



Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras

Monografia para a obtenção do grau de Licenciatura em Química Marinha

**Análise Comparativa da Qualidade da Carragenina Obtida da Alga *Kappaphycus alvarezii*
em Estados Fresco e Seco Cultivada na Ilha de Inhaca-Maputo**

Autora:
Sinata Djedje



Escola Superior De Ciências Marinhas E Costeiras

Monografia para a obtenção do grau de Licenciatura em Química Marinha

**Análise Comparativa da Qualidade da Carragenina Obtida da Alga *Kappaphycus alvarezii*
em Estados Fresco e Seco Cultivada na Ilha de Inhaca-Maputo**

Autora:

Sinata Djedje

Supervisor:

Lic. Paula Catarina Miguel Milice

Avaliador

Lic. Helder Eduardo João

Presidente de Mesa

Msc. Banito Bene Magestade

Quelimane, Maio de 2024

Dedicatória

Dedico este trabalho à minha querida família, especialmente aos meus pais, Narciso António Djedje e Celma Mariza Niquice, e ao meu irmão, Nadson Djedje. Agradeço-lhes por seu amor incondicional, apoio constante e inspiração que sempre me motivaram a seguir em frente.

*“Direi do Senhor: Ele é o meu Deus, o meu refúgio,
a minha fortaleza, e nele confiarei.”*

Salmos 91:2

Agradecimentos

Em primeiro lugar a Deus, que me deu sabedoria, força e coragem para enfrentar os desafios e superar as dificuldades. A Ele toda a honra e glória.

Aos meus pais (Narciso A. Djedje e Celma M. Niquice) e meu irmão (Nadson Djedje ‘Tecco’) que sempre me apoiaram e incentivaram em todos os momentos da minha vida, dedico este trabalho como uma forma de expressar o meu amor e a minha gratidão.

Aos meus amigos Luís, Marta, Zarco, Anilo, Wilder, Oliveira, Anderson, Bento, Nildo, Isabela, Orpa, Loide e colegas (turma de química marinha de 2020) de curso, que me acompanharam nesta jornada, dedico este trabalho com carinho e admiração. Vocês foram essenciais para tornar esta etapa mais leve e divertida.

Agradeço aos meus supervisores por seu apoio, orientação e ideias que fizeram desta uma experiência inspiradora para mim.

Aos meus professores, que me orientaram com paciência, dedicação e competência, compartilhando seus conhecimentos e experiências. Agradeço por todo o aprendizado e pela oportunidade de crescimento pessoal e profissional.

Ao doutor Chamo, doutora Valera, doutor Nhaca e a doutora Luísa por fazerem com que eu tivesse as amostras em mãos para poder realizar a minha pesquisa.

A mim mesmo, por ter persistido e superado todos os obstáculos, por ter acreditado nos meus sonhos e por ter conquistado com tanto esforço e suor mais esta vitória, a grande vitória.

Declaração de honra

Declaro que esta monografia nunca foi apresentada para obtenção de qualquer grau e que ela constitui o resultado do meu labor individual. Esta monografia é apresentada em cumprimento parcial dos requisitos de obtenção do grau de licenciatura em Química Marinha, da universidade Eduardo Mondlane.

Quelimane, Maio de 2024

(Sinata Djedje)

Resumo

Este estudo avaliou a qualidade da carragenina extraída da alga marinha *Kappaphicus alvarezii* em diferentes estados (fresco e seco) usando método de extração alcalina com NaOH. A pesquisa envolveu a coleta de amostras de algas em ambas as condições, seguida de processos de extração e purificação da carragenina. Os resultados revelaram diferenças significativas nas propriedades físicas e químicas da carragenina entre as amostras fresca e seca. A amostra seca apresentou um rendimento significativamente maior (57,09%) em comparação com a amostra fresca (2,70%), sugerindo que a remoção da água durante a secagem impacta diretamente a quantidade de carragenina obtida. Além disso, a carragenina da amostra seca demonstrou propriedades superiores de gelificação, solidificando-se rapidamente a temperatura ambiente. Em contraste, a carragenina da amostra fresca exigiu resfriamento a -16°C por 20 minutos para atingir uma gelificação adequada. Quanto à viscosidade, a solução de carragenina da amostra seca exibiu uma alta viscosidade, enquanto a da amostra fresca apresentou uma viscosidade média. Ambas as amostras mostraram estabilidade em relação ao pH, com valores de 12,31 para a carragenina da amostra seca e 12,06 para a carragenina da amostra fresca. Isso sugere que a condição inicial não influencia diretamente na estabilidade da carragenina em relação ao pH. Essas descobertas destacam a importância da condição inicial da alga na produção de carragenina, não apenas em termos de rendimento, mas também em suas propriedades físicas, como gelificação e viscosidade.

Palavras-chave: carragenina, *Kappaphicus alvarezii*, método alcalino, Amostra Fresca, Amostra Seca, Rendimento, Gelificação, Viscosidade, Estabilidade.

Abstract

This study analyzed the quality of carrageenan extracted from the marine alga *Kappaphicus alvarezii* in different states (fresh and dry) using an alkaline extraction method with NaOH. The research involved the collection of algae samples in both conditions, followed by processes of extraction and purification of carrageenan. The results revealed significant differences in the physical and chemical properties of carrageenan between fresh and dry samples. The dry sample showed a significantly higher yield (57.09%) compared to the fresh sample (2.70%), suggesting that the removal of water during drying directly impacts the amount of carrageenan obtained. Additionally, carrageenan from the dry sample demonstrated superior gelation properties, solidifying rapidly at room temperature. In contrast, carrageenan from the fresh sample required cooling to -16°C for 20 minutes to achieve proper gelation. Regarding viscosity, the carrageenan solution from the dry sample exhibited high viscosity, while that from the fresh sample showed average viscosity. Both samples showed stability in terms of pH, with values of 12.31 for carrageenan from the dry sample and 12.06 for carrageenan from the fresh sample. This suggests that the initial condition does not directly influence the stability of carrageenan in relation to pH. These findings underscore the importance of the initial condition of the alga in carrageenan production, not only in terms of yield but also in its physical properties such as gelation and viscosity.

Keywords: carrageenan, *Kappaphicus alvarezii*, alkaline method, Fresh Sample, Dry Sample, Yield, Gelation, Viscosity, Stability.

Lista de figuras

Figura 1. Alga marinha da espécie <i>kappaphycus alvarezii</i>	7
Figura 2. Estruturas químicas das carrageninas kappa (κ)-, iota (ι)-, e lambda (λ)-. Fonte: (Rupert, Rodrigues, Thien, & Yong, 2022)	10
Figura 3. Localização geográfica da ilha de Inhaca (Ponta Torres). Fonte-ArcGIS	16
Figura 4. Alga <i>kappaphycus alvarezii</i> - a) amostra fresca e b) amostra seca em pó.	19
Figura 5. Ilustração da remoção de pigmentos- a) amostra seca e b) amostra fresca.	20
Figura 6. Preparação da solução alcalina- a) 80g de NaOH e b) solução alcalina.	20
Figura 7. Soluções com amostras seca e fresca respectivamente- a) soluções antes da extração e b) soluções depois da extração.	21
Figura 8. Carragenina precipitada- a) carragenina obtida da amostra seca e b) carragenina obtida da amostra fresca.	22
Figura 9. Solução com carragenina dissolvida- a) carragenina obtida da amostra fresca e b) carragenina obtida da amostra seca.	26
Figura 10. Rendimento da carragenina das amostras seca e fresca.	25
Figura 11. pH da carragenina das amostras seca e fresca.	28

Lista de tabelas

Tabela 1. Materiais usados e suas utilizações.	17
Tabela 2. Reagentes usados e suas utilizações.	18
Tabela 3. Quantidade e rendimento da carragenina obtida da alga <i>Kappaphycus alvarezii</i>	39
Tabela 4. Média e desvio padrão do rendimento da carragenina obtida da alga <i>Kappaphycus alvarezii</i>	40

Lista de equações

Equação 1. Equação da reacção de formação da carragenana kappa em meio alcalino com NaOH.	10
Equação 2. Determinação do rendimento.	11
Equação 3. Fórmula da determinação do rendimento.	23
Equação 4. Equação de Hagen-Poiseuille.	23

Lista de abreviaturas

Sigla	Designação
κ	Kappa
ι	Iota
λ	Lambda
τ	Tau
π	Pi
A	Quantidade de alga em pó utilizada na extração
$^{\circ}\text{C}$	Celsius
Cps	Ciclos por segundo
g	Gramas
G2S	α -D-galactose-2-sulfato
h	Horas
INIP	Instituto Nacional de Inspeção de Pescado
μ	(Mi) representa a viscosidade dinâmica do fluido
min	Minutos
ml	Mililitros
N	Normalidade
NaOH	Hidróxido de sódio

P	Quantidade de carragenina em pó em gramas
Pa.s.	Pascal segundo
pH	Potencial hidrogeniónico
Q	Fluxo volumétrico do fluido
Rcarragenina	Rendimento da carragenina
r	Raio

Índice

Capítulo I: Introdução e objectivos	1
1. Introdução	1
1.1. Problematização	2
1.2. Justificativa	2
1.3. Objectivos	4
Capítulo II: Revisão da Literatura	5
2. <i>Kappaphycus alvarezii</i> (Doty) Doty ex Silva	5
2.1. Carragenina	9
2.2. Determinação do rendimento da carragenina	11
2.3. Propriedades físico-químico da carragenina	12
Capítulo III: Materiais e Métodos	14
3. Metodologia	14
3.1. Descrição da área de estudo	15
3.2. Materiais e reagentes	17
3.3. Amostragem e tratamento das algas	18
3.4. Extração	19
3.5. Determinação de rendimento	23
3.6. Parâmetros físico-químico da carragenina	23
3.7. Tratamento dos dados	24
Capítulo IV: Resultados	25
4. Resultados	25
4.1. Extração	25
4.2. Rendimento	25
4.3. Propriedades físico-químico da carragenina	26
Capítulo V: Discussão	29
5. Discussão	29
5.1. Extração	29
5.2. Rendimento	30
5.3. Propriedades físicas e químicas da carragenina	30
Capítulo VI: Conclusão e recomendações	34

6. Conclusão	34
6.1. Recomendações	34
7. Referências bibliográficas	35
8. Anexos	39
8.1. Resultados das experiências da extracção da carragenina	39
8.1.1. Cálculo de rendimento da carragenina	39
8.1.2. Cálculos de viscosidade	40

Capítulo I: Introdução e objectivos

1. Introdução

A carragenina foi assim chamada porque foi primeiramente usada por habitantes de uma cidade chamada Carragenina, na Irlanda, onde os extratos de algas vermelhas já eram usados para alimentos e medicamentos há alguns séculos (Prajapati *et al.*, 2014).

Segundo Prasedya *et al.*, (2016) a carragenina é o carragenófito mais crucial do mundo que é amplamente utilizado na indústria alimentícia e farmacêutica, pode ser extraída da alga *K. alvarezii* que é um tipo de alga vermelha que é valorizada pelo seu polissacarídeo sulfatado de alto peso molecular, disponível na parede celular. A *K. alvarezii* é composta, em média, por aproximadamente 50,8% de carboidratos, 3,3% de proteínas, 3,3% de lipídios, 15,6% de cinzas, 12,4% de grupos sulfato e 3,0% de aromáticos insolúveis (Rupert *et al.*, 2022).

A crescente demanda por carragenina, que tem uma ampla gama de usos, resultou em uma rápida expansão no cultivo de *K. alvarezii* em todo o mundo. *K. alvarezii* é cultivado principalmente em nações como Indonésia, Filipinas, Vietnam e Malásia e produz κ -carragenina relativamente pura. Madagascar, Índia, Tanzânia (Zanzibar), várias ilhas do Pacífico Central/Sul (Kiribati, Fiji e Ilhas Salomão) e Timor-Leste (Orbita, 2013; Kumar, 2014; Campbell & Hotchkiss, 2017).

Uma das vantagens da *K. alvarezii* é a estabilidade da composição de carragenina ao longo do ciclo de vida da alga garantindo um produto final consistente e confiável, tornando a *K. alvarezii* uma fonte altamente desejada de carragenina no mercado global. Além disso, a carragenina também possui propriedades biológicas importantes, sendo estudada quanto ao seu potencial antiviral, anticancerígeno, anticoagulante e anti-inflamatório (Yuan *et al.* 2011; Pangestuti & Kim, 2014).

Estudos têm sido realizados para avaliar a actividade antitumoral da carragenina, sugerindo seu potencial como agente no combate ao câncer (Webber *et al.* 2009) em contra partida, existem poucas informacoes publicadas sobre formas convencionais de extração, de uso, de aproveitamento da carragenina e da analise da qualidade da carragenina obtida da alga em seus diferentes estados.

