



Faculdade de Ciências

Departamento de Ciências Biológicas

Licenciatura em Biologia Marinha, Aquática e Costeira

Relatório de Culminação de Estudos

Variante: Investigação

**Estudo da Influência da Temperatura e da Fonte de Água no Crescimento e Fisiologia da
Macroalga *Kappaphycus alvarezii* Cultivada em Laboratório**

Autora:

Cossa, Rhulany Matchakate José

Maputo, Outubro de 2025



Faculdade de Ciências

Departamento de Ciências Biológicas

Licenciatura em Biologia Marinha, Aquática e Costeira

Relatório de Culminação de Estudos

Variante: Investigação

**Estudo da Influência da Temperatura e da Fonte da Água no Crescimento e Fisiologia da
Macroalga *Kappaphycus alvarezii* Cultivada em Laboratório**

Autora:

Cossa, Rhulany Matchakate José

Supervisora:

Profa. Doutora Valera Dias

Maputo, Outubro de 2025

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço à Deus pelo seu amor incondicional para comigo, por me guiar durante toda a minha trajetória e cuidar de mim.

À minha família que sempre esteve presente em todos os momentos da minha vida, oferecendo-me muito amor e carinho, apoio, compreensão, orações e acolhimento em todos os momentos.

À minha supervisora, a Professora Doutora Valera Dias pela orientação, apoio moral e material, sempre garantindo a disponibilidade dos recursos necessários para a continuidade do trabalho, pela oportunidade concedida e pela constante partilha de experiência.

À Mestre Mery Rodrigues, pela prontidão e disponibilidade em me auxiliar sempre que solicitado, pela partilha de experiência e conhecimento na análise de nutrientes na água. À minha colega Ika Mabunda pela ajuda e auxílio para análise de nutrientes na água na Faculdade de Engenharia.

Ao Professor Doutor Eutilério Chauque, pela paciência, pela compreensão e contribuição para que as análises de pigmentos fossem possíveis.

As minhas amigas Jennifer Sumbane e Adília Tembe pela amizade, acolhimento, por sempre estarem ao meu lado, me escutando e apoiando sempre, antes e durante toda minha trajetória no DCB. E por se terem doado para ajudar na realização deste trabalho sempre que precisei.

Ao Edmilson Filimone, pela ajuda e partilha de conhecimento em Estatística. Aos mestres Vanádia Massingue e Amós Nhaca pela orientação, paciência e apoio. E ao Macau pela ajuda no período de amostragem.

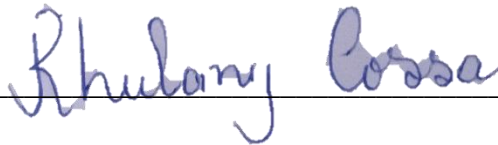
Ao dr. Maurício e a dra. Sabina pelo fornecimento de material, reagentes e apoio concedido para o processamento das amostras em laboratório.

À todo o corpo docente do Departamento de Ciências Biológicas, pelos ensinamentos e experiências compartilhadas ao longo desta trajetória.

À todos os que de forma directa ou indirecta contribuíram para o meu crescimento académico, profissional, pessoal e espiritual, deixo o meu mais sincero **Muito Obrigada!!!**

DECLARAÇÃO DE HONRA

Eu, Rhulany Matchakate José Cossa, declaro por minha honra que o presente trabalho de pesquisa de Licenciatura em Biologia Marinha, Aquática e Costeira, intitulado “Estudo da Influência da Temperatura e da Fonte da Água no Crescimento e Fisiologia da Macroalga *Kappaphycus alvarezii* Cultivada em Laboratório na água da Ilha de Inhaca e da Costa do Sol, Província de Maputo, Moçambique” é de minha autoria, nunca foi apresentado para a obtenção de qualquer grau acadêmico e os resultados aqui apresentados reflectem a realidade desta investigação, estando devidamente indicados no texto e na lista de referências bibliográficas todas as fontes consultadas para a sua elaboração.



(Rhulany Matchakate José Cossa)

Maputo, Outubro de 2025

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais José Eugénio Cossa e Sónia Albino Bucuane, meus pilares, que sempre me incentivaram a estudar e nunca mediram esforços para que eu e meus irmãos tivéssemos o que precisávamos.

À minha avó Matilde Ngoenha (em memória) e aos meus irmãos, Dlambu Cossa e Khwezi Cossa, com todo o meu amor e gratidão.

RESUMO

O cultivo de macroalgas marinhas tem estado a expandir devido a relevância socio-económica e ambiental da actividade. A *Kappaphycus alvarezii* é actualmente a quinta macroalga mais cultivada mundialmente, explorada principalmente para a extracção da carragena, um hidrocolóide com aplicação nas indústrias alimentícia, farmacêutica e cosmética. Flutuações na produção, aumento de casos de branqueamento e degradação de talos de *K. alvarezii* tem estado a ser reportados em vários países de clima tropical que cultivam esta macroalga, muitas vezes associados ao stress térmico. Este estudo, teve como objectivo, avaliar o efeito de diferentes temperaturas e da fonte da água no crescimento e fisiologia da macroalga *K. alvarezii* em laboratório. O experimento foi conduzido em três diferentes ciclos de cultivo (cada tratamento de temperatura corresponde a um ciclo) onde foram testadas as temperaturas 20°C, 25°C e 28°C, respectivamente, e testadas a água da Costa do Sol e da Ilha de Inhaca em cada temperatura, cada ciclo de cultivo teve duração de 15 dias. Durante o cultivo em laboratório foram monitorados os parâmetros físico-químicos da água, e no fim de cada ciclo foram determinadas as taxas de crescimento e as concentrações de pigmentos fotossintéticos (carotenóides e ficoeritrina). Os resultados mostraram que a *K.alvarezii* teve maior crescimento à 20°C (0.95% dia⁻¹ à 1.41% dia⁻¹) em relação às cultivadas a 25°C e 28°C (0.64% dia⁻¹ à 0.78% dia⁻¹ e 0.66% dia⁻¹ à 0.68% dia⁻¹, respectivamente) e tiveram maior taxa de crescimento na água da Costa do Sol. As macroalgas cultivadas na água da Costa do Sol a 28°C tiveram branqueamento parcial do talo e as macroalgas cultivadas à 25°C foram as que menos mudanças de coloração tiveram. A produção de carotenóides aumentou com o aumento da temperatura nas macroalgas cultivadas na água da Costa do Sol com 0.13 µg g⁻¹, 0.81 µg g⁻¹ e 1.16 µg g⁻¹ à 20°C, 25°C e 28°C, respectivamente, e nas macroalgas cultivadas na água da Ilha de Inhaca foi maior à 25°C (0.85 µg g⁻¹), e menor à 25°C e 28°C (0.20 µg g⁻¹ e 0.27 µg g⁻¹, respectivamente). A produção de ficoeritrina aumentou com o aumento da temperatura e foi maior nas macroalgas cultivadas na água da Ilha de Inhaca. Este estudo sugere que a *K. alvarezii* cresce idealmente à 20°C, na água da Costa do Sol e aumenta a produção de pigmentos fotossintéticos com o aumento da temperatura, com melhor desempenho na água da Ilha de Inhaca.

Palavras-chave: *Kappaphycus alvarezii*; Macroalgas; Cultivo laboratorial; Pigmentos fotossintéticos.

LISTA DE ABREVIATURAS

ANOVA	Análise de Variâncias
°C	Graus Celcius
DCB	Departamento de Ciências Biológicas
g	Gramas
L	Litros
mL	Mililitros
mg/L	Miligramas por litros
mm	Milímetros
OD	Oxigénio Dissolvido
ppt	Partes por mil
ROS	Substâncias reactivas de Oxigénio
$\mu\text{g g}^{-1}$	Microgramas por grama
UV-vis	Ultravioleta visível

ÍNDICE DE TABELA

Tabela 1. Média (\pm desvio padrão) do crescimento absoluto (g) e da taxa de crescimento específico (médias \pm desvio padrão) da <i>K. alvarezii</i> cultivada na água da Costa do Sol e da Ilha de Inhaca em diferentes temperaturas.	25
Tabela 2. Efeito da temperatura na aparência dos talos de <i>K. alvarezii</i> cultivada na água da Costa do Sol e da Ilha de Inhaca ao fim de 15 dias de cultivo.....	28
Tabela 3. Quadro resumo dos parâmetros físico-químicos da água medidos durante o cultivo de <i>K. alvarezii</i> em laboratório durante 15 dias na água da Costa do Sol e da Ilha de Inhaca em diferentes temperaturas (20°C, 25°C e 28°C).....	34
Tabela 4. Parâmetros ambientais medidos no campo durante a amostragem dos três ciclos de cultivo.	50
Tabela 5. Comparação da Taxa de Crescimento Específico entre as diferentes temperaturas e entre os dois locais de coleta de água usando o Teste ANOVA de dois factores.....	56
Tabela 6. Comparações múltiplas das diferenças da Taxa de Crescimento Específico entre as três temperaturas (20°C, 25°C e 28°C).....	56
Tabela 7. Testes diagnósticos para a observância dos pressupostos do modelo ANOVA, (Teste de Shapiro Wilk (teste de normalidade dos resíduos), Teste de Levene (teste de homogeneidade das variância), Durbin Watson (teste de autocorrelação dos resíduos) e Outlier test) para a Taxa de Crescimento Específico.	57
Tabela 8. Comparação do Crescimento Absoluto entre as diferentes temperaturas e entre os dois locais de coleta de água usando o Teste ANOVA de dois factores.	58
Tabela 9. Comparações múltiplas das diferenças da Taxa de Crescimento Específico entre as três temperaturas (20°C, 25°C e 28°C).....	58
Tabela 10. Testes diagnósticos para a observância dos pressupostos do modelo ANOVA, (Teste de Shapiro Wilk (teste de normalidade dos resíduos), Teste de Levene (teste de homogeneidade das variância), Durbin Watson (teste de autocorrelação dos resíduos) e Outlier test) para o Crescimento Absoluto.....	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Comparação entre a produção de macroalgas ao longo dos anos em comparação com a colheita de algas no ambiente natural (FAO, 2022).	7
Figura 2. Ranking das macroalgas mais produzidas mundialmente (Ullah <i>et al.</i> , 2023).	7
Figura 3. Mapa de distribuição geográfica dos locais onde as algas euqueumatóides (<i>K. alvarezii</i> , <i>K. Striatus</i> e <i>Eucheuma denticulatum</i>) ocorrem naturalmente e locais onde são cultivadas (Neish <i>et al.</i> , 2017).	8
Figura 4. Volumes da produção global de Eucheumatóides de 1990-2022 (HATCH, 2022)	9
Figura 5. <i>Kappaphycus alvarezii</i> (Balasundaram <i>et al.</i> , 2025).	10
Figura 6. O ponto amarelo indica a localização geográfica da área de estudo (Laboratório de Cultura de Tecidos) dentro do Campus da UEM (polígono verde). O ponto preto indica o local de amostragem de água na praia da Costa do Sol e o ponto vermelho indica o local de amostragem das macroalgas e água na Ilha de Inhaca (Ponta Torres) (ArcMap 10.8, 2025).	15
Figura 7. Tubos de ensaio contendo amostras após reacção com o reagente PhosVer 3.	19
Figura 8. Tubos de ensaio contendo amostras após reacção com o reagente NitraVer 5.	20
Figura 9. Recipientes usados para o cultivo da <i>K. alvarezii</i> no Laboratório de cultura de tecidos.	21
Figura 10. Crescimento absoluto que representa o aumento em peso (g) da macroalga <i>Kappaphycus alvarezii</i> ao fim de 15 dias de cultivo, submetida a diferentes temperaturas (20°C, 25°C e 28°C). E cultivada em água proveniente de diferentes locais (Ilha de Inhaca e Praia da Costa do Sol). As barras representam os valores médios da taxa de crescimento (\pm desvio padrão) (n=4). As letras distintas (A/a e B/b) indicam as diferenças significativas entre as temperaturas e as maiúsculas e minúsculas (A e a; B e b) indicam diferenças significativas entre as fontes da água de cultivo de acordo com os testes estatísticos.	26
Figura 11. Taxa de crescimento específico (% dia ⁻¹) da macroalga <i>Kappaphycus alvarezii</i> submetida a diferentes temperaturas (20°C, 25°C e 28°C). E cultivada em água de diferentes locais (Ilha de Inhaca e Praia da Costa do Sol) por 15 dias. As barras representam os valores médios da taxa de crescimento (\pm desvio padrão) (n=4). As letras distintas (A/a e B/b) indicam as diferenças significativas entre as temperaturas e as maiúsculas e minúsculas (A e a; B e b) indicam diferenças significativas entre as fontes da água de cultivo de acordo com os testes estatísticos.	26

Figura 12. Concentração de carotenóides na macroalga <i>Kappaphycus alvarezii</i> ao fim de 15 dias de cultivo, submetida a diferentes temperaturas (20°C, 25°C e 28°C) e cultivada em água proveniente de diferentes locais (Ilha de Inhaca e Praia da Costa do Sol). As barras representam os valores médios da concentração de carotenóides (\pm desvio padrão) (n=4).....	30
Figura 13. Concentração de ficoeritrina na macroalga <i>Kappaphycus alvarezii</i> ao fim de 15 dias de cultivo, submetida a diferentes temperaturas (20°C, 25°C e 28°C) e cultivada em água proveniente de diferentes locais (Ilha de Inhaca e Praia da Costa do Sol). As barras representam os valores médios da concentração de ficoeritrina (\pm desvio padrão) (n=4).	30
Figura 14. Concentração de Oxigénio dissolvido (mg/L) na água de cultivo da <i>Kappaphycus alvarezii</i> , cultivada em laboratório por 15 dias sob diferentes temperaturas (20°C, 25°C e 28°C) e em água obtida em dois locais (Costa do Sol e Inhaca). Cada valor representa a média (n=4) e as barras o desvio padrão.	32
Figura 15. Concentração de pH na água de cultivo da <i>Kappaphycus alvarezii</i> , cultivada em laboratório por 15 dias sob diferentes temperaturas (20°C, 25°C e 28°C) em água obtida em dois locais (Costa do Sol e Inhaca). Cada valor representa a média (n=4) e as barras o desvio padrão.	32
Figura 16. Salinidade da água de cultivo da <i>Kappaphycus alvarezii</i> , cultivada em laboratório por 15 dias na água da Costa do Sol e da Ilha de Inhaca sob diferentes temperaturas (20°C, 25°C e 28°C). Cada ponto representa o valor da média (n=4) e as barras o desvio padrão.	33
Figura 17. Oscilação da temperatura ao longo dos 15 dias de cultivo da <i>Kappaphycus alvarezii</i> em laboratório na água da Costa do Sol e na água da Inhaca. As linhas vermelhas representam a temperatura ambiente e os pontos representam a temperatura da água.	49

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	i
DECLARAÇÃO DE HONRA	ii
DEDICATÓRIA.....	iii
RESUMO.....	iv
LISTA DE ABREVIATURAS.....	v
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Problema e Justificativa	3
1.2. Objectivos.....	5
1.2.1. Objectivo geral.....	5
1.2.2. Objectivos específicos	5
1.3. Hipóteses	5
1.3.1. Hipótese nula	5
1.3.2. Hipótese alternativa	5
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
2.1. Cultivo de macroalgas marinhas	6
2.2. Cultivo de Eucheumatóides.....	8
2.2.1. <i>Kappaphycus alvarezii</i>	9
2.3. Cultivo da macroalga <i>Kappaphycus alvarezii</i>	10
2.4. Cultivo da <i>Kappaphycus alvarezii</i> em Moçambique	11
2.5. Importância do cultivo da <i>Kappaphycus alvarezii</i>	11
2.6. Aplicações da <i>Kappaphycus alvarezii</i>	12
3. METODOLOGIA.....	14
3.1. Área de estudo	14

3.2.	Materiais.....	16
3.2.1.	Instrumentos experimentais	16
3.2.2.	Equipamento	16
3.2.3.	Reagentes	16
3.2.4.	Material biológico.....	17
3.3.	Desenho experimental	17
3.3.1.	Amostragem e aclimatização das macroalgas.....	17
3.3.2.	Análise de nutrientes na água	18
3.3.3.	Cultivo.....	20
3.3.4.	Taxa de Crescimento.....	21
3.3.5.	Qualidade das macroalgas.....	23
3.3.6.	Extracção e quantificação dos pigmentos fotossintéticos.....	23
3.3.7.	Análise estatística dos dados.....	24
4.	RESULTADOS	25
4.1.	Taxa de Crescimento.....	25
4.2.	Qualidade das macroalgas	27
4.3.	Pigmentos fotossintéticos.....	29
4.4.	Parâmetros físico-químicos da água.....	31
4.4.1.	Oxigénio dissolvido	31
4.4.2.	pH.....	31
4.4.3.	Salinidade.....	33
5.	DISCUSSÃO	35
6.	CONCLUSÃO.....	39
7.	LIMITAÇÕES E CONSTRANGIMENTOS	40
8.	RECOMENDAÇÕES.....	41

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	42
10. ANEXOS.....	49

1. INTRODUÇÃO

Macroalgas, também chamadas algas marinhas, são algas macroscópicas e multicelulares. Elas são divididas em três grupos principais: algas verdes (Chlorophyta), algas castanhas (Phaeophyta) e algas vermelhas (Rhodophyta), estão abundantemente presentes nos oceanos, principalmente em áreas costeiras, onde são encontradas encrustadas a rochas e outras superfícies sólidas ou de forma livre (Pereira, 2021). Pertencem à base de muitas cadeias alimentares marinhas, servindo de alimento, habitat e refúgio para diversas espécies marinhas. Contribuem para o sequestro de carbono no oceano, e também possuem compostos bioactivos com aplicação em várias indústrias (Cesario *et al.*, 2018).

