



Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras

Monografia para Obtenção do Grau de Licenciatura em Biologia Marinha

Redistribuição espacial de camarão de profundidade (*Haliporoides triarthrus* e *Aristaeomorpha foliacea*) face aos efeitos das alterações climáticas ao longo da Zona Económica Exclusiva de Moçambique (2019-2024)

Autora:

Emmyllen Kashiwa Burine



Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras

Monografia para Obtenção do Grau de Licenciatura em Biologia Marinha

Redistribuição espacial de camarão de profundidade (*Haliporoides triarthrus* e *Aristaeomorpha foliacea*) face aos efeitos das alterações climáticas ao longo da Zona Económica Exclusiva de Moçambique (2019-2024)

Autora:

Emmyllen Kashiwa Burine

Supervisor:

Doutor. Anildo Naftal

Co-supervisor:

MSc. Osvaldo Filipe

Avaliadora:

MSc. Halaze Manhice

Presidente de Júri:

Lic. Paula Milice

Quelimane, Setembro de 2025

Dedicatória

Dedico este trabalho as pessoas extraordinárias que iluminam minha jornada que são os meus pais Silvestre Elias e Lígia Pedro Malate que com seu amor e dedicação, estiveram e estão sempre presentes, fornecendo o suporte emocional que me impulsiona a enfrentar desafios e a seguir em frente.

Agradecimentos

Com o coração cheio de emoção, concluo esta etapa da minha vida reconhecendo e agradecendo a cada pessoa que, de alguma forma, contribuiu para que este trabalho fosse possível.

Em primeiro lugar a Deus, meu refúgio e fonte de força, por me sustentar nos momentos difíceis, por cada livramento, pela sabedoria concedida ao longo desta caminhada, pelas promessas feitas e cumpridas, tudo que tenho devo a ele.

À minha família, meu alicerce e razão da minha luta:

Minha avó Antonieta e meus Pais por todo o amor, carinho, afeto e pelas orações que me acompanharam mesmo à distância.

Às minhas irmãs que meus pais e tios me deram, Khetiwe, Ciana, Anagita, Stela, Muaziza, Sheron, Felicidade, Recelia, Nisda minhas amigas, conselheiras e companheiras.

Aos meus tios em especial: Leovigildo, Dercio e minha madrinha Idília por todo o carinho, apoio e incentivo constantes.

Meus amigos que mesmo de longe sempre mantiveram o amor cuidado e carinho: Aida, Edna, Erica e Nehms.

Ao meu orientador, Professor Anildo Naftal e co-orientador Osvaldo por sua paciência, disponibilidade, dedicação e por ser uma peça-chave na realização deste trabalho.

Aos amigos que a vida universitária me deu Belson, Naima, Manuela, Carmen, Helena, Vidênia, Deinise obrigada pelas conversas sinceras, pelas risadas nos dias difíceis e por tornarem essa caminhada mais leve.

E sem esquecer dos meus mazas que fizeram diferença na minha vida e se tornaram mais que apenas masas e sim amigos Ivaldo, João Pedro, Amilton pelos conselhos incentivos e palavras de apoio. Aos meus caloiros que me tornaram alguém mais feliz especialmente aos biólogos de 2022 e 2023.

Sem esquecer da minhas host family Família Titos Burine e família Silvínio pela hospitalidade e amor.

Aos docentes, pelo conhecimento transmitido, pelas palavras de incentivo e pelas contribuições significativas ao meu crescimento acadêmico e pessoal em especial ao Mauro Uqueio, Joana José, Sara Tembe, Helder Machaieie, Banito Magestade e Noca Furaca.

Declaração de Honra

Eu, Emmyllen Kashiwa Burine, declaro por minha honra que esta monografia é resultado do meu próprio trabalho e está a ser submetida para a obtenção do grau de Licenciatura na Universidade Eduardo Mondlane, ESCMC - Quelimane. Este nunca foi antes submetido para obtenção de nenhum grau académico e muito menos para avaliação em nenhuma outra Universidade.

Quelimane, Setembro de 2025

A autora



(Emmyllen Kashiwa Burine)

Resumo

Este trabalho apresenta uma análise da ecologia, distribuição espacial dos camarões de profundidade *Haliporoides triarthrus* e *Aristaeomorpha foliacea* na Zona Económica Exclusiva de Moçambique. Essas espécies possuem elevado valor económico e ecológico, desempenhando papel importante na sustentabilidade da pesca de arrasto de profundidade. Para compreender a relação entre a ocorrência e as variáveis ambientais, foram integrados dados biológicos de capturas com informações físico-químicas e climatológicas, permitindo avaliar padrões espaciais e temporais. A modelagem estatística, baseada em Modelos Aditivos Generalizados (GAM), possibilitou estimar a influência de factores ambientais, como temperatura, profundidade, salinidade e velocidade das correntes, sobre a abundância e distribuição dos camarões. Além da análise actual, foram realizadas projecções sob diferentes cenários de mudanças climáticas, utilizando os caminhos socioeconómicos compartilhados (SSPs). No cenário optimista (SSP1-2.6), que pressupõe uma redução significativa nas emissões de gases de efeito estufa, observou-se relativa estabilidade na distribuição potencial das espécies, sugerindo certa resiliência às alterações ambientais. Já no cenário pessimista (SSP5-8.5), marcado por elevadas emissões e aquecimento global acentuado, os resultados indicaram mudanças significativas nos padrões de distribuição, com potencial deslocamento dos habitats favoráveis e riscos de redução das áreas de maior captura. Os resultados reforçam a vulnerabilidade das espécies de profundidade às alterações climáticas e ressaltam a importância da gestão pesqueira adaptativa, capaz de antecipar mudanças na disponibilidade dos recursos. Assim, este estudo contribui para a compreensão dos impactos das alterações climáticas na biodiversidade marinha de Moçambique, oferecendo subsídios para a conservação dos ecossistemas de profundidade e para a sustentabilidade socioeconómica das comunidades que dependem desta actividade.

Palavras-chave: camarões de profundidade; *Haliporoides triarthrus*; *Aristaeomorpha foliacea*; mudanças climáticas; modelagem GAM; Moçambique.

Abstract

This study presents an analysis of the ecology and spatial distribution of the deep-sea shrimps *Haliporoides triarthrus* and *Aristaeomorpha foliacea* in the Exclusive Economic Zone of Mozambique. These species have high economic and ecological value, playing an important role in the sustainability of deep-sea trawl fisheries. To understand the relationship between occurrence and environmental variables, biological catch data were integrated with physico-chemical and climatological information, allowing for the assessment of spatial and temporal patterns. Statistical modelling, based on Generalised Additive Models (GAM), made it possible to estimate the influence of environmental factors such as temperature, depth, salinity and current velocity on the abundance and distribution of the shrimps. In addition to the current analysis, projections were carried out under different climate change scenarios, using the Shared Socioeconomic Pathways (SSPs). In the optimistic scenario (SSP1-2.6), which assumes a significant reduction in greenhouse gas emissions, relative stability was observed in the potential distribution of the species, suggesting some resilience to environmental changes. In the pessimistic scenario (SSP5-8.5), characterised by high emissions and pronounced global warming, the results indicated significant changes in distribution patterns, with a potential shift of suitable habitats and risks of reduction in areas of higher catch. The results highlight the vulnerability of deep-sea species to climate change and emphasise the importance of adaptive fisheries management, capable of anticipating changes in resource availability. Thus, this study contributes to the understanding of the impacts of climate change on marine biodiversity in Mozambique, providing support for the conservation of deep-sea ecosystems and for the socio-economic sustainability of the communities that depend on this activity.

Keywords: deep-sea shrimps; *Haliporoides triarthrus*; *Aristaeomorpha foliacea*; climate change; GAM modelling; Mozambique.

Lista de figuras

Figura 1: Mapa das zonas de pesca de crustáceos de profundidade e respectivas batimétricas.	16
Figura 2: <i>Haliporoides triarthrus</i>	18
Figura 3: <i>Aristaeomorpha foliacea</i>	19
Figura 4: Distribuição mundial <i>Haliporoides triarthrus</i> e <i>Aristaeomorpha foliacea</i>	19
Figura 5: Localização da área de estudo com a distribuição das capturas	27
Figura 6: Influência das variáveis ambientais na distribuição ou agregação do camarão de profundidade <i>Haliporoides triarthrus</i> e <i>Aristaeomorpha foliacea</i> na ZEE de Moçambique, representada pelo $f(x)$ que é uma função suavizada que explica a variação das capturas ao longo da costa Moçambicana. BT- Temperatura de fundo, Soaktime- tempo de imersão da rede, VO-Velocidade da corrente na componente norte, SSS- salinidade, Depth- profundidade, Day- dia, Mês – sazonalidade e Ano- variável aleatória referente ao período de 365 dias, $f(x)$ - reflete a importância relativa das variáveis preditoras no modelo. A linha continua indica a variação das capturas, e as linhas tracejadas inferior e superior nos gráficos indicam os limites de confiança de 95%.....	37
Figura 7: Previsão das capturas para o cenário climático otimista (SSP1_26) entre o período de referência de estudo (PRE) e 2050, 2100, e entre 2100-2050. PRE- período de referência de estudo de 2019-2024.	38
Figura 8: Previsão das capturas para o cenário climático otimista (SSP5_85) entre o período de referência de estudo (PRE) e 2050, 2100, e entre 2100-2050. PRE- período de referência de estudo de 2019-2024.	39
Figura 9: Ilustração da inspeção gráfica da performance do modelo	55

Lista de tabelas

Tabela 1: Resultados do modelo aditivo generalizado (GAM) que ilustram o grau de ajuste para estimar a redistribuição ou agregação do camarão de profundidade <i>Haliporoides triarthrus</i> e <i>Aristaeomorpha foliacea</i> na ZEE de Moçambique. Desvio Explicado- é o desvio explicado por todas as variáveis no modelo, AIC- Critério de Informação Akaike, GCV-validação generalizada cruzada n tamanho da amostra, RMSE- erro quadrático médio, r-coeficiente de Pearson e Schoener's Index D- Grau de similaridade entre as observações e valores previsto pelo modelo.	35
Tabela 2: Resultados do modelo aditivo generalizado (GAM) que ilustram o grau de ajuste para estimar a redistribuição ou agregação do camarão de profundidade <i>Haliporoides triarthrus</i> e <i>Aristaeomorpha foliacea</i> na ZEE de Moçambique. EDF- graus de liberdade efetivos de profundidade <i>Haliporoides triarthrus</i> e <i>Aristaeomorpha foliacea</i> na ZEE de Moçambique. EDF- graus de liberdade efetivos, F-Estatístico- razão entre o desvio explicado e não explicado pela co - variável, BT- Temperatura de fundo, Soaktime- tempo de imersão da rede, VO-Velocidade da corrente na componente norte, SSS- salinidade, Depth- profundidade, Day- dia, Mês – sazonalidade e Ano- variável aleatória referente ao período de 365 dias.	36
Tabela 3: Tabela do índice de correlação de Pearson entre as variáveis	55

Lista de equações

Equação 1: Equacao GAM.....	25
-----------------------------	----

Lista de abreviaturas

AIC- Critério de Informação de Akaike

BT- Bottom Temperature

D-Índice de Similaridade

Dev. Expl- Desvio Explicado

EDF- Grau de Liberdade Estimado

GAM- Modelo Aditivo Generalizado

GEE- Gases de Efeito de Estufa

InOM- Instituto Oceanográfico de Moçambique

IPCC- Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas

MDEs- Modelos de Distribuição de Espécies

PRE- Período de Referência de Estudo

Vo- Velocidade das correntes no sentido Nort

RMSE- Erro dos Mínimos Quadrados

R- Correlação de Pearson

ZEE- Zona Económica Exclusiva

Índice

Dedicatória	i
Agradecimentos.....	ii
Declaração de Honra	iii
Resumo	iv
Abstract.....	v
Lista de figuras	vi
Lista de tabelas	vi
Lista de abreviaturas.....	vii
1. Introdução	10
1.1. Problematização.....	12
1.2. Justificativa.....	13
1.3. Objetivos	14
1.3.1. Objetivo geral	14
1.3.2. Objetivos específicos	14
2. Revisão de literatura.....	15
2.1. Descrição da pesca de camarões de profundidade em Moçambique	15
2.2. Caracterização ecológica dos camarões de profundidade	17
2.2.1. Classificação taxinómica	17
2.2.2. Distribuição mundial <i>Haliporoides triarthrus</i> e <i>Aristaeomorpha foliacea</i>	19
2.2.3. Habitat	20
2.2.4. Ciclo de vida da <i>Aristaeomorpha foliacea</i>	20
2.2.5. Ciclo de vida da <i>Haliporoides triarthrus</i>	20
2.3. Mudanças climáticas	21
2.3.1. Causas das mudanças climáticas	22
2.3.2. Efeitos das mudanças climáticas	22
2.4. Modelos de distribuição de espécies	23
2.4.1. Modelo Aditivo Generalizado.....	24
3. Metodologia	26
3.1. Localização e descrição da área de estudo.....	26
3.2. Dados biológicos	28
3.3. Dados das variáveis ambientais e climatológicas	28

3.4.	Tratamento e análise dos dados.....	30
3.4.1.	Análise exploratória dos dados	30
3.5.	Seleção e ajustes do modelo	31
3.6.	Previsão da redistribuição das capturas face as mudanças climáticas.....	33
4.	Resultados.....	35
4.1.	Performance do modelo.....	35
4.2.	Efeito das Variáveis Ambientais na redistribuição das capturas	36
4.3.	Previsão da redistribuição espacial e temporal do camarão	38
5.	Discussão	40
6.	Conclusão.....	44
7.	Recomendações.....	45
8.	Referências bibliográficas.....	46
9.	Anexos	55

CAPÍTULO I: INTRODUÇÃO E OBJECTIVOS

1. Introdução

Os oceanos cobrem cerca de 75% da superfície terrestre e desempenham um papel central na regulação do clima, no fornecimento de serviços ecossistémicos e na manutenção da biodiversidade marinha, além disso, constituem uma importante fonte de alimento, energia e recursos minerais (Balasubramanian, 2011). Uma das grandes importâncias que o oceano tem é de fornecer alimentos e emprego através da actividade pesqueira e em Moçambique, a actividade pesqueira representa um setor estratégico, contribuindo significativamente para a segurança alimentar, a geração de emprego e cerca de 2% do Produto Interno Bruto (PIB), através da pesca artesanal, semi-industrial e industrial (MIMAIP, 2019).