Portanto, o objetivo deste estudo é de extrair e avaliar a qualidade do extrato de carragenina bruta da alga *K. alvarezii* seca e fresca cultivada na Ponta Torres na ilha de Inhaca (Maputo)

utilizando um método convencional (método alcalino).

1.1.Problematização

A carragenina, um polissacarídeo extraído de algas marinhas, é amplamente utilizada na indústria alimentícia, farmacêutica e cosmética devido às suas propriedades gelificantes, estabilizantes e espessantes (Rainudo, 2008; Laksono *et al.*, 2022).

A alga vermelha *K. alvarezii* é uma fonte promissora desse composto, porém, a influência do seu estado (seca e fresca) na qualidade da carragenina obtida não foi completamente compreendida.

Estudos como o de Rupert *et al.*, (2022) indicam que a qualidade da carragenina pode variar dependendo do estado da alga utilizada, seja fresca ou seca. No entanto, a influência do estado fresco ou seco da alga vermelha *K. alvarezii* na qualidade da carragenina obtida não foi completamente compreendida (Rupert *et al.*, 2022). Diante dessa variação, surge a necessidade de uma análise detalhada da qualidade da carragenina extraída da alga vermelha *K. alvarezii* em seus estados fresco e seco.

Tendo em conta as aplicações da carragenina surge a necessidade de responder a seguinte questão: ***Visto que os extratos serão obtidos da mesma alga com amostras em condições diferentes (fresca e seca), qual dos dois (2) extratos terá maior rendimento?***

1.2.Justificativa

A pesquisa proposta tem como base a necessidade de preencher uma lacuna significativa na literatura científica relacionada à quantidade da carragenina extraída da alga *K. alvarezii*, considerando suas diferentes condições (fresca e seca). A escolha dessa alga é estratégica, dada sua importância econômica na produção de carragenina em escala industrial mundial.

Segundo Vasconcelos *et al.* (2015) a análise da qualidade da carragenina proveniente da alga *K. alvarezii* em seus estados fresco e seco é fundamental para otimizar a produção desse biopolímero e garantir sua eficácia nas diversas aplicações. A secagem é uma etapa crítica no processo de extração da carragenina, pois influencia diretamente na concentração e nas propriedades do polissacarídeo (Hayashi, 2007). Compreender as diferenças na qualidade da carragenina entre as formas fresca e seca da alga permitirá a formulação de estratégias mais eficientes na produção

industrial, contribuindo para a obtenção de carrageninas com propriedades físicas e químicas ideais para as suas diversas aplicações.

1.3. Objectivos

1.3.1. Objectivo geral

- Analisar a qualidade da carragenina obtida da alga *Kappaphicus alvarezii* fresca e seca.

1.3.2. Objectivos específicos

- Extrair carragenina da alga *K. alvarezii* fresca e seca;
- Determinar o rendimento e os parâmetros físico-químicos (gelificação, viscosidade e estabilidade); e
- Comparar o rendimento e os parâmetros físico-químicos (gelificação, viscosidade e estabilidade) da carragenina obtida da alga *K. alvarezii* fresca e seca.

Capítulo II: Revisão da Literatura

2. *Kappaphycus alvarezii* (Doty) Doty ex Silva

A alga vermelha, Rhodophyta, é um grupo de seres eucarióticos que fazem fotossíntese e são mais multicelulares, com mais de 7000 espécies. Eles vivem mais no mar, mas até 5% das espécies podem viver em água doce, principalmente em lugares mais quentes. A cor vermelha vem do excesso dos pigmentos ficocianina e ficoeritrina sobre outros pigmentos como clorofila A e caroteno. As algas vermelhas guardam açúcares como amido florídico, uma amilopectina com muitos ramos e sem amilose, que fica fora do plastídio no citosol das células (R, P, & M, 2007). A parede celular da alga marinha tem mais celulose, carragenina e ágar, que são usados em várias indústrias.

A alga *Kappaphycus alvarezii*, também chamada de *Eucheuma cottonii*, é classificada dentro do reino Plantae. pertence ao filo Rhodophyta, que engloba algas vermelhas.

Kappaphycus alvarezii, anteriormente conhecido como *Eucheuma cottonii*, é uma espécie de alga vermelha tropical com grande importância comercial. Ela é especialmente valorizada devido ao seu polissacarídeo da parede celular, a carragenina, o que a torna uma das espécies de algas mais significativas em termos de aplicações industriais em todo o mundo (Rupert *et al.* 2022).

Kappaphycus alvarezii é uma espécie de alga vermelha que foi separada do gênero *Eucheuma* por Doty em 1987. Ela tem carragenina kappa e cistocarpos hemisféricos inseridos diretamente nos eixos principais do talo. O eixo central é formado a partir de células medulares organizadas em feixes (Schmidt, 2009). A alga tem colorido variado, sendo comuns as colorações vermelho-escuro, marrons, amareladas ou diferentes tonalidades de verde. Um traço notável é sua rápida taxa de crescimento, com a capacidade de duplicar seu tamanho em apenas 15 a 30 dias durante o cultivo (Vieira, 2022).

Kappaphycus alvarezii é uma alga vermelha encontrada em regiões tropicais e subtropicais, habitando águas rasas. Sua estrutura é caracterizada por filamentos e ramos, o que a torna uma fonte abundante de polissacarídeos sulfatados, conhecidos como carrageninas. As carrageninas são substâncias que têm a capacidade de formar géis quando em contato com íons metálicos, como cálcio e sódio, e são altamente valorizadas por suas propriedades de espessamento, estabilização e gelificação.

O cultivo da alga *Kappaphycus alvarezii* é feito em várias partes do mundo devido ao seu potencial econômico. *K. alvarezii* é cultivado principalmente em nações como Indonésia, Filipinas, Vietnam e Malásia e a mesma produz κ -carragenina relativamente pura. Madagascar, Índia, Tanzânia (Zanzibar), várias ilhas do Pacífico Central/Sul (Kiribati, Fiji e Ilhas Salomão) e Timor-Leste são também notáveis países produtores desta alga marinha (Kumar, 2014) (Orbita, 2013) (Campbell & Hotchkiss, 2017).

Em Moçambique, o cultivo da alga *Kappaphycus alvarezii* envolve a seleção de locais costeiros com águas limpas e temperaturas entre 25°C e 30°C. Propágulos são amarrados em cordas de nylon ou polipropileno, utilizando métodos como estacas em cordas ou linhas longas, que são fixadas em estruturas flutuantes ou ancoradas (Nhaca *et al.*, 2023).

A produção dessa alga é liderada principalmente pela Indonésia e pelas Filipinas. Enquanto a Indonésia continua a expandir sua produção, nas Filipinas, a produção tem sido impactada negativamente por uma série de desastres naturais, incluindo ciclones, que causam danos à estrutura das algas e resultam em uma redução na produção (Vieira, 2022).

A *Kappaphycus alvarezii* tem uma ampla gama de aplicações que vão além da indústria alimentícia. Suas carrageninas são usadas em produtos cosméticos, como loções e cremes, devido às propriedades de espessamento e estabilização que oferecem. Além disso, pesquisas estão sendo conduzidas para avaliar seu potencial na indústria farmacêutica, devido à biocompatibilidade e capacidade de liberar substâncias ativas de maneira controlada (Rupert *et al.*, 2022) (Chin *et al.*, 2019) (Pushpa *et al.*, 2014).

Portanto, *Kappaphycus alvarezii* desempenha um papel versátil e valioso em várias indústrias, melhorando produtos alimentícios, cosméticos e possivelmente contribuindo para o desenvolvimento de medicamentos. Sua capacidade de produzir carrageninas, amplamente utilizadas em várias aplicações, a torna um organismo de considerável interesse científico e econômico (Rupert *et al.*, 2022).



Figura 1. Alga marinha da espécie *Kappaphycus alvarezii*.

Fonte: Algasbras (<https://algasbras.com.br/Kappaphycus-alvarezii/>).

a) Taxonomia da alga *Kappaphycus alvarezii*

Reino: Plantae;

Sub-reino: Biliphyta;

Filo: Rhodophyta;

Sub-filo: Rhodophytin;

Classe: Florideophyceae;

Sub-classe: Rhodymeniophycidae;

Ordem: Gigartinales;

Família: Areschougiaceae;

Gênero: *Kappaphycus*; e

Espécie: *K. alvarezii*.

b) Ecologia da alga *Kappaphycus alvarezii*

A ecologia da alga *Kappaphycus alvarezii* está intimamente relacionada ao seu habitat ecológico nas águas tropicais e subtropicais:

- I. Distribuição Geográfica:** habita regiões tropicais e subtropicais, principalmente em áreas costeiras com águas rasas. Ela é encontrada em diversas partes do mundo, incluindo o Sudeste Asiático, o Pacífico e o Oceano Índico.
- II. Habitat:** geralmente cresce em substratos rochosos, recifes de coral e outros tipos de substratos marinhos em águas rasas, com profundidades variando de 1 a 10 metros. Ela pode se fixar em rochas, cascalho ou recifes.
- III. Adaptação a Águas Rasas:** A capacidade de crescer em águas rasas é uma característica importante da ecologia de *Kappaphycus alvarezii*. Ela requer luz solar para realizar a fotossíntese e, portanto, é encontrada em profundidades onde a luz solar é suficiente para sustentar seu crescimento.
- IV. Crescimento e Reprodução:** *Kappaphycus alvarezii* é uma alga que se reproduz por meio de propágulos (fragmentos de seus ramos) que podem se soltar da alga mãe e estabelecer novos indivíduos. Isso contribui para sua rápida disseminação e colonização de áreas costeiras.
- V. Impacto Ecológico:** Em algumas regiões, *Kappaphycus alvarezii* tornou-se uma espécie introduzida e, em certas circunstâncias, pode supercolonizar recifes de coral e outros habitats nativos, potencialmente afetando negativamente a biodiversidade local.
- VI. Importância Ecológica e Econômica:** desempenha um papel ecológico e econômico importante. Ela pode fornecer habitat e abrigo para várias formas de vida marinha e é uma fonte valiosa de carrageninas, com aplicações em várias indústrias, incluindo alimentícia, cosmética e possivelmente farmacêutica.

2.1.Carragenina

As carrageninas são polissacarídeos sulfatados que consistem em unidades alternadas de β -D-galactopiranosil e α -D-galactopiranosil 3-ligados. Elas desempenham um papel fundamental na estrutura da parede celular de certas espécies de algas vermelhas. A composição da carragenina varia de uma espécie para outra. Por exemplo, a carragenina presente em *Kappaphycus alvarezii* (também conhecida como *Eucheuma cottonii*) é principalmente do tipo κ -carragenina, enquanto *Eucheuma dendiculatum* (ou *Eucheuma spinosum*) contém mais ι -carragenina. Algumas algas, como *Chondrus crispus* e *Sarcothalia crispata*, possuem κ - e λ -carragenina. A percentagem de carragenina nas algas varia de acordo com a espécie de alga e fatores ambientais, como a luminosidade, nutrientes, temperatura e oxigenação da água (Adamante & Míno, 2012).

A carragenina se dissolve em água e forma gel dependendo da quantidade de grupos sulfato ésteres e cátions de dois átomos, como sódio e potássio, mas a λ -carragenina pode fazer gel com cátions de três átomos (Correndo *et al.* 2012). Quanto mais grupos sulfato ésteres, mais fácil é dissolver e fazer gel com menos carragenina, o que muda o uso da carragenina (Manuhara *et al.* 2016).

2.1.1. Classificação da carragenina

A classificação da carragenina é realizada de acordo com sua estrutura e propriedades físico-químicas e tem três tipos principais que são:

- kappa (κ)- gel rígido, quebradiço, termorreversível, alta força de gel, apresenta sinérese.
- iota (ι)- gel elástico, termorreversível, não apresenta sinérese, propriedade tixotrópica.
- lambda (λ)- solúvel a frio, não gelificante, produz altas viscosidades.