A descoberta de cada vez mais aplicações das macroalgas marinhas e o aumento populacional aumentaram a demanda a ponto dos stocks naturais de macroalgas não serem suficientes para satisfazer a procura. Então foi iniciado o cultivo, que veio pôr fim a dependência dos ciclos naturais de disponibilidade de matéria prima para algumas espécies (Hafting *et al.*, 2015; Khan *et al.*, 2024). O cultivo de macroalgas marinhas refere-se ao plantio otimizado de macroalgas na água do mar para o seu crescimento. A optimização refere-se a garantir que todas as necessidades das macroalgas sejam supridas, como a radiação solar, área, absorção de nutrientes, gases e correntes (Radulovich *et al.*, 2015).

A produção de algas marinhas cultivadas a nível global, dominada pelo cultivo de macroalgas, teve um aumento de 4.1% em 2022, em relação a produção de 2020, como resultado da expansão na produção liderada pela China, seguida pela Malásia, Filipinas, Tanzania e Rússia, sendo as principais espécies cultivadas a *Laminaria japonica*, *Eucheuma spp.*, *Glacilaria spp.*, *Undaria pinnatifida*, *Porphyra spp.* e *Kappaphycus alvarezii* (FAO, 2022).

A *Kappaphycus alvarezii* é actualmente a quinta macroalga mais cultivada mundialmente. É uma das macroalgas mais preferidas principalmente pela sua importância económica, para a extracção da carragena, um hidrocolóide de aplicação industrial encontrado em algas da divisão Rhodophyta; por apresentar maior quantidade e qualidade de carragenina; por ser uma macroalga de rápido crescimento, seu ciclo de produção dura de 45 a 60 dias, o que torna esta actividade mais rentável em relação a outros tipos de aquacultura (Rameshkumar e Rajaram, 2019; Rudke *et al.*, 2020; FAO, 2022; Trivedi *et al.*, 2023).

O cultivo da *K. alvarezii* é altamente influenciado pelas condições ambientais como a temperatura, intensidade da luz, salinidade, nutrientes, oxigénio dissolvido e pH, sendo a temperatura um dos factores mais determinantes (Oedjoe, 2022, Madina M., *et al.*, 2022; Anita *et al.*, 2024). De facto, a temperatura tem um papel importantíssimo nos processos físico-químicos na água, afecta a produtividade biológica, o metabolismo dos organismos, a taxa de crescimento, a quantidade de pigmentos e a composição das macroalgas (Kumar *et al.*, 2020; Shykhaleyeva *et al.*, 2024).

Em Moçambique, o cultivo da *K. alvarezii* encontra-se numa fase de reactivação, pois esta macroalga foi introduzida pela primeira vez em Moçambique na década de 1990, para fins comerciais, no entanto, doenças e outros problemas fizeram com que a actividade cessasse (Msuya *et al.*, 2014). Assim, compreender como variações de temperatura afectam o crescimento e a fisiologia da espécie é determinante para superar os desafios já observados na tentativa anterior de cultivo no país.

Poucos estudos foram feitos em Moçambique avaliando como os parâmetros ambientais afectam o crescimento e fisiologia da *K. alvarezii*. Nhaca (2024) comparou o crescimento das macroalgas *Kappaphycus alvarezii* e *Eucheuma denticulatum* cultivados na época fria e na época quente e Banze (2024) avaliou o desempenho das macroalgas *K. alvarezii* e *E. denticulatum* cultivadas em substrato com e sem ervas marinhas, no entanto, ainda não existem estudos que tenham feito uma investigação sobre como parâmetros ambientais específicos afectam esta macroalga, assim sendo, o objectivo deste estudo é avaliar como a temperatura influencia no crescimento e fisiologia da *K. alvarezii*.

1.1.Problema e Justificativa

Nos últimos anos tem se observado declínio na produção de macroalgas marinhas ao redor do mundo (FAO, 2024). A produção da *K. alvarezii* caiu em aproximadamente 8.4% de 2015 a 2020 (FAO, 2022). Doenças como o ice-ice, o surto de epífitas e a temperatura da água são apontadas como as principais causas da perda de mudas e flutuações ou declínio na produção da *K. alvarezii* (Msuya and Porter, 2014; Msuya *et al.*, 2014).

O ice-ice e o surto de epífitas são causados principalmente por stresses resultantes de flutuações dos parâmetros ambientais, como flutuações na temperatura da água, mudanças bruscas de salinidade e luz solar excessiva que podem fragilizar as macroalgas, tornando-as mais susceptíveis a infestações fúngicas, bacterianas e de epífitas (Loureiro *et al.*, 2017). E estas situações de stress ambiental aumentam a chance de proliferação das doenças e pragas nos campos de cultivo de macroalgas marinhas (Veenhof *et al.*, 2024). Impactando as comunidades costeiras pobres, principalmente aquelas cuja principal fonte de renda é o cultivo de macroalgas marinhas (Loureiro *et al.*, 2017).

Actualmente, foram desenvolvidas várias tecnologias para a produção de macroalgas marinhas, mas ainda há necessidade de optimização e desenvolvimento de tecnologias mais eficientes para superar os obstáculos actualmente enfrentados na produção da *K. alvarezii* (Buschmann *et al.*, 2017).

Moçambique está na fase inicial de reactivação da produção da *K. alvarezii*, e há pouca informação documentada sobre o cultivo de macroalgas, por isso, para garantir o sucesso e sustentabilidade desta actividade, é necessário que se invista em pesquisa, testando os vários factores que determinam o sucesso do cultivo da *K. alvarezii* para que esta actividade não cesse por falta de conhecimento (Hardiana *et al.*, 2024; Nhaca, 2024).

As mudanças de temperatura no cenário das mudanças climáticas serão um dos factores de grande impacto nas macroalgas marinhas, já que estas são sensíveis a mudanças de temperatura (Oedjoe *et al.*, 2022 b). Pesquisas desenvolvidas em laboratório, análises e simulações de possíveis impactos do stress climático/de temperatura são cruciais para prever e mitigar os impactos de diferentes temperaturas no crescimento e desenvolvimento das macroalgas.

Os resultados desta pesquisa irão auxiliar futuras pesquisas que incluam o cultivo da *K. alvarezii* em laboratório, mostrando como diferentes temperaturas influenciam o crescimento e fisiologia desta alga em laboratório e dando insights a produtores por exemplo, sobre em que época maximizar a produção da *K. alvarezii* e na selecção de locais adequados para o cultivo desta macroalga.

1.2.Objectivos

1.2.1. Objectivo geral

- Avaliar o efeito de diferentes temperaturas e fonte de água no crescimento e respostas fisiológicas da macroalga *Kappaphycus alvarezii* em laboratório.

1.2.2. Objectivos específicos

- Comparar o crescimento da macroalga *K. alvarezii* entre as diferentes temperaturas e entre a água dos dois locais (Inhaca e Costa do Sol);
- Observar o efeito das diferentes temperaturas na qualidade dos talos de *K. alvarezii* cultivados na água da Inhaca e da Costa do Sol;
- Analisar o efeito da temperatura na produção de pigmentos fotossintéticos (carotenóides e ficoeritrina) na água da Ilha de Inhaca e da Costa do Sol
- Comparar o efeito das diferentes temperaturas e da fonte da água sobre os parâmetros físico-químicos da água (Oxigénio dissolvido, pH e salinidade) ao longo do cultivo.

1.3.Hipóteses

1.3.1. Hipótese nula

- A temperatura e fonte da água não influenciam no crescimento e nas respostas fisiológicas da macroalga *K.alvarezii*.

1.3.2. Hipótese alternativa

- A temperatura e fonte da água influenciam no crescimento e nas respostas fisiológicas da macroalga *K.alvarezii*.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Cultivo de macroalgas marinhas

O interesse pelas macroalgas marinhas originou-se há mais de 1500 anos no leste asiático, onde estas já eram coletadas e utilizadas na alimentação e na medicina tradicional. Esse uso, levou ao início do cultivo de macroalgas marinhas por países como Japão, China e Coreia entre as décadas de 1950 e 1970 (Buschmann and Camus, 2019, Hwang *et al.*, 2019). Desde então, a demanda por macroalgas marinhas foi crescendo, juntamente com o aumento do uso (Buschmann, *et al.*, 2017).

A produção mundial de algas marinhas e costeiras cresceu de 10.6 milhões de toneladas em 2000 para 35 milhões de toneladas em 2020 (Figura 1), produção esta dominada principalmente pelas macroalgas marinhas *Laminaria sp.* (35.5% da produção), *Eucheuma spp.* (23.2%), *Glacilaria spp.* (14.8%), *Undaria sp.* (8%), *Porphyra spp.* (6.3%) e *Kappaphycus alvarezii* (4.6%) (Figura 2) (FAO, 2022). E em 2022 a produção atingiu 36.5 milhões de toneladas (sendo 99.7% desta produção correspondente as macroalgas marinhas), tendo sido mais produzidas as macroalgas vermelhas (55.8%) e as castanhas (43.7%). O cultivo está concentrado principalmente nos países da Ásia, responsáveis por cerca de 99.3% da produção mundial, com destaque para a China e Indonésia (FAO, 2024).

O cultivo de macroalgas marinhas está bem alinhado aos princípios de produção sustentável, estas podem mitigar toneladas de CO_2 /por hectare por ano (Waqas *et al.*, 2024). As farmas de macroalgas marinhas actuam como filtros para vários nutrientes como fósforo inorgânico (P) e Nitrogénio (N) que chegam ao mar geralmente através de esgotos municipais e/ou são escoados por ecossistemas terrestres como rios e lagos.

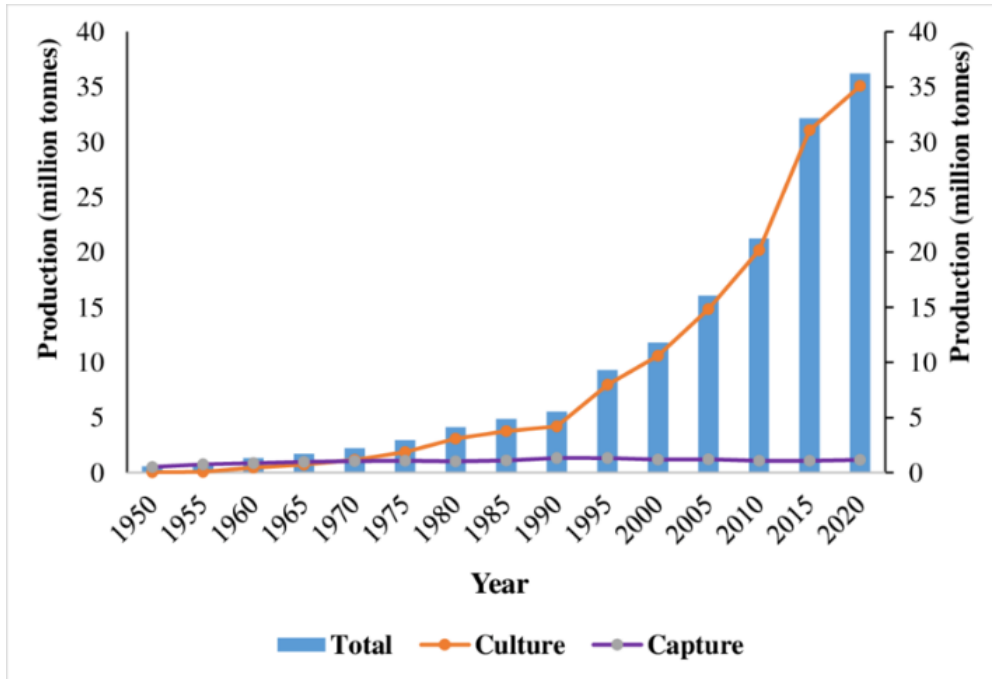


Figura 1. Comparação entre a produção de macroalgas ao longo dos anos em comparação com a colheita de algas no ambiente natural (FAO, 2022).

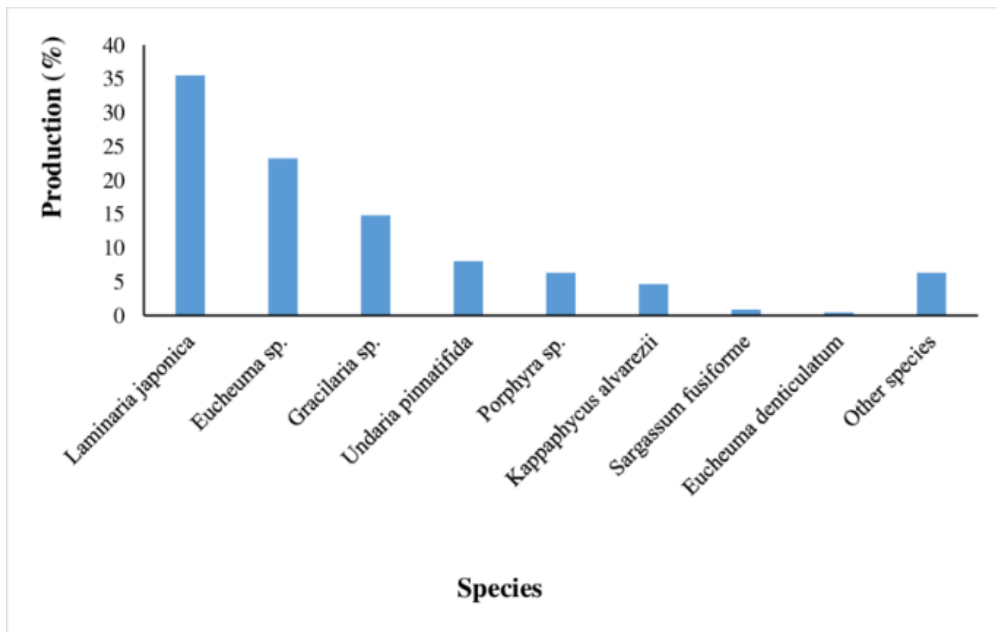


Figura 2. Ranking das macroalgas mais produzidas mundialmente (Ullah *et al.*, 2023).