Apesar da sua importância, a pesca em Moçambique enfrenta desafios como a sobreexploração, práticas insustentáveis, degradação ambiental, poluição, fiscalização insuficiente e, mais recentemente, os impactos das alterações climáticas (Capaina, 2021). As alterações climáticas acarretam consequências globais, incluindo o aumento da temperatura da superfície terrestre e dos oceanos, o derretimento das calotas polares e a elevação do nível médio do mar (Goodess, 2012; IPCC, 2007). Essas mudanças afetam diretamente os ecossistemas marinhos, alterando a fisiologia, o crescimento, a reprodução e a sobrevivência das espécies (Hoguane, 2007; Pereira *et al.*, 2014).

Entre os organismos marinhos afetados pelas mudanças climáticas destacam-se os camarões de profundidade *Haliporoides triarthrus* (gamba rosa) e *Aristaeomorpha foliacea* (gamba vermelha), espécies bentônicas de elevada importância econômica, que habitam profundidades entre 150 e 800 m em substratos arenosos ou lodosos, e são amplamente distribuídas ao longo do sul da costa moçambicana, até aproximadamente 18°S (Arcuti *et al.*, 2013, Groeneveld & Everett, 2015; Robey *et al.*, 2013; Torstensen, 2001).

Os recursos pesqueiros, desenvolvem-se melhor quando as condições ambientais e oceanográficas estão melhor adaptadas a necessidade de cada espécie e, quando se registam mudanças, estes reagem e migram para áreas onde as condições lhes sejam mais favoráveis. Por sua vez a variação dos factores ambientais revela-se como um dos principais indicadores que interferem na disposição dos recursos pesqueiros, determinando em certa medida padrões de recrutamento, dinâmica populacional, áreas e épocas para desova, contribuindo também para à redistribuição e abundância dos mesmos (Juliassse, 2018).

Apesar da relevância económica, estudos sobre as preferências ambientais e a distribuição dos camarões de profundidade ainda são escassos no Canal de Moçambique e dados actualizados sobre a distribuição actual e futura dessas espécies são essenciais para subsidiar estratégias de manejo sustentável e políticas de conservação diante do cenário de mudanças climáticas.

De modo o presente trabalho propõe-se a tentar prever a redistribuição ou agregação desta espécie ao longo do tempo com as mudanças climáticas, serão aplicados modelos ecológicos de previsão. Modelos estes, que tem sido ferramentas com maior importância nos avanços de projecções na área da distribuição e abundância de espécies.

Neste contexto, este trabalho propõe-se a modelar a redistribuição espacial das espécies *Haliporoides triarthrus* (gamba rosa) e *Aristaeomorpha foliacea* (gamba vermelha) na ZEE de Moçambique sob efeito dos cenários climáticos futuros, considerando o como período de referência de estudo 2019 a 2024.

1.1.Problematização

As evidências apresentadas pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) indicam que, além das dinâmicas naturais do planeta, as actividades humanas têm desempenhado um papel central nas alterações do sistema climático global. Embora ações cotidianas liberem calor, a principal forma de interferência humana ocorre pela modificação da composição atmosférica, especialmente pela emissão de dióxido de carbono (Nunes, 2008).

Cerca de 30% do dióxido de carbono emitido pelas actividades humanas é absorvido pelos oceanos, resultando em sua acidificação (Alves, 2014). Este fenómeno, associado ao aumento da temperatura global, ao derretimento das calotas polares e à elevação do nível médio do mar, poderá acarretar uma série de impactos negativos sobre a biologia marinha, afetando processos como desenvolvimento larval, crescimento, metabolismo, capacidade de natação, morfologia esquelética, crescimento dos otólitos e percepção de predadores através de pistas olfactivas sensoriais e visuais (Moreira & Ramos, 2016; Felipe, 2015).

Além desses efeitos fisiológicos, estudos sugerem que as mudanças climáticas também podem causar alterações em cadeia influenciando profundamente os padrões de distribuição e abundância das espécies marinhas (Oliveira, 2018).

Apesar dos avanços na pesquisa sobre mudanças climáticas, os efeitos específicos sobre a distribuição de camarões de profundidade, como *Haliporoides triarthrus* e *Aristaeomorpha foliacea*, permanecem pouco explorados, especialmente no contexto da Zona Econômica Exclusiva de Moçambique.

Partindo do pressuposto de que as mudanças climáticas e seus mais variados efeitos já se fazem sentir em todo o mundo, é crucial entender até que ponto estas alterações poderão afetar ou modificar o padrão de agregação ou redistribuição de camarões de profundidade ao longo da costa moçambicana. **Pergunta de pesquisa:**

*Como as alterações climáticas poderão modificar o padrão de redistribuição ou agregação espacial dos camarões de profundidade *Haliporoides triarthrus* e *Aristaeomorpha foliacea* ao longo da ZEE de Moçambique?*

1.2. Justificativa

As alterações nas condições oceanográficas, como a salinidade e a temperatura, têm influenciado significativamente a distribuição de espécies marinhas ao longo da costa moçambicana, impactando actividades pesqueiras essenciais para o sustento de milhares de famílias (Hoguane, 2007). Embora os efeitos dessas mudanças já tenham sido observados em espécies como o atum e camarões de superfície (Nataniel *et al.*, 2021; Nhantumbo, 2024), há uma lacuna de conhecimento no que se refere aos camarões de profundidade, cujos padrões de distribuição e agregação ainda não são suficientemente compreendidos no contexto das mudanças climáticas.

Além dos impactos socioeconómicos, a redistribuição dessas espécies pode aumentar as capturas acidentais, comprometer a eficácia das medidas de gestão dos recursos pesqueiros e frustrar iniciativas como a criação de áreas marinhas protegidas (Cheung *et al.*, 2012). Compreender os efeitos das alterações climáticas sobre a distribuição de espécies como *Haliporoides triarthrus* e *Aristaeomorpha foliacea* é, portanto, essencial para garantir a sustentabilidade ecológica e económica dos ecossistemas marinhos moçambicanos.

No entanto, os estudos focados em espécies demersais, especialmente camarões de profundidade *Haliporoides triarthrus* e *Aristaeomorpha foliacea*, permanecem escassos na Zona Económica Exclusiva (ZEE) de Moçambique. Diante disso, este trabalho propõe uma análise preliminar sobre os efeitos das alterações climáticas na redistribuição e agregação dessas espécies, com base em dados ambientais e biológicos, utilizando técnicas de modelagem espacial e análise georreferenciada.

A expectativa é que os resultados obtidos contribuam para o delineamento de estratégias eficazes de manejo pesqueiro, adaptação às mudanças climáticas e conservação dos recursos marinhos. Este estudo também poderá subsidiar políticas públicas voltadas para o bem-estar das comunidades pesqueiras e para a preservação da biodiversidade marinha da região.

1.3.Objetivos

1.3.1. Objetivo geral

- Modelar a redistribuição espacial de camarões de profundidade na Zona Económica Exclusiva de Moçambique

1.3.2. Objetivos específicos

- Selecionar o modelo preditivo das capturas do camarão de profundidade;
- Relacionar os padrões de capturas do camarão de profundidade com variáveis ambientais;
- Projectar a redistribuição do camarão de profundidade em relação aos cenários climáticos;

CAPÍTULO II: REVISÃO DE LITERATURA

2. Revisão de literatura

2.1. Descrição da pesca de camarões de profundidade em Moçambique

A pescaria de camarões de profundidade é realizada por embarcações industriais com comprimento total igual ou superior a 20 metros e com uma potência do motor que não pode exceder os 1.500 cv (equivalente a 1.110 kW) e estão equipadas com meios mecânicos de propulsão e sistemas de congelação a bordo (MIMAIP, 2021).

Essas embarcações podem operar continuamente e permanecer até 30 dias no mar, sendo realizada a captura com recurso a rede de arrasto de fundo com uma malha de 50mm e a mesma é processada e embalada a bordo.

Estas embarcações operam na plataforma continental e no talude da ZEE da República de Moçambique em áreas compreendidas entre 17° a 26° 30' Sul e entre os 200 e os 800 metros de profundidade em fundos arenosos e lodosos (Dias *et al.*, 2015).

A área onde se realiza a pesca de crustáceos de profundidade está dividida em cinco zonas de pesca (Figura 1) segundo o MIMAIP, 2021 nomeadamente:

- Banco de Sofala (17° a 21°S);
- Bazaruto A (21° a 23° S);
- Bazaruto B (23° a 24°30' S);
- Boa Paz (24° 30' a 25°40'S) e
- Inhaca (25°40' a 26 ° 50'S), sendo as mais importantes as zonas de Boa Paz e de Inhaca.

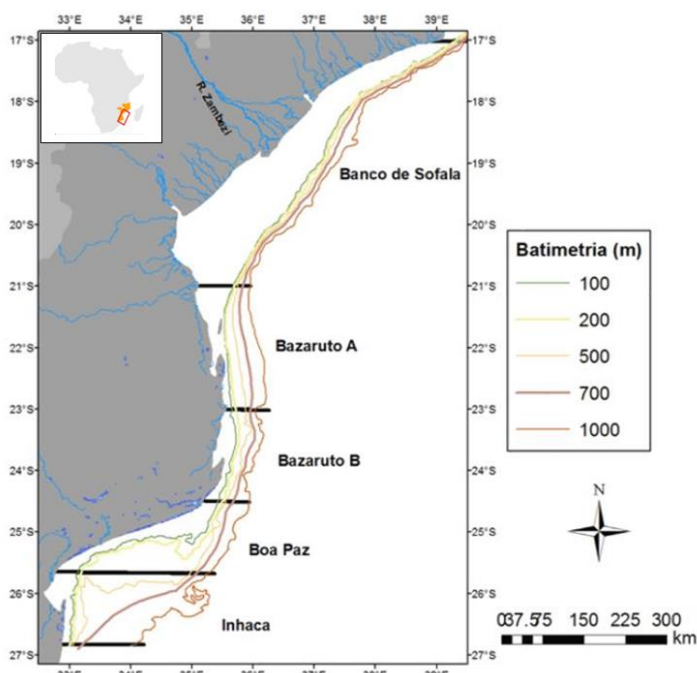


Figura 1: Mapa das zonas de pesca de crustáceos de profundidade e respectivas batimétricas.

Fonte: MIMAIP, 2019

De acordo com Dias *et al.*, 2015 a pesca industrial de camarão de profundidade tem como espécies alvo:

- Gamba rosa (*Haliporoides triarthrus*);
- Gamba vermelha (*Aristaeomorpha foliacea*);
- Alistado ou gamba rosada (*Aristeus antennatus*);
- Alistado (*Aristeus virilis*);
- Gamba carabineira (*Plesiopenaeus edwardsianus*).

Além das espécies acima citadas, são alvo desta pescaria:

- Lagostim (*Metanephrops mozambicus*);
- Lagostim indiano (*Nephropsis stewarti*);
- Lagosta (*Palinurus delagoae*)

Também são capturadas outras espécies de crustáceos consideradas acessórias como:

- Caranguejo de profundidade (*Chaceon macphersoni*),
- Vários peixes e
- Cefalópodes (lulas, chocos e polvos).

De referir que a pesca de crustáceos de profundidade ocorre o ano todo sem interrupções para a veda ou defeso.

2.2.Caracterização ecológica dos camarões de profundidade

2.2.1. Classificação taxinómica

Segundo Stebbing 1914 a *Haliporoides triarthrus* (figura 2) apresenta a seguinte classificação taxonómica:

- **Reino:** Animalia
- **Filo:** Arthropoda
- **Subfilo:** Crustacea
- **Classe:** Malacostraca
- **Ordem:** Decapoda
- **Subordem:** Dendrobranchiata
- **Família:** Solenoceridae
- **Género:** Haliporoides
- **Espécie:** *Haliporoides triarthrus*



Figura 2: *Haliporoides triarthrus*

Fonte: <https://www.amaromar.pt/wp-content/uploads/2016/02/gamba-rosa.jpg>

Aristaeomorpha foliacea (Figura 3) apresenta a seguinte classificação taxonómica:

- **Reino:** Animalia
- **Filo:** Arthropoda
- **Classe:** Malacostraca
- **Ordem:** Decapoda
- **Subordem:** Dendrobranchiata
- **Família:** Aristeidae
- **Género:** *Aristaeomorpha*
- **Espécie:** *Aristaeomorpha foliacea* (Risso, 1827)



Figura 3: *Aristaeomorpha foliacea*

Fonte: <https://litoraldegranada.ugr.es/wp-content/uploads/2021/07/Arist11.jpg>

2.2.2. Distribuição mundial *Haliporoides triarthrus* e *Aristaeomorpha foliacea*

Haliporoides triarthrus e *Aristaeomorpha foliacea* apresentam ampla distribuição geográfica nos oceanos Índico, Pacífico e Atlântico.