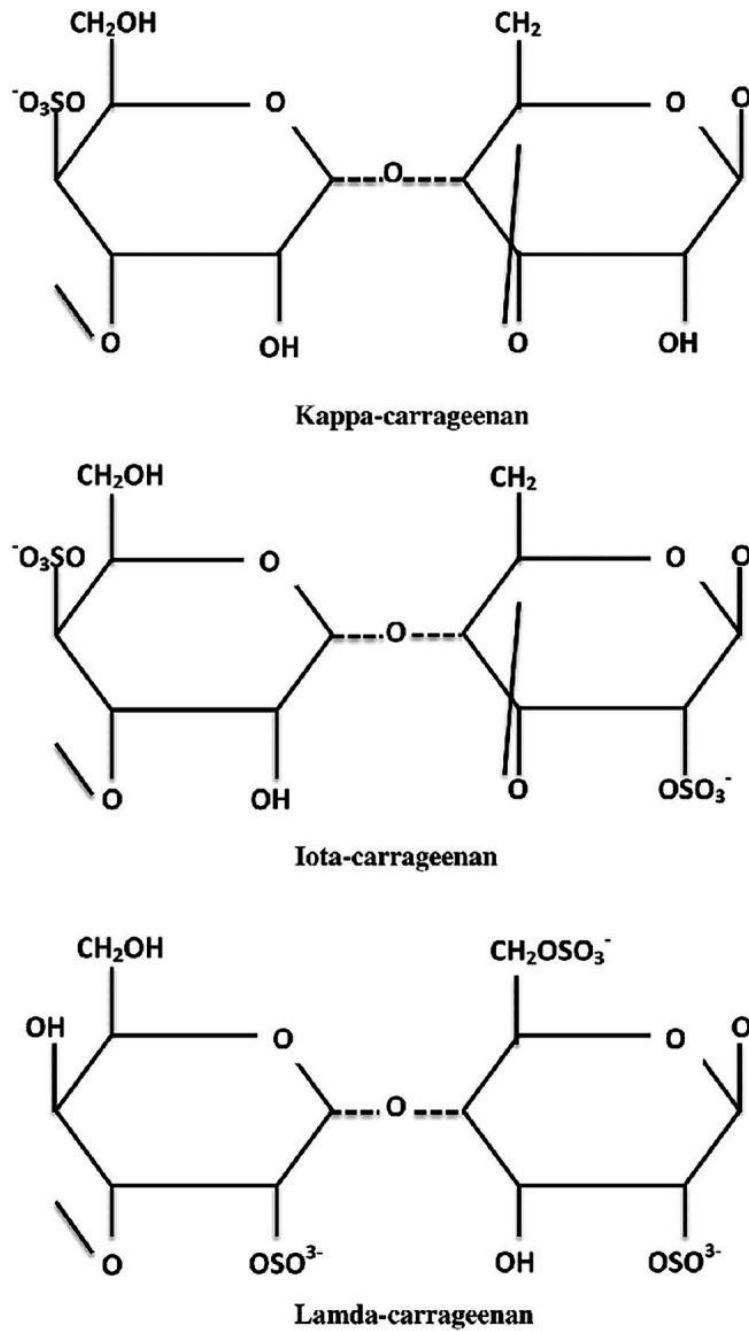
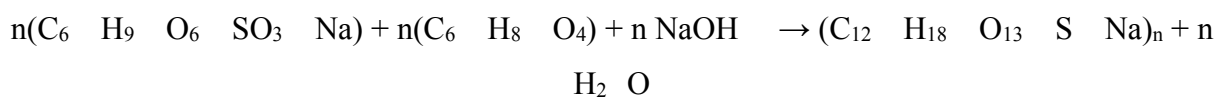


Figura 2. Estruturas químicas das carrageninas kappa (κ -), iota (ι -), e lambda (λ -). Fonte: (Rupert *et al.* 2022)



Equação 1. Equação da reacção de formação da carragenana kappa em meio alcalino com NaOH.

O que os diferencia é o número e o lugar dos grupos sulfato nas moléculas e o tipo de gel que eles fazem (Aditivos & Ingredientes, 2009). Esses tipos de carragenina vêm de várias algas vermelhas, como *Eucheuma cottonii*, *Eucheuma denticulatum* e *Gigartina*.

As carrageninas do tipo Lambda podem agir como espessantes tanto em temperaturas frias quanto quentes. Por outro lado, as do tipo Iota e Kappa, além de desempenharem o papel de agentes espessantes em produtos preparados em altas temperaturas, têm a capacidade de formar géis estáveis em água à temperatura ambiente, dispensando a necessidade de refrigeração. Esses géis são transparentes e podem ser revertidos pelo calor, o que contribui para uma ampla gama de texturas, dependendo da combinação das frações utilizadas (Nunes *et al.* 2003).

2.2.Determinação do rendimento da carragenina

A determinação do rendimento da carragenina envolve o processo de extração e purificação da carragenina a partir das algas vermelhas e a quantificação do produto final obtido em relação à quantidade inicial de algas usada. O rendimento é expresso como a percentagem da carragenina obtida em relação ao peso das algas iniciais.

O rendimento da carragenina é calculado como a percentagem do peso da carragenina purificada em relação ao peso inicial das algas usadas na extração (Bernardo, 2018).

A fórmula para calcular o rendimento é a seguinte:

$$\mathbf{Rcarragenina} (\%) = \frac{P}{A} \times 100$$

Equação 2. Determinação do rendimento.

Onde:

Rcarragenina- é o rendimento da carragenina (%)

P- a quantidade de carragenina em pó em gramas; e

A - a quantidade de alga em pó utilizada na extração.

2.3. Propriedades físico-químico da carragenina

2.3.1. Gelificação

A gelificação é o processo no qual um líquido se torna uma substância semelhante a um gel, formando uma estrutura tridimensional que confere uma textura sólida e flexível. Pode ser desencadeada por fatores como resfriamento de soluções com agentes gelificantes, como a carragenina, ou adição de sais como o cálcio. É frequentemente utilizada na culinária e na produção de alimentos para criar texturas específicas, como gelatinas, pudins, geleias e gomas (Dikshit & Nandi, 2002).

Soluções aquecidas de carrageninas Kappa e Iota têm a capacidade de criar géis que podem ser revertidos pelo calor à medida que esfriam. Esse fenômeno ocorre devido à formação de uma estrutura de dupla hélice pelos polímeros de carragenina. Quando a temperatura excede a temperatura de fusão do gel, os polímeros de carragenina são dispersos na solução em configurações de espirais aleatórias. À medida que a solução esfria, surge uma rede tridimensional de polímeros, onde as hélices duplas funcionam como pontos de conexão entre as cadeias de polímeros (Nerdal *et al.*, 1993) (Montero & Pérez-Mateos, 2002) (Schefer *et al.*, 2014).

O resfriamento adicional resulta na agregação dos pontos de conexão, formando a estrutura tridimensional do gel. As características do gel, incluindo a presença de loops na estrutura da cadeia e a quantidade e localização dos grupos de éster sulfato, são influenciadas de maneira significativa por esses fatores (Wang *et al.*, 2020).

Esse mecanismo de gelificação é essencial para as soluções de carrageninas Kappa e Iota. Para obter o gel em água, a presença de sais de potássio ou cálcio é necessária, mas essa exigência não se aplica ao leite. As carrageninas Kappa e Iota formam géis em água somente quando certos catiões estão presentes (Wang *et al.*, 2020).

O gel que se forma é termorreversível, o que implica que pode ser submetido a ciclos de aquecimento e resfriamento sem que haja uma mudança substancial em sua estrutura, contanto que o pH da solução permaneça neutro. As temperaturas nas quais ocorre a formação do gel e a sua fusão dependem da concentração de catiões. O aumento da quantidade de sais de potássio ou cálcio em soluções aquosas resultará em um aumento na temperatura necessária para a formação do gel. (Aditivos & Ingredientes, 2009).

2.3.2. Viscosidade

A viscosidade é uma propriedade física que descreve a resistência de um fluido (líquido ou gás) ao fluxo. Ela está relacionada à capacidade de um fluido de fluir de maneira suave ou "espessa". A viscosidade é influenciada pela interação entre as moléculas do fluido e pode variar significativamente entre diferentes substâncias.

A viscosidade de soluções de carragenina deve ser determinada em condições onde não exista nenhuma tendência de gelificação da solução.

A viscosidade de soluções de carragenina depende de vários fatores, como a concentração, temperatura, presença de outros solventes, tipo de carragenina e peso molecular. A medida da viscosidade de soluções de carragenina deve ser realizada em condições onde não haja tendência de gelificação da solução. Quando uma solução quente de carragenina é resfriada, a viscosidade aumenta gradualmente até atingir a temperatura de gelificação. À medida que o gel começa a se formar, ocorre um aumento repentino e intenso da viscosidade.

Para evitar o efeito da gelificação, é recomendado medir a viscosidade de soluções de carragenina a temperaturas suficientemente altas, como 75°C. A concentração típica de carragenina em soluções é de 1,5% em peso do volume de água. As carrageninas comerciais geralmente apresentam viscosidades variando de 5 a 800 cps em soluções de 1,5% medidas a 75°C. É importante ressaltar que a viscosidade das soluções de carragenina pode variar dependendo dos fatores mencionados anteriormente (Aditivos & Ingredientes, 2009).

2.3.3. Estabilidade (pH)

A solução de carragenina demonstra estabilidade considerável em pH neutro ou alcalino, no entanto, sua estabilidade é afetada em valores de pH baixos, especialmente quando submetida a altas temperaturas. A diminuição do pH resulta na hidrólise dos polímeros da carragenina, levando à redução da viscosidade e da capacidade de formação de gel. No entanto, uma vez que o gel tenha sido formado, mesmo em pH baixo (entre 3,5 e 4,0), não ocorre mais hidrólise, e o gel permanece estável. Para aplicações práticas, é crucial estar ciente das limitações da carragenina em ambientes ácidos, tanto em forma de solução quanto em gel. Portanto, é recomendado evitar o processamento de soluções de carragenina com pH baixo e

altas temperaturas durante períodos prolongados (Aditivos & Ingredientes, 2009).

As concentrações de carragenina necessárias para a formação de géis são sensíveis ao pH. Soluções de carragenina mantêm sua estabilidade dentro da faixa de pH entre 4,0 e 12,0 atingindo sua máxima estabilidade em torno do pH 9,0. É importante evitar o processamento em temperaturas elevadas quando o pH é inferior a 3,5. Em pH igual ou superior a 6,0, as soluções de carragenina são resistentes às condições normais de processamento. Em ambientes ácidos, é aconselhável adicionar as carrageninas o mais tarde possível no processo, pois a combinação de temperatura e acidez pode levar à degradação das carrageninas, resultando na hidrólise da estrutura, o que resultaria na perda de viscosidade e rigidez. (Aditivos & Ingredientes, 2009).

Em presença de cátions reconhecidos como poderosos desencadeadores de gelificação, tais como o sódio e o cálcio, a carragenina, em temperaturas baixas e nas concentrações adequadas desses sais, passa por um processo de gelificação, resultando em um aumento na sua viscosidade aparente. Esse fenômeno é especialmente proeminente quando se trata de cátions considerados como indutores fortes de gel, a exemplo do sódio e cálcio. (Piculell, 1995).

Capítulo III: Materiais e Métodos

3. Metodologia

A presente pesquisa consistiu na extração e análise qualitativa da carragenina obtida da alga vermelha *K.alvarezii* e foi realizado no período de Março à Novembro do ano corrente.

As amostras foram adquiridas através de cultivo que é uma actividade desenvolvida pelo projecto ARISE na ilha de Inhaca (Província de Maputo, Moçambique). O envio das amostras foi feito por via terrestre partindo da cidade de Maputo à cidade de Quelimane para o laboratório de química do INIP (Instituto Nacional de Inspeção do Pescado) que é uma instituição estatal que tem por missão regulamentar e efectuar controlos oficiais, na produção de alimentos seguros, em toda a cadeia produtiva.

A primeira fase consistiu na extração da carragenina usando um método convencional para obter a carragenina refinada (método alcalino) descrito por Jönsson *et al.* (2020). Este método

foi modificado para atender a alguns aspectos específicos da pesquisa, principalmente para garantir que o extrato de carragenina fosse obtido de forma mais eficaz, possivelmente aumentando o rendimento e a pureza do produto final. A modificação principal envolveu o cozimento das amostras de algas em uma solução alcalina por várias horas utilizando banho-maria.

A segunda fase consistiu nas análises físico-químico gelificação usando o método de resfriamento descrito por (Krolow, 2013), viscosidade que foi determinada usando o método de gotejamento foi desenvolvido por Arnold William Roberts um cientista britânico em 1922 e estabilidade que consistiu na medição do pH segundo (Aditivos & Ingredientes, 2009).

Na parte final do trabalho foi conduzida uma análise estatística usando o programa Microsoft excel 2007.