2.2. Cultivo de Eucheumatóides

O termo Eucheumatóides é usado para designar as algas pertencentes aos géneros *Eucheuma* e *Kappaphycus* da divisão Rhodophyta (Dumilag *et al.*, 2022). Estas macroalgas começaram a ser cultivadas comercialmente na década de 1970 no Sudeste Asiático, então, o estabelecimento bem sucedido dos campos de cultivo de macroalgas marinhas levou a rápida adopção e expansão do cultivo de macroalgas nas Filipinas e no mundo (Figura 3) (Dumilang *et al.*, 2022; Hatch, 2022). As espécies mais cultivadas são a *Kappaphycus alvarezii*, *Eucheuma denticulatum* e a *Kappaphycus striatus*, com o principal objectivo de extracção da carragena (Hatch, 2022). O género *Kappaphycus* possui carragena *Kappa* e o género *Eucheuma* carragenina *iota* (Msuya *et al.*, 2014).

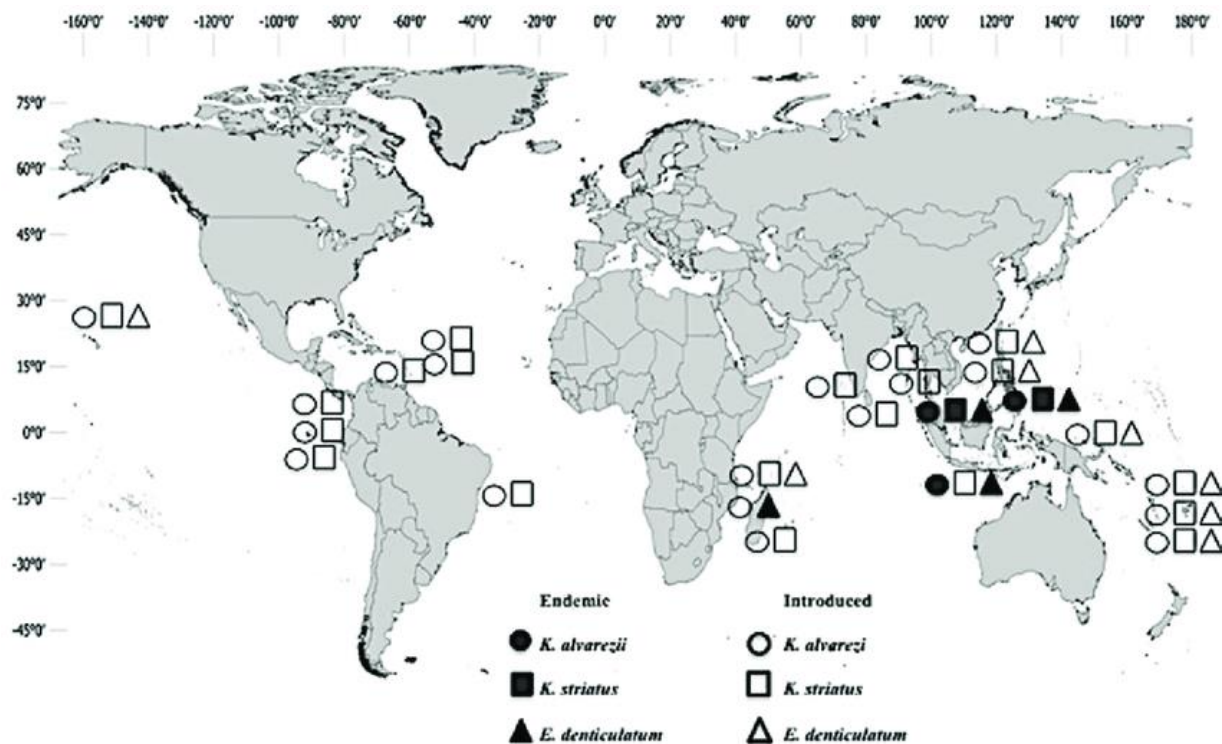


Figura 3. Mapa de distribuição geográfica dos locais onde as algas euqueumatóides (*K. alvarezii*, *K. Striatus* e *Eucheuma denticulatum*) ocorrem naturalmente e locais onde são cultivadas (Neish *et al.*, 2017).

A produção de Eucheumatóides desenvolveu bastante nas últimas décadas (Figura 4), aumentou em aproximadamente 43% de 2010 a 2020 (FAO, 2022). O que impulsionou o desenvolvimento foi o aumento da demanda do mercado por parte dos fabricantes de hidrocolóides que procuravam desesperadamente por matéria-prima cultivada (Hayashi *et al.*, 2017). E nos dias de hoje, o cultivo

de Eucheumatóides tem sido o principal impulsionador do aumento da produção de macroalgas marinhas cultivadas na última década (FAO, 2020).

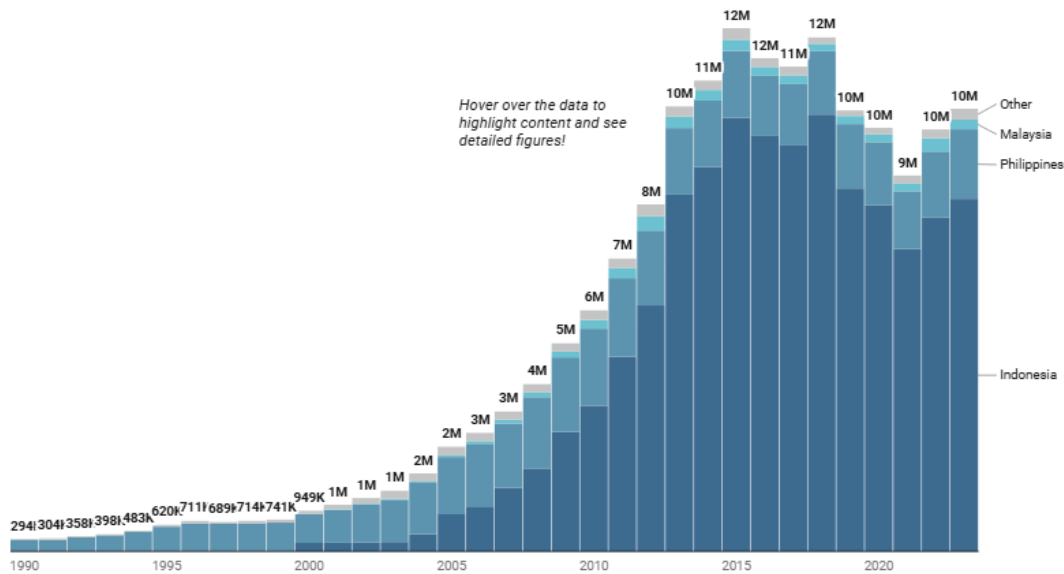


Figura 4. Volumes da produção global de Eucheumatóides de 1990-2022 (HATCH, 2022)

2.2.1. *Kappaphycus alvarezii*

A *Kappaphycus alvarezii*, também conhecida como cotoni (nome comercial), é uma macrolga da divisão Rhodophyta, encontrada em tons de cores avermelhados, amarelados, acastanhados ou esverdeados, dependendo da concentração do pigmento ficoeritrina (que confere a coloração avermelhada as algas da divisão Rhodophyta) e dos parâmetros ambientais (Rudke *et al.*, 2020). O talo desta alga é liso, cilíndrico, cartilaginoso, erecto ou prostrado, arbustivo e composto por ramos rígidos, irregulares (Figura 5) e de crescimento indeterminado (Baweja *et al.*, 2016).



Figura 5. *Kappaphycus alvarezii* (Balasundaram *et al.*, 2025).

2.2.1.1. Classificação taxonómica

Reino: Plantae

Divisão: Rhodophyta

Classe: Florideophyceae

Ordem: Gigartinales

Família: Solieriaceae

Género: *Kappaphycus*

Espécie: *Kappaphycus alvarezii*

2.3. Cultivo da macroalga *Kappaphycus alvarezii*

Dentre os Eucheumatóides, a *K. alvarezii* é a macroalga mais cultivada e a principal fonte de carragena pois possui um gel mais espesso (*Kappa* carragena), por isso o seu cultivo contribuiu

significativamente para melhorar a economia de vários países em desenvolvimento que a cultivam (Baweja *et al.*, 2016; Hayashi *et al.*, 2017).

2.4.Cultivo da *Kappaphycus alvarezii* em Moçambique

Em Moçambique, o cultivo desta macroalga iniciou em 2002 em Pemba, na província de Cabo Delgado, em prol de um cultivo experimental que pretendia perceber a viabilidade do cultivo desta macroalga naquele local, que concluiu que o cultivo da *Kappaphycus alvarezii* era viável na costa de Cabo Delgado. Em 2006, o cultivo expandiu para Nampula (Nhambe, 2005; Msuya *et al.*, 2014).

Moçambique chegou a exportar macroalgas para as Filipinas, no entanto a instabilidade na produção devido a problemas como o epifitismo e doenças (ice-ice) e incostância no fornecimento fez com que a cooperação fosse rompida. Em 2010, o cultivo teve de cessar devido a falta de mercados. Em Pemba, os compradores faziam ofertas muito baixas que acabaram desmotivando os produtores. E em Nampula o comprador teve de interromper a cooperação devido a problemas legais (Msuya *et al.*, 2014).

Em 2016, Moçambique voltou a produzir esta macroalga na zona norte do país, especificamente nas províncias de Nampula e Cabo Delgado. E em 2023, começaram a ser feitos estudos de avaliação do potencial cultivo da *Kappaphycus alvarezii* na zona sul, concretamente na Ilha de Inhaca, Povíncia de Maputo, e segundo Nhaca (2025), esta zona tem potencial para a cultivo da *K. alvarezii*.

2.5.Importância do cultivo da *Kappaphycus alvarezii*

A *K. alvarezii* tem importância económica devido a carragena dela extraída, com aplicação em várias indústrias (alimentícia, farmacêutica, médica e cosmética) (Campbell and Hotchkiss, 2017). Em alguns países como Tanzânia e Indonésia, o cultivo da *K. alvarezii* é uma valiosa fonte de subsistência para as comunidades costeiras, que comercializam as macroalgas frescas ou secas e estas são posteriormente processadas (Oedjoe, 2019).

O cultivo da *Kappaphycus alvarezii* tem importância ecológica pois ajuda a conservar outros ecossistemas, protegendo-os contra radiações UV-b, como é o caso dos tapetes de ervas marinhas (Syamsuddin, 2022).

Esta têm mostrado uma capacidade notável de reter cátions metálicos (Cobas *et al.*, 2014). Metais pesados encontrados nas águas podem ser absorvidos e acumulados no talo de macroalgas (Asni and Najamuddin, 2020; Ferreira, 2020).

A *K. alvarezii* também fornece serviços ecossistêmicos regulatórios como a captura de carbono e absorção de nutrientes em águas costeiras (Bushan *et al.*, 2023).

2.6. Aplicações da *Kappaphycus alvarezii*

O principal objectivo do esforço de cultivo desta macroalga é a extracção da carragenina, um hidrocolóide com aplicação industrial. Em alguns países a macroalga é empregada directamente na alimentação em saladas, mosses, yogurtes e sorvetes (Mudannayake *et al.*, 2024).

Na indústria alimentícia a carragenina é usada como agente espessante, emulsificante, estabilizador e gelificante na produção de alguns alimentos processados (Medeiros *et al.*, 2023). A *K. alvarezii* é processada e usada como ração para peixes e gado. As ficobiliproteínas (pigmentos presentes em macroalgas vermelhas) são usadas como corantes naturais em alimentos e cosméticos (Zhang *et al.*, 2022).

Na agricultura é usada como biestimulante (Trivedi, 2023), como consequência reduz a pegada do carbono, reduzindo o uso de fertilizantes químicos e pesticidas (Layek *et al.*, 2015),

Na indústria cosmética é usada em cosméticos para o cabelo, pois possui extratos etanólicos e aquosos que contribuem para o crescimento capilar e devido as suas propriedades hidratantes (Fard *et al.*, 2011; Couteau and Coiffard, 2016). As suas propriedades gelificantes são usadas na área de cuidados bucais e dentários para formular pastas de dentes (Couteau and Coiffard, 2016). Janarthanan e Kumar, 2018, desenvolveram mascaras faciais de tecido de algodão com extrato da alga que exibiu excelentes propriedades antioxidantes, antifúngicas, antivirais, anticancerígenas e antibacterianas. Outros compostos bioactivos desta alga como os alcaloides, terpenoides,

esteroides, flavonóides, saponinas e taninos são aplicados para a produção de sabões, cremes, shampoos e outros (Nunes *et al.*, 2024).

A *K. alvarezii* possui actividade antioxidante e antibacteriana contra bactérias patogênicas (Bhuyar *et al.*, 2020), por isso é usada na indústria farmacêutica.

3. METODOLOGIA

3.1. Área de estudo

O cultivo das macroalgas foi realizado no Laboratório de Cultura de Tecidos do Departamento de Ciências Biológicas da Faculdade de Ciências, no Campus principal da Universidade Eduardo Mondlane (UEM). As macroalgas foram coletadas num campo de cultivo da Ponta Torres, Ilha de Inhaca e a água para os ensaios foi coletada no campo de cultivo de macroalgas e na Praia da Costa do Sol, Maputo (Figura 6).

O Campus principal da UEM localiza-se entre as coordenadas $-25^{\circ} 58' 0.12''$ de Latitude Sul e $32^{\circ} 34' 59.88''$ de Longitude Este, no Distrito Municipal de KaMaxaquene, Cidade de Maputo, Moçambique.

A cidade de Maputo possui clima subtropical, o clima é caracterizado por um verão quente e chuvoso (Outubro à Março) e um inverno frio e seco (Abril à Setembro) (De Boer *et al.*, 2001; Zacarias and Andersson). Na estação chuvosa a precipitação varia entre 34.7 à 211.1 mm por mês e na estação seca 7.7 à 77.3 mm (Fernando and Bandeira, 2009). A temperatura do ar atinge os valores máximos nos meses de Dezembro à Março e os valores mínimos de Junho à Julho (Zacarias and Andersson, 2010).

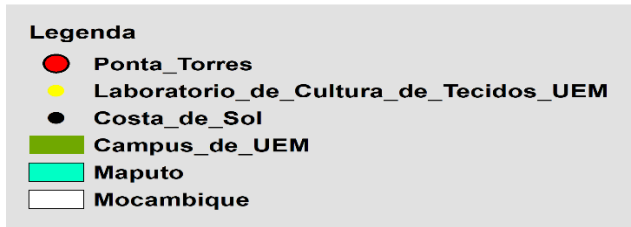
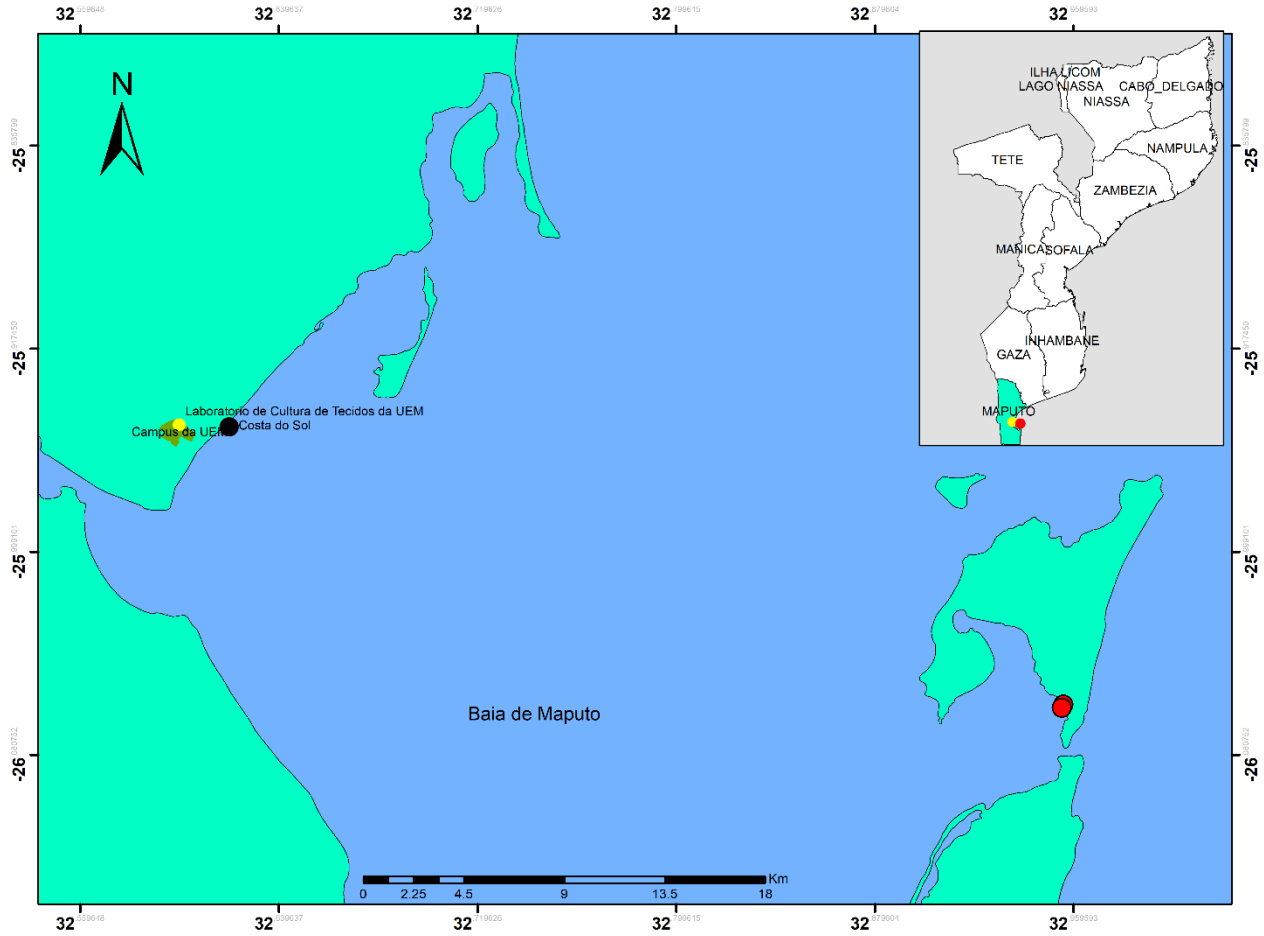


Figura 6. O ponto amarelo indica a localização geográfica da área de estudo (Laboratório de Cultura de Tecidos) dentro do Campus da UEM (polígono verde). O ponto preto indica o local de amostragem de água na praia da Costa do Sol e o ponto vermelho indica o local de amostragem das macroalgas e água na Ilha de Ilhaca (Ponta Torres) (ArcMap 10.8, 2025).