No Atlântico Oriental eles se estendem desde a Baía da Biscaia (França) até a África do Sul, incluindo o Mar Mediterrâneo. No Atlântico Ocidental, desde Massachusetts (EUA) até o Rio Grande do Sul (Brasil). Nos Oceanos Índico e Indo-Pacífico há registros em Moçambique, Madagáscar, Tanzânia, Ilhas Maldivas, Sri Lanka, Indonésia, Japão, Nova Zelândia e Ilhas Fiji (D’Incao, 1998; Pezzuto *et al.*, 2006).

Essa ampla distribuição sugere que ambas as espécies estão sujeitas a diferentes condições oceanográficas, podendo responder de formas distintas às mudanças climáticas globais. Compreender essa distribuição é essencial para avaliar os riscos ecológicos e pesqueiros associados.

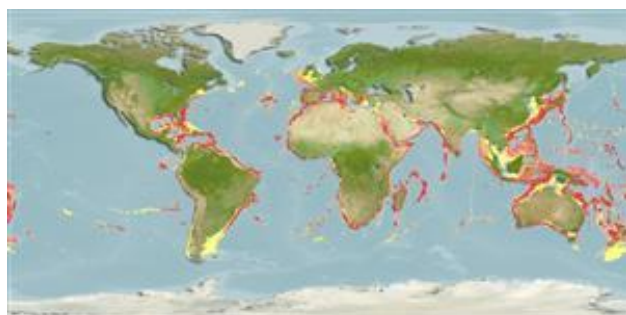


Figura 4: Distribuição mundial *Haliporoides triarthrus* e *Aristaeomorpha foliacea*

Fonte: Seabase disponível em: <https://www.aquamaps.org/preMap.php?cache=1&SpecID=ITS-96056>

2.2.3. Habitat

Haliporoides triarthrus e *Aristaeomorpha foliacea* tem preferências por águas tropicais e temperadas e ao longo da costa moçambicana encontra-se distribuído ao longo do Sul até aproximadamente a latitude 18°S. Em termos de distribuição vertical, eles apresentam padrões diferentes, onde *Haliporoides triarthrus* distribui-se entre os 300 e 700m de profundidade, com a maior concentração entre os 400 e 600m (Torstensen, 2001) e a *Aristaeomorpha foliacea* encontra-se em profundidades que variam dos 123 e 1047m de profundidade com maior abundância entre os 400-800m (Groeneveld & Everett, 2015).

Habita substratos moles compostos de lama pegajosa com restos de foraminíferos, geralmente próximo à borda da plataforma continental (Robey, *et al.*, 2013).

2.2.4. Ciclo de vida da *Aristaeomorpha foliacea*

Sobre a biologia reprodutiva da *Aristaeomorpha foliacea* são escassos estudos no Sudoeste do Oceano Índico (SWIO). Estudos feitos no Mediterrâneo indicam o início do período reprodutivo em maio, com fêmeas medindo mais de 36mm de comprimento de carapaça e fêmeas maduras no período de maio a setembro e a desova ocorre entre junho e agosto. O recrutamento ocorre a cerca de 600 m de profundidade e os machos atingem o comprimento total máximo de 170mm e as fêmeas de 225mm (Belcari, *et al.*, 2002; Groeneveld, & Everett, 2015).

No que diz respeito a biologia alimentar, estudos realizados no leste do Mediterrâneo revelam que *Aristaeomorpha foliacea* mostra hábito predador, consumindo presas mesopelágicas e menos frequentemente, bentônicas como crustáceos, cefalópodes e peixes compõem a sua dieta (Kapisiris *et al.*, 2010)

2.2.5. Ciclo de vida da *Haliporoides triarthrus*

Os indivíduos de *Haliporoides triarthrus* apresentam comprimentos de carapaça entre 9–51 mm nas fêmeas e 9–41 mm nos machos, com ciclo de vida estimado em 2 a 3 anos (Torstensen, 2001). Estas têm um crescimento máximo de comprimento de carapaça de 60mm para as fêmeas, 50mm para os machos e um comprimento total de 150mm.

As fêmeas atingem a maturidade sexual entre 29 e 50 mm de comprimento de carapaça, sendo geralmente escassas nas zonas de pesca, excepto na região de Bazaruto, que pode ser uma zona de desova, onde se observa alta proporção de fêmeas maduras (Groeneveld, & Everett, 2015).

A actividade reprodutiva ocorre durante todo o ano, com picos entre julho e setembro em Moçambique e entre outubro e novembro na África do Sul. Foram identificados quatro estágios de desenvolvimento reprodutivo são (Berry et al. 1975):

- Ovários inativos ou imaturos
- Ativos
- Maduros (prontos para desova)
- Pós-desova (ovários esgotados)

Autores como Groeneveld, & Everett, 2015 e Robey, *et al.*, 2013 afirmam que transição entre os estágios é gradual e, por vezes, difícil de classificar com precisão. Os estágios dos ovários podem ser observados macroscopicamente através do abdómen, pois o ovário de cor roxa é visível através da carapaça.

Quanto a distribuição das larvas e ao recrutamento, há relatos de que estes se fazem presentes nas capturas nos meses de Agosto-Setembro e Janeiro-Fevereiro no canal de Moçambique, sendo que maior parte do recrutamento ocorre no banco de Bazaruto B e Inhaca (Groeneveld, & Everett, 2015).

2.3.Mudanças climáticas

O tema mudanças climáticas é um dos grandes desafios da humanidade para o século XXI. Análises científicas compiladas pelo Painel Intergovernamental para Mudanças do Clima (IPCC) ressaltam que existe probabilidade de mais de 95% de que as mudanças no clima sejam ocasionadas pelo aumento de Gases de Efeito Estufa (GEE) provenientes de acções humanas. As mudanças climáticas já afectam a disponibilidade de recursos naturais, impactando o acesso à água, a produção de alimentos e a saúde.

Segundo o IPCC (2001), mudanças climáticas refere-se à variação estatisticamente significativa tanto na média quanto na variabilidade do clima, persistindo por período extenso (mais de décadas). Esta mudança climática pode ser devido a processos naturais internos ou forçantes externos, ou mudanças antropogénicas persistentes na composição da atmosfera ou do uso do solo.

O crescimento no número e no tamanho das cidades costeiras nos países de economia periférica tem provocado alterações na dinâmica dos fenómenos ambientais. Tais alterações estão acelerando os resultados das mudanças ambientais globais, as quais promovem modificações no comportamento e na

frequência de eventos climáticos extremos e, causam um estresse adicional ao sistema ambiental e humano (Moura, Moran, Strohaecker & Kunst, 2015).

2.3.1. Causas das mudanças climáticas

Nos últimos anos, por motivos laborais, residenciais, de lazer e busca por melhores oportunidades e maior desenvolvimento, o mundo tem passado por um processo de litoralização, ou seja, uma migração populacional para o litoral e este ato tem carregado consigo varias consequências negativas a estes ambientes (Juízo & Nhantumbo, 2022).

As Mudanças Climáticas são actualmente uma realidade global incontestável e politicamente urgente, tendo como principal causa os gases de efeito de estufa (GEE) em resultado da acção humana. O novo relatório do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), para a 6.^a avaliação das mudanças climáticas, confirma a enorme influência humana no aquecimento global e a urgência em reduzir emissões de CO₂, sendo assim, os eventos climáticos extremos serão mais frequentes e intensos nos próximos anos (Ambrizzi & Araujo, 2014).

2.3.2. Efeitos das mudanças climáticas

Os efeitos ou consequências das mudanças climáticas são um tema bastante abordado actualmente, pois estes afectam direta e indiretamente na vida do ser humano. Estudos efetuados pelo IPCC confirmam que as consequências são notórias e destacam-se o aumento da temperatura da superfície terrestre e dos oceanos, com consequente degelo das calotes polares e aumento global do nível médio das águas do mar.

Desta forma resumida, estão previstas como principais consequências das alterações climáticas (Goodess, 2012; IPCC, 2007; Santos & Miranda, 2006):

- Aquecimento global;
- Aumento da frequência de fenómenos climáticos extremos;
- Subida do nível médio das águas do mar;
- Perda de cobertura de gelo nos polos;
- Alterações na disponibilidade de recursos hídricos;
- Alterações nos ecossistemas e perda de biodiversidade;
- Desertificação;
- Interferências na agricultura;
- Impactes na saúde e bem-estar da população humana;

- Deslocamentos populacionais.

Estas alterações no meio marinho favorecem um ambiente inadequado para a existência de certas espécies, causando assim a sua migração e ou extinção.

2.4. Modelos de distribuição de espécies

O conhecimento da distribuição geográfica das espécies é fundamental para embasar estudos evolutivos e ecológicos das espécies principalmente no cenário que o planeta enfrenta actualmente no que diz respeito as mudanças climáticas e seus efeitos sobre os ecossistemas marinhos. Porém, a sua delimitação é um desafio devido à existência de concentração espacial desigual de informação de distribuição das espécies, alto custo de trabalhos de campo, e às variações que ocorrem nessa distribuição ao longo do tempo (Paglia *et al.*, 2012).

Os modelos de distribuição de espécies (MDEs) são frequentemente utilizados nas análises de vulnerabilidade ou de impactos das mudanças climáticas em determinada região (Carter *et al.*, 1994). Tendo em vista essa problemática, os métodos de Modelagem de Distribuição de Espécies surgem como uma grande contribuição para os estudos realizados nessas áreas.

Estudos relacionados com preferências ambientais de espécies de atum, camarões e outros pelágicos associados já foram evidenciados em vários modelos como por exemplo:

- relação entre variáveis ambientais atum associado a dispositivos de agregação de peixes à deriva (DFADs) no Oceano Atlântico, com recurso ao Modelo GAMM- Generalized Additive Mixed Models (Lopez *et al* 2017);
- Previsão do potencial de captura do atum *skipjack* no oceano pacífico ocidental e central sob diferentes cenários de mudanças climáticas, utilizando o GAM- Generalized Additive Models (Yen, *et al* 2016) e com recurso ao APECOSM-E Apex-Predator-Ecosystem-Model-Estimation (Dueri, *et al* 2014);
- Influência dos factores ambientais na distribuição de pequenos peixes pelágicos no Noroeste do Mar Mediterrâneo, com recurso ao modelo BRT Boosted Regression Trees (Penino, *et al* 2020).
- Distribuição do agulhão negro no atlântico sul e equatorial e potencial de estratégia de manejo espacial, com o uso de GAMM Generalized Additive Mixed Models (Oliveira *et al* 2015);

- Modelagem espaço-temporal de dados de camarão de alto mar por GAM Tweedie (Arcuti *et al.*, 2013);

O GAM (Generalized Additive Model), em particular, tem sido utilizado em diversos estudos de grandes pelágicos (exemplo: Nataniel *et al.*, 2021), e nos estudos sobre camarões (Arcuti *et al.*, 2013).

Do ponto de vista estatístico, os GAM constituem ferramentas extremamente úteis para resumir e interpretar dados, em particular eles podem facilitar a avaliação da forma e da intensidade de associações de interesse em estudos.

Os GAMs são considerados ideais para expressar relações ecológicas (Guisan *et al.*, 2002), como é o caso das variáveis e cenários presentes neste estudo. A modelagem ecológica tem como principal propósito oferecer bases matemáticas para interpretação destas relações, examinando parâmetros e apontando as contribuições de cada variável sobre a variável de interesse (Yee & Mitchell, 1991) tornando-se assim um método cientificamente aceite e válido para a avaliação de redistribuição de espécies marinhas bem como terrestres.

2.4.1. Modelo Aditivo Generalizado

GAM ou melhor Modelo Aditivo Generalizado, é um tipo de modelo linear generalizado em que o preditor linear é composto pela soma das funções de suavização das covariáveis. O GAM estende o conceito de regressão linear, permitindo relações mais flexíveis entre a variável dependente e as variáveis independentes (Hastie & Tibshirani, 1987).

Este modelo é caracterizado pela presença de uma variável Y conhecida como variável resposta ou variável dependente, e um vector $X = (X_1, \dots, X_p)^T$ de p variáveis explicativas também conhecidas como covariáveis ou variáveis explicativas (Gonçalves, 2021).

Essa abordagem permite lidar com relações não lineares, interações e padrões complexos entre a variável resposta e as variáveis explicativas, e tem a capacidade de representação da complexidade de algumas relações sem perda da sua interpretabilidade (Wood, 2020).

A ideia fundamental por trás dos GAMs é modelar a relação entre a variável de resposta e cada preditor como uma soma de funções de suavização, também conhecidas como *splines* de suavização ou funções base, que têm a forma apresentada em (Hastie & Tibshirani, 1987):

Equação 1: Equacao GAM

$$g(E(Y)) = \beta_0 + f_1(x_1) + f_2(x_2) + \dots + f_p(x_p),$$

Onde:

- **y** é a variável de resposta,
- **xi** são os preditores (covariáveis) e
- **g(·)** é a função de ligação relacionando o valor esperado de y às variáveis preditoras por meio desta estrutura.
- **fi(xi)** são as funções não lineares suaves (por exemplo, *splines*) que modelam efeitos não lineares.

Neste estudo foi usado um GAM com resposta transformada ($\log(\text{captura}+1)$) com família gaussiana e função de ligação identidade.

CAPÍTULO III: METODOLOGIA

3. Metodologia

3.1. Localização e descrição da área de estudo

Moçambique está localizado ao longo da costa sul da África Oriental, possuindo uma linha de costa de cerca de 2.700 km de extensão e uma plataforma continental diversa e produtiva, com cerca de 104.300 km², que são de importância fundamental para o país (Pereira *et al.*, 2014; Cumbe 2007).

A costa moçambicana é caracterizada por uma ampla diversidade de habitats marinhos e costeiros, incluindo praias arenosas e rochosas, dunas de areia, recifes de coral, estuários, baías, pradarias marinhas (seagrass) e florestas de mangal. Esses ecossistemas sustentam elevada biodiversidade, apresentam altos níveis de endemismo e abrigam espécies ameaçadas de extinção (Pereira *et al.*, 2014).