3.1.Descrição da área de estudo

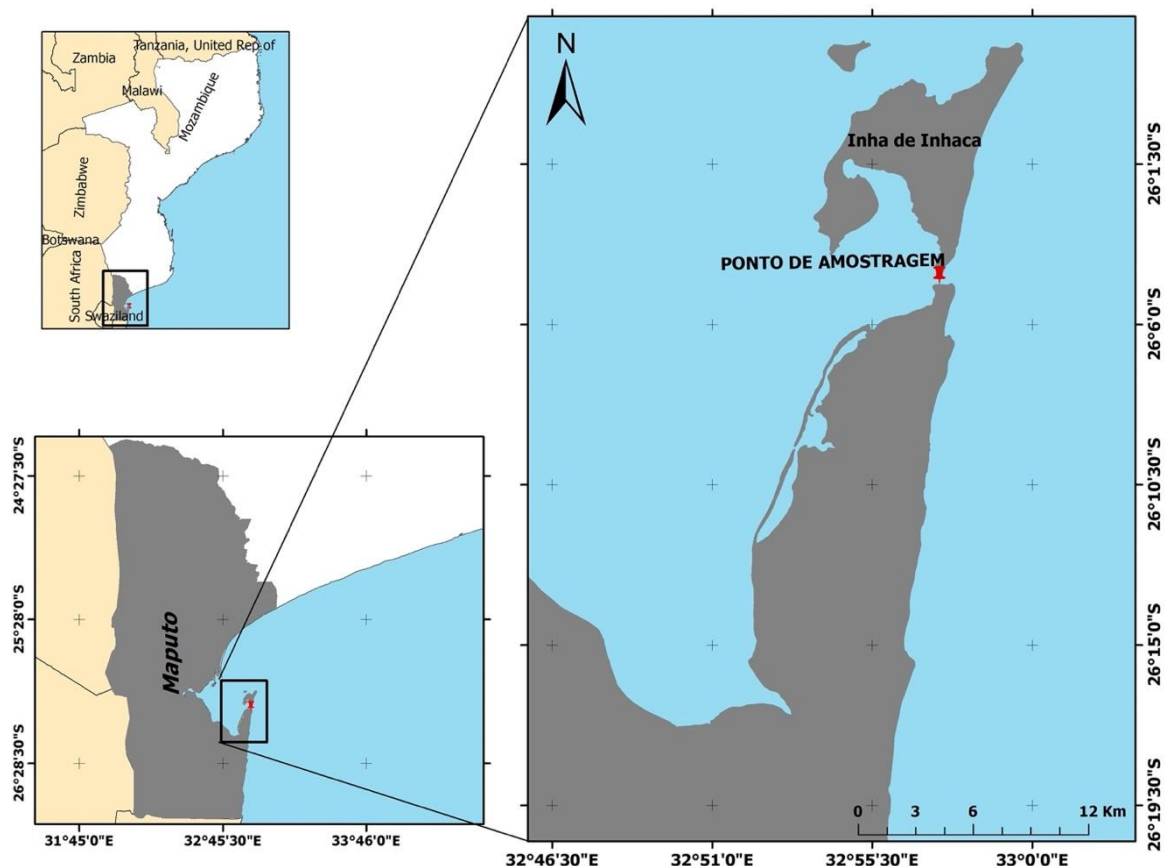


Figura 3. Localização geográfica da ilha de Inhaca (Ponta Torres). Fonte-ArcGIS.

Ilha de Inhaca é uma ilha situada na baía de Maputo, a cerca de 40 km da cidade de Maputo, capital de Moçambique, de cujo município faz parte administrativamente, constituindo um distrito municipal, o distrito KaNyaka (Muacanhia, 2003). Tem uma área de 42 km² e dimensões norte-sul de 12,5 km entre a Ponta Mazondue, a norte, e a Ponta Torres, a sul e este-oeste de 7 km (Pereira & Nascimento, 2016). Está situada a 32 km a leste da cidade de Maputo.

Ponta Torres é um cabo em Moçambique. É o ponto mais meridional da Ilha de Inhaca. Ele está localizado em frente ao Cabo de Santa Maria, o final da Península de Machangulo e separado dele pelo Canal de Santa Maria, também chamado de Portão do Diabo (Boer & Bento, 1999).

Na Ilha de Inhaca, o clima é predominantemente tropical, com uma estação chuvosa de novembro a março, caracterizada por chuvas fortes e vegetação exuberante, seguida de uma estação seca de abril a outubro, com temperaturas mais altas e menos chuvas (Pereira & Nascimento, 2016). A estação seca, com máximas frequentemente acima de 30°C, é a época mais popular para o turismo na ilha, ideal para atividades ao ar livre, como mergulho e snorkeling.

A vegetação predominante na Ilha de Inhaca inclui manguezais nas zonas costeiras, florestas costeiras tropicais no interior da ilha, savanas em áreas mais secas, vegetação adaptada à praia e plantas tropicais.

A Ilha de Inhaca tem um relevo predominantemente plano e costeiro, com praias de areia branca, dunas e áreas de vegetação costeira, incluindo manguezais. No interior da ilha, existem florestas tropicais, savanas e vegetação adaptada a ambientes de praia e dunas.

3.2. Materiais e reagentes

3.2.1. Materiais usados

Tabela 1. Materiais usados e suas utilizações.

Materiais usados	Utilizações
2 borrachas 15*20 cm	Usada como isolante térmico
3 Gelos secos	Usado para conservar as amostras no Coleman
Água destilada	Lavagem das algas, remover pigmentos, para a solução alcalina e para a precipitação da carragenina
Balança analítica	Usada para pesagem das amostras, dos extratos e do reagente
Balão volumétrico de 1000 ml	Usado para preparação da solução alcalina;
Banho-maria (645 MLQ)	Usado para fazer a extração
Bastão de vidro	Usada para agitar soluções
Becker 50 ml	Usado na pesagem das amostras e conservação dos extratos
Coleman de 7,5L	Usado para colocar e transportar as amostras;
Copos de erlenmeyer de 100 ml, 250 ml	Usados para remoção de pigmentos, extração da carragenina e precipitação
Espátulas	Usada para transferir pequenas porções de substâncias sólidas
Estufa	Usada para secagem das amostras
Frigorífico	Usada para conservar as amostras e para medição da gelificação
Funil	Usado para filtração e retenção de resíduos sólidos
Liquidificador	Usado para triturar a amostra seca
Luvas	Usadas como proteção
pHmetro	Medição do pH
Pipeta 50 ml	Usada para medir volumes líquidos com precisão
Placas de petri	Para secar a carragenina na estufa

Proveta 500 ml, 1000 ml	Usada para medir volumes líquidos com precisão
Rede de 20 micras	Usada para filtrar a carragenina

3.2.2. Reagentes

Tabela 2. Reagentes usados e suas utilizações.

Reagentes usados	Utilizações
900 ml de etanol 99,99%	Usado para remover a pigmentação e precipitação da carragenina
210 ml de Acetona 99,99%	Usado para remover a pigmentação
80g de Hidróxido de Sódio (NaOH)	Usado para extrair a carragenina (solução alcalina)

3.3. Amostragem e tratamento das algas

A colheita das algas foi realizada na Ponte Torres localizada na ilha de Inhaca, província de Maputo, Moçambique. Foram recolhidos 350,0 g de algas da espécie *Kappaphycus alvarezii*. Imediatamente após a colheita, as algas foram transportadas ainda frescas.

As amostras foram transportadas da ilha Inhaca à cidade de Maputo dentro de um saco plástico contendo água salgada, o que ajuda a manter a amostra fresca. Chegando em Maputo, as algas foram retiradas da água salgada e conservadas a uma temperatura menor que 4 °C durante 5 dias.

Após esse período de conservação, as amostras foram transferidas para uma caixa térmica de 7,5 litros (marca Coleman), que estava equipada com duas borrachas para isolamento térmico e três bolsas de gelo seco. Este cuidado adicional foi necessário para garantir que as algas mantivessem uma temperatura adequada durante o transporte até a cidade de Quelimane.

Ao chegar em Quelimane, as amostras foram levadas ao laboratório de química do INIP (Instituto Nacional de Inspeção do Pescado). Dos 350,0 g de algas coletadas, 300,0 g foram divididos igualmente em duas porções de 150,0 g cada, para a realização de diferentes tratamentos experimentais.

Cada um desses tratamentos foi replicado três vezes, utilizando 50,0 g de algas em cada replicação. Para a análise, 150,0 g de algas (divididos em três réplicas de 50,0 g cada) foram submetidos à secagem em uma estufa a 100 °C durante um período de 3 horas. Depois que as amostras estavam completamente secas, elas foram trituradas utilizando um liquidificador para facilitar a análise posterior.

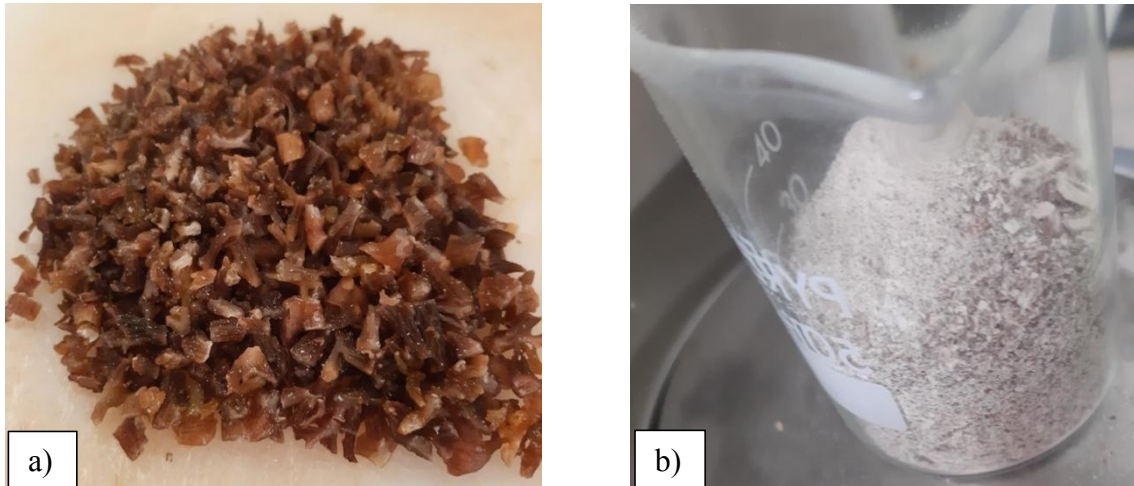


Figura 4. Alga *Kappaphycus alvarezii*- a) amostra fresca e b) amostra seca em pó.

3.4.Extração

Para a extração foi usado o Método convencional (Método tratamento alcalino) de extração de carragenina refinada e para tal foram usados os seguintes passos:

- I. Remoção dos pigmentos:** para remover os pigmentos que estavam fora da célula foram utilizados 50 ml de etanol à 99,99% (lote: RLS-EL07125) e 35 ml de acetona à 99,99% (lote: 23/235) para cada tratamento durante 30 min, depois a solução foi retirada e as amostras foram colocadas na estufa por 30 min à 60°C para retirar os resíduos restantes da solução;

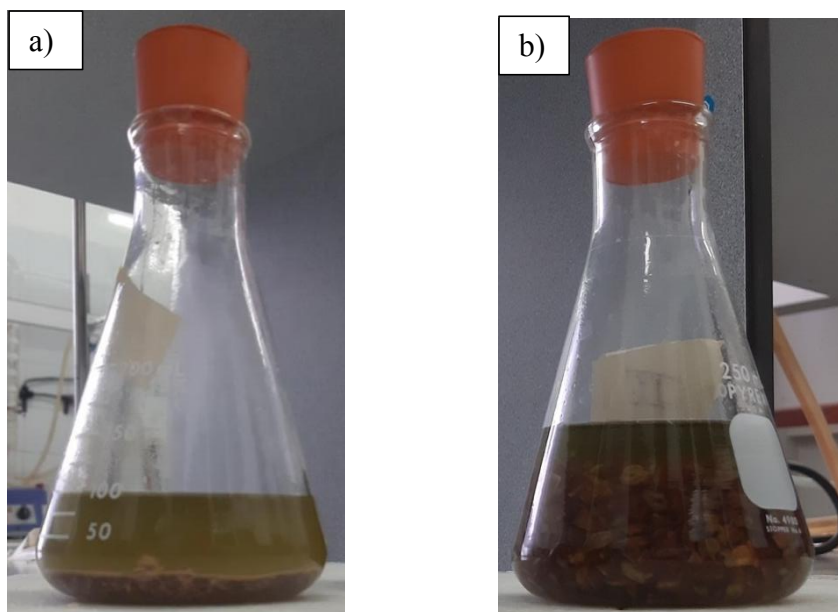


Figura 5. Remoção de pigmentos- a) amostra seca e b) amostra fresca.