3.2. Materiais

3.2.1. Instrumentos experimentais

- Almofariz;
- Aquários;
- Baldes plásticos de 20L;
- Calculadora;
- Copos Becker 100mL;
- Facas ou Espátulas;
- Garrafas plásticas de 500mL e 5L;
- Tubos de Fálcon

3.2.2. Equipamento

- Aparelho multiparamétrico LoviBond 150;
- Balança analítica;
- Bombas de Oxigénio;
- Centrífuga;
- Congelador;
- Espectrofotómetro UV-VIS
- Filtros
- Frigorífico
- Homogeinizador magnético;
- Refractômetro;

3.2.3. Reagentes

- Acetona (90%);
- Água destilada;
- Água do mar;
- Fosfato de Sódio dibásico;
- Fosfato de Sódio monobásico;
- NitraVer 5;
- PhosVer 3;

3.2.4. Material biológico

- *Kappaphycus alvarezii*.

3.3. Desenho experimental

3.3.1. Amostragem e aclimatização das macroalgas

A água do mar para os ensaios e manutenção das macroalgas foi coletada na praia da Ponta Torres, Ilha de Inhaca e na praia da Costa do Sol, em período de maré cheia. A cada amostragem, foi feita a medição dos parâmetros ambientais (Tabela 4). A salinidade foi medida com o auxílio de um refractómetro, o oxigénio dissolvido, o pH e a temperatura com o auxílio de um aparelho multiparamétrico LoviBond 150 e posteriormente a água foi transportada para o laboratório em baldes de 20L, dentro de 24H;

No laboratório, a água do mar foi sedimentada por 24 horas e então decantada e repetiu-se o processo pela segunda vez. Foram armazenadas no congelador duas aliquotas da água de cada local em garrafas de 500mL para posterior análise de nutrientes. E o restante da água foi armazenada no escuro.

As macroalgas foram colhidas no campo de cultivo situado na praia da Ponta Torres, Ilha de Inhaca, durante a maré baixa e transportadas para o laboratório em baldes plásticos com capacidade de 20L (num período de 24 horas) contendo água local.

No laboratório, as macroalgas foram enxaguadas com a água do mar decantada para remoção de detritos, epífitas e outros materiais incrustantes trazidos do campo (Henriques *et al.*, 2019; Rovissone, 2019). De seguida, uma amostra de aproximadamente 100g de macroalga foi armazenada durante cerca de 12 horas na geleira até a extracção de pigmentos para a determinação das concentrações iniciais de pigmentos fotossintéticos (carotenóides e ficoeritrina).

Para aclimação, as macroalgas foram mantidas em um aquário com capacidade de 52L durante 3 dias (Shalvina *et al.*, 2022), cheio com água do mar decantada sob luz artificial e à temperatura pretendida, num fotoperíodo de 24 horas de luz.

3.3.2. Análise de nutrientes na água

As amostras foram retiradas do congelador 24 horas antes das análises, para que estivessem a temperatura ambiente, para obtenção dos melhores resultados (Hach, 2017; Hach, 2019).

No laboratório, transferiu-se 10mL de cada amostra para tubos de ensaio e fez-se a devida identificação para melhor controle.

As leituras das concentrações de nutrientes foram feitas em um Espectrofotômetro UV-Vis.

a) Fosfatos

Para a leitura dos fosfatos, foi usado o método 8048 de Hach (2017).

Foi iniciado o programa P react PV no Espectrofotômetro;

Para a leitura e resultados precisos fez-se a leitura do branco para cada amostra. Para tal foi adicionado um volume de 10mL de amostra na cubeta, limpou-se a cubeta com um papel de laboratório e zerou-se o espectrofotômetro;

De seguida adicionou-se uma saqueta do reagente PhosVer 3 num tubo de ensaio contendo um volume de 10mL de amostra. Após introduzir o reagente, fechou-se o tubo de ensaio imediatamente e agitou-se no sentido de cima para baixo, na vertical por 30 segundos;

Depois da agitação, deixou-se o tubo em repouso por 2 minutos, tempo necessário para que ocorra a reacção, uma cor azul desenvolveu-se indicando a presença de fosfatos na amostra (Figura 7);

Quando o tempo cessou, com o espectrofotômetro já ligado e zerado, levou-se a amostra à leitura. Transferiu-se a amostra para a cubeta, limpou-se e fez-se a leitura dos fosfatos na absorvância de 507 nm.



Figura 7. Tubos de ensaio contendo amostras após reação com o reagente PhosVer 3.

b) Nitratos

Para a leitura dos nitratos foi usado o método de redução de Cádmio de Hach (2019).

Foi iniciado o programa N nitrato LR no Espectrofotômetro;

Para a leitura e resultados precisos fez-se a leitura do branco para cada amostra. Para tal foi adicionado um volume de 10mL de amostra na cubeta, limpou-se a cubeta com um papel de laboratório e zerou-se o espectrofotômetro;

Adicionou-se uma saqueta do reagente NitraVer 5 num tubo de ensaio contendo um volume de 10mL de amostra. Após introduzir o reagente, fechou-se o tubo de ensaio imediatamente e agitou-se no sentido de cima para baixo, na vertical por 1 minuto;

Depois da agitação, deixou-se o tubo em repouso por 5 minutos, tempo necessário para que ocorra a reação, uma cor âmbar desenvolveu-se indicando a presença de nitratos na amostra (Figura 8);

Quando o tempo cessou, com o espectrofotômetro já ligado e zerado, levou-se a amostra à leitura. Transferiu-se a amostra para a cubeta, limpou-se e fez-se a leitura dos fosfatos na absorvância de 880 nm.



Figura 8. Tubos de ensaio contendo amostras após reação com o reagente NitraVer 5.

3.3.3. Cultivo

O cultivo da macroalga *Kappaphycus alvarezii* foi conduzido e acompanhado no Laboratório de cultura de tecidos do Departamento de Ciências Biológicas da UEM, em três ciclos de cultivo.

A temperatura foi regulada com recurso a um ar condicionado, programado para 20° C, 25°C e 28°C (Gou *et al.*, 2015), no primeiro, segundo e terceiro ciclos, respectivamente (cada tratamento de temperatura correspondente a um ciclo de 15 dias) (Fadilah *et al.*, 2016), semelhante ao referido em Loureiro *et al.*, (2010), num regime de luz artificial (usando 3 lâmpadas LED brancas de 50 watts), num fotoperíodo de 24h de luz (Li *et al.*, 2019)¹, com aeração constante. Foram usados recipientes plásticos de 5L (garafas Pet), e em cada recipiente foi usado um volume de 4L de água e 40g de alga (Figura 9).

¹ A iluminação constante neste estudo foi aplicada para evitar diferenças nos diferentes tratamentos, pois o acesso ao laboratório era limitado em alguns horários e inacessível nos finais de semana.



Figura 9. Recipientes usados para o cultivo da *K. alvarezii* no Laboratório de cultura de tecidos.

3.3.3.1. Medição dos parâmetros físico-químicos da água

A medição dos parâmetros físicos da água (Oxigênio dissolvido (OD), pH e Salinidade) foi realizada diariamente, às 09 horas da manhã. A salinidade foi determinada com o auxílio de um refratômetro, enquanto o OD, o pH e a temperatura foram mensurados utilizando um equipamento multiparamétrico Lovibond 150.

No que se refere aos parâmetros químicos, foram determinadas apenas as concentrações iniciais de nitratos (NO_3^-) e fosfatos (PO_4^{3-}).

3.3.4. Taxa de Crescimento

A taxa de crescimento de *K. alvarezii* foi determinada pelas variáveis (i) o crescimento absoluto (AG) e (ii) e o crescimento específico (SG).

3.3.4.1.Crescimento Absoluto

O crescimento absoluto representa o aumento total em peso da macroalga durante o cultivo, segundo o procedimento apresentado em Anita *et al.*, (2024) e foi obtido através da fórmula de Syamsuddin *et al.* (2019).

$$W(g) = W_t - W_o$$

Onde,

W: Crescimento absoluto;

W_t: peso final;

W_o: peso inicial.

3.3.4.2.Taxa de Crescimento específico

A taxa de crescimento específico foi obtida através da fórmula de Dawes *et al.*, 1994.

$$SGR(\% \text{ day}^{-1}) = \frac{\ln W_t - \ln W_o}{t} \times 100\%$$

Onde,

SGR: Taxa de crescimento específico (g% por dia);

W_t: Peso final;

W_o: Peso inicial;

t: Tempo de cultivo (dias).

3.3.5. Qualidade das macroalgas

Para a avaliação da qualidade da macroalgas foram observados factores visuais como a coloração (se houve ou não despigmentação dos talos), contaminação por microorganismos (Araujo, 2013; Azizi *et al.*, 2018). E da consistência das macroalgas (Limaco, 2018).

3.3.6. Extração e quantificação dos pigmentos fotossintéticos

Para extração dos pigmentos, as macroalgas foram lavadas em água destilada, de modo a retirar o sal e de seguida foram cortados os talos em pequenos discos de 1g de cada amostra (n=3) (Araújo *et al.*, 2014).

Para a extração dos carotenóides, os discos de macroalga cortados foram macerados em 10mL de acetona com o auxílio de um almofariz por 3 minutos. A ficoeritrina foi extraída a partir de 1g de alga macerada em 10 mL de solução tampão Fosfato de Sódio 0.1M, pH 6.8. Os extratos foram transferidos para tubos de Falcon, homogeneizados à mão² (verticalmente) e depois centrifugados a 10. 000 rpm por 20 minutos. O sobrenadante, contendo os pigmentos, foi mantido por 24 horas no escuro a 4°C para posterior leitura em espectrofotômetro (Araújo *et al.*, 2014).

3.3.6.1.Preparação do tampão Fosfato de Sódio

Foram pesadas 1.312g de Fosfato de Sódio Dibásico (Na_2HPO_4) e 704.3mg de Fosfato de Sódio monobásico (NaH_2PO_4). Preparou-se 80mL de água destilada em um copo Becker de 250mL (de modo a não entornar a solução ao homogeneizar), transferiu-se as massas pesadas de Na_2HPO_4 e NaH_2PO_4 para o copo Becker e homogeneizou-se em um homogeneizador magnético até que todos os reagentes estivessem dissolvidos. Em seguida, mediu-se o pH da solução. Usou-se o Ácido Clorídrico (HCl) para ajustar o pH quando este excedia 6.8 e Hidróxido de Sódio quando a solução não atingia o pH desejado (ATT Bioquest, 2024).

3.3.6.2.Quantificação de Carotenóides

As concentrações de carotenóides foram determinadas de acordo com a equação de Strickland e Parsons (1972):

² Não foi possível usar o homogeneizador magnético, pelo volume da amostra ser menor, havia evaporação ou desperdício dos extratos.

$$\text{Concentração de Carotenóides } (\mu\text{g g}^{-1}) = \frac{\text{Abs}_{452\text{nm}} \times \text{Volume de acetona (mL)}}{\text{Peso fresco da amostra (g)}}$$

3.3.6.3. Quantificação da Ficoeritrina

As concentrações de Ficoeritrina (PE), foram determinadas seguindo a equação de Padgett e Krogmann (1987):

$$\text{Ficoeritrina, PE } (\mu\text{g g}^{-1}) = \frac{\text{Abs}_{562\text{nm}} - 2.41(\text{PC}) - 0.849(\text{APC})}{9.62} \times 100$$

As concentrações de pigmentos foram calculadas pela fórmula modificada de Kumar *et al.* (2020):

$$[\text{Pigmentos } (\mu\text{g g}^{-1})] = X_{\text{final}} - X_{\text{inicial}}$$

Onde, X corresponde aos valores de Carotenóides e Ficoeritrina nas macroalgas antes do cultivo em laboratório (X_{inicial}) e depois de 15 dias de cultivo em laboratório (X_{final}).

3.3.7. Análise estatística dos dados

Os dados do experimento foram inseridos e organizados no Excel 2016, posteriormente os resultados foram representados graficamente usando o GraphPad Prism 10, onde todos os dados foram expressos como valor médio \pm desvio padrão das 4 réplicas por tratamento de temperatura e fonte da água.

As médias do Crescimento absoluto e da Taxa de Crescimento específico entre as temperaturas e entre os locais foram examinadas para a significância estatística de 5% ($p < 0.05$) por meio de variância bidirecional para dados não balanceados (Two-way ANOVA tipo 3), antecedida de testes diagnóstico – Durbin Watson (teste de autocorrelação dos resíduos), Teste de Shapiro Wilk (teste de normalidade dos resíduos), Teste de Levene (teste de homogeneidade das variância) e Outlier test para observância dos pressupostos do modelo ANOVA, seguido pelo teste post-hoc de Tukey (HSD) quando as diferenças entre as médias foram estatisticamente significativas. As análises estatísticas foram realizadas usando o software RStudio.

4. RESULTADOS

4.1. Taxa de Crescimento

Este estudo documentou dois níveis de análise do crescimento com as respectivas comparações (i) entre diferentes temperaturas e (ii) entre diferentes fontes de água de cultivo. Apresentamos na Tabela 2, o crescimento absoluto e o crescimento específico da espécie *K. alvarezii*.

Com base na análise estatística utilizando o teste de variância ANOVA, verificou-se que a temperatura teve um efeito significativo ($p < 0.05$) na taxa de Crescimento da *K. alvarezii* cultivada na água da Costa do Sol e na água da Ilha de Inhaca a 20°C, 25°C e a 28°C. A taxa de crescimento (crescimento absoluto e o crescimento específico) mostrou-se significativamente maior para as macroalgas cultivadas a 20°C ($p < 0.05$) e as macroalgas cultivadas a 25°C e a 28°C ($p > 0.05$), não apresentaram diferenças significativas entre elas. A taxa de crescimento específico foi de $1.415 \pm 0.26 \text{ \% dia}^{-1}$ para Costa do Sol e $0.955 \pm 0.33 \text{ \% dia}^{-1}$ para Inhaca a 20°C, mostrando que a taxa de crescimento foi significativamente maior as macroalgas cultivadas na água da Costa do Sol ($p < 0.05$) (Figuras 10 e 11). O que mostra que a temperatura mais baixa afectou positivamente a taxa de crescimento da *K. alvarezii* em relação as outras temperaturas.