De acordo com o Boletim da Republica de Moçambique no seu artigo 16 a zona económica exclusiva da República de Moçambique compreende a faixa do mar além e adjacente ao mar territorial, medidas que se estende até à distância de 200 milhas náuticas, a partir da linha de base, da qual se mede o mar territorial.

A área costeira abrangida por este estudo, entre as latitudes de aproximadamente -16°S e -26°S, representa um setor ecologicamente dinâmico e produtivo do Canal de Moçambique o que favorece estudos de relações das espécies com o ambiente. Essa região é fortemente influenciada pelos correntes equatoriais sul (SEC), que geram grandes vórtices ao redor da bacia Comoriana (Lutjeharms & Town, 2006; Ternon *et al.*, 2014). A partir da porção estreita do canal (~-16°S), formam-se vórtices de mesoescala que se propagam para o sul, afetando a circulação costeira e a interação com plumas fluviais (Malauene *et al.*, 2018).

A hidrodinâmica do Canal de Moçambique é marcada por vórtices de meso escala, principalmente anticiclónicos, os quais promovem a intrusão de nutrientes do fundo e a advecção de águas costeiras para zonas oligotróficas, elevando assim a produtividade local e conferindo a esta região uma elevada importância ecológica (Emílio, 2020).

De acordo com Hogue, 2007 o clima da região é tropical, com duas estações bem definidas: a húmida (outubro a março) e a seca (abril a setembro). As precipitações são mais intensas nas partes do norte, como nas Comores e em Nosy-Bé, no noroeste de Madagáscar (Nobre, 2019). As temperaturas médias

do ar variam entre 23°C no sul e 26°C no norte, com precipitação média anual em torno de 1200 mm, concentrada entre novembro e abril.

Esta região constitui o recorte espacial deste estudo, servindo como base para a análise da distribuição de camarões de profundidade. As características oceanográficas, hidrológicas e climáticas da área afetam diretamente a estrutura e a produtividade dos ecossistemas marinhos locais exercendo forte influência sobre a ecologia e o padrão de ocorrência de espécies demersais como *Haliporoides triarthrus* e *Aristaeomorpha foliacea*, que são o foco desta pesquisa.

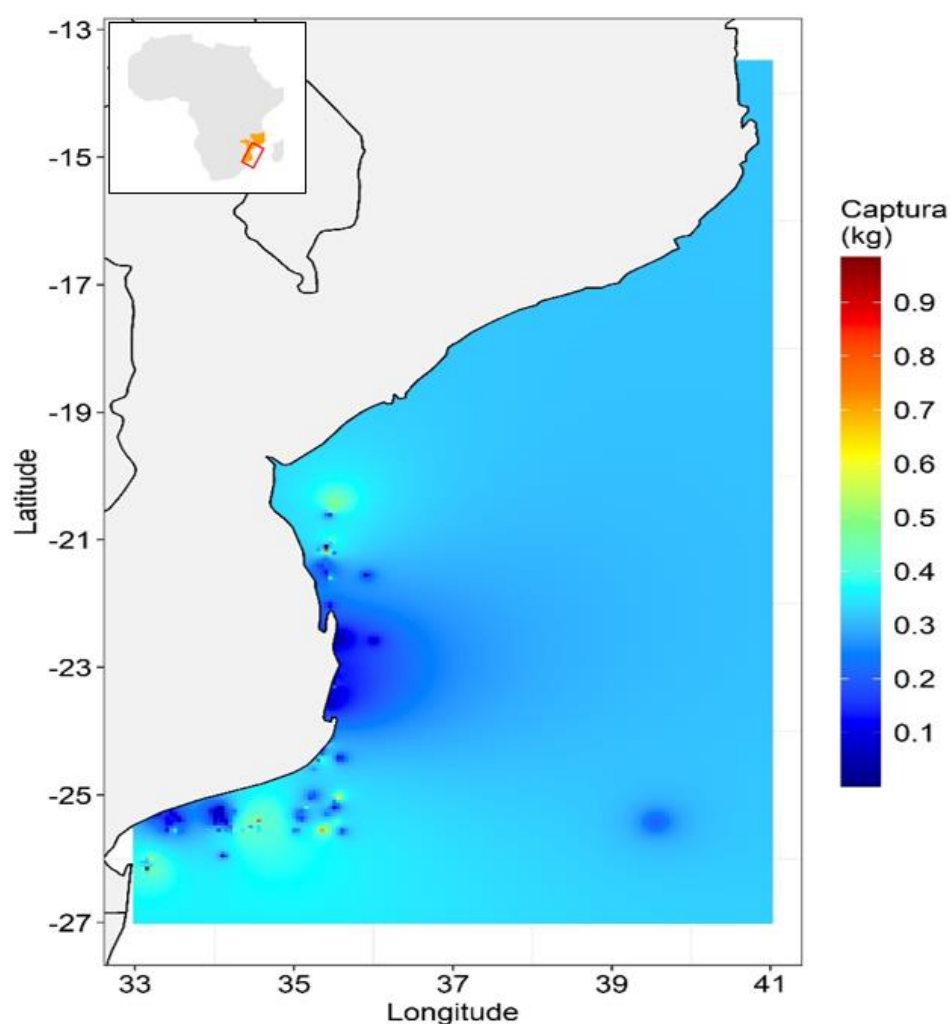


Figura 5: Localização da área de estudo com a distribuição das capturas

3.2.Dados biológicos

Neste trabalho foi utilizada a informação proveniente dos diários de bordo da pesca industrial de crustáceos de profundidade (Gamba), donde fazem parte as espécies *Haliporoides triarthrus* e *Aristaeomorpha foliacea*, referentes ao período de 2019 a 2024.

Os dados foram adquiridos junto ao Instituto Oceanográfico de Moçambique (InOM) e possuem resolução temporal diária, abrangendo a Zona Económica Exclusiva (ZEE) de Moçambique.

A captura de camarão de profundidade está concentrada nas profundidades de 250-800 m, decorre entre as latitudes 17° a 26°30' Sul e está dividida de norte a sul em 5 diferentes áreas de pesca: o Banco de Sofala, Bazaruto A, Bazaruto B, Boa Paz e Inhaca.

Para cada lance efectuado durante actividade de pesca, há registo da data, localização geográfica (latitude e longitude), profundidade da operação(m), tempo de pesca, espécie capturada, e peso total (kg) por lance de pesca. As operações foram realizadas com arrasto de fundo industrial e o esforço de pesca foi registado como número de lances por dia e por área, embora sua padronização seja abordada em secção específica.

3.3.Dados das variáveis ambientais e climatológicas

Para a elaboração do modelo, foram utilizados dados ambientais e climatológicos referentes ao período de 2019 a 2024, obtidos através da plataforma Copernicus Marine Environment Monitoring Service (CMEMS), no formato netCDF. Esses dados foram processados e convertidos em tabelas estruturadas (data frames), compatíveis com os dados de captura, utilizando os pacotes ncdf4, tidyr, lubridate e dplyr no RStudio (v4.5.0)

As variáveis físicas extraídas incluem: temperatura superficial da água (°C), salinidade (psu), velocidade da corrente na componente leste (uo, m/s), velocidade da corrente na componente norte (vo, m/s) e temperatura do fundo do mar (BottomT, °C), todas provenientes do produto GLOBAL_MULTIYEAR_PHY_001_030 (DOI: [10.48670/moi-00021](https://doi.org/10.48670/moi-00021)).

A seleção das variáveis ambientais como temperatura da água, salinidade e corrente oceânica foi baseada em evidências científicas que demonstram sua influência direta nos processos fisiológicos, distribuição e dinâmica populacional de camarões e crustáceos (Lima, 2011; El-Damhogy *et al.*, 2017; Cota-Durán *et al.*, 2021; Arcuti *et al.*, 2013).

Após a conversão dos dados para CSV, foi realizada a extração dos valores ambientais correspondentes aos locais de captura, considerando o grid de $0,083 \times 0,083$ de resolução espacial. Essa etapa foi conduzida com o auxílio dos pacotes *sf*, *terra*, *dplyr*, *lubridate* e *raster*, utilizando como referência a latitude, longitude e a data (ano, mês e dia) de cada lance de pesca.

Casos de dados de variáveis ambientais ausentes foram tratados por exclusão das observações incompletas. Para garantir comparabilidade espacial e temporal, apenas os registros com informações completas de captura e variáveis ambientais foram considerados na análise.

As variáveis ambientais extraídas foram então integradas aos dados de captura para possibilitar análises espaciais e temporais da distribuição das espécies. Para projecções futuras de redistribuição ou realocação das capturas frente às mudanças climáticas, foram utilizados dados climáticos produzidos pelo Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC).

Especificamente, foram considerados os cenários de emissões baseados nas Vias Socioeconômicas Compartilhadas (Shared Socioeconomic Pathways - SSP): **SSP1-2.6** e **SSP5-8.5**, para o período de 2030 a 2100. Esses dados foram obtidos na plataforma **Bio-ORACLE** (<https://www.bio-oracle.org>). O cenário **SSP1-2.6** (optimista) projeta manter as emissões de gases de efeito estufa em um nível baixo, um aumento de temperatura entre 1,5°C e 2°C acima dos níveis pré-industriais até 2100; enquanto o **SSP5-8.5** (pessimista) um cenário de trajetória de emissões de gases de efeito estufa extremamente alta, com níveis de CO₂ previstos para praticamente dobrar em relação aos níveis atuais até 2050 e assume um aumento entre 4°C e 5°C (IPCC, 2014; Gouvêaa *et al.*, 2024).

3.4.Tratamento e análise dos dados

3.4.1. Análise exploratória dos dados

Antes da modelagem estatística, foi conduzida uma análise exploratória dos dados, entendida como o conjunto de procedimentos voltados para a inspeção, descrição e interpretação inicial de conjuntos numéricos (Zuur *et al.*, 2009). Essa etapa tem como objetivo avaliar a consistência, a distribuição e as relações preliminares entre as variáveis biológicas e ambientais, antes da aplicação de técnicas estatísticas formais ou da simulação de modelos.

Durante a análise exploratória dos dados foram adotados diferentes procedimentos metodológicos. Inicialmente, recorreu-se a visualizações gráficas, em especial aos *boxplots*, que são uma inspeção gráfica sobre a natureza da distribuição dos dados da variável resposta, para avaliar a presença de valores anormais, os ditos *outliers* estes que são pontos de dados que se desvia significativamente do restante dos dados em um conjunto, esses valores podem ser muito altos ou muito baixos em relação à maioria dos dados e podem indicar erros de medição, variações naturais nos dados ou até mesmo eventos incomuns ou anomalias (Zuur *et al.*, 2009).

Por meio dos *boxplots*, também foi possível verificar a posição dos 50% centrais dos dados (entre o primeiro e o terceiro quartis), a localização da mediana, a existência de valores atípicos estes que são discrepantes do conjunto de dados assim como permite uma avaliação da simetria da distribuição (Morettin & Singer, 2021). Adicionalmente, com o auxílio do pacote *ggplot2*, foram elaborados histogramas para detecção de assimetrias, bem como mapas de dispersão geográfica das capturas e das variáveis ambientais, de modo a identificar potenciais padrões espaciais.

Na sequência, procedeu-se a transformações da variável resposta (capturas), aplicando funções de raiz quadrada e logaritmo, com o objetivo de avaliar qual dessas abordagens resultaria em uma distribuição mais próxima da normalidade e, portanto, mais adequada à modelagem estatística subsequente (Morettin & Singer, 2021). Por fim, avaliou-se a correlação entre as variáveis ambientais e a captura, utilizando-se o pacote *corrplot* e o coeficiente de correlação de Pearson (ρ). Apenas as variáveis que apresentaram valores absolutos de ρ inferiores a 0,70 foram consideradas elegíveis para inclusão simultânea nos modelos, de forma a minimizar os efeitos da colinearidade (Zuur *et al.*, 2009).

De acordo com o resultado da correlação de Pearson observou-se que os pares latitude-longitude, latitude-temperatura superficial, longitude-temperatura superficial, latitude-temperatura de fundo, longitude-temperatura de fundo, temperatura superficial-temperatura de fundo, tem problemas de correlação, ou seja, apresentam valor absoluto de rho superior a 70%.

3.5. Seleção e ajustes do modelo

Como mencionado anteriormente, para modelar a relação entre as capturas dos camarões de profundidade (*Haliporoides triarthrus* e *Aristaeomorpha foliacea*) e as variáveis ambientais foi usada a abordagem de Modelos Aditivos Generalizados (GAM) implementada com recurso ao pacote mgcv do R. Esta escolha justifica-se pela flexibilidade dos GAMs em lidar com relações não lineares, interações e padrões complexos nos dados ecológicos, preservando a interpretabilidade do modelo (Wood, 2017; Wood, 2020).

Foram realizados testes de aderência (como o Teste de Kolmogorov-Smirnov) e diagnósticos visuais (como histogramas e QQ-Plots) para comparar a distribuição empírica dos dados com distribuições teóricas comuns (Morettin & Singer, 2021). De acordo com os testes realizados, a variável resposta mostrou uma distribuição assimétrica positiva e contínua, foi modelada com a família gaussiana de distribuição, utilizando como função de ligação a função identidade, visto que a mesma é adequada para uso com uma variável contínua (Zuur *et al.*, 2009).

O processo de ajuste foi realizando usando a técnica regressiva, isto é, iniciou-se a simulação com um modelo que incluía todas as variáveis ambientais potencialmente relevantes. A significância de cada variável foi avaliada com base no *summary* do modelo, removendo-se aquelas cujo intervalo de confiança incluía zero em toda a sua extensão a 95% de confiança. Nesse processo, a variável “velocidade das correntes – componente este” foi excluída e o modelo final foi selecionado em função do aumento do desvio explicado e menor Akaike (Akaike, 1974; Mugo *et al.*, 2010).