II. Preparação da solução alcalina a 2N: para obter a solução alcalina foi feita pesagem em uma balança analítica (de código 016MQQ-1) a massa de 80.0 g de NaOH (lote:46309) e dissolveu-se num balão volumétrico de 1000ml e perpez-se com água destilada.

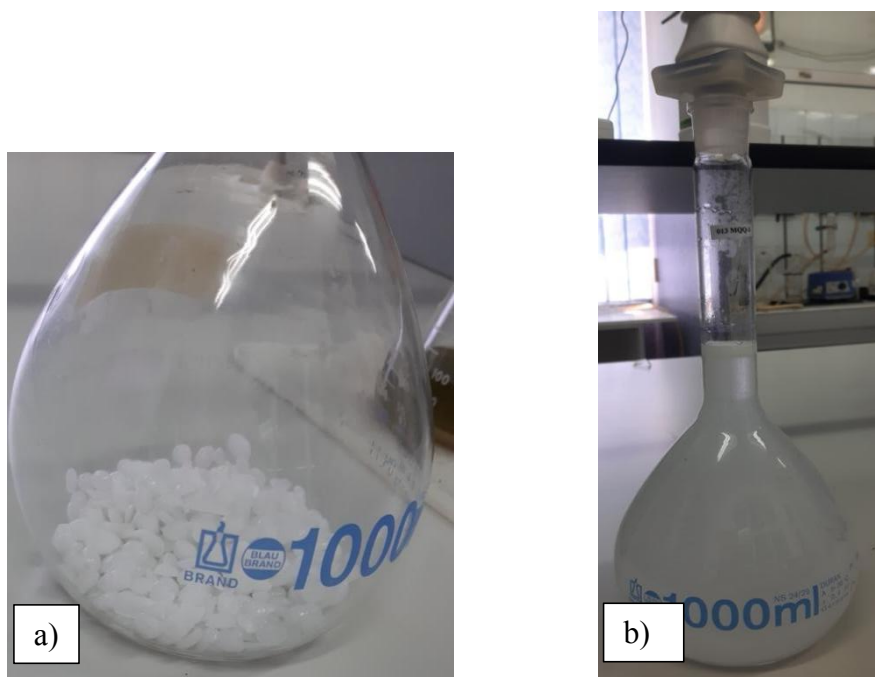


Figura 6. Preparação da solução alcalina- a) 80g de NaOH e b) solução alcalina.

III. Extração em solução alcalina: depois da adição da solução alcalina em cada amostra os erlynmayer com foram colocados no banho-maria calibrada as temperaturas de 45 a 50°C e as misturas foram agitadas de 20 em 20 min para facilitar a dissolução da carragenina durante 5 horas para cada amostra, isso das 10h20 as 15h20;

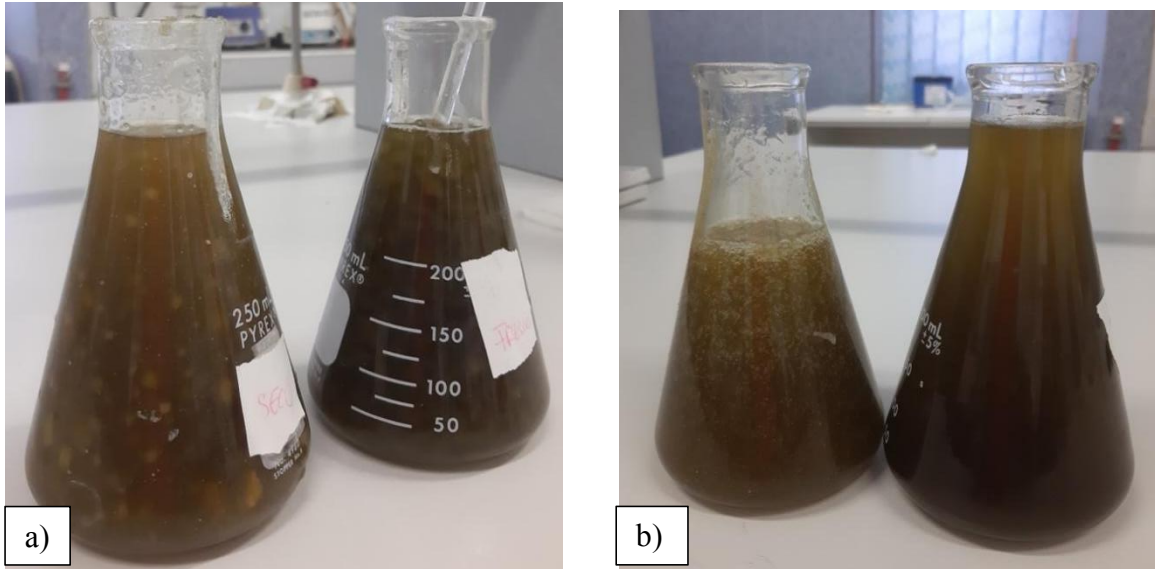


Figura 7. Soluções com amostras seca e fresca respectivamente- a) soluções antes da extração e b) soluções depois da extração.

IV. Precipitação: findo o tempo da extração, as soluções foram precipitadas com 100 ml de etanol puro para separar a carragenina da solução alcalina e posteriormente foi feita a filtração;

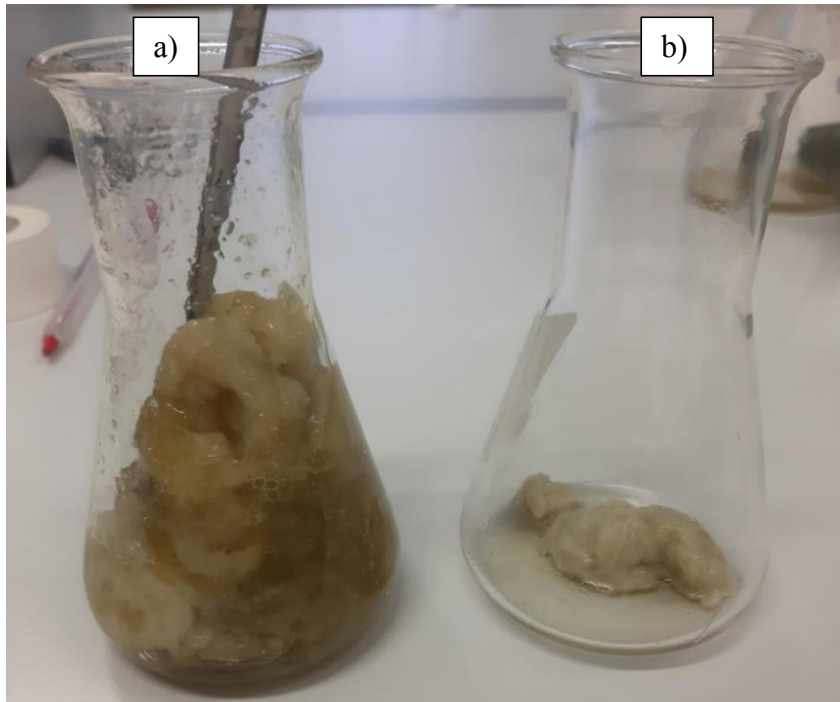


Figura 8. Carragenina precipitada- a) carragenina obtida da amostra seca e b) carragenina obtida da amostra fresca.

- V. Descanso e Maturação:** a carragenina gelatinosa foi deixada em descanso por um tempo após a precipitação depois de adicionar novamente 50 ml de etanol puro por 10 min;
- VI. Filtração:** A filtração foi feita normalmente com recurso a um funil e papel de filtro;
- VII. Lavagem e secagem:** a lavagem foi realizada com uma solução aquosa em um processo parecido com a filtração. A carragenina sólida foi secada depois da lavagem para eliminar a umidade extra. A secagem foi feita com recurso a uma estufa a 100° C em 2 horas.
- VIII. Preparação da solução para medir os parâmetros:** para poder se medir os parâmetros da carragenina foi adicionada 40 ml de água destilada para cada e agitada até a mesma dissolver.

3.5.Determinação de rendimento

O rendimento da carragenina extraída foi calculado como a percentagem do peso da carragenina purificada em relação ao peso inicial das algas usadas na extração como descrita na equação 2 (Bernardo, 2018).

$$\mathbf{Rcarragenina} (\%) = \frac{P}{A} \times 100$$

Equação 3. Fórmula da determinação do rendimento.

3.6.Parâmetros físico-químico da carragenina

Antes de se medir os parâmetros, foi feita a dissolução da carragenina (obtida da amostra seca e fresca) separadamente com 40.0 ml de água destilada e agitada até dissolver na sua totalidade. Para a análise dos parâmetros físico-químico considerou-se os seguintes parâmetros:

3.6.1. Gelificação

Para a determinação da gelificação foi usado o método de resfriamento descrito por (Krolow, 2013) que consistiu em deixar a mistura líquida (carragenina dissolvida em 40.0 ml de água destilada) repousar em temperatura ambiente por um curto período para que ela comece a esfriar e posteriormente foi colocado na geladeira a -16°C por 20 minutos para poder gelificar. O processo de gelificação ocorreu à medida que a mistura esfriava.

3.6.2. Viscosidade

Para a determinação da viscosidade foi usado o método do gotejamento foi desenvolvido por Arnold William Roberts que consistiu em deixar o gel pingar de uma altura constante (80.0 cm) e observar o padrão de gotejamento. Para tal, a solução da carragenina foi colocada numa espátula inclinada a 45°, a uma altura de 80.0 cm durante 60 segundos e posteriormente a viscosidade foi calculada usando a equação de Hagen-Poiseuille.

$$\mu = \frac{\tau \pi r^3}{4Q}$$

Equação 4. Equação de Hagen-Poiseuille.

Onde:

μ (μ i)- viscosidade dinâmica do fluido.

τ (tau)- tensão de cisalhamento.

Π - pi.

r- raio da esfera ou tubo pelo qual o fluido está fluindo.

Q- o fluxo volumétrico do fluido.

3.6.3. Estabilidade

Consistiu na medição do pH de acordo com (Aditivos & Ingredientes, 2009) que diz que soluções de carragenina mantêm sua estabilidade dentro da faixa de pH entre 4,0 e 12,0 atingindo sua máxima estabilidade em torno do pH 9,0. Para tal, foi usado um pHmetro para medir o pH de cada solução em temperatura ambiente.

3.7. Tratamento dos dados

Para a análise de dados foi usada o programa estatístico Microsoft excel 2007 para a organização dos dados e estimativa das médias e foi usado o teste t-Student para fazer a comparação das amostras.

Capítulo IV: Resultados

4. Resultados

4.1.Extração

Com base nos resultados observou-se que foi possível extrair a carragenina da alga marinha *K. alvarezii* em diferentes estados (fresco e seco) usando método de extração alcalina com NaOH.

4.2.Rendimento

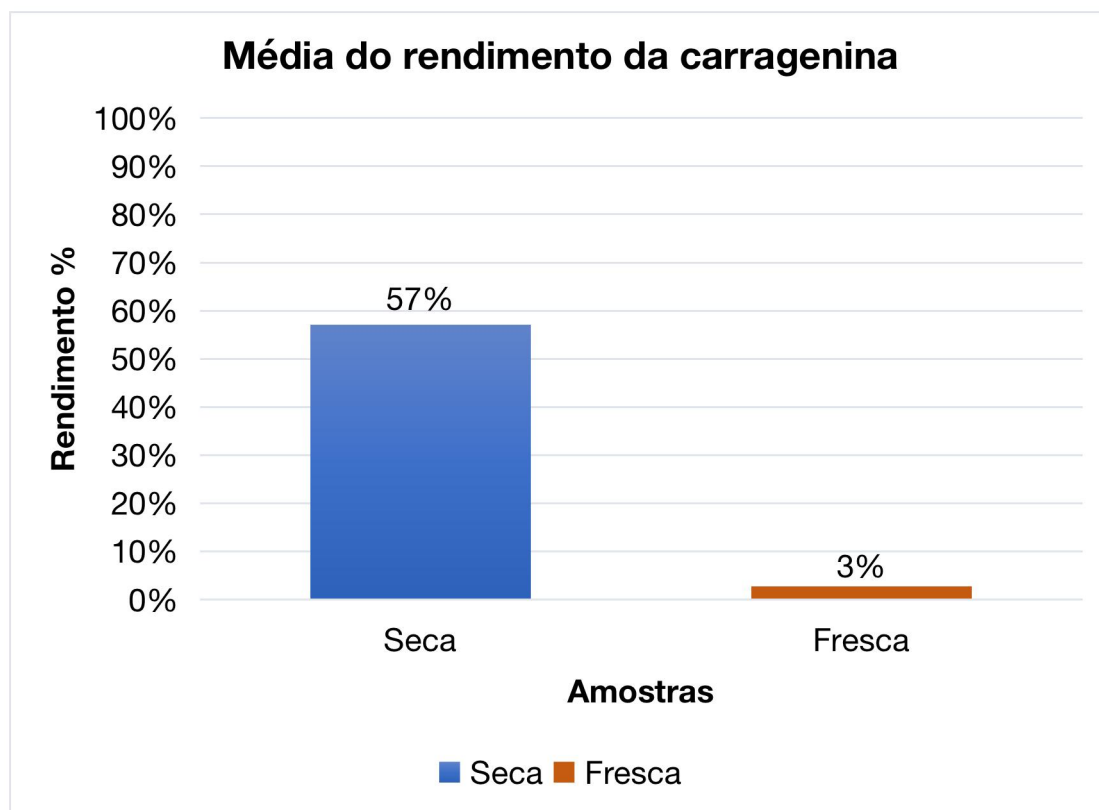


Figura 9. Média do Rendimento da carragenina das amostras seca e fresca.