Tabela 1. Média (\pm desvio padrão) do crescimento absoluto (g) e da taxa de crescimento específico (médias \pm desvio padrão) da *K. alvarezii* cultivada na água da Costa do Sol e da Ilha de Inhaca em diferentes temperaturas ao fim de 15 dias.

Temperatura (°C)	Fonte da água	Crescimento Absoluto (g) (Média \pm Desvio padrão)	Taxa de crescimento específico (% dia ⁻¹) (Média \pm Desvio padrão)
20	Costa do Sol	9.52 (\pm 1.94)	1.415 (\pm 0.26)
	Inhaca	6.24 (\pm 2.32)	0.955 (\pm 0.33)
25	Costa do Sol	5.00 (\pm 1.00)	0.786 (\pm 0.14)
	Inhaca	4.10 (\pm 1.64)	0.646 (\pm 0.24)
28	Costa do Sol	4.34 (\pm 0.38)	0.682 (\pm 0.05)
	Inhaca	4.18 (\pm 0.64)	0.665 (\pm 0.09)

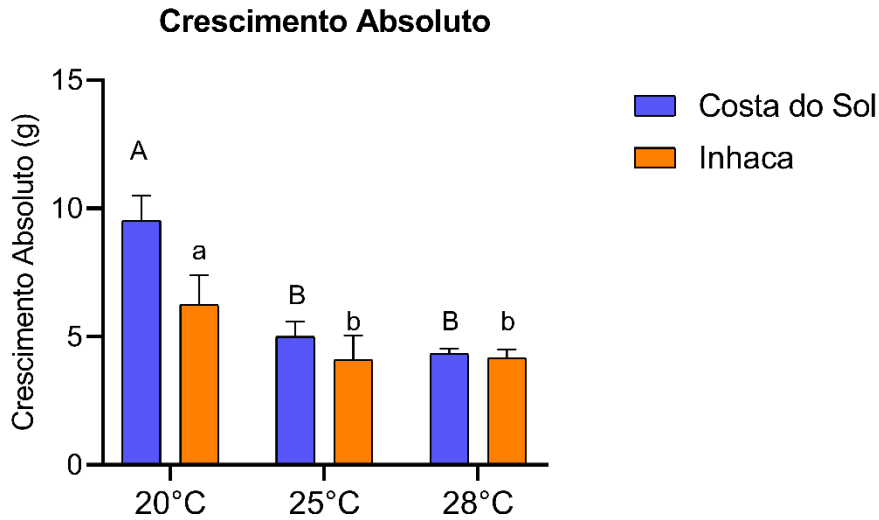


Figura 10. Crescimento absoluto que representa o aumento em peso (g) da macroalga *Kappaphycus alvarezii* ao fim de 15 dias de cultivo, submetida a diferentes temperaturas (20°C, 25°C e 28°C). E cultivada em água proveniente de diferentes locais (Ilha de Inhaca e Praia da Costa do Sol). As barras representam os valores médios da taxa de crescimento (\pm desvio padrão) (n=4). As letras distintas (A/a e B/b) indicam as diferenças significativas entre as temperaturas e as maiúsculas e minúsculas (A e a; B e b) indicam diferenças significativas entre as fontes da água de cultivo de acordo com os testes estatísticos.

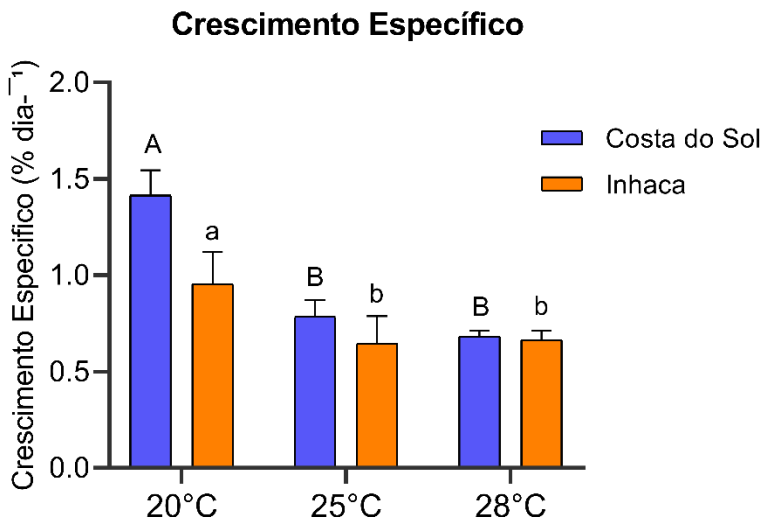














Figura 11. Taxa de crescimento específico (% dia⁻¹) da macroalga *Kappaphycus alvarezii* submetida a diferentes temperaturas (20°C, 25°C e 28°C). E cultivada em água de diferentes locais (Ilha de Inhaca e Praia da Costa do Sol) por 15 dias. As barras representam os valores médios da taxa de crescimento (\pm desvio padrão) (n=4). As letras distintas (A/a e B/b) indicam as diferenças significativas entre as temperaturas e as maiúsculas e minúsculas (A e a; B e b) indicam diferenças significativas entre as fontes da água de cultivo de acordo com os testes estatísticos.

4.2. Qualidade das macroalgas

Ao fim dos 15 dias de cultivo, nenhum espécime teve perda completa de pigmentos ou apresentou perda de peso, uma vez que todas as taxas de crescimento foram positivas. As macroalgas cultivadas à 25°C foram as que menos apresentaram mudanças na coloração ao fim de 15 dias. As macroalgas cultivadas à 28°C apresentaram uma coloração amarelada, redução na consistência dos talos e as cultivadas na água da Costa do Sol nesta temperatura apresentaram branqueamento de parte dos talos primário e secundário (Tabela 2).

Tabela 2. Efeito da temperatura na aparência dos talos de *K. alvarezii* cultivada na água da Costa do Sol e da Ilha de Inhaca ao fim de 15 dias de cultivo.

Temperatura (°C)	Fonte da água de cultivo	Tempo (dias)	
		0	15
20	C. Sol		
	Inhaca		
25	C. Sol		
	Inhaca		
28	C. Sol		
	Inhaca		

4.3.Pigmentos fotossintéticos

As diferentes temperaturas tiveram efeito na concentração dos pigmentos fotossintéticos analisados ($P < 0.05$). A concentração de carotenóides foi afectada pela temperatura (Figura 12), as macroalgas cultivadas a 20°C tiveram concentrações significativamente menores de carotenóides ($P < 0.05$). As macroalgas cultivadas na água da Costa do Sol apresentaram concentrações significativamente maiores de carotenóides a 25°C e 28°C e não apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre estas duas temperaturas ($P > 0.05$). As macroalgas cultivadas na água da Ilha de Inhaca tiveram maior concentração de carotenóides a 25°C, as cultivadas a 20°C e 28°C não apresentaram diferenças estatisticamente significativas ($P > 0.05$). A concentração de carotenóides não diferiu entre as macroalgas cultivadas na água da Costa do Sol e na água da Ilha de Inhaca ($P > 0.05$).

A concentração de ficoeritrina aumentou com o aumento da temperatura para as macroalgas cultivadas na água da Ilha de Inhaca (Figura 13), onde houveram diferenças significativamente diferentes entre as três temperaturas (20°C, 25°C e 28°C). As macroalgas cultivadas na água da Costa do Sol apresentaram concentrações significativamente maiores de ficoeritrina a 25°C e 28°C e não apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre estas duas temperaturas ($P > 0.05$). À 20°C, não foi obtida ficoeritrina nas macroalgas cultivadas na água da Costa do Sol e nas cultivadas na água da Ilha de Inhaca. A concentração de ficoeritrina foi significativamente maior nas macroalgas cultivadas na água da Ilha de Inhaca.

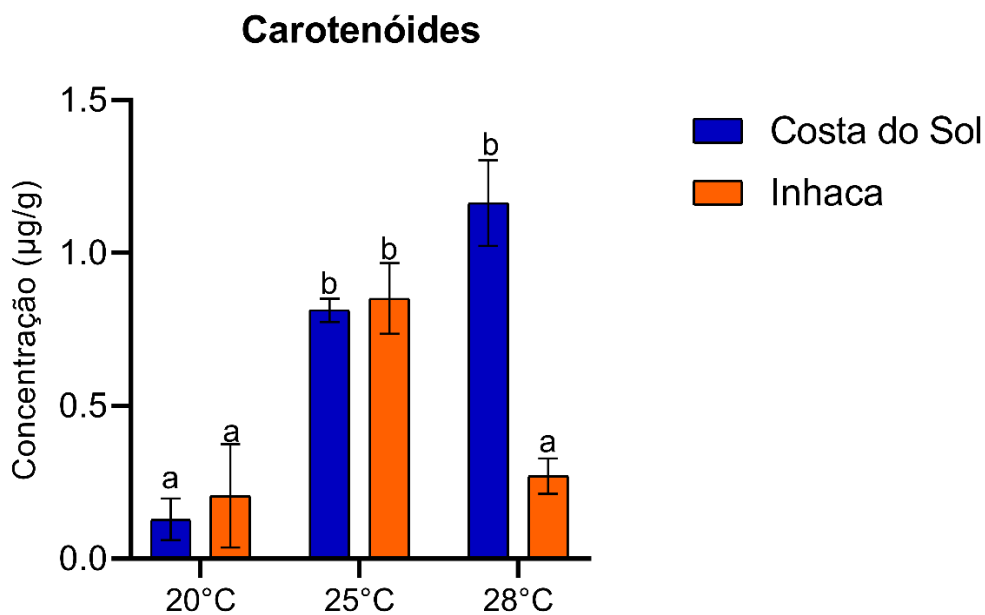


Figura 12. Concentração de carotenóides na macroalga *Kappaphycus alvarezii* ao fim de 15 dias de cultivo, submetida a diferentes temperaturas (20°C, 25°C e 28°C) e cultivada em água proveniente de diferentes locais (Ilha de Inhaca e Praia da Costa do Sol). As barras representam os valores médios da concentração de carotenóides (\pm desvio padrão) (n=4).

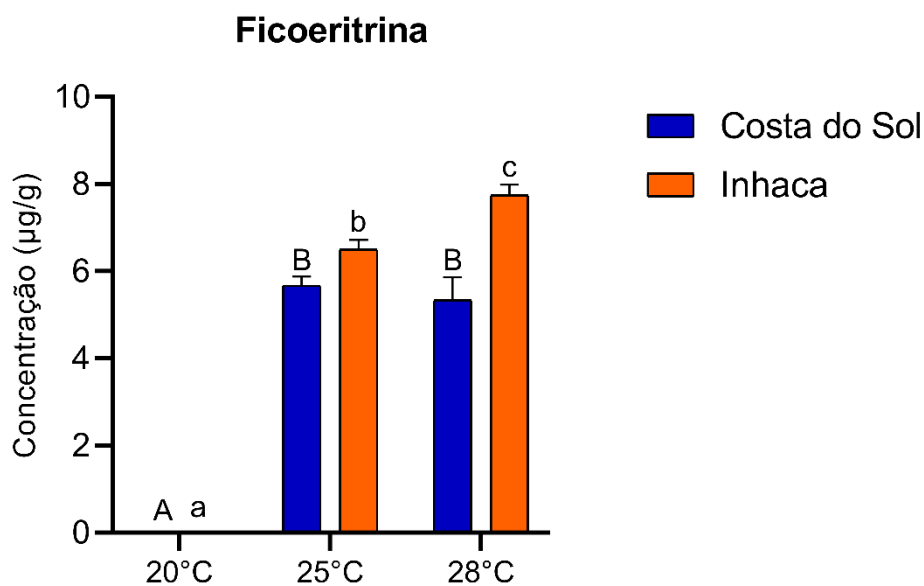


Figura 13. Concentração de ficoeritrina na macroalga *Kappaphycus alvarezii* ao fim de 15 dias de cultivo, submetida a diferentes temperaturas (20°C, 25°C e 28°C) e cultivada em água proveniente de diferentes locais (Ilha de Inhaca e Praia da Costa do Sol). As barras representam os valores médios da concentração de ficoeritrina (\pm desvio padrão) (n=4).

4.4. Parâmetros físico-químicos da água

4.4.1. Oxigênio dissolvido

A temperatura afectou a concentração e dissolução do oxigênio na água das macroalgas cultivadas na água dos dois locais ($P < 0.05$). Apesar de não terem havido diferenças significativas na concentração de oxigênio dissolvido entre os aquários das macroalgas cultivadas a 20°C e 25°C, a concentração de oxigênio dissolvido teve uma tendência a reduzir com o aumento na temperatura (Figura 14), onde nos aquários das macroalgas cultivadas a 20°C e 25°C foi obtida uma média (\pm desvio padrão) de 6.96(\pm 0.23) mg/L para Inhaca, 6.52(\pm 0.31) mg/L para Costa do Sol e 6.77(\pm 0.19) mg/L para Inhaca, 6.41(\pm 0.60) mg/L para Costa do Sol, respectivamente. As menores concentrações de oxigênio dissolvido foram observadas nos aquários das macroalgas cultivadas a 28°C, 4.83(\pm 0.72) mg/L para Inhaca e 4.13(\pm 0.15) mg/L para a Costa do Sol.

E a concentração de oxigênio dissolvido diferiu significativamente entre os locais, os aquários contendo água da Ilha de Inhaca apresentaram maiores concentrações de oxigênio dissolvido.

4.4.2. pH

A temperatura influenciou significativamente a concentração de pH na água das macroalgas cultivadas na água dos dois locais ($p < 0.05$). Todos os grupos tiveram diferenças significativas entre eles (temperatura e fonte da água). Os aquários das macroalgas cultivadas na água da Ilha de Inhaca a 25°C tiveram as maiores concentrações de pH e os das macroalgas cultivadas a 20°C foram os que apresentaram as menores concentrações de pH (Figura 15). Entre os locais, a água da Ilha de Inhaca apresentou as maiores concentrações de pH.

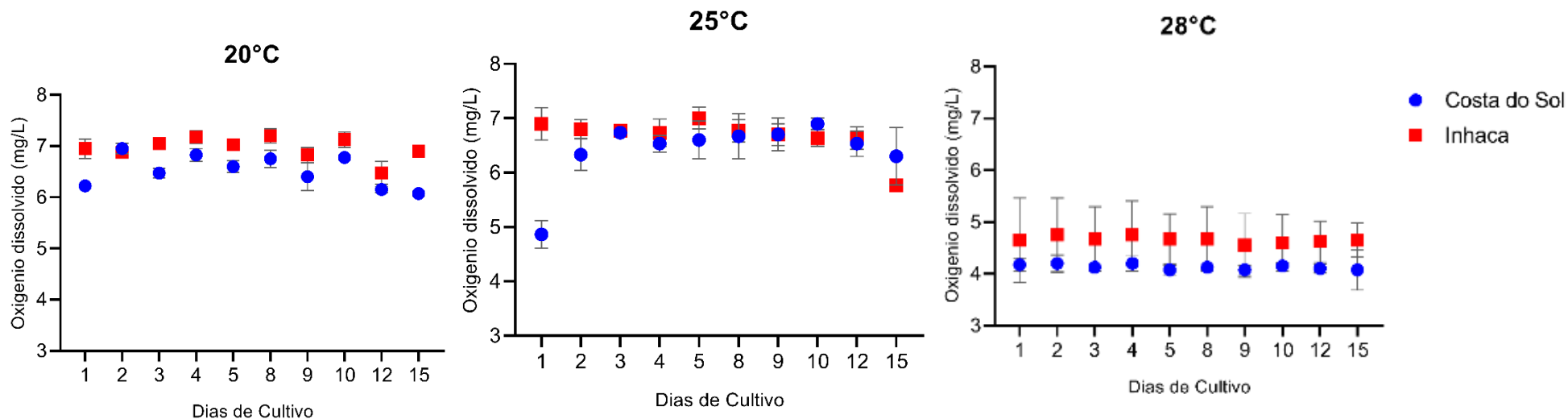


Figura 14. Concentração de Oxigénio dissolvido (mg/L) na água de cultivo da *Kappaphycus alvarezii*, cultivada em laboratório por 15 dias sob diferentes temperaturas (20°C, 25°C e 28°C) e em água obtida em dois locais (Costa do Sol e Inhaca). Cada valor representa a média (n=4) e as barras o desvio padrão.

