733	3.885293835	
Dentro	0.034705693	12	0.002892141				
Total	0.046653578	17					

Anexo 18: Comparação da percentagem de água absorvida pelo bioplástico feito de carragena das espécies *Kappaphycus alvarezii* e *Eucheuma denticulatum* usando três formulações diferentes.

Não existe diferença significativa na percentagem de absorção de água do bioplástico feito de carragena das espécies *Kappaphycus alvarezii* e *Eucheuma denticulatum*, f calculado (0.83295) < f crítico (4.747225), deste modo, aceita-se a hipótese nula.

Não há diferenças significativas na percentagem de água absorvida obtida a partir da formulação I, II, III, pois f calculado (0.094666) < f crítico (3.885294), deste modo aceita-se a hipótese nula.

A percentagem de água absorvida não foi afetada de forma significativa pela interação entre os dois factores, espécie de alga e formulação, f calculado (2.073136) < f crítico (3.885294), deste modo aceita-se a hipótese nula.

ANOVA						
Fonte de variação	SQ	gl	MQ	F	valor P	F crítico
Amostra	0.003878	1	0.003878	0.83295	0.379392	4.747225
Colunas	0.000881	2	0.000441	0.094666	0.91035	3.885294
Interacções	0.019303	2	0.009652	2.073136	0.168521	3.885294
Dentro	0.055867	12	0.004656			
Total	0.07993	17				