A figura 9 ilustra o rendimento obtido na extração de carragenina das amostras seca e fresca da alga *K. alvarezii*.

Como se pode verificar na figura 9, observou-se estatisticamente que a média da amostra seca mostrou ser significativamente maior em relação a media da amostra fresca segundo o teste t-

student a um nível de confiança de 95% significando que a condição inicial de cada amostra influencia directamente no rendimento.

4.3. Propriedades físico-químico da carragenina

4.3.1. Gelificação

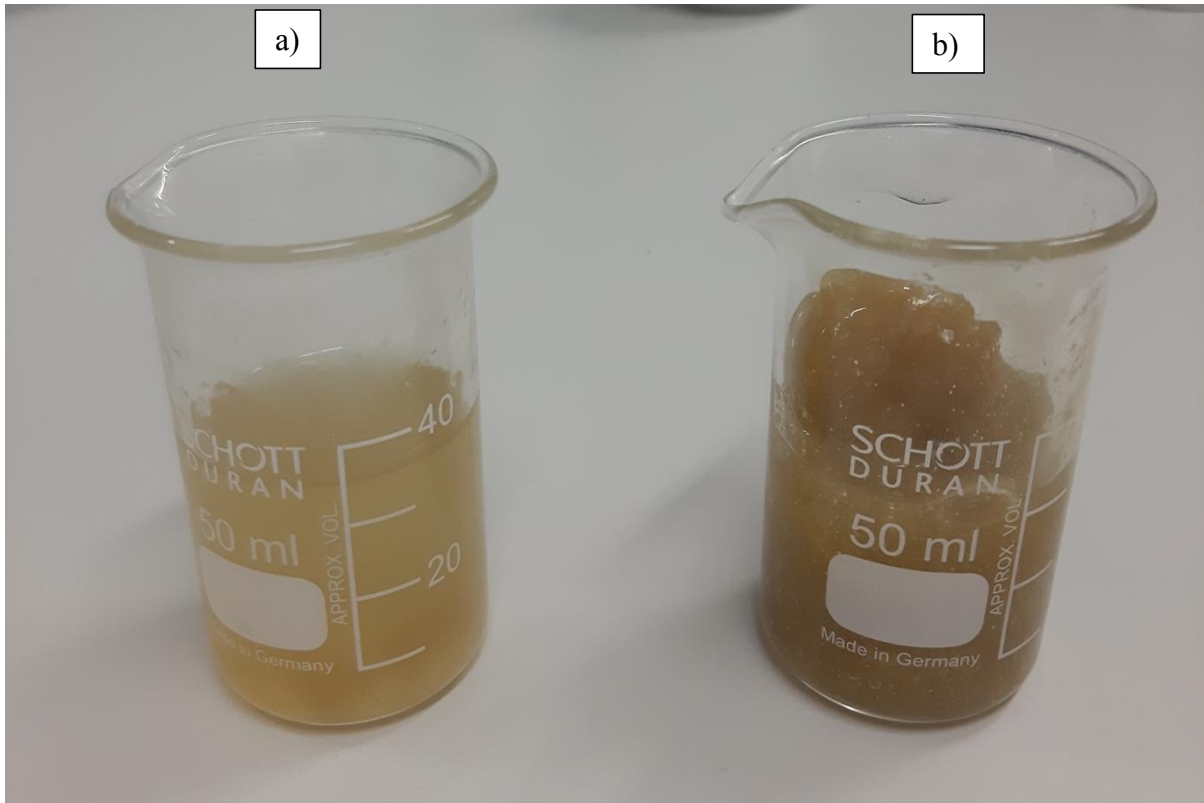


Figura 10. Solução com carragenina dissolvida- a) carragenina obtida da amostra fresca e b) carragenina obtida da amostra seca.

A figura 10 apresenta o resultado da solução com carragenina dissolvida já gelificada. De acordo com este, é possível verificar que o becker **a)** (carragenina obtida da amostra fresca) mostrou um baixo índice de gelificação pois foi necessário colocar a solução no frigorífico a uma temperatura de -16°C por 20 minutos para poder gelificar e a solução no becker **b)** (carragenina obtida da amostra seca) mostrou um alto índice de gelificação, visto que logo depois da adição da água destilada a solução com a carragenina gelificou-se rapidamente em temperatura ambiente.

4.3.2. Viscosidade

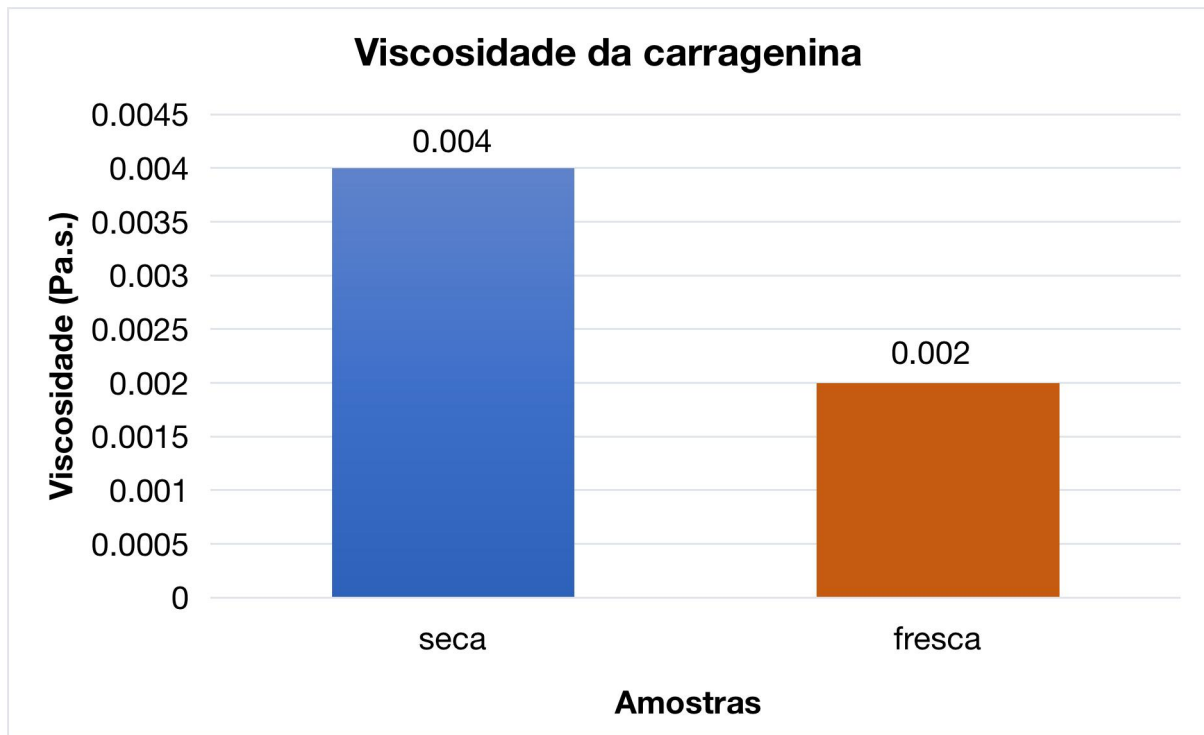


Figura 11. Viscosidade da carragenina da amostra seca e fresca.

A figura 11 ilustra a viscosidade da solução contendo carragenina das amostras seca e fresca. Observou-se que a carragenina obtida da amostra seca apresentou maior viscosidade com 0,004 Pa.s. em relação a carragenina obtida da amostra fresca que apresentou menor viscosidade com 0,002 Pa.s., significando que a condição inicial da amostra influencia directamente na viscosidade.

4.3.3. Estabilidade (pH)

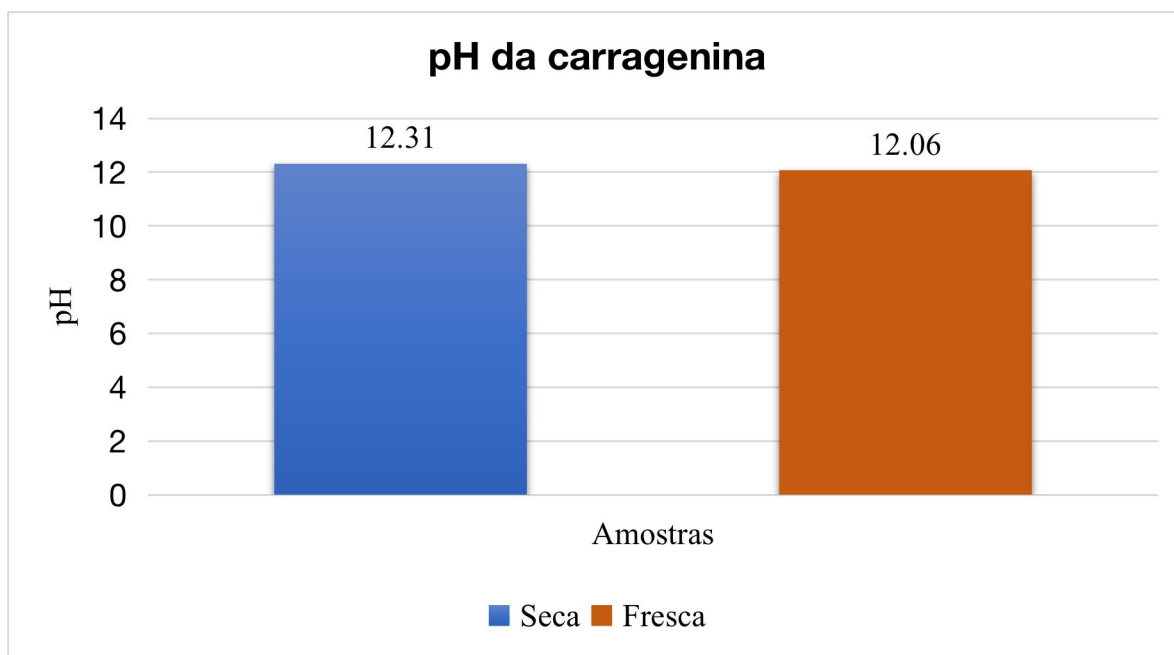


Figura 12. pH da carragenina das amostras seca e fresca.

A figura 12 ilustra os valores de pH obtidos da solução com a carragenina dissolvida das amostras seca e fresca.

Observou-se que tanto a carragenina obtida da amostra seca e quanto a carragenina obtida da amostra fresca são estáveis com um pH de 12,31 da amostra seca e 12,06 da amostra fresca pois os valores obtidos estão dentro dos limites estabelecidos, significando que a condição das amostras não influencia directamente na estabilidade da carragenina.

Capítulo V: Discussão

5. Discussão

5.1.Extração

A extração de carragenina da alga marinha *Kappaphycus alvarezii*, tanto no estado fresco quanto no seco, foi viabilizada devido à solubilidade da carragenina em meio alcalino. Este processo permitiu uma extração eficiente da carragenina de ambas as amostras, com o uso de NaOH como agente alcalino facilitando a solubilização adequada da molécula (Webber *et al.*, 2012) (Rhein-Knudsen *et al.*, 2015).

Estudos, como o de Hayashi (2007) e Sulistiawati *et al.*, (2020), destacam que métodos de extração que envolvem condições ácidas podem degradar ou alterar a estrutura da carragenina, impactando negativamente a qualidade do produto final. Esta perspectiva contrasta com a visão de que a extração alcalina preserva a integridade molecular da carragenina durante o processo de extração (Webber *et al.*, 2012).

Farmacopeia (2019) e Freile-Peigrín & Robledo (2007), defendem que a ação alcalina não apenas facilita a extração da carragenina, mas também pode ser eficaz na quebra das paredes celulares da alga, liberando a carragenina encapsulada nas células, o que é crucial para o processo de extração (Hung *et al.*, 2008). Este procedimento é essencial para garantir que a carragenina seja extraída de maneira completa e eficiente.