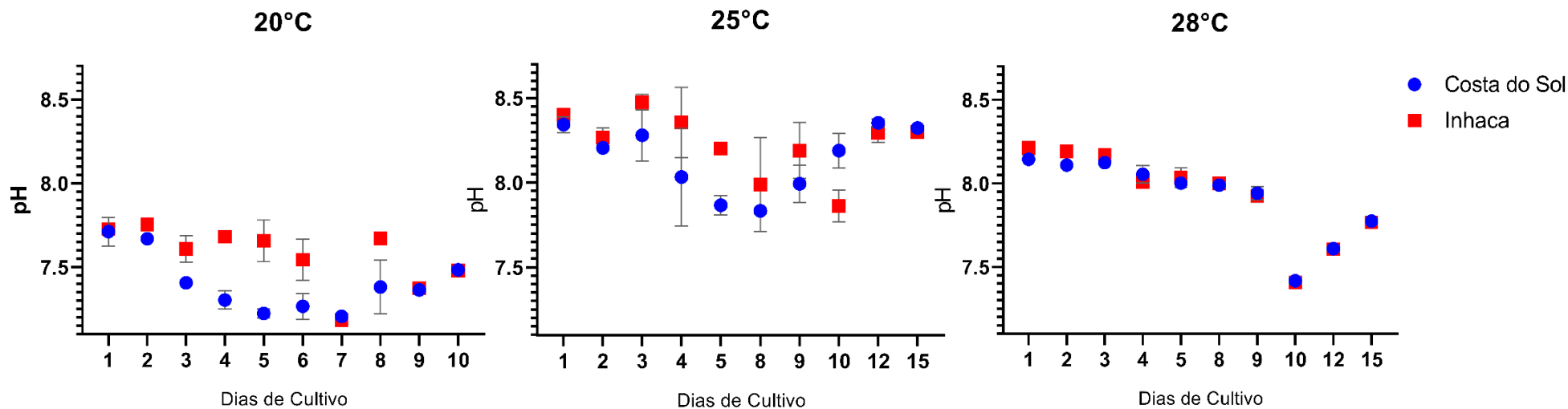


Figura 15. Concentração de pH na água de cultivo da *Kappaphycus alvarezii*, cultivada em laboratório por 15 dias sob diferentes temperaturas (20°C, 25°C e 28°C) em água obtida em dois locais (Costa do Sol e Inhaca). Cada valor representa a média (n=4) e as barras o desvio padrão.

4.4.3. Salinidade

A quantidade de sal não variou muito entre as temperaturas, tendo em conta os valores iniciais de salinidade para cada temperatura (figura 16).

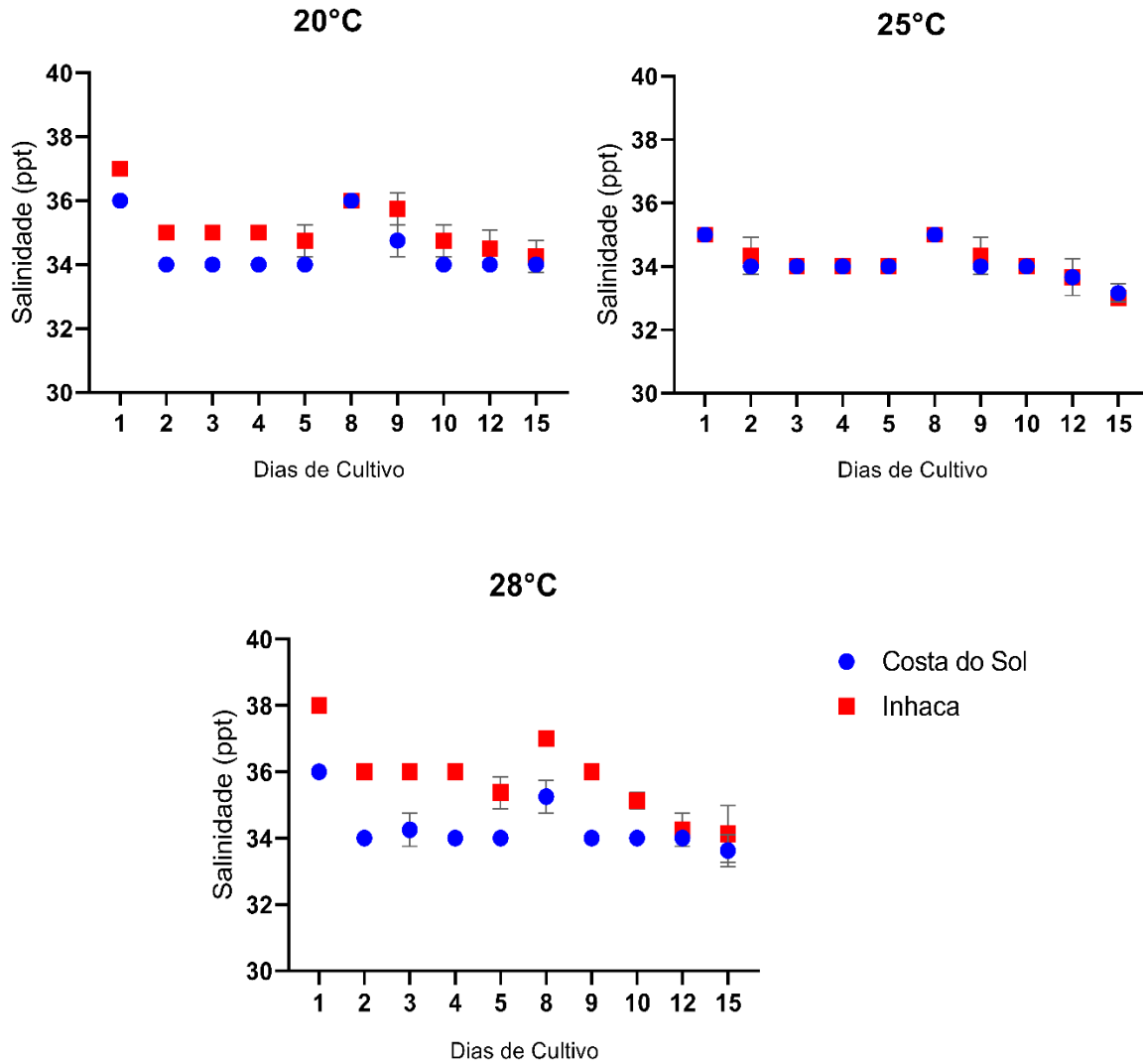


Figura 16. Salinidade da água de cultivo da *Kappaphycus alvarezii*, cultivada em laboratório por 15 dias na água da Costa do Sol e da Ilha de Inhaca sob diferentes temperaturas (20°C, 25°C e 28°C). Cada ponto representa o valor da média (n=4) e as barras o desvio padrão.

Tabela 3. Quadro resumo dos parâmetros físico-químicos da água medidos durante o cultivo de *K. alvarezii* em laboratório durante 15 dias na água da Costa do Sol e da Ilha de Inhaca em diferentes temperaturas (20°C, 25°C e 28°C).

	20°C		25°C		28°C		Faixa óptima
	C. do Sol	Inhaca	C. do Sol	Inhaca	C. do Sol	Inhaca	
Temperatura (°C)	20.2 (±0.55)	20.29 (±0.39)	24.64 (±0.85)	24.51 (±1.03)	27.8 (±0.41)	28.1 (±0.36)	20-30 [23]
Oxigénio Dissolvido (mg/L)	6.52 (±0.31)	6.96 (±0.23)	6.41 (±0.59)	6.77 (±0.19)	4.13 (±0.17)	4.68 (±0.52)	6-8 [4]
pH	7.40 (±0.2)	7.56 (± 0.2)	8.14 (±0.19)	8.23 (±0.18)	7.91 (±0.23)	7.93 (±0.25)	7-8.5 [22]
Salinidade (ppt)	34.48 (±0.83)	35.2 (±0.82)	34.8 (±0.55)	34.13 (±0.59)	34.31 (±0.72)	35.7 (±1.16)	32-35 [4]
Nitratos (mg/L)	0.06	0.05	0.06	0.05 (±0.14)	0.06	0.05	0.01-0.07 [16]
Fosfatos (mg/L)	0.3	0.29	0.32	0.29	0.28 (±0.12)	0.28 (±0.1)	0.02-1 [19]

5. DISCUSSÃO

Neste estudo, a taxa de crescimento de *K. alvarezii* teve uma tendência decrescente com o aumento da temperatura, convergindo com os resultados obtidos por Araújo *et al.*, 2014, que avaliaram o crescimento e sobrevivência de três variantes de *K. alvarezii* em diferentes temperaturas e tiveram a melhor taxa de crescimento na temperatura mais baixa (20°C) para a variedade castanha de *K. alvarezii* colhida no período seco.

Araújo *et al.* (2024) e Razzak (2025) observaram que a 20°C e a 25°C, respectivamente, tanto o crescimento absoluto quanto a taxa de crescimento específico são ótimas, indicando condições favoráveis ao crescimento, no entanto, a medida em a temperatura excede essas temperaturas, ambos os parâmetros diminuem, indicando que temperaturas mais altas são desfavoráveis ao crescimento. Temperaturas mais altas aumentam as taxas metabólicas das macroalgas marinhas (Eggert, 2012). Quando submetidas a altas temperaturas, as macroalgas podem expressar stress em a forma de dano celular e subcelular, danos estes que acompanhados da realocação de recursos para proteção e reparação podem levar a taxas de crescimento mais lentas (Kumar *et al.*, 2020).

Esta tendência difere do que foi relatado por Terada *et al.*, (2016), que avaliaram o efeito da temperatura no crescimento e fotossíntese da variante pigmentar verde da *K. alvarezii* e tiveram a maior taxa de crescimento a 28°C, tendo o crescimento aumentado com o aumento da temperatura até os 28°C, isto porque segundo Araújo *et al.* (2014), a variante verde é mais resistente a mudanças ambientais em relação a variante castanha (usada no presente estudo) que é muito sensível.

A praia da Costa do Sol é uma praia sob forte influência humana, aumentando assim a geração de resíduos e efluentes domésticos. Moçambique dispõe apenas de uma Estação de tratamento de águas residuais (ETAR Maputo), porém, grande parte das águas residuais não chega a ETAR, entra em fossas sépticas e latrinas ou chega à Baía de Maputo através dos rios Mulaúze/Infulene, Matola, Umbelúzi, Tembe e Rio Maputo, que desaguam na Baía de Maputo e/ou é conduzida através de vários pontos de drenagem à praia da Costa do Sol (Louro and Pereira, 2004; Scarlet and Bandeira, 2014; Siteo e Pinto Mina, 2019). Por isso, a água da Costa do Sol possui concentrações relativamente maiores de nutrientes, o que pode ter contribuído para as maiores taxas de crescimento observadas nas macroalgas cultivadas na água da Costa do Sol. A concentração de nutrientes tem um efeito directo na taxa de crescimento das macroalgas (Razzak, 2025).

A temperatura é um regulador crítico das taxas metabólicas das macroalgas em todos os estágios do seu desenvolvimento, influenciando por isso a taxa de crescimento (Mandal *et al.*, 2015; Ding *et al.*, 2025). A taxa de crescimento nos dá o aumento da biomassa e uma percepção crítica de variações dos parâmetros ambientais como a temperatura, intensidade da luz e disponibilidade de nutrientes (Xiao *et al.*, 2019; Anita *et al.*, 2024).

Foi observado um ligeiro clareamento nas macroalgas cultivadas a 20°C e a 28°C, já as macroalgas cultivadas na água da Costa do Sol a 28°C tiveram branqueamento parcial do talo. Li *et al.* (2016) relatam um rápido aumento de espécies reactivas de oxigênio (ROS) como o Peróxido de Hidrogénio H₂O₂ em macroalgas submetidas a 20°C. O aumento na produção de ROS é uma resposta comum a stressores ambientais como mudanças de temperatura e ressecamento (Sugumaran *et al.*, 2022; Taenzer *et al.*, 2024), o que sugere que a 20°C as macroalgas sofreram stress devido a baixa temperatura. Azizi *et al.* (2018), que avaliou a tolerância de tecidos de *K. alvarezzi* ao stress de temperatura de crescimento observou que macroalgas cultivadas à 25°C apresentaram melhor tolerância ao stress e não tiveram alteração na pigmentação, convergindo com os resultados do presente estudo. A alteração na pigmentação é um indicador de distúrbios metabólicos associados a stresses ambientais como a temperatura (Kumar *et al.*, 2020).

Embora a temperatura de 28°C esteja dentro da faixa de temperatura considerada óptima, a água da Costa do Sol pode conter substâncias tóxicas por conta das constantes descargas de águas municipais e efluentes industriais que ocorrem em diferentes pontos da praia (Scarlet e Bandeira, 2014), o que pode ter contribuído para a despigmentação das macroalgas cultivadas na água da Costa do Sol a esta temperatura.

A temperatura influenciou na concentração de pigmentos das macroalgas. Li *et al.* (2016), relatam redução da proteína D1 à 20°C e temperaturas abaixo desta. A proteína D1 é extremamente necessária para a montagem do complexo fotossistema 2 (PSII) activo, que pode ser danificada pelo stress ambiental, uma vez danificada a proteína D1, o PSII não é capaz de funcionar, o que afecta a capacidade de fotossíntese das macroalgas, o que deve ter contribuído para as baixas concentrações de carotenóides e ficoeritrina obtidas à 20°C no presente estudo. E a realocação de recursos para a produção de substâncias de protecção e reparação como as ROS, levam à taxas fotossintéticas mais baixas (Kumar *et al.*, 2020).

Segundo Eggert (2012), processos específicos como a produção de pigmentos não seguem necessariamente o mesmo padrão temperatura-crescimento isso porque o que crescimento é o reflexo dos efeitos da temperatura no metabolismo total das macroalgas. Chaloub *et al.* (2015), que avaliou o efeito combinado da Temperatura e da irradiância na concentração de ficoeritrina na microalga vermelha *Rhodomonas sp.* teve resultados semelhantes, maiores concentrações de ficoeritrina nas algas cultivadas a 26°C, em relação as cultivadas a 20°C para todos os tratamentos, sugerindo, que temperaturas mais altas (até 28°C) estimulam a produção de ficoeritrina, no entanto, temperaturas acima de 28°C inibem a produção de ficoeritrina, tal como aconteceu no estudo de Kumar *et al.* (2020). O aumento da temperatura resulta em aumento da intensidade da fotossíntese, o que faz com que a quantidade de pigmentos fotossintéticos aumente (Shykhaleyeva *et al.*, 2024). No entanto, a produção de pigmentos se beneficia do aumento da temperatura até um certo limite de tolerância das macroalgas à temperatura (Chaloub *et al.*, 2015).

Outro factor limitante à produção de pigmentos neste estudo foi o uso do ciclo de luz contínua que, segundo Chaloub *et al.* (2015), embora a produção de pigmentos no ciclo de luz contínuo não defira muito da produção no ciclo claro:escuro de 12;12h, são produzidas menores quantidades de pigmentos no ciclo contínuo de luz.

O papel da ficoeritrina, em conjunto com as outras ficobiliproteínas (aloficocianina e ficocianina) é auxiliar na captura de energia luminosa e transferi-la para que seja usada pela clorofila-*a* durante o processo de fotossíntese (Cokrowati *et al.*, 2024). As ficobiliproteínas são os principais colectores de luz nas algas vermelhas (Baweja *et al.*, 2016).