Para tratar a colinearidade sem descartar variáveis ecologicamente relevantes, adotou-se a modelagem de interações espaciais por meio de produtos tensoriais (*te()*), como *te(latitude, longitude)*, permitindo capturar efeitos espaciais conjuntos e reduzindo problemas de correlação entre preditores de forma ecologicamente realista.

Desta forma, a formula utilizada para a validação e ajuste do modelo foi:

$$\log(GRV+1) \sim te(lat, lon, k = c(20,20), bs = "ts") + s(BT, k = 6, bs = "cs") + s(soaktime, k = 6, bs = "cs") + s(SSS, k = 6, bs = "cs") + s(VO, k = 6, bs = "cs") + s(depth, k = 6, bs = "cs") + s(month, k = 6, bs = "cc") + s(year, bs = "re")$$

O símbolo *s* representa a função suavizadora obtida a partir do spline penalizado. Para as variáveis simples, foram utilizados splines de regressão cúbica (*cs*) para modelar relações não lineares, enquanto splines cúbicos cíclicos (*c*) foram aplicados para variáveis periódicas, como a direção das correntes (Wood, 2006). Já para as interações, empregou-se o produto tensorial, que combina suavizadores de diferentes variáveis, permitindo modelar efeitos conjuntos mesmo quando possuem escalas distintas. Nesse caso, definiu-se $k = (20,20)$, indicando até 20 graus de liberdade para cada variável da interação, o que aumenta a flexibilidade do ajuste. Além disso, foi utilizado o parâmetro $bs = "ts"$, que aplica um spline de regressão com encolhimento, possibilitando que termos irrelevantes sejam reduzidos a zero e descartados automaticamente do modelo (Zuur et al., 2009).

Para analisar a robustez do modelo, foram feitas duas formas de validação a Validação Interna usando a função *gam.check* para avaliar a convergência do modelo e a adequação dos resíduos. Foram inspecionados gráficos diagnósticos (QQ-plot, resíduos vs. valores preditos) e testado se a dimensão da base (k) era suficiente para cada *smoother* (p-valores > 0,05) (Morettin & Singer, 2021) e a Validação do modelo com o K-fold Cross-Validation para avaliar o poder preditivo do modelo em dados "não vistos", foi implementado um procedimento de validação cruzada de 10 dobras (10-fold Cross-Validation). O conjunto de dados foi dividido aleatoriamente em 10 subconjuntos. O modelo foi treinado 10 vezes, cada vez usando 9 subconjuntos para treino e o subconjunto restante para teste (Oliveira *et al.*, 2015; Gouvêaa *et al.*, 2024).

Para avaliar performance média ou precisão do modelo foram quantificada três métricas principais: Erro dos mínimos quadrados (RMSE-Root Mean Square Error) que mede o erro médio de predição, na unidade original da captura (kg), correlação de Pearson que serve como uma métrica para quantificar a força da associação linear entre duas variáveis com a função *cor.test* (Pan *et al.*, 2024) e o Índice de similaridade entre os valores previstos e observados que serve para medir a precisão e o desempenho preditivo do modelo.

3.6.Previsão da redistribuição das capturas face as mudanças climáticas

O modelo construído com dados das variáveis ambientais e dados das capturas será usado para projectar a redistribuição dos camarões de profundidade *Haliporoides triarthrus* e *Aristaeomorpha foliacea* no futuro (2050 e 2100) de acordo com os cenários de mudanças climáticas SSP2.6, SSP3.7 e SSP8.5 obtidos no BIO-ORACLE (Assis *et al.*, 2024).

Para esta projecção foram empregues como proxy as variáveis temperatura, a salinidade e a velocidade das correntes marinhas, além das coordenadas geográficas de latitude e longitude. Neste contexto, as demais variáveis presentes no modelo foram criadas com valores nulos para manter a consistência estrutural, pois o objectivo principal é prever a redistribuição e ou agregação espaço-temporal dos camarões de profundidade com base nas alterações da temperatura que é o principal indicador de aumento das mudanças climáticas e da alteração nos padrões de salinidade e velocidade das correntes.

A temperatura e a salinidade são consideradas como os principais factores abióticos que influenciam na vida dos organismos aquáticos (Chanda *et al.*, 2015; Lima, 2011). A temperatura tem sido considerada um dos melhores factores para prever o nicho ecológico de diversas espécies incluindo camarões de profundidade (Arcuti *et al.*, 2013) e de superfície (Nhantumbo, 2024) pois esta influencia diretamente nos diversos processos metabólicos dos camarões como o seu crescimento (Wyban, 1995), sobrevivência, apetite, migração e abundancia (Simango, 2019; Nunes, 2007). Além disto, a temperatura é considerada um bom proxy para fazer previsões de capturas e esta diretamente a outras variáveis e processos ambientais (Aral *et al.*, 2012; Aral & Guan, 2016; Lali & Parsons, 2006).

A partir do modelo gerado anteriormente, foram feitas as previsões com recurso a função `predict.gam()` do pacote `mgcv` (Wood, 2017), este que pode gerar previsões para novos dados ou para os dados originais de ajuste, e também calcular erros padrão baseados na distribuição posterior dos coeficientes do modelo, permitindo assim prever a redistribuição e realocação das espécies a partir de projecções de dados climáticos espaciais e temporais (Hijmans, 2016; Wood, 2017).

Inicialmente, foi definido um período de referência (2019–2024), considerado como cenário presente (PRE). As predições desse intervalo foram utilizadas como base para comparações com os cenários futuros. Em seguida, os conjuntos de dados referentes a cada cenário climático foram processados para

garantir consistência no formato das colunas, remoção de valores ausentes e padronização das coordenadas.

Para cada cenário (SSP1-2.6e SSP5-8.5) e período temporal (2050 e 2100), foram geradas previsões do modelo em cada célula de latitude/longitude disponível. Essas previsões forneceram estimativas da resposta do modelo (biomassa predita em kg), acompanhadas do erro padrão associado.

As diferenças de previsão foram calculadas em três comparações principais:

- Futuro vs presente: diferenças entre as estimativas de 2050 e 2100 em relação ao período de referência (2019–2024);
- Entre períodos futuros: diferenças entre 2100 e 2050 dentro de cada cenário SSP;
- Entre cenários: contrastes entre SSPs para os mesmos períodos (embora essa análise tenha se concentrado principalmente nas comparações temporais).

Para a visualização espacial, empregou-se o pacote ggplot2, com mapas raster representando a variação espacial das diferenças de biomassa projetada. Foram aplicados gradientes de cores que variaram do azul (redução) ao vermelho (aumento), possibilitando a identificação de áreas potenciais de expansão ou retração da distribuição das espécies.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4. Resultados

4.1. Performance do modelo

Em geral, o modelo apresentou um excelente desempenho preditivo com alta capacidade em representar a variabilidade das capturas com um desvio explicado de 82%. O coeficiente de determinação ajustado (R^2 ajustado) foi de 0,792, indicando que aproximadamente 79% da variação observada nos dados de captura é explicada pelas variáveis ambientais consideradas no modelo.

O erro quadrático médio (RMSE) foi de apenas 6,1%, sugerindo que as previsões se mantêm próximas aos valores observados. A correlação entre valores observados e previstos (r) alcançou 88%, evidenciando uma forte relação linear entre os dados reais e os preditos. O Schoener's Index apresentou valor de 96%, o que também aponta para a elevada capacidade discriminatória e preditiva do modelo. Em termos de critérios de informação, o AIC (Akaike Information Criterion) foi de 2111,2, e o GCV (Generalized Cross Validation) de 0,329, valores que indicam um modelo parcimonioso e com boa capacidade de generalização, especialmente quando comparado a modelos alternativos.

Tabela 1: Resultados do modelo aditivo generalizado (GAM) que ilustram o grau de ajuste para estimar a redistribuição ou agregação do camarão de profundidade *Haliporoides triarthrus* e *Aristaeomorpha foliacea* na ZEE de Moçambique. Desvio Explicado- é o desvio explicado por todas as variáveis no modelo, AIC- Critério de Informação Akaike, GCV-validação generalizada cruzada n tamanho da amostra, RMSE- erro quadrático médio, r -coeficiente de Pearson e Schoener's Index D- Grau de similaridade entre as observações e valores previsto pelo modelo.

Parâmetros	Modelo ajustado a partir da família Gaussiana
R^2 Ajustado (%)	79.2
Desvio Explicado (%)	81.7
AIC	2111.216
GCV	0.32919
N	1233
RMSE (%)	6.107764
r (%)	88
Schoener's Index	96

Tabela 2: Resultados do modelo aditivo generalizado (GAM) que ilustram o grau de ajuste para estimar a redistribuição ou agregação do camarão de profundidade *Haliporoides triarthrus* e *Aristaeomorpha foliacea* na ZEE de Moçambique. EDF- graus de liberdade efetivos de profundidade *Haliporoides triarthrus* e *Aristaeomorpha foliacea* na ZEE de Moçambique. EDF- graus de liberdade efetivos, F-Estatístico- razão entre o desvio explicado e não explicado pela co -variável, BT- Temperatura de fundo, Soaktime- tempo de imersão da rede, VO-Velocidade da corrente na componente norte, SSS- salinidade, Depth- profundidade, Day- dia, Mês – sazonalidade e Ano- variável aleatória referente ao período de 365 dias.

Co-variáveis	EDF	Dev.	Expl.	F Estatístico	P-value
Covariável (%)					
Latitude	e	1.214e+02	214	12.006	< 0.01
Longitude					
BT	4.346e+00	5		13.344	< 0.01
Soaktime	3.250e+00	5		4.595	< 0.01
SSS	2.748e+00	5		5.755	< 0.01
VO	4.892e+00	5		4.121	< 0.01
Depth	3.488e+00	5		10.942	< 0.01
Day	3.836e+00	4		6.477	< 0.01
Month	6.619e-09	4		8.249	< 0.01

4.2.Efeito das Variáveis Ambientais na redistribuição das capturas

O gráfico de regressão múltipla mostra o efeito das variáveis ambientais selecionadas pelo modelo e explica a variação das capturas $f(x)$ em função de cada variável independente na Zona Económica Exclusiva de Moçambique. No que diz respeito a variação latitudinal e longitudinal, as capturas apresentam uma ampla variação na área de estudo com algumas regiões apresentando um efeito positivo e outras regiões com efeito negativo. Isso reflete heterogeneidade espacial, possivelmente relacionada a habitats ou produtividade local.

Quanto a temperatura de fundo, a mesma apresenta um aumento das capturas em temperaturas baixas e uma redução com o aumento da temperatura, sugerindo que os camarões preferem águas mais frias. A salinidade apresenta um efeito negativo em salinidades baixas (<25 psu) e positivo em salinidades altas (>32 psu), indicando que a espécie prefere ambientes mais salinos.

O efeito da velocidade da corrente na componente norte é relativamente pequeno, mas com tendência positiva em velocidades próximas a zero e queda em correntes mais fortes, sugerindo que correntes muito

intensas podem ser desfavoráveis. No que diz respeito a profundidade apresenta efeito positivo acentuado até cerca de 200 m, diminuindo em maiores profundidades e mostra que as capturas se concentram em profundidades intermediárias e com dois picos entre Abril-Maio e Setembro-Outubro na escala mensal.

O tempo de imersão das redes tem efeito quase neutro até cerca de 6–8 horas e levemente negativo após esse ponto. Isso pode indicar saturação do esforço de pesca ou perda de eficiência em tempos muito longos. E a variação sazonal intra-mensal, apresenta um pico por volta dos dias 15 a 20 o que pode estar directamente relacionado com as fases da lua e as mares e correntes que dela dependem.