Além disso, enquanto a extração alcalina contribui para a redução do teor de sulfato na carragenina, um fator importante na qualidade do produto final, outros estudos ressaltam que a solubilidade e as propriedades da carragenina podem ser afetadas por diferentes métodos de extração (Sani, 2023). Essas variações podem resultar em diferenças na estrutura e nas propriedades do polissacarídeo.

Portanto, embora a extração alcalina seja amplamente reconhecida por sua eficiência na extração de carragenina e preservação de suas propriedades, é importante considerar as diferentes abordagens e resultados de estudos que apontam para possíveis impactos negativos de certos métodos de extração ácidos na estrutura e qualidade da carragenina extraída (Webber *et al.*, 2012; Hung *et al.*, 2008; Sulistiawati *et al.*, 2020). Este entendimento é crucial para aprimorar os métodos de extração e garantir a qualidade consistente do produto final.

5.2.Rendimento

A pesquisa realizada demonstrou que a amostra de alga seca apresentou um rendimento percentual significativamente maior em comparação à amostra de alga fresca, excedendo 50%. Esta diferença substancial indica uma vantagem considerável na utilização de algas secas para a extração de carragenina.

Segundo Rupert *et al.* (2022), a temperatura é um fator crítico na produção de carragenina, influenciando diretamente o rendimento da extração. O estudo sugere que o rendimento aumenta com a elevação da temperatura até alcançar uma faixa ideal. Optar por algas secas pode ser particularmente benéfico, pois o processo de secagem permite um melhor controle sobre as condições de temperatura durante a extração. Este controle é mais difícil de alcançar com algas frescas devido ao seu alto teor de água, que pode afetar negativamente a consistência e a eficiência do processo de aquecimento.

Além disso, as algas secas tendem a ter um rendimento de extração maior em comparação com as algas frescas. A secagem remove a maior parte da água presente nas algas, o que resulta em uma maior concentração de carragenina. Esta concentração aumentada simplifica e torna mais eficiente o processo de extração, uma vez que menos energia e recursos são necessários para remover a água residual.

A utilização de algas secas para a extração de carragenina não só permite um melhor controle das condições de temperatura, mas também aumenta a eficiência do processo, resultando em rendimentos mais altos. Estes resultados corroboram as afirmações de Rupert *et al.* (2022) e sublinham a importância de escolher a forma adequada da matéria-prima para otimizar a produção de carragenina.

5.3.Propriedades físicas e químicas da carragenina

5.3.1. Gelificação

Os resultados da pesquisa indicaram que a carragenina extraída da amostra de alga seca gelificou rapidamente em temperatura ambiente após a adição de água destilada, apresentando um alto índice de gelificação. Em contraste, a carragenina da amostra fresca demonstrou uma gelificação mais lenta, necessitando de refrigeração a -16°C por 20 minutos

para atingir o estado gelificado.

A gelificação da carragenina pode ser influenciada por diversos fatores, incluindo a espécie de alga, o método de extração, a concentração de carragenina e a temperatura. No caso das amostras estudadas, a carragenina obtida da amostra seca mostrou um índice de gelificação elevado, possivelmente devido à sua maior concentração de carragenina. Este aumento de concentração é resultado do processo de secagem, que remove a maior parte da água presente na alga, concentrando assim os componentes ativos, incluindo a carragenina.

Fonseca (2016) destaca que a espécie de alga *Kappaphycus alvarezii*, predominante na amostra seca, contém maioritariamente carragenina kappa, conhecida por formar géis fortes, duros e quebradiços. A menor quantidade de água na carragenina da amostra seca permite uma reação mais rápida à adição de água, resultando em uma gelificação mais rápida à temperatura ambiente.

Em contrapartida, a carragenina extraída da amostra fresca, contendo mais água, requer mais tempo e temperaturas mais baixas para gelificar. A presença de água na amostra fresca pode atuar como um agente diluente, reduzindo a concentração de carragenina na solução e, conseqüentemente, retardando o processo de gelificação.

A pesquisa demonstra que a condição da alga (seca ou fresca) influencia significativamente a rapidez e a eficiência da gelificação da carragenina. A amostra seca, com menor teor de água, não apenas concentra mais carragenina, mas também facilita uma gelificação mais rápida e eficiente em temperatura ambiente, corroborando as observações de Fonseca (2016) sobre a formação de géis pela carragenina kappa.

5.3.2. Viscosidade

A análise comparativa das viscosidades das soluções de carragenina extraídas de amostras secas e frescas revela diferenças significativas, atribuíveis aos processos envolvidos na preparação dessas amostras. A secagem das algas, que é o processo pelo qual a amostra seca passou, resulta em uma maior concentração de carragenina. Isso ocorre porque a secagem remove grande parte da água contida nas algas, concentrando os polissacarídeos, incluindo a carragenina, presente na biomassa residual. Conseqüentemente, quando esta carragenina é dissolvida em água, a solução resultante apresenta uma viscosidade mais elevada devido à maior quantidade de moléculas de carragenina interagindo na solução (Roshanak *et al.*, 2015).

Em contraste, as amostras frescas contêm uma quantidade significativa de água residual, que atua como um agente diluidor na solução final de carragenina. A presença dessa água adicional dilui a concentração de carragenina, resultando em uma menor viscosidade da solução. Esse efeito é explicado pela dispersão das moléculas de carragenina na presença de mais água, o que enfraquece as interações entre essas moléculas, resultando em uma solução menos viscosa (Hayashi *et al.*, 2007). Assim, a viscosidade reduzida das soluções preparadas a partir de amostras frescas pode ser atribuída diretamente à diluição causada pela água residual nas algas.

As observações de Roshanak *et al.* (2015) e Hayashi *et al.* (2007) são consistentes e complementares, demonstrando que a concentração de polissacarídeos, como a carragenina, é um fator crítico na determinação das propriedades viscoelásticas das soluções. A secagem das algas concentra a carragenina, resultando em soluções mais viscosas, enquanto a água residual nas amostras frescas atua como um diluente, diminuindo a viscosidade das soluções.

Portanto, o processo de secagem desempenha um papel fundamental na modificação das propriedades viscoelásticas das soluções de carragenina. A secagem não só aumenta a concentração de carragenina na amostra, mas também potencializa a viscosidade das soluções formadas. Em contraste, a água presente nas amostras frescas reduz a concentração efetiva de carragenina, levando a soluções com menor viscosidade. Estas diferenças nas propriedades viscoelásticas são cruciais para aplicações industriais e científicas, onde a viscosidade da solução de carragenina é um parâmetro importante (Roshanak *et al.*, 2015; Hayashi *et al.*, 2007).

5.3.3. Estabilidade (pH)

Os resultados obtidos indicaram que tanto a carragenina extraída da amostra seca quanto a da amostra fresca demonstraram estabilidade em pH 12,31 e 12,06, respectivamente. Isso sugere que a condição inicial das amostras não influencia diretamente na estabilidade da carragenina.

Segundo Aditivos & Ingredientes (2009), soluções de carragenina mantêm sua estabilidade dentro da faixa de pH entre 4,0 e 12, atingindo sua máxima estabilidade em torno de pH 9,0. Estes dados corroboram a ideia de que a carragenina possui uma estabilidade relativa em uma ampla gama de pH.

A carragenina é conhecida por ser relativamente estável em uma ampla faixa de pH devido à sua estrutura química única, que é composta principalmente por unidades de galactose e 3,6-anidrogactose. Esta estrutura confere à carragenina uma robustez em ambientes alcalinos, permitindo que mantenha suas propriedades mesmo em condições extremas de pH (Rupert *et al.*, 2022).

A pesquisa confirma que a estabilidade da carragenina não é significativamente afetada pela condição inicial das amostras (seca ou fresca), mas sim pela sua composição química inerente. A carragenina mantém sua integridade estrutural e funcional em diferentes condições de pH, destacando sua versatilidade e eficácia como agente gelificante em diversas aplicações industriais e alimentícias.

Capítulo VI: Conclusão e recomendações

6. Conclusão

De acordo com os objectivos traçados e os resultados obtidos chegou-se as seguintes conclusões:

- É possível extrair carragenina da alga *K.alvarezii* estando ela seca ou fresca pois método de extração alcalina com NaOH pode oferecer uma combinação de eficiência, seletividade e controle de condições que são benéficos para a extração da carragenina da alga marinha *K.alvarezii*, independentemente do estado da alga (fresco ou seco);
- A maior extração de carragenina e o respectivo rendimento observou-se na alga seca, isso acontece devido ao processo de secagem, que elimina a maior parte da água contida nas algas, resultando em um aumento da concentração de carragenina e, conseqüentemente, tornando a extração mais eficaz;
- A alga seca apresentou um elevado índice de gelificação e uma alta viscosidade pois, por ter passado pelo processo de secagem, tende a ser mais concentrada em carragenina.;
- A condição inicial das amostras não influencia diretamente na estabilidade da carragenina pois ambas são estáveis.

6.1.Recomendações

O presente trabalho recomenda que os próximos trabalhos sejam orientados no sentido de:

- Estudar como as diferentes condições de extração, concentração de NaOH, tempo e temperatura, afetam a composição química da carragenina;
- Fazer um estudo sobre a comparação da carragenina obtida da alga *K.alvarezii* fresca e seca com carragenina obtida de algas de outras espécies seca e fresca; e
- Analisar a composição química da carragenina (sulfato, carboidratos totais, minerais, fosfato, cálcio, ferro, sódio e potássio);
- Eficiência e Conservação do gel (tempo de vida) .

7. Referências bibliográficas

- Adamante, D., & Minosso, N. (2012). Avaliação Da Viscosidade De Carragenas Comerciais.
- Aditivos, & Ingredientes. (2009). Conservação De Alimentos Por Aditivos Químicos.
- Barufaldi, R., & Oliveira, N. M. (1998). Fundamentos De Tecnologia De Alimentos. São Paulo - Sp: Editora Atheneu.
- Bernardo, A. S. (2018). Caracterização Das Propriedades Físico-Químicas Do Óleo De Palma Extraído Artesanalmente.
- Boer, W. F., & Bento, C. M. (1999). Birds Of Inhaca Island, Mozambique.South Africa: Birdlife. . .
- Campbell, R., & Hotchkiss, S. (2017). Carrageenan Industry Market Overview. Tropical Seaweed Farming Trends. Problems And Opportunities. *Nova Science Publishers*, 193-205.
- Campo, V. L., Kawano, D. F., & Silva, D. B. (2009). Carrageenans: Biological Properties, Chemical Modifications And Structural Analysis – A Review. *Carbohydrate Polymers*, Pp. 167-180.
- Chin, Y., Mi, Y., Cao, W., Lim, P., Xue, C., & Tang, Q. (2019). A Pilot Study On Anti-Obesity Mechanisms Of *Kappaphycus Alvarezii*: The Role Of Native K-Carrageenan And The Leftover Sans-Carrageenan Fraction. 5(11), P. 1133.
- Correndo, C. A., Falshaw, R., & Janaswamy, S. (1 De Março De 2012). Gelificação Induzida Por Ferro Trivalente Em Lambda-Carragenina. *Pólipo Carbohidr.*
- Dikshit, A. K., & Nandi, A. K. (2002). Gelation Mechanism Of Thermoreversible Gels Of Poly(Vinylidene Fluoride) And Its Blends With Poly(Methyl Acrylate) In Diethyl Azelate. 12(17), Pp. 3607-3615.
- Farmacopeia, A. N. (2019). Carragenina If082-00. 2(6).
- Fonseca, J. A. (2016). Aplicação De Algas Na Indústria Alimentar E Farmacêutica.
- Hayashi, L. (2007). Extração, Teor E Propriedades De Carragenana De *Kappaphycus Alvarezii* (Doty) Doty Ex P. Silva, Em Cultivo Experimental Em Ubatuba, Sp.
- Hayashi, L., Paula, E. J., & Chow, F. (2007). Growth Rate And Carrageenan Analyses In Four Strains Of *Kappaphycus Alvarezii* (Rhodophyta, Gigartinales) Farmed In The Subtropical Waters Of São Paulo State, Brazil. *Journal Of Applied Phycology*,, Pp. 393-399.
- Hung, L. D., Hori, K., & Nang, H. Q. (2008). Seasonal Changes In Growth Rate,