Uma das principais funções dos carotenóides é a protecção do aparelho fotossintético contra danos em condições de stress (Sandmann, 2019). Os carotenóides são sintetizados como antioxidantes para proteger especialmente contra ROS geradas por raios UV.

Por conta da grande influência da actividade humana na praia da Costa do Sol, a água deste local contém maiores concentrações de nutrientes e por isso maior abundância da comunidade de microalgas bentónicas em relação a Ilha de Inhaca (Scarlet e Bandeira, 2014), as microalgas competem por luz na água (Wu *et al.*, 2025), o que explica as menores taxas fotossintéticas na água da Costa do Sol.

A concentração de oxigénio dissolvido na água foi mais baixa à 28°C, sugerindo redução da dissolução de oxigénio na água com o aumento da temperatura, porque segundo Prema (2024), quando a temperatura aumenta, aumentam também as taxas de reacções químicas na água e nas macroalgas, há redução da solubilidade do oxigénio atmosférico na água. E há aumento da taxa de respiração (Araujo *et al.*, 2014).

Em temperaturas mais baixas, a solubilidade de substâncias na água como o CO₂ libertado na respiração celular das macroalgas aumenta (Prema, 2024), o que reduz o pH da água e explica as menores concentrações de pH a 20°C.

A Ilha de Inhaca não possui cursos de água doce, por isso a água da Ilha de Inhaca apresenta salinidade maior em relação a água da praia da Costa do Sol que tem influência de rios e de descargas municipais (Scarlet e Bandeira, 2014; Pereira e Nascimento, 2016).

O presente estudo converge na maioria dos parâmetros observados com estudos anteriores com *Kappaphycus alvarezii* em laboratório, confirmando a influência da temperatura no crescimento e nas respostas fisiológicas da espécie, apesar de algumas variações entre estudos.

6. CONCLUSÃO

A *Kappaphycus alvarezii* teve as maiores taxas de crescimento à 20°C, em relação as temperaturas de 25°C e 28°C. E teve as maiores taxas de crescimento na água da Costa do Sol em relação a água da Ilha de Inhaca, mostrando que temperaturas mais baixas são favoráveis ao crescimento da *Kappaphycus alvarezii*.

As macroalgas cultivadas à 25°C apresentaram menos alterações e melhor qualidade no final do experimento. À 28°C, a *K.alvarezii* cultivada na água da Costa do Sol apresentou branqueamento parcial do talo primário,. A água da Costa do Sol pode comprometer a qualidade da *K. alvarezii*, principalmente a temperaturas mais altas (28°C), onde a actividade metabólica aumenta.

A produção de pigmentos fotossintéticos (carotenóides e ficoeritrina) nas macroalgas aumenta com o aumento da temperatura e a água da Ilha de Inhaca favorece a produção de pigmentos fotossintéticos.

Os parâmetros físico-químicos da água foram afectados pela temperatura e pela fonte da água. Os aquários das macroalgas cultivadas a 20°C e 25°C tiveram concentrações semelhantes de oxigénio dissolvido e as cultivadas à 28°C tiveram menores concentrações de Oxigénio dissolvido na água. O pH foi maior à 25°C e menor à 20°C. A salinidade não foi afectada pela temperatura. A água da Ilha de inhaca apresentou as maiores concentrações de oxigénio dissolvido, pH e salinidade.

7. LIMITAÇÕES E CONSTRANGIMENTOS

A falta de um sistema para o controle da temperatura nos aquários (ou de mais salas para fazer os ensaios em simultâneo) acabou prolongando o tempo do experimento e dificultando as análises laboratoriais.

A indisponibilidade de um homogeneizador e centrífuga com controle de temperatura comprometeu os extratos de alguns pigmentos fotossintéticos como a Aloficocianina e Ficocianina, pelo que não foi possível apresentar estes resultados.

A falta de acesso ao laboratório em determinados dias de semana e horários para controle do fotoperíodo e medições causou a ausência de alguns dados dos parâmetros físico-químicos da água.

8. RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se que:

Se façam estudos similares por mais de 15 dias de modo a perceber o que aconteceria com as macroalgas a longo prazo nas diferentes temperaturas;

Próximos estudos de cultivo de macroalgas em laboratório sejam conduzidos em simultâneo, de modo a não ter diferenças nas concentrações dos parâmetros ambientais e bioquímicos no início.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Anita, D., W. Kantun, I. Lapong (2024). Correlation of Water Quality Parameters on Growth Performance of Seaweed (*Kappaphycus alvarezii* Doty, 1986) Cultivated with Diagonal Method. *Asian Journal of Fisheries and Aquatic Research*, Volume 26, Issue 4, 1-11.
2. Araújo, P. G. (2013). Avaliação do Potencial invasor de *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta, Gigartinales) no litoral da Paraíba, Brasil. Tese de Pós-Graduação. 108pp, Recife, Universidade Federal de Pernambuco.
3. Araújo, P. G., A. L. N. L. Ribeiro, N. S. Yokoya, M. T. Fujii (2014). Temperature and salinity responses of drifting specimens of *Kappaphycus alvarezii* (Gigartinales, Rhodophyta) farmed on the Brazilian tropical coast. *Journal of Applied Phycology*, 26: 1979–1988.
4. Aris, M. and R. Labenua (2020). Evaluation of Land Sustainability of *Kappaphycus alvarezii* Cultivation in the Dry and Rainy Season. *Earth and Environmental Science*, 584 012025.
5. Aris, M., M. Fatma and L., Rusmawati (2021). Study of Seaweed *Kappaphycus alvarezii* Explants Growth in the Different Salinity Concentrations. *Scientific Journal of Fisheries and Marine*. 13 (1): 97-105.
6. Asni, A., and Najamuddin (2020). Pb Heavy Distribution Patterns on Seaweed (*Kappaphycus alvarezii*) Cultivation Locations by Season in Bantaeng Waters, South Sulawesi. IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science*, 564. 012037.
7. ATT Bioquest (2024). Quest Calculate™ Phosphate Buffer (pH 5.8 to 7.4) Preparation and Recipe [<https://www.aatbio.com/resources/buffer-preparations-and-recipes/phosphate-buffer-ph-5-8-to-7-4>] (Julho, 2024). Consultado a 15 de Julho de 2024.
8. Balasundaram, H., P. Seethapathy, S. Sankaralingam, S. Mahendra, M. Mareeswaran, J. Pandiarajan, P. Maheswari, S. Venkatesh, M. Arunkumar, G. R. Psthade, D. Pandit, A. Pandita, F. Ullah, H. O. Elansary, M. Nazim, A. A. Fackak, M. A. Rashwan & I. M. Moussa (2025). Isolation, Characterization, and Biomedical Potential of Phycoerythrin Phycobiliprotein from *Kappaphycus alvarezii* (Doty) L. M. Liao: Antimicrobial, Antioxidant, and Anticancer Activities. *Nature Portfolio*. 15:27904.

9. Buschmann, A. H., C. Camus, J. Infante, A. Neori, A. Israel, M. C. Hernández-González, S. V. Pereda, J. L. Gomez-Pinchetti, A. Golberg, N. Tadmor-Shalev & A. T. Critchley (2017). Seaweed Production: Overview of the Global State of Exploitation, Farming and Emerging Research Activity. *European Journal of Phycology*, 52:4, 391-406.
10. Bhushan, S., V. Veeragurunathan, M. G. Kavale, S. Jaiswar & V. A. Mantri (2023). Regulatory Ecosystem Services Through Large-Scale Commercial Farming of *Kappaphycus alvarezii*: Pan-India Potential Estimates. *Journal of Applied Phycology*, Volume 35, pages 1945-1956.
11. Cabrera, R., S. Umanzor, J. Diaz-Larrea, P. G. Araújo (2019). *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta): New Record of an Exotic Species for the Caribbean Coast of Costa Rica. *American Journal of Plant Sciences*, 10, 1888-1902.
12. Campbell, R. and S. Hotchkiss (2017). Carrageenan Industry Market Overview. In: Hurtado, A. T. Critchley, I. C. Neish. Tropical Seaweed Farming Trends, Problems and Opportunities. *Developments in Applied Phycology*, vol. 2, 193-205.
13. Cesário M. T., M. M. R. da Fonseca, M. M. Marques and de Almeida M. C. M. D. (2018). Marine Algal Carbohydrates as Carbon Sources for the Production of Biochemicals and Biomaterials. *Biotechnology Advances* 36: 798–817.
14. Chaloub, R. M., N. M. S. Motta, S. P de Araújo, P. F. de Aguiar & A. F. da Silva (2015). Combined Effects of Irradiance, Temperature and Nitrate Concentration on Phycoerythrin Content in the Microalga *Rhodomonas* sp. (Cryptophyceae). *Algal Research*. Volume 8, pp 89-94.
15. Couteau, C., L. Coiffard (2016). Seaweed Application in Cosmetics. In: Levine, I. and J. Fleurence (editors). *Seaweed in Health and Disease Prevention*. Capítulo 14, pp. 423-441. Academic Press.
16. Dawes, C. J., A. O. Lluisma, G. C. Trono (1994). Laboratory and field growth studies of commercial strains of *Euclima denticulatum* and *Kappaphycus alvarezii* in the Philippines. *Journal of Applied Phycology* 6: 21–24.
17. De Boer, W. F., C. P. Ntumi, A. U. Correia and J. M. Mafuca (2001). Diet and Distribution of Elephant Reserve, Mozambique. *African Journal of Ecology*, 38 (3), 188-201pp.

18. Eggertsen, M. and Halling, C. (2021). Knowledge Gaps and Management Recommendations for Future Paths of Sustainability Seaweed Farming in the Western Indian Ocean. *AMBIO A Journal of the Human Environment* 50 (1).
19. Fadilah, S., P. R. Pong-Masak, J. Santoso and A. Parenrengi (2016). Growth, Morphology and Growth Related Hormone Level in *Kappaphycus alvarezii* Produced by Mass Selection in Gorontalo Waters, Indonesia. *HAYATI Journal of Biosciences*, 23 (1), 29-34.
20. FAO (2022). The State of World Fisheries and Aquaculture. Towards Blue Transformation. Rome, FAO.
21. Fard, S.M., F. T. Shamsabadi, M. Emadi, G. Y. Meng, K. Muhammad, S. Mohamed, S. (2011). Ethanolic extract of *Eucheuma cottonii* promotes in vivo hair growth and wound healing. *Journal of Animal and Veterinary Advances* /10, 601–605.
22. Fernando, S. M. C. and S. O. Bandeira (2009). Litter Fall and Decomposition of Mangrove Species *Avicennia marina* and *Rhizophora mucronata* in Maputo Bay, Maputo Bay, Mozambique. *Western Indian Ocean Journal of Marine Science*, Vol. 8, No 2, 173-182pp.
23. Ferreira, A. B. G. (2020). Macroalgas Marinhas: Conhecimentos Tradicionais e Serviços Ecosistêmicos. Tese de Pós-graduação. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 67pp.
24. Gelli, V. C. (2019). Desenvolvimento Ordenado e Potencial da Produção da Macroalga *Kappaphycus alvarezii* no Estado de São Paulo Para a Extração de Biofertilizante. Tese de Doutorado. 111. Campinas, Universidade Estadual de Campinas.
25. Gou, H., J. Yao, Z. Sun and D. Duan (2015). Effect of Temperature, Irradiance on the Growth of the green alga *Caulerpa lentillifera* (Bryopsidophyceae, Chlorophyta). *Journal of Applied Phycology*. 27:879–885.
26. Hach Company (2017). Phosphorus, Reactive (Orthophosphate). Edition 10.
27. Hardiana, A, N. Nurdin, S. S. Adhawati (2024). Socio and Spacial Economic of *Kappaphycus alvarezii* in South Sulawesi, Indonesia. *Egyptian Journal of Aquatic Biology & Fisheries*, Vol. 28(5): 611 – 625.

28. Harley C. D. G., K. M. Anderson, K. W. Demes, J. P. Jorve, R. L. Kordas, T. A. Coyle and M. H. Graham (2012). Effects of climate change on global seaweed communities. *Journal of Phycology* 48:1064–1078pp.
29. Hendri, M., Rozirwan, R. Apri and Y. Handayani (2018). Intesification of seaweed cultivation *Eucheuma cottonii* with Verticulture Method in the Water of Kelagian Island, Lampung Bay. *International Journal of Marine Science* 8 (14): 114-26.
30. Jenkins, P. (2000). City Profile: Maputo. In: Zhao (editor). Cities. *The International Journal of Urban Policy and Planning*, Vol. 17, 3rd edition, 207-218pp. Elsevier.
31. Kumar, Y. N., S. W. Poong, C. Gachon, J. Brodie, A. Sade, P. E. Lim (2020). Impact of elevated temperature on the physiological and biochemical responses of *Kappaphycus alvarezii* (Rhodophyta). *PLoS ONE* 15(9): e0239097.
32. Largo, D. B., I. K. Chung, S. M. Phang, G. S. Gerung, C. F. A. Sondak (2017). Impacts of Climate Change on *Eucheuma-Kappaphycus* Farming. In: Hurtado, A., A. Critchley, I. Neish (editors). Tropical Seaweed Farming Trends, Problems and Opportunities. *Developments in Applied Phycology*, vol 9, pp. 121-129. Springer, Cham.
33. Layek, J., A. Das, R. G. Idapuganti and K. Trivedi (2015). Seaweed Sap: A Sustainable Way to Improve Productivity of Maize in North-East India. *International Journal of Environmental Studies*, 72(2).
34. Li, Y., J. Liu, L. Zhang, T., Pang and R. Qin (2019). Effects of Temperature on the Photosynthetic Performance in Mature Thalli of the Red Alga *Gelidium amansii* (Gelidiaceae). *Aquaculture*. Volume 512.
35. Limaco, I. A. (2018). Tolerância de *Kappaphycus alvarezii* frente a variações de salinidade, luz e temperatura em laboratório. Tese de Licenciatura. 39pp, Florianópolis, Universidade Federal de Santa Catarina.
36. Louro, C. M. M. & M. A. M. Pereira (2004). Avaliação preliminar da poluição microbiológica na Baía de Maputo. Relatório de Investigação No 1: 9 pp. Maputo, Centro Terra Viva.
37. Msuya, F. E., A. Buriyo, I. Omar, B. Pascal, K. Narrain, J. J. M. Ravina, E. Mrabu, J. G. Wakibia (2014). Cultivation and utilisation of red seaweeds in the Western Indian Ocean (WIO) Region. *Journal of Applied Phycology* 26:699–70.

38. Neish, I.C. (2008). The *Eucheuma* seaplant handbook, Volume 1: Agronomics, biology and crop systems. Seaplant.net Foundation. Makassar. Technical Monograph N° 0505 – 10A
39. Nhaca, A. A. (2025). Avaliação do Potencial de Cultivo das Macroalgas *Eucheuma denticulatum* e *Kappaphycus alvarezii*, Usando Sistema de Balsas flutuantes, na Ilha de Inhaca. Tese de Mestrado. 88pp. Maputo, Universidade Eduardo Mondlane.
40. Nhambe, L. F. (2005). Produção, Expansão Temporal e Impactos Económicos e Sociais do Cultivo das Macroalgas Económicas *Eucheuma denticulatum* e *Kappaphycus alvarezii* na Província de Cabo Delgado. Tese de Licenciatura. 95pp. Maputo, Universidade Eduardo Mondlane.
41. Nunes, A., G. Z. Azevedo, F. S. Dutra, B. R. Santos, A. R. Schneider, E. R. Oliveira, S. Moura, F. Vianello, M. Maraschin, G. P. P. Lima (2024). Uses and Applications of the Red Seaweed *Kappaphycus alvarezii*: A Systematic Review. *Journal of Applied Phycology* 36: 3409–3450.
42. Oedjoe, M. D., F. Rebhung & Sunadji (2019). Seaweed (*Kappaphycus Alvarezii*) as Potential Commodity in Added Value Development for The Prosperity of Sumba Timur Regency Communities, Nusa Tenggara Timur Province. *JIPK*, 11(1): 62-69.
43. Oedjoe, M. D. R., W. L. Turupadang, A. L. Kangkan, K. G. Sine (2022 a). Effect of The Temperature and salinity variations on Growth and Carraggenan content *Kappaphycus alvarezii* in Akle Waters, Kupang Regency, East Nusa Tenggara, Indonesia.
44. Oedjoe, M. D. R., A. L. KangKan, W. L. Turupadang, A. Y. H. Lukas, F. C. Liufeto (2022 b). Seaweed (*Kappaphycus alvarezii*) condition exposed to temperature change in Sulamu waters, Kupang Regency, East Nusa Tenggara, Indonesia. *Journal of Positive School Psychology*, Vol. 6, No. 2, 407 – 418pp.
45. Padgett, M. P. and D. W. Krogmann (1987). Large scale preparation of pure phycobiliproteins. *Photosynth Res*; 11: 225–235.
46. Pereira I. J J. F e F. R. Nascimento (2016). Evaluation of Natural Resources in the Inhaca Island (Indian Ocean, Mozambique): First Approach. *Bol. Goia. Geogr. (Online)*. 36 (2): 307-325 pp.
47. Pereira, L. (2021). Macroalgae. *Encyclopedia*, 1, 177-188.

48. Prema, D. (2024). Relevance of Seawater and Sediment Quality Assessment. In: Padua *et al.*, (editors) *Water and Sediment Analytical Techniques with Special Reference to Marine Life*. Central Marine Fisheries Research Institute, pp 11-18.
49. Rameshkumar, S. and R. Rajaram (2019). Impact of Seaweed Farming on Socio-Economic Development of a Fishing Community in Palk Bay, Southeast Coast of India. In: Ramkumar, M., R. A. James, K. Kumaraswamy (editors), *Coastal Zone Management: Global Perspectives, Regional Processes, Local issues*, 501-513pp.
50. Rovissone, M. J. (2019). Análises Quantitativas da Composição Nutricional (Polissacarídeos, Lípidos totais e Minerais) em Macroalgas Marinhas, mais Abundantes na Ilha de Inhaca, Província de Maputo, Moçambique. Tese de Licenciatura. Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras, 52pp.
51. Sandmann, G. (2019) Antioxidant Protection from UV and Light-Stress Related to Carotenoid Structures. *Antioxidants* 8 (7), 219.
52. Scarlet, M. P. & S. Bandeira (2014). Pollution in Maputo Bay. In: Bandeira, S. & J. Paula (editors). *The Maputo Bay Ecosystem*. Pp 347-371. Zanzibar Town, WIOMSA.
53. Siteo, P. R., I. M. C. A. Pinto Mina (2019). Gestão de Efluentes Municipais da ETAR da Cidade de Maputo e Arredores: Situação Actual, Impactos e Desafios. *Scientific Journal of Mathematics, Natural and Applied Science* 3 (1): 22-29pp.
54. Strckland, J. D. H. and T. R. Parsons (1972). *A Practical Handbook of Seawater Analysis*. Second Edition, 328pp. Canada, Fisheries Research Board of Canada.
55. Sugumaran, R., B. S. Padam, W. T. L. Yong, S. Saallah, K. Ahmed, N. A. Yusof (2022). A Retrospective Review of Global Commercial Seaweed Production- Current Challenges, Biosecurity and Mitigation Measures and Prospects. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19, 7087. 31pp.
56. Syamsuddin, R. (2023). Seaweed *Kappaphycus alvarezii* Cultivation for Seagrass Ecosystem Conservation. *Marine Ecosystems – Biodiversity, Ecosystem Services and Human Impacts*.
57. Taenzer, L., G. Toth and C. M. Hansel (2024). Assessment of Hydrogen Peroxid as bioindicator of stress in seaweed aquaculture. *Scientific Reports*, 14: 1956.
58. Tan, J., P. Lim, S. Pang and A. Q. Hurtado (2017). Biodiversity, Biogeography and Molecular Genetics of the Commercially Important Genera *Kappaphycus* and

- Eucheuma. In: Hurtado, A. T. Critchley, I. C. Neish. Tropical Seaweed Farming Trends, Problems and Opportunities. *Developments in Applied Phycology*, vol. 2, 29-43.
59. Ullah, M. R., M. Akhter, A. B. S. Khan, M. M. Hassan, A. Bosu, F. Yasmin, M. A. Haque, M. A. Islam, Y. Mahmud (2023). Seaweed: a Prominent Source of Protein and Other Nutrients. *Sustainable Aquatic Research*, 2(2):145-166.
60. Veenhof, R. J., M. T. Burrows, A. D. Hughes, K. Michalek, M. E. Ross, A. I. Thomson, J. Fedenko, M. S. Stanley (2024). Sustainable Seaweed Aquaculture and Climate Change in the North Atlantic: Challenges and Opportunities. *Marine science*.
61. Verma, D. K., N. K. Marurya, S. Singh, P. Kumar, P. Jayaswa (2022). Important Water Quality Parameters in Aquaculture: An Overview. *Agriculture and Environment E-NEWSLETTER*, Volume 3- Issue 3.
62. Wu, H., Y. You, L. Xue and B. Hao (2025). Algal Coexistence Created Jointly by Neutral Competitor and Asymmetrical Competitors in Shallow Aquatic Ecosystems. *Ecological Indicators*. Volume 173, 113447.
63. Zacarias O. P. e M. Andersson (2010). Mapping Malaria Incidence Distribution that Accounts for Environmental Factors in Maputo Province-Mozambique. *Malaria Journal*, 9 (1), 79pp.
64. Zhang, L., W. Liao, Y. Huang, Y. Wen, Y. Chu and C. Zhao (2022). Global Seaweed Farming and processing in the past 20 years. *Food Production Processing and Nutrition*, 4: 23, 30pp.

10. ANEXOS

1. Temperatura

Uma vez que a temperatura foi manipulada com recurso a um ar condicionado, seguem em anexo, os gráficos de variação da temperatura da água em relação à temperatura ambiente (Figura 17).

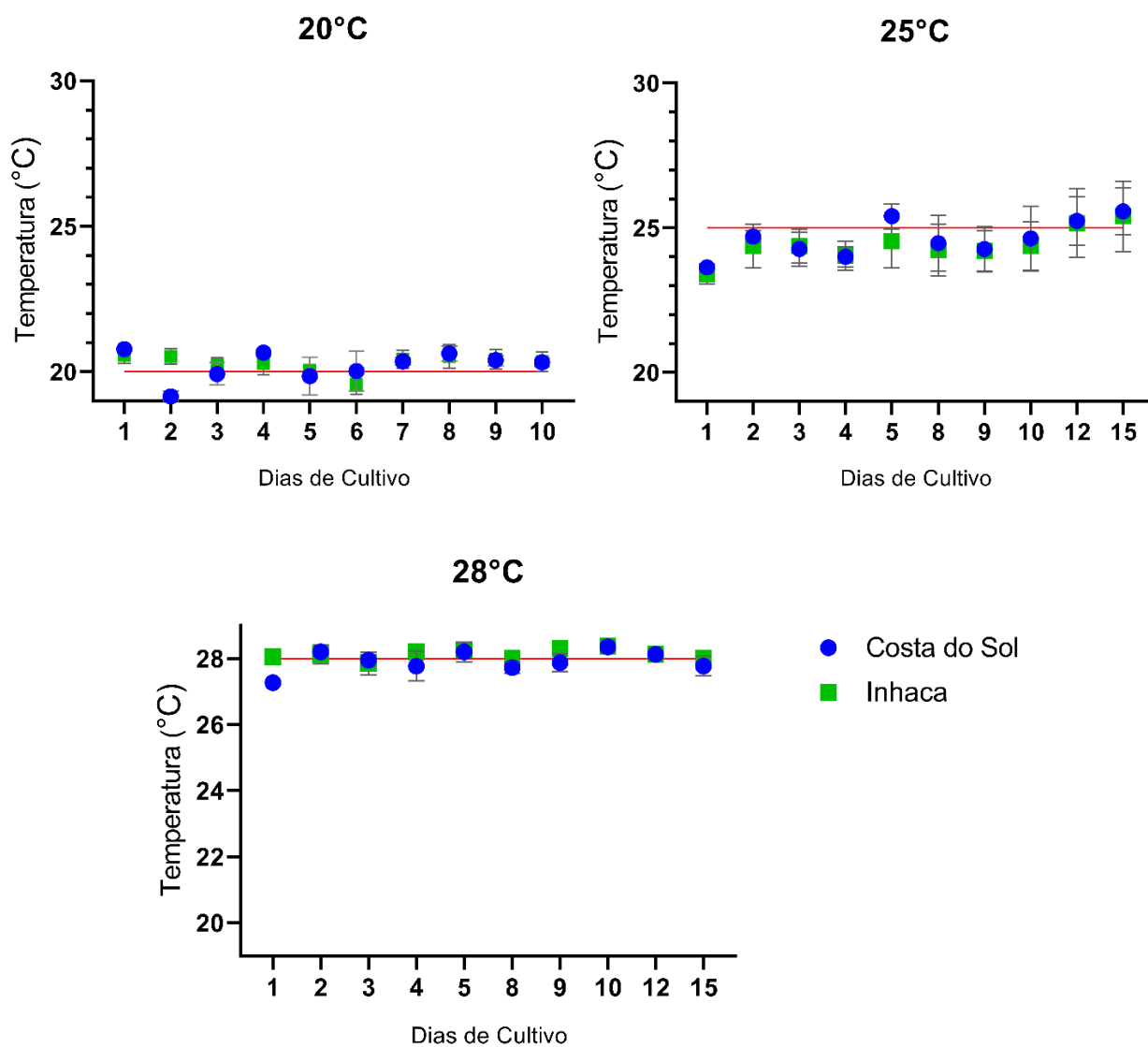


Figura 17. Oscilação da temperatura ao longo dos 15 dias de cultivo da *Kappaphycus alvarezii* em laboratório na água da Costa do Sol e na água da Inhaca. As linhas vermelhas representam a temperatura ambiente e os pontos representam a temperatura da água.



2. Parâmetros ambientais medidos durante a amostragem









Tabela 4. Parâmetros ambientais medidos no campo durante a amostragem dos três ciclos de cultivo.









Mês de amostragem	Agosto		Setembro		Outubro	
	C. do Sol	Inhaca	C. do Sol	Inhaca	C. do Sol	Inhaca
Parâmetros						
Temperatura (°C)	23.5	24.7	23.7	24.9	24.1	25.7
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	5.3	9.1	6.2	9.2	6.4	8.7
pH	7.7	8.2	7.9	8.1	8	8.2
Salinidade (ppt)	35	35	36	37	36	38
Nitratos (mg/L)	0.06	0.05	0.06	0.05	0.06	0.05
Fosfatos (mg/L)	0.32	0.29	0.3	0.29	0.28	0.28











3. Macroalgas




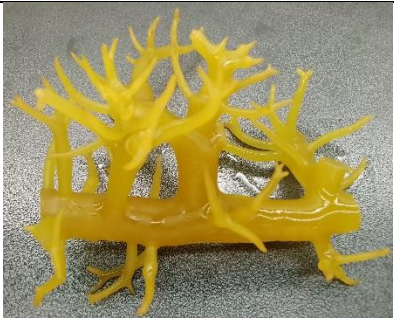




Tabela 4. Estado da *Kappaphycus alvarezii* no início de experimento (tempo zero) e ao fim de 15 dias (fim do cultivo em laboratório), cultivada na água da costado sol e da Ilha de Inhaca sob diferentes temperaturas.

		20°C	
Local		Tempo zero (T ₀)	Tempo final (15 dias)
C. do Sol			

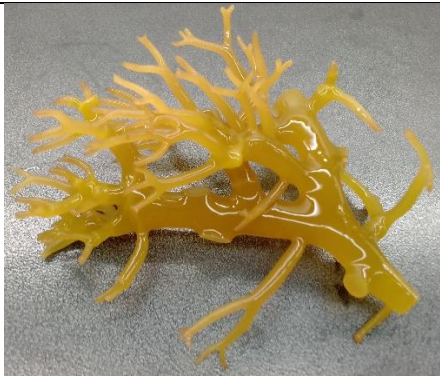
		
		
		
<p>Inhaca</p>		

		
		
		
	25°C	
Costa do Sol		

				
				
Inhaca				
				
				
				

	28°C	
C. do Sol		
		
		
		

Inhaca



4. Testes estatísticos

Tabela 5. Comparação da Taxa de Crescimento Específico entre as diferentes temperaturas e entre os dois locais de coleta de água usando o Teste ANOVA de dois factores.

	Soma do	Graus de	Estatística	
	Quadrados	Liberdade	F	P-Valor
Temperatura	1.231	2	13.332	0.0004
Local	0.421	1	9.127	0.0081
Interação	0.203	2	2.198	0.1434
Erro	0.739	16		

Tabela 6. Comparações múltiplas das diferenças da Taxa de Crescimento Específico entre as três temperaturas (20°C, 25°C e 28°C).

Comparações Múltiplas	Diferença	Erro Padrão	P-valor
temperatura20 - temperatura25	0.473	0.116	0.002
temperatura20 - temperatura28	0.515	0.107	0.001
temperatura25 - temperatura28	0.042	0.116	0.932

Tabela 7. Testes diagnósticos para a observância dos pressupostos do modelo ANOVA, (Teste de Shapiro Wilk (teste de normalidade dos resíduos), Teste de Levene (teste de homogeneidade das variâncias), Durbin Watson (teste de autocorrelação dos resíduos) e Outlier test) para a Taxa de Crescimento Específico.

Teste de Normalidade (Shapiro-Wilk)			
data: residuals(model)			
W = 0.97211, p-value = 0.7593			
Teste de Homogeneidade das Variâncias (Levene's Test) (center = median)			
	Df	F value	Pr(>F)
group	5	2.5101	0.07346
	16		
Teste de Autocorrelação dos Resíduos			
lag	Autocorrelation	D-W Statistic	p-value
1	-0.03103106	2.030408	0.274
Alternative hypothesis: rho != 0			
Outlier test (Grubbs test)			
data: residuals(model)			
G.2 = 2.12863, U = 0.77396, p-value = 0.2787			
alternative hypothesis: highest value 0.3992 is an outlier			

Tabela 8. Comparação do Crescimento Absoluto entre as diferentes temperaturas e entre os dois locais de coleta de água usando o Teste ANOVA de dois factores.

	Soma do	Graus de	Estatística	
	Quadrados	Liberdade	F	P-Valor
Temperatura	61.750	2	13.497	0.0004
Local	21.480	1	9.392	0.0074
Interacao	10.470	2	2.288	0.1337
Erro	36.600	16		

Tabela 9. Comparações múltiplas das diferenças da Taxa de Crescimento Específico entre as três temperaturas (20°C, 25°C e 28°C).

Comparações Múltiplas	Diferença	Erro Padrão	P-valor
temperatura20 - temperatura25	-3.330	0.817	0.002
temperatura20 - temperatura28	-3.618	0.756	0.001
temperatura25 - temperatura28	-0.288	0.817	0.934

Tabela 10. Testes diagnósticos para a observância dos pressupostos do modelo ANOVA, (Teste de Shapiro Wilk (teste de normalidade dos resíduos), Teste de Levene (teste de homogeneidade das variâncias), Durbin Watson (teste de autocorrelação dos resíduos) e Outlier test) para o Crescimento Absoluto.

Teste de Normalidade (Shapiro-Wilk)

data: residuals(model)

W = 0.97662, p-value = 0.8558

Teste de Homogeneidade das Variâncias (Levene's Test) (center = median)

	Df	F value	Pr(>F)
group	5	2.7808	0.05413
	16		

Teste de Autocorrelação dos Resíduos

lag Autocorrelation D-W Statistic p-value

1 -0.1403813 1.690082 0.048

Alternative hypothesis: rho != 0

Outlier test (Grubbs test)

data: residuals(model)

G.6 = 2.1266, U = 0.7744, p-value = 0.2805

alternative hypothesis: highest value 2.8075 is an outlier