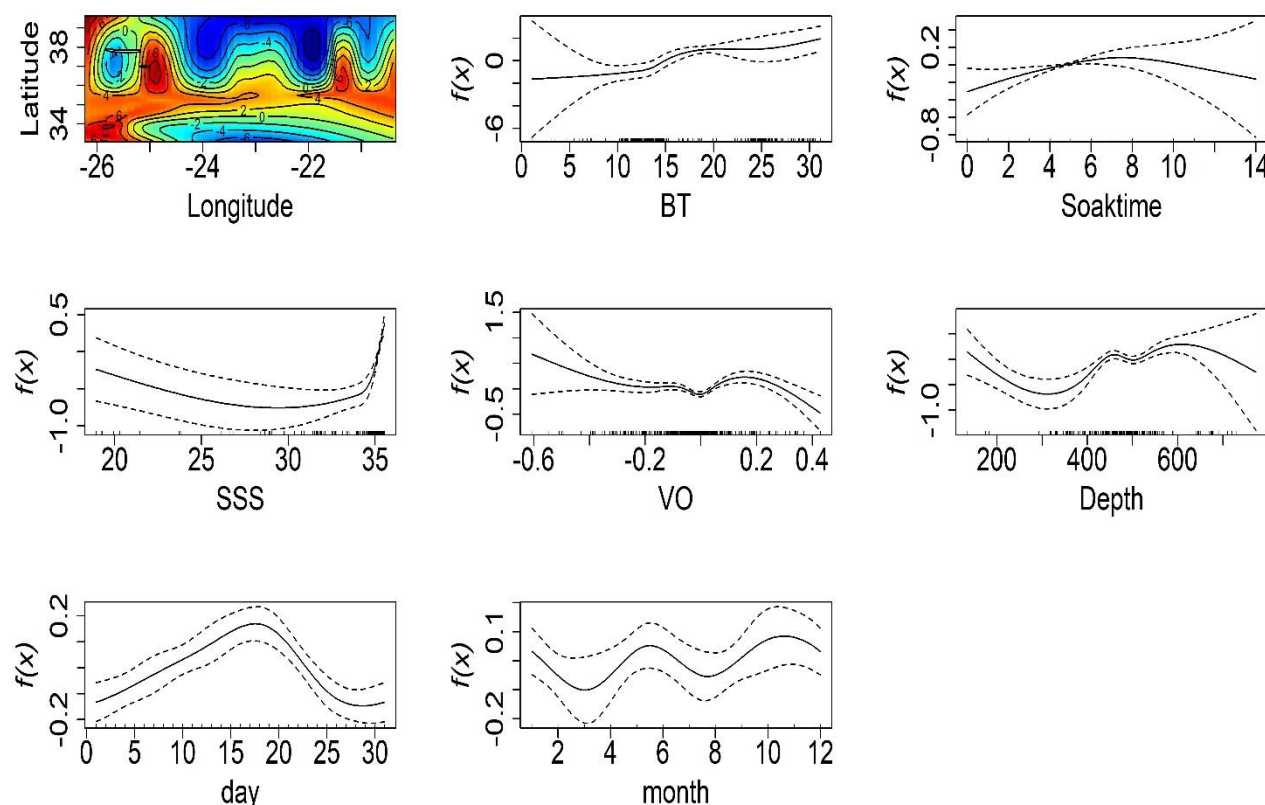


Figura 6: Influência das variáveis ambientais na distribuição ou agregação do camarão de profundidade *Haliporoides triarthrus* e *Aristaeomorpha foliacea* na ZEE de Moçambique, representada pelo $f(x)$ que é uma função suavizada que explica a variação das capturas ao longo da costa Moçambicana. BT- Temperatura de fundo, Soaktime- tempo de imersão da rede, VO-Velocidade da corrente na componente norte, SSS- salinidade, Depth- profundidade, Day- dia, Mês – sazonalidade e Ano- variável aleatória referente ao período de 365 dias, $f(x)$ - reflete a importância relativa das variáveis preditoras no modelo.

A linha continua indica a variação das capturas, e as linhas tracejadas inferior e superior nos gráficos indicam os limites de confiança de 95%.

4.3.Previsão da redistribuição espacial e temporal do camarão

As projecções de captura, obtidas a partir do modelo GAM, foram expressas como a diferença entre os valores ajustados para os anos de 2050 e 2100 em relação ao período de referência de estudo (2019–2024), bem como entre os anos 2100 e 2050.

Num cenário de emissões optimistas (SSP1_26), observaram-se baixas alterações principalmente para a serie de 2050-PRE, onde as variações projetadas foram predominantemente agrupadas ao sul da ZEE de Moçambique concretamente na zona de Boa Paz e Bazaruto B com maior abundancia na zona de Boa Paz ate 2100. A diferença entre 2100 e 2050 também permaneceu discreta, sugerindo uma tendência de estabilidade ao longo do tempo sob esse cenário.

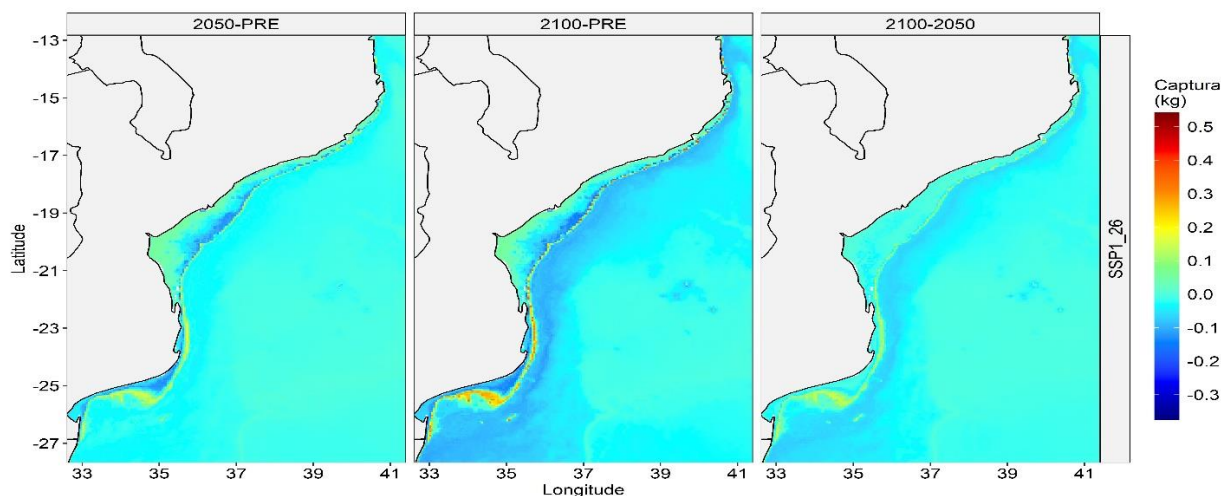


Figura 7: Previsão das capturas para o cenário climático optimista (SSP1_26) entre o período de referência de estudo (PRE) e 2050, 2100, e entre 2100-2050. PRE- período de referência de estudo de 2019-2024.

No cenário de altas emissões (SSP5_85), observaram-se alterações mais expressivas. Embora até 2050 as variações sejam moderadas, em 2100 projetam-se aumentos significativos de captura ao longo de toda ZEE, especialmente na região do banco de sofala ate a região norte da ZEE. A diferença entre 2100 e 2050 indica um crescimento progressivo ao longo do tempo, reforçando a influência potencial do cenário e altas emissões na distribuição e abundância da espécie-alvo.

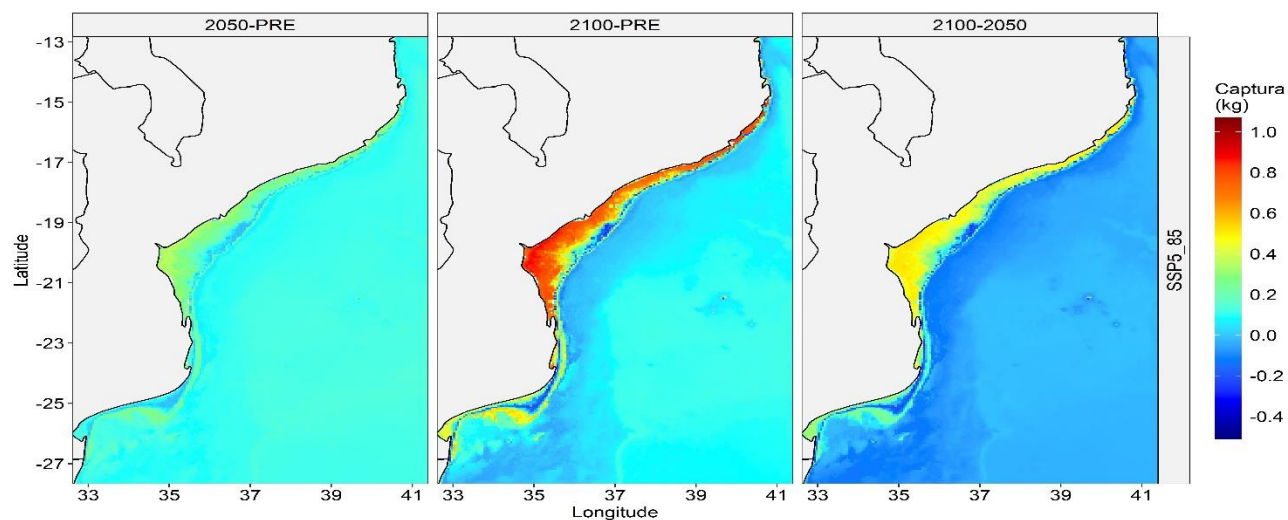


Figura 8: Previsão das capturas para o cenário climático optimista (SSP5_85) entre o período de referência de estudo (PRE) e 2050, 2100, e entre 2100-2050. PRE- período de referência de estudo de 2019-2024.

CAPÍTULO VI: DISCUSSÃO

5. Discussão

Os resultados deste estudo evidenciam que as capturas de *Haliporoides triarthrus* e *Aristaeomorpha foliacea* na ZEE de Moçambique estão fortemente associadas a variáveis ambientais, em especial profundidade, temperatura de fundo, salinidade e velocidade das correntes, que explicaram conjuntamente cerca de 82% da variabilidade observada e apresentando um erro quadrático médio-RMSE de cerca de 6% o que representa um valor aceitável. A elevada performance do modelo GAM indica que este tipo de abordagem estatística é adequado para prever a distribuição espacial dessas espécies em cenários de mudanças climáticas. A performance alcançada é comparável a estudos semelhantes com camarões de profundidade no Mediterrâneo, onde modelos GAM explicaram entre 60–75% da variação (Arcuti *et al.*, 2013; Maynou, 2008; Lauria *et al.*, 2015), isso demonstra a robustez da abordagem para espécies com forte dependência de gradientes ambientais.

Verticalmente a partir de ~500 m, observa-se um aumento positivo nas capturas de *Haliporoides triarthrus* e *Aristaeomorpha foliacea* com a profundidade. Esta resposta pode refletir, a uma real preferência ou maior concentração das espécies nessa faixa batimétrica possivelmente associada a condições térmicas e de substrato favoráveis. Em termos ecológicos, águas mais profundas nessa faixa tendem a apresentar temperaturas mais estáveis e estruturas bentónicas (represas, declives, bancos) que favorecem agregações de crustáceos demersais como é o caso dos camarões de profundidade (Arcuti *et al.*, 2013; Pezzuto, 2016; Robey *et al.*, 2013). Acima de 600 m, esse efeito positivo se intensifica, embora acompanhado de maior incerteza (intervalos de confiança largos), provavelmente porque há menos esforço amostral nessa faixa.

A variação das capturas em função da profundidade está diretamente associada à preferência térmica dos camarões de profundidade. Esses organismos apresentam maior adequação fisiológica em águas frias, especialmente na faixa entre 10 e 20 °C, onde seu metabolismo e actividade são favorecidos. Como consequência, as capturas tendem a ser mais elevadas nesse intervalo térmico, refletindo a preferência ecológica das espécies por condições ambientais que maximizam sua sobrevivência e desempenho fisiológico (Robey, 2013; Robey *et al.*, 2013).

Em questões de salinidade, as capturas apresentam uma tendência positiva em salinidades mais altas (próximas a 35) ocasionando menores capturas em águas menos salinas e aumentam em condições de salinidade mais elevada, sugerindo que os camarões preferem ambientes mais salinos, estáveis e oceânicos (Pezzuto, 2016).

A velocidade das correntes na componente norte apresenta uma tendência de aumento dos rendimentos sob condições de circulação positiva (corrente dirigida para norte), possivelmente relacionada à retenção de nutrientes ou disponibilidade de alimento. Por outro lado, ao longo do Canal de Moçambique observam-se correntes de circulação intermediária e profunda, dominada pela AAIW-Água Antártica Intermediária (~700–1.200 m) e pela NADW-Água Profunda do Atlântico Norte (~1.500–3.500 m), exerce influência direta sobre os habitats bentónicos ao transportar nutrientes, oxigênio e matéria orgânica particulada o que pode contribuir para este comportamento (Charles, *et al.*, 2020).

As capturas apresentaram um padrão periódico intra-mensal, com maior concentração entre os dias 15 e 20, o que pode estar associado ao ciclo lunar. Esse efeito ocorre porque a lua regula tanto a intensidade luminosa noturna quanto as marés e correntes, factores que influenciam a actividade e a disponibilidade dos camarões. Estudos anteriores demonstraram que, durante a lua cheia, espécies como *Melicertus latisulcatus* tendem a se enterrar, reduzindo a capturabilidade, enquanto em fases como a lua nova ou o quarto crescente a exposição dos organismos aumenta, favorecendo maiores capturas (Brito, 2010; Salini *et al.*, 2001). Embora não existam estudos específicos para *Haliporoides triarthrus* e *Aristaeomorpha foliacea*, o padrão encontrado sugere que, tal como em outras espécies de camarões, o ciclo lunar pode modular sua actividade e capturabilidade.

E as capturas apresentam um efeito oscilatório ao longo do ano, com picos positivos por volta de Abril–Maio e Setembro–Outubro, e negativos em torno de Junho–Julho. Esta sazonalidade, reflete mudanças ambientais anuais (temperatura, produtividade primária, correntes) que afetam a distribuição dos camarões.

O tempo de imersão (soaktime) apresentou um efeito não linear sobre as capturas. Observou-se que períodos muito curtos de imersão resultaram em baixos rendimentos, provavelmente por não permitirem tempo suficiente para a entrada dos camarões. Em contrapartida, tempos intermediários, entre 5 e 8 horas,

mostraram-se mais favoráveis, refletindo maior eficiência de captura. No entanto, imersões prolongadas, superiores a 10 horas, tenderam a reduzir a eficiência, possivelmente em função da fuga dos organismos ou predação dentro da rede.

De modo geral, os resultados indicam que a distribuição dos camarões de profundidade na ZEE de Moçambique é determinada por um conjunto de condições ambientais interligadas, em que a profundidade, a temperatura, a salinidade e a velocidade das correntes atuam como variáveis-chave, enquanto o tempo de imersão modula a disponibilidade local e capturabilidade das espécies. Esse padrão indica que a disponibilidade das espécies está condicionada por um conjunto de condições oceanográficas estáveis, reforçando a importância de compreender a interação entre factores físicos e biogeoquímicos na definição do habitat de camarões de profundidade.

A profundidade apresentou um papel central, com tendência positiva de captura entre 400 e 500 m, coincidindo com a faixa batimétrica considerada ótima para várias espécies da família Aristeidae e Solenoceridae (Torstensen, 2001; Groeneveld, & Everett, 2015). Esse intervalo coincide com ambientes mais frios e salinos, sugerindo que a estratificação vertical da coluna de água exerce forte influência sobre a ecologia das espécies. A literatura aponta que a interação entre profundidade, temperatura e salinidade é determinante para delimitar zonas de agregação bentónica, uma vez que controla tanto a disponibilidade de oxigénio como a estabilidade do micro-habitat (Sardà *et al.*, 2004; Maynou & Cartes, 2012).

Associado a estes, as correntes AAIW-Água Antártica Intermediária e NADW-Água Profunda do Atlântico Norte condicionam a oferta de alimento e a qualidade ambiental nas zonas de talude e relevos submarinos, que constituem áreas preferenciais de ocorrência dos camarões de profundidade (Charles, *et al.*, 2020). Assim, a variabilidade na intensidade e trajetória dessas correntes pode contribuir para os padrões de redistribuição espacial observados neste estudo, favorecendo um deslocamento das capturas para o norte.

Os mapas de projeção revelam mudanças espaciais significativas na distribuição potencial das capturas de *H. triarthrus* e *A. foliacea* sob diferentes cenários climáticos, evidenciando contrastes entre o futuro de baixas emissões (SSP1-2.6) e o de altas emissões (SSP5-8.5).

No cenário optimista (SSP1-2.6), até 2100 observa-se uma relativa manutenção das atuais áreas de pesca (especialmente entre Bazaruto A e Boa Paz), embora com sinais de deslocamento espacial de baixa intensidade em direção ao norte do canal. Ao passo que num cenário pessimista (SSP5-8.5) as capturas apresentam um aumento ao longo de toda costa moçambicana com uma maior agregação na parte norte do canal desde a região de Bazaruto A e se estendendo até norte do canal em torno da latitude 15°S.

Já no cenário pessimista (SSP5-8.5), as alterações nas capturas tornam-se mais acentuadas onde áreas tradicionais de exploração, como Inhaca, Boa Paz e Bazaruto B, tendem a apresentar redução nas capturas, enquanto regiões situadas desde Bazaruto A até ao norte passam a apresentar um aumento significativo nas capturas. Essas tendências sugerem que, embora ambas as trajetórias indiquem um aumento potencial das capturas, a intensidade e a redistribuição espacial variam fortemente conforme o cenário, o que reforça a influência direta das emissões globais nas dinâmicas pesqueiras locais.

Estudos similares em crustáceos demersais, como o camarão de profundidade *Parapenaeus longirostris* no Mediterrâneo, também registraram expansão de densidade e redistribuição espacial sob aquecimento (RCP4.5/8.5), evidenciando que variáveis como profundidade e temperatura de fundo podem remodelar a disponibilidade desses recursos (González-Andrés *et al.*, 2024).

No contexto moçambicano, essa redistribuição possui implicações diretas para a gestão pesqueira, uma vez que o deslocamento das áreas favoráveis pode desestabilizar comunidades costeiras altamente dependentes da pesca, exigindo a realocação de frotas e adaptação da actividade. Contudo, tal realocação enfrenta barreiras físicas e técnicas: muitas das regiões projetadas como futuras áreas de maior ocorrência de camarões coincidem com zonas de substrato coralino (Hoguane, 2007), o que é incompatível com a principal arte de pesca utilizada que é o arrasto de fundo. Essa limitação evidencia que as projecções biológicas, ainda que optimistas em termos de disponibilidade do recurso, podem não se traduzir em ganhos efetivos para a pesca se não houver compatibilidade com as características ambientais e tecnológicas locais.

CAPÍTULO VII: CONCLUSÃO

6. Conclusão

As capturas de *Haliporoides triarthrus* e *Aristaeomorpha foliacea* na ZEE de Moçambique estão fortemente condicionadas por variáveis ambientais, sobretudo profundidade, temperatura de fundo e salinidade, que em conjunto explicaram mais de 80% da variabilidade observada.

Ambas espécies apresentaram maior adequação ecológica em profundidades entre 400–600 m e em águas com temperaturas de 10–20 °C, confirmando preferências por ambientes mais frios e salinos.

No cenário optimista (SSP1-2.6), observa-se relativa manutenção das áreas tradicionais de pesca nas latitudes -27 a -22, com pequenos deslocamentos em direção ao norte.

No cenário pessimista (SSP5-8.5), prevê-se maior redistribuição das capturas para o norte do Canal de Moçambique ate as latitudes -14, acompanhado de redução em áreas tradicionais (Inhaca, Boa Paz e Bazaruto B) nas latitudes -27 a -22.

7. Recomendações

Para os estudos subsequentes recomenda-se:

- Que se realizem estudos sobre a biologia reprodutiva da *Aristaomorpha foliacea* uma vez que não há registos de informações ao longo da SWIO;
- Incorporar análises socioeconômicas, avaliando a resiliência e a capacidade de adaptação das comunidades pesqueiras diante de potenciais deslocamentos dos estoques.
- Investigar em maior detalhe a interação entre a distribuição das espécies e os tipos de substrato (coralino, arenoso, lodoso), dado que certas áreas projetadas como favoráveis podem não ser exploráveis pela arte de pesca actual.

CAPÍTULO V: REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

8. Referências bibliográficas

- Akaike, H. (1974). A new look at the statistical model identification. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 19(6), 716–723. <https://doi.org/10.1109/TAC.1974.1100705>
- Alves, B. G. R. (2024). Efeito da acidificação dos oceanos nos processos biogeoquímicos nos sedimentos costeiros: Experimentos in situ e em laboratório [Dissertação de mestrado, Universidade de São Paulo].
- Ambrizzi, T., & Araujo, M. (2014). Base científica das mudanças climáticas: Contribuição do Grupo de Trabalho 1 ao primeiro relatório de avaliação nacional do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. PBMC.
- Aral, M. M., & Guan, J. (2016). Global sea surface temperature and sea level rise estimation with optimal historical time lag data. *Water*, 8(11), 511. <https://doi.org/10.3390/w8110519>
- Aral, M. M., Guan, J., & Chang, B. (2012). Dynamic system model to predict global sea-level rise and temperature change. *Journal of Hydrologic Engineering*, 17(2), 237–242. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0000447](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000447)
- Arcuti, S., Calculli, C., & Pollice, A. (2013). Spatio-temporal modelling of zero-inflated deep-sea shrimp data by Tweedie generalized additive models. *Statistica & Applicazioni*, 11(2), 141–159.
- Assis, J., Fernández Bejarano, S. J., Salazar, V. W., Schepers, L., Gouvêa, L., Fragkopoulou, E., Leclercq, F., Vanhoorne, B., Tyberghein, L., Serrão, E. A., Verbruggen, H., & De Clerck, O. (2024). Bio-ORACLE v3.0: Pushing marine data layers to the CMIP6 Earth System Models of climate change research. *Global Ecology and Biogeography*, 33(4), e13813. <https://doi.org/10.1111/geb.13813>
- Belcari, P., Viva, C., Mori, M., & Ranieri, S. (2003). Fishery and biology of *Aristaeomorpha foliacea* (Risso, 1827) (Crustacea: Decapoda) in the Northern Tyrrhenian Sea (Western Mediterranean). *Journal of Northwest Atlantic Fishery Science*, 31, 195–203. <https://doi.org/10.2960/J.v31.a14>

- Berry, P. F., Heydorn, A. E. F., & Alletson, D. J. (1975). *The biology of the knife prawn, Hymenopenaeus triarthrus Stebbing, off the Natal coast* (Unpublished Report No. 22). Oceanographic Research Institute.
- Boletim da República de Moçambique. (2019). *Lei das pescas*.
- Balasubramanian, A. (2011). *Aquatic ecosystems – Marine types* [Apresentação]. ResearchGate. <https://www.researchgate.net/publication/310021416>.
- Brito, A. J. (2010). Lunar cycles, catchability of penaeid shrimps and management implications in Sofala Bank, Mozambique. *Western Indian Ocean Journal of Marine Science*, 9(1), 1–9. <https://doi.org/10.4314/WIOJMS.V9I1>
- Capaina, N. (2021). *Caracterização do sector das pescas em Moçambique*.
- Carter, T. R., Parry, M. L., Harasawa, H., & Nishioka, S. (1994). *IPCC technical guidelines for assessing climate change impacts and adaptations*. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Chanda, B. K., Trivedi, R. K., Dubey, S. K., Rout, S. K., Bega, M. M., & Das, U. K. (2015). Effect of salinity on survival and growth of giant freshwater prawn *Macrobrachium rosenbergii* (de Man). *Aquaculture Reports*, 2, 34–39. <http://dx.doi.org/10.1016/j.aqrep.2015.05.002> 2352-5134/
- Charles, C., Pelleter, E., Révillon, S., Nonnotte, P., Jorjy, S. J., & Kluska, J.-M. (2020). Intermediate and deep ocean current circulation in the Mozambique Channel: New insights from ferromanganese crust Nd isotopes. *Marine Geology*, 430, Article 106356. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2020.106356>
- Cheung, W. W. L., Pinnegar, J., Merino, G., Jones, M. C., & Barange, M. (2012). Review of climate change impacts on marine fisheries in the UK and Ireland. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 22(3), 329–351. <https://doi.org/10.1002/aqc.2243>
- Cota-Durán, A., Petatán-Ramírez, D., Ojeda-Ruiz, M. A., & Marín-Monroy, E. A. (2021). Potential impacts of climate change on shrimps distribution of commercial importance in the Gulf of California. *Applied Sciences*, 11(12), 5506. <https://doi.org/10.3390/app11125506>
- Cumbe, A. N. F. (2007). *O património geológico de Moçambique: Proposta de metodologia de inventariação, caracterização e avaliação* [Tese de doutoramento, Universidade do Minho].
- Dias, N., Filipe, O., & Pinho, M. (2015). Avaliação da pescaria industrial de arrasto de crustáceos de profundidade. *Relatório Técnico do INIP*.

- D'Incao, F. (1998). The Brazilian species of the family Aristeidae Wood-Mason (Crustacea: Decapoda). *Journal of Natural History*, 32(10-11), 1509–1518. <https://doi.org/10.1080/00222939800770621>
- Dueri, S., Bopp, L., & Maury, O. (2014). Projecting the impacts of climate change on skipjack tuna abundance and spatial distribution. *Global Change Biology*, 20(3), 742–753. <https://doi.org/10.1111/gcb.12460>
- El-Damhogy, A., Heneash, M. M., & Zaakey, A. E. (2017). Impact of water temperature and salinity on the distribution and abundance of shrimp (Crustacea: Decapoda) at Lake Burullus, Egypt. *International Journal of Ecotoxicology and Ecobiology*, 2(1), 1–11. <https://doi.org/10.11648/j.ijee.20170201.11>
- FAO. (2010). *Estudio mundial sobre las pesquerías del camarón*. Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura. <http://www.fao.org/docrep/003/t1768p/t1768p04.htm>
- Felipe, S. A. C. (2015). *Impacto da acidificação dos oceanos no desenvolvimento embrionário e larvar de peixes marinhos* [Dissertação de mestrado, Instituto Politécnico de Leiria]. Peniche.
- Furaca, N. B., Hogueane, A. M., Mackay, F., Willemse, M., & Langa, A. A. (2021). Exploring urbanization and critical habitat loss through land cover change around the Bons Sinais Estuary, Mozambique. *Western Indian Ocean Journal of Marine Science, Special Issue 1/2021*, 43–58. <https://doi.org/10.4314/wiojms.si2021.1.4>
- González-Andrés, C., Ramírez-Romero, E., Guijarro, B., Farré, M., Macias, D., & Massutí, E. (2024). Warming promotes expansion of a key demersal fishing resource of the western Mediterranean. *Frontiers in Marine Science*, 11, 1494177. <https://doi.org/10.3389/fmars.2024.1494177>
- Goodess, C. M. (2012). How is the frequency, location and severity of extreme events likely to change up to 2060? *Environmental Science and Policy*, 4(1), 4–14. [https://doi.org/10.1016/S1462-9011\(01\)00019-7](https://doi.org/10.1016/S1462-9011(01)00019-7)
- Gouvêa, L., Fragkopoulou, E., Legrand, T., Serrão, E. A., & Assis, J. (2024). Range map data of marine ecosystem structuring species under global climate change. *Data in Brief*, 50, 110023. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2023.110023>
- Groeneveld, J., & Everett, B. (2015). Deep-water trawl fisheries for crustaceans. In R. P. van der Elst & B. Everett (Eds.), *Offshore fisheries of the Southwest Indian Ocean: Their status and the*

impact on vulnerable species (pp. 164–182). Oceanographic Research Institute. <https://www.researchgate.net/publication/277326775>

- Groeneveld, J. C., Hogueane, A. M., Kuguru, B., Mackay, F., Munga, C., & Santos, J. (2021). Estuarine-WIO: A socio-ecological assessment of small-scale fisheries in estuaries of the Western Indian Ocean. *Western Indian Ocean Journal of Marine Science, Special Issue 1/2021*, 1–15. <https://doi.org/10.4314/wiojms.si2021.1.1>
- Guisan, A., Edwards, T. C., & Hastie, T. (2002). Generalized linear and generalized additive models in studies of species distributions: Setting the scene. *Ecological Modelling*, 157(2–3), 89–100. [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(02\)00204-1](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(02)00204-1)
- Hastie, T., & Tibshirani, R. (1987). Generalized additive models: Some applications. *Journal of the American Statistical Association*, 82(398), 371–386. <https://doi.org/10.2307/2289439>
- Hogueane, A. M. (2007). Perfil diagnóstico da zona costeira de Moçambique. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 7(1), 69–82. <https://doi.org/10.5894/rgci90>
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2001). *Climate change 2001: The scientific basis* (J. T. Houghton & Y. Ding, Eds.). Cambridge University Press.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). (2007). *Climate change 2007: Summary for policymakers*. <http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-spm.pdf>
- Juízo, D., & Nhantumbo, C. (2022). *Climate change vulnerability assessment in selected coastal communities in Mozambique* [Relatório].
- Juliasse, A. I. (2018). *Análise da influência dos parâmetros oceanográficos (maré, temperatura) e ambientais (ventos, precipitação) na abundância dos pequenos pelágicos no distrito de Pebane, província da Zambézia* [Dissertação de mestrado]. Universidade Licungo, Quelimane.
- Kapisris, K., Thessalou-Legaki, M., Petrakis, G., & Conides, A. (2010). Ontogenetic shifts and temporal changes in the trophic patterns of the deep-sea red shrimp, *Aristaeomorpha foliacea* (Decapoda: Aristeidae), in the Eastern Ionian Sea (Eastern Mediterranean). *Marine Ecology*, 31(2), 341–354. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0485.2009.00336.x>
- Lauria, V., Gristina, M., Attrill, M. J., Fiorentino, F., & Garofalo, G. (2015). Predictive habitat modelling as a tool for spatial management: Marine spatial planning and fisheries resources management applications. *PLOS ONE*, 10(11), e0142280. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0142280>

- Lalli, C., & Parsons, T. (2006). *Biological oceanography: An introduction* (2nd ed.). Butterworth-Heinemann.
- Lima, P. P. (2011). *Influência da salinidade e temperatura da água nas respostas comportamentais e fisiológicas de camarões marinhos Litopenaeus vannamei* [Dissertação de mestrado]. Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.
- Lima, A. R. A., Baltazar-Soares, M., Garrido, S., et al. (2022). Forecasting shifts in habitat suitability across the distribution range of a temperate small pelagic fish under different scenarios of climate change. *Ecological Indicators*, 138, 108813. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108813>
- Lopez, J., Moreno, G., Lennert-Cody, C., et al. (2017). Environmental preferences of tuna and non-tuna species associated with drifting fish aggregating devices (DFADs) in the Atlantic Ocean, ascertained through fishers' echo-sounder buoys. *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 140, 127–138. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2017.02.007>
- Lopez, J., Moreno, G., Ibaibarriaga, L., & Dagorn, L. (2017). Diel behaviour of tuna and non-tuna species at drifting fish aggregating devices (DFADs) in the Western Indian Ocean, determined by fishers' echo-sounder buoys. *Marine Biology*, 164(3), 44. <https://doi.org/10.1007/s00227-017-3075-3>
- Lutjeharms, J. R. E., & van der Elst, C. (2006). The coastal oceans of south-eastern Africa. In A. R. Robinson & K. H. Brink (Eds.), *The sea: The global coastal ocean. Interdisciplinary regional studies and syntheses* (Vol. 14, pp. 783–834). Harvard University Press.
- Malauene, B. S., Moloney, C. L., Lett, C., Roberts, M. J., Marsac, F., & Penven, P. (2018). Impact of offshore eddies on shelf circulation and river plumes of the Sofala Bank, Mozambique Channel. *Journal of Marine Systems*, 185, 1–12. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2018.05.001>
- Maynou, F. (2008). Environmental causes of the fluctuations of red shrimp (*Aristeus antennatus*) landings in the Catalan Sea. *Journal of Marine Systems*, 71(3–4), 294–302. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2007.01.009>
- Maynou, F., & Cartes, J. E. (2012). Effects of trawling on fish and invertebrates from deep-sea coral facies of *Isidella elongata* in the western Mediterranean. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 92(7), 1501–1507. <https://doi.org/10.1017/S0025315411001603>

- MIMAIP. (2019). *Estudo 3: Avaliação final da implementação das medidas de gestão adotadas para a pescaria de gamba e fauna acompanhante*. Ministério do Mar, Águas Interiores e Pescas.
- MIMAIP. (2021). *Plano de gestão da pescaria de camarão do Banco de Sofala 2021–2025*. Ministério do Mar, Águas Interiores e Pescas.
- Moreira, A. I. R., & Ramos, M. C. P. (2016). *Alterações climáticas e suas consequências: Deslocamentos populacionais forçados* [Dissertação de mestrado]. Universidade do Porto.
- Morettin, P. A., & Singer, J. M. (2021). *Estatística e ciência de dados: Versão preliminar*. EdUSP.
- Moura, N. S. V., Moran, E. F., Strohaecker, T. M., & Kunst, A. V. (2015). A urbanização na zona costeira: Processos locais e regionais e as transformações ambientais – O caso do litoral norte do estado do Rio Grande do Sul, Brasil. *Ciência e Natura*, 37(2), 503–517. <https://doi.org/10.5902/2179460X18503>
- Mugo, R., Saitoh, S., Nihira, A., & Kuroyama, T. (2010). Habitat characteristics of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) in the western North Pacific: A remote sensing perspective. *Fisheries Oceanography*, 19(5), 382–396. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2419.2010.00552.x>
- Nataniel, A. N. (2021). *A socio-ecological and economic approach to tropical tuna fisheries in the Mozambique Channel* [Tese de doutoramento].
- Nataniel, A., Pennino, M. G., Lopez, J., & Soto, M. (2021). Modelling the impacts of climate change on skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) in the Mozambique Channel. *Fisheries Oceanography*, 30(6), 579–595. <https://doi.org/10.1111/fog.12568>
- Nhantumbo, B. F. (2024). *Efeitos das alterações climáticas na redistribuição do camarão Penaeidae na costa de Moçambique* [Tese de licenciatura]. Universidade Eduardo Mondlane, Quelimane.
- Nunes, H. R. (2007). *Influência dos factores salinidade, temperatura, intensidade luminosa e aeração sobre a taxa de metamorfose de náuplios para protozoa e sobre a qualidade das larvas de Litopenaeus vannamei* [Dissertação de mestrado]. Universidade Federal de Santa Catarina.
- Nunes, L. H. (2008). *Mudanças climáticas: Impactos físicos e socioeconómicos*. Câmara dos Deputados. <http://bd.camara.gov.br>
- Oliveira, I. A., Hazin, H. G., Hazin, V. F. H., Travassos, P. E. P., Silva, G. B., Mourato, B. L., & Carvalho, F. (2015). Distribuição do agulhão negro no Atlântico Sul e Equatorial e potencial de

- estratégia de manejo espacial. *Boletim do Instituto de Pesca*, 41(3), 607–617. <https://www.pesca.agricultura.sp.gov.br/boletim>
- Oliveira, A. G. (2018). *Predizendo impactos das mudanças climáticas sobre a diversidade funcional de peixes de água doce: Um panorama “down under”* [Dissertação de mestrado]. Universidade Estadual de Maringá.
 - Paglia, A. P., Rezende, D., Koch, I., & Kortz, A. R. (2012). Modelos de distribuição de espécies em estratégias para a conservação da biodiversidade e para adaptação baseada em ecossistemas frente a mudanças climáticas. *Natureza & Conservação*, 10(2), 154–161. <https://www.researchgate.net/publication/269807399>
 - Pan, S., Liu, Z., Han, Y., Zhang, D., Zhao, X., Li, J., & Wang, K. (2024). Using the Pearson’s correlation coefficient as the sole metric to measure the accuracy of quantitative trait prediction: Is it sufficient? *Frontiers in Plant Science*, 15, 1480463. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1480463>
 - Pereira, M. M., Litulo, C., Leal, M. C., & Fernandes, R. (2014). *Mozambique marine ecosystems review*. <https://doi.org/10.13140/2.1.2092.5766>
 - Pezzuto, P. R., Perez, J. A. A., & Wahrlich, R. (2006). Deep-sea shrimps (Decapoda: Aristeidae): New targets of the deep-water trawling fishery in Brazil. *Brazilian Journal of Oceanography*, 54(2–3), 123–134. <https://doi.org/10.1590/S1679-87592006000200007>
 - Pezzuto, P. R. (2016). Avaliação dos camarões de profundidade (Decapoda: Aristeidae). *Relatório técnico*. <https://www.researchgate.net/publication/311486468>
 - Robey, J. (2013). *An assessment of abundance trends and biology of langoustines (*Metanephrops mozambicus*) and pink prawns (*Haliporoides triarthrus*) from the deep-water trawl fishery off eastern South Africa* [Dissertação de mestrado].
 - Robey, J., Fennessy, S. T., Everett, B. I., Santos, J., & Groeneveld, J. C. (2013). Patterns in abundance, population structure and biology of knife prawn *Haliporoides triarthrus* on deep-water trawl grounds off eastern South Africa. *African Journal of Marine Science*, 35(1), 25–37. <https://doi.org/10.2989/1814232X.2013.769911>
 - Santos, F. D., & Miranda, P. (2006). *Alterações climáticas em Portugal: Cenários, impactos e medidas de adaptação. Projeto SIAM II*. Gradiva.

- Salini, J. P., Brewer, D. T., Farmer, M. J., & Blaber, S. J. M. (2001). Factors affecting the catch rates of prawns in trawls: The role of lunar phase, diel period and other environmental variables. *Marine Biology*, 139(3), 651–665. <https://doi.org/10.1007/s002270000528>
- Sardà, F., Maynou, F., & Cartes, J. E. (2004). Influence of environmental factors on the distribution of megabenthic crustaceans in the northwestern Mediterranean. *ICES Journal of Marine Science*, 61(5), 751–758. <https://doi.org/10.1016/j.icesjms.2004.05.005>
- Shi, P. (2016). Insurance ratemaking using a copula-based multivariate Tweedie model. *Scandinavian Actuarial Journal*, 2016(3), 198–215. <https://doi.org/10.1080/03461238.2013.806840>
- Simango, M. L. (2019). *Estudo da dinâmica e abundância populacional de camarões Penaeideos no Estuário dos Bons Sinais, distrito de Quelimane* [tese de licenciatura]. Universidade Eduardo Mondlane.
- Stebbing, T. R. R. (1914). *Crustacea, for the Marine Investigations in South Africa*. *Annals of the South African Museum*, 15, 55–57.
- Ternon, J. F., Bach, P., Barlow, R., Huggett, J., Jaquemet, S., Marsac, F., Ménard, F., Penven, P., Potier, M., & Roberts, M. J. (2014). The Mozambique Channel: From physics to upper trophic levels. *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 100, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2013.10.012>
- Torstensen, D. (2001). Avaliação preliminar dos recursos de camarão de profundidade em Moçambique. *Revista de Investigação Pesqueira de Maputo*, 21, 154–157.
- Tew-Kai, E., & Marsac, F. (2009). Patterns of variability of sea surface chlorophyll in the Mozambique Channel: A quantitative approach. *Journal of Marine Systems*, 77(1–2), 77–88. <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2008.11.007>
- Wood, S. N. (2006). *Generalized additive models: An introduction with R*. Chapman & Hall/CRC.
- Wood, S. N. (2017). *Generalized additive models: An introduction with R* (2nd ed.). Chapman & Hall/CRC.
- Wood, S. N. (2020). Inference and computation with generalized additive models and their extensions. *TEST*, 29(2), 307–339. <https://doi.org/10.1007/s11749-020-00711-5>

- Wyban, J. (1995). Temperature effects on growth, feeding rate and feed conversion of the Pacific white shrimp (*Penaeus vannamei*). *Aquaculture*, 138(1–4), 267–279. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(95\)00032-1](https://doi.org/10.1016/0044-8486(95)00032-1)
- Yen, K., Su, N., Teemari, T., et al. (2016). Predicting the catch potential of skipjack tuna in the Western and Central Pacific Ocean under different climate change scenarios. *Journal of Marine Science and Technology*, 24(6), 1163–1176. <https://doi.org/10.6119/JMST-016-0713-1>
- Yee, T. W., & Mitchell, N. D. (1991). Generalized additive models in plant ecology. *Journal of Vegetation Science*, 2(5), 587–602. <https://doi.org/10.2307/3236170>
- Zuur, A. F., Ieno, E. N., Walker, N. J., Saveliev, A. A., & Smith, G. M. (2009). *Mixed effects models and extensions in ecology with R*. Springer

9. Anexos

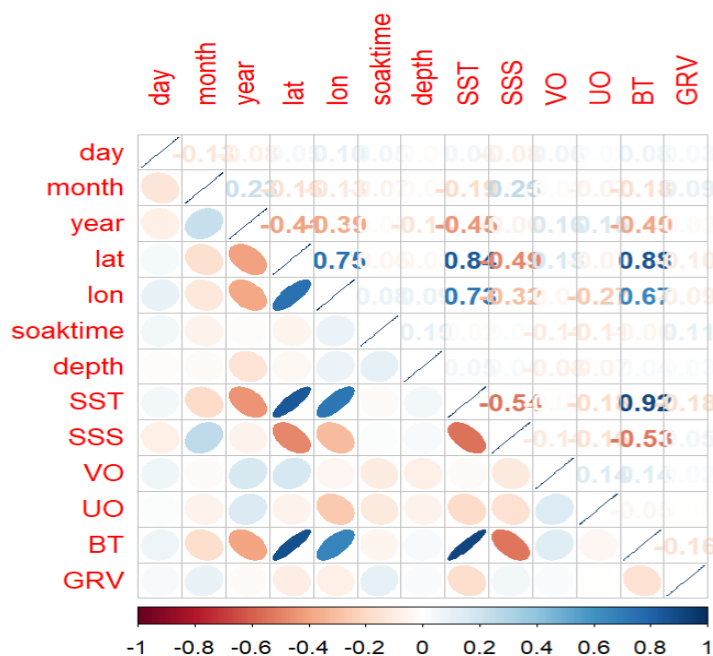


Tabela 3: Tabela do índice de correlação de Pearson entre as variáveis