- Carrageenan Yield And Lectin Content In The Red Alga *Kappaphycus Alvarezii* Cultivated In Camranh Bay, Vietnam. *Journal Of Applied Phycology*, 8(21), 265-272.
- Jönsson, M., Allahgholi, L., Sardari, R. R., & Karlsson, G. O. (Fevereiro De 2020). Extração E Modificação De Polissacarídeos De Macroalgas Para Aplicações Atuais E De Última Geração.
 - Krolow, A. C. (Dezembro De 2013). Preparo Artesanal De Geleias E Geleizadas. *Embrapa Clima Temperado*(2).
 - Kumar, K. S. (2014). Variação Sazonal Na Composição Nutricional De *Kappaphycus Alvarezii* (Doty) Doty – Uma Alga Comestível. *Association Of Food Scientists & Technologists*.
 - Laksono, H., Dyah, C., Putri, R., Soraya, M., & Purwoto, H. (2022). Characteristics Of Rapid Visco Analyzer Carrageenan Extract With Enzymatic Pretreatment Of *Kappaphycus Striatum*. *Asean Journal Of Chemical Engineering*.
 - Manuhara, G. J., Praseptiangga, D., & Riyanto, R. A. (2016). Extração E Caracterização De K-Carragenana Refinada De Algas Vermelhas [*Kappaphycus Alvarezii* (Doty Ex P.C. Silva, 1996)] Originário Das Ilhas Karimun Jawa. *Aquat. Procedia*.
 - Montero, P., & Pérez-Mateos, M. (2002). Efeitos De Na⁺, K⁺ E Ca²⁺ Em Géis Formados A Partir De Peixe Mince Contendo Um Carrageenan Ou Alginate. *Hidrocolóides Alimentares*, 16(4), Pp. 375-385.
 - Muacanhia, T. (2003). Versus Degradation. Pp. 39-46.
 - Nerdal, W., Haugen, F., & Knutsen, S. H. (1993). Evidência De Dupla Hélice Kappa-Carrageenan Em Solução De Lii Aquosa E Modelo De Ligação De Iode. *Journal Of Biomolecular Structure And Dynamics*, 10(5), Pp. 785-818.
 - Nhaca, A., Banze, L., Salência, H., Santos, R., Bandeira, S., & Dias, V. (2023). Avaliação Da Viabilidade Do Cultivo Das Macroalgas *Euclima denticulatum* E *Kappaphycus Alvarezii*, Na Ilha De Inhaca.
 - Nunes, M. C., Batista, P., Raymundo, A. A., & Souza, I. (2003). Colloides And Surfaces B: Biointerfaces. *Vegetable Proteins And Milk Puddings*, Pp. 21-29.
 - Orbita, M. L. (2013). Growth Rate And Carrageenan Yield Of *Kappaphycus Alvarezii* (Rhodophyta, Gigartinales) Cultivated In Kolambugan, Lanao Del Norte, Mindanao, Philippines. *International Journal Of The Bioflux Society*, 128-139.
 - Pangestuti, R., & Kim, S.-K. (2014). Atividades Biológicas Da Carragenana. *Adv Nutr Alimentos Res*.

- Pereira, I. J., & Nascimento, F. R. (2016). Avaliação Dos Recursos Naturais Na Ilha Da Inhaca (Oceano Índico, Moçambique): Primeira Aproximação. *Boletim Goiano De Geografia* 36(2), Pp. 307-325.
- Piculell, L. (1995). Gelling Carrageenans. *Food Polysaccharides And Their Applications*, Pp. 205-244.
- Prajapati, V. D., Maheriya, P. M., Jani, G. K., & Solanki, H. K. (2014). Carrageenan: A Natural Seaweed Polysaccharide And Its Applications. *Carbohydrate Polymers*, 105, Pp. 97-112.
- Prasedya, E. S., Miyake, M., Kobayashi, D., Hazama, A., & E. (2016). Carragena Retarda A Progressão Do Ciclo Celular Em Células Cancerosas Humanas In Vitro Demonstrada Por Imagens Fucci. *Bmc Complemento Altern Med*.
- Pushpa, T., Basha, S., Vijayaraghavan, K., & Jegan, J. (2014). Evaluation Of Red Marine Algakappaphycus Alvarezii Biosorbent For Methylene Blue: Isotherm, Kinetic, And Mechanism Studies. *Separation Science And Technology*, Pp. 1120-1126.
- R, V., P, N., & M, P. (7 De Julho De 2007). Uma Possível Paráfrase É: A Alga Vermelha, Rhodophyta, É Um Grupo De Seres Eucarióticos Que Fazem Fotossíntese E São Mais Multicelulares, Com Mais De 7000 Espécies. Eles Vivem Mais No Mar, Mas Até 5% Das Espécies Podem Viver Em Água Doce, Principalmente.
- Rainudo, M. (2008). Main Properties And Current Applications Of Some Polysaccharides As Biomaterials. *Polymer International*, 57, Pp. 397-430.
- Rhein-Knudsen, N., Ale, M. T., & Meyer, A. S. (2015). Seaweed Hydrocolloid Production: An Update On Enzyme Assisted Extraction And Modification Technologies.
- Roshanak, S., Rahimmalek, M., & Gol, S. A. (2015). Evaluation Of Seven Different Drying Treatments In Respect To Total Flavonoid, Phenolic, Vitamin C Content, Chlorophyll, Antioxidant Activity And Color Of Green Tea (*Camellia Sinensis* Or *C. Assamica*) Leaves. *Journal Of Food Science And Technology*, Pp. 721-729.
- Rupert, R., Rodrigues, K. F., Thien, V. Y., & Yong, W. T. (2022). Carragena De Kappaphycus Alvarezii (Rhodophyta, Solieriaceae): Metabolismo, Estrutura, Produção E Aplicação.
- Sani, C. (2023). Analysis Of Yield And Types Of Carrageenan From Different Strains At Kupang Bay Seaweed Production Center, East Nusa Tenggara. *Iop Conference Series Earth And Environmental Science*.

- Schefer, L., Adamčík, J., & Mezzenga, R. (2014). Unravelling Secondary Structure Changes On Individual Anionic Polysaccharide Chains By Atomic Force Microscopy. *Angewandte Chemie*, 21(53), Pp. 5376-5379.
- Schmidt, É. C. (2009). *Efeitos Da Radiação Ultravioleta-B Sobre A Morfisiologia De Kappaphycus Alvarezii (Doty) Doty Ex P. Silva (Gigartinales) Variantes Pigmentares Verde E Vermelha*. Fonte: [https://Core.Ac.Uk/Download/Pdf/30374322.Pdf](https://core.ac.uk/download/pdf/30374322.pdf)
- Sulistiawati, S., Ain, N., & Tarman, K. (2020). Characterization Of Refined Carrageenan From Kappaphycus Alvarezii Extracted Using Marine Fungi. *Iop Conference Series Earth And Environmental Science*.
- Vasconcelos, A. G., Araújo, K. V., & Santana, L. D. (2015). Polissacarídeos Extraídos De Algas Marinhas E Suas Aplicaçõesbiotecnológicas: Uma Revisão.
- Vieira, M. D. (2022). Caracterização Físico-Química Da Alga Kappaphycus Alvarezii In Natura E Desidratada. Florianópolis - Sc, Brasil.
- Wang, X., Dengyun, Z., & Guo, Q. (2020). Textural And Structural Properties Of A K-Carrageenan–Konjac Gum Mixed Gel: Effects Of K-Carrageenan Concentration, Mixing Ratio, Sucrose And Ca²⁺ Concentrations And Its Application In Milk Pudding. *Journal Of The Science Of Food And Agriculture*, Pp. 3021-3029.
- Webber, V., Carvalho, S. M., Jorge, T. D., Ogliari, P. J., & Barreto, P. L. (Outubro De 2009). Otimização Da Extração De Carragenana Obtida De Kappaphycus Alvarezii Através Da Metodologia De Superfície De Resposta.
- Yuan, H., Jinming, C. D., Li, X., Li, N., & Liu, C. (2011). Aumento Da Atividade Imunoestimulatória E Antitumoral De Diferentes Derivados De Oligossacarídeos De K-Carragenina De Kappaphycus Striatum. *Revista De Ficologia Aplicada*.

8. Anexos

8.1. Resultados das experiências da extracção da carragenina

8.1.1. Cálculo de rendimento da carragenina

$$R_{\text{carragenina}} (\%) = \frac{P}{A} \times 100$$

$$R_{1\text{seca}} = (14,4024\text{g}/28,8\text{g}) \times 100$$

$$R_{1\text{seca}} = 0,5000 \times 100$$

$$R_{1\text{seca}} = 50,0 \%$$

$$R_{1\text{fresca}} = (0,2881\text{g}/28,8\text{g}) \times 100$$

$$R_{1\text{fresca}} = 0,0100 \times 100$$

$$R_{1\text{fresca}} = 1,0 \%$$

$$R_{2\text{seca}} = (17,2829\text{g}/28,8\text{g}) \times 100$$

$$R_{2\text{seca}} = 0,6000 \times 100$$

$$R_{2\text{seca}} = 60,0 \%$$

$$R_{2\text{fresca}} = (0,5763\text{g}/28,8\text{g}) \times 100$$

$$R_{2\text{fresca}} = 0,0200 \times 100$$

$$R_{2\text{fresca}} = 2,0 \%$$

$$R_{3\text{seca}} = (17,6487\text{g}/28,8\text{g}) \times 100$$

$$R_{3\text{seca}} = 0,500 \times 100$$

$$R_{3\text{seca}} = 61,27 \%$$

$$R_{3\text{fresca}} = (1,4697\text{g}/28,8\text{g}) \times 100$$

$$R_{3\text{fresca}} = 0,0510 \times 100$$

$$R_{3\text{fresca}} = 5,10 \%$$

Tabela 3. Quantidade e rendimento da carragenina obtida da alga *Kappaphycus alvarezii*.

Amostras	Réplica 1		Réplica 2		Réplica 3	
	Rend (%)	Quant. (g)	Rend (%)	Quant. (g)	Rend (%)	Quant. (g)
Seca	50%	14,4024	60%	17,2829	61,27%	17,6487
Fresca	1%	0,2881	2%	0,5763	5,10%	1,4697

Tabela 4. Média e desvio padrão do rendimento da carragenina obtida da alga *Kappaphycus alvarezii*.

Amostras	Rcar 1	Rcar 2	Rcar 3	Media	DESVPAD
seca	50%	60%	61,27%	57%	0,06172868
freca	1%	2%	5,10%	3%	0,02137756

8.1.2. Cálculos de viscosidade

8.1.2.1. Viscosidade da amostra fresca

Dados:

$$m_{\text{fresca}} = 41,5 \text{ g}$$

$$h = 80 \text{ cm}$$

$$m_{\text{seca}} = 61,6 \text{ g}$$

$$r = 0,01$$

$$v = 40 \text{ ml}$$

$$g = 9,81 \text{ m}^2$$

$$\tau = 1,03 \text{ g/cm}^3$$

$$1^\circ. \text{ densidade} = \frac{m}{v} = \frac{41,5 \text{ g}}{40 \text{ ml}} = 1,03 \frac{\text{g}}{\text{ml}}$$

$$\tau = \frac{4\mu Q}{\pi r^3}$$

$$2^\circ. Q = \frac{8 \text{ gotas}}{60 \text{ segundos}} = 0,133 \frac{\text{gotas}}{\text{segundo}}$$

$$\mu = \frac{\tau \pi r^3}{4Q}$$

$$3^\circ. \mu = \frac{(1,03 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}) * (9,81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}) * (80 \text{ cm}) * (0,01)^3}{4 * (0,133 \frac{\text{gotas}}{\text{segundo}})} \approx 0,002 \text{ Pa.s}$$

8.1.2.2. Viscosidade da amostra seca

$$m_{\text{seca}} = 61,6 \text{ g}$$

$$h = 80 \text{ cm}$$

$$v = 40 \text{ ml}$$

$$r = 0,01$$

$$\tau = 1,54 \text{ g/cm}^3$$

$$g = 9,81 \text{ m}^2$$

$$1^\circ. \text{ densidade} = \frac{m}{v} = \frac{61,6g}{40ml} = 1,54 \frac{g}{ml}$$

$$\tau = \frac{4\mu Q}{\pi r^3}$$

$$2^\circ. Q = \frac{2 \text{ gotas}}{60 \text{ segundos}} = 0,033 \frac{\text{gotas}}{\text{segundo}}$$

$$\mu = \frac{\tau \pi r^3}{4Q}$$

$$3^\circ. \mu = \frac{(1,55 \frac{g}{cm^3}) * (9,81 \frac{m}{s^2}) * (80 \text{ cm}) * (0,01)^3}{4 * (0,033 \frac{\text{gotas}}{\text{segundo}})} \approx 0,004 \text{ Pa.s}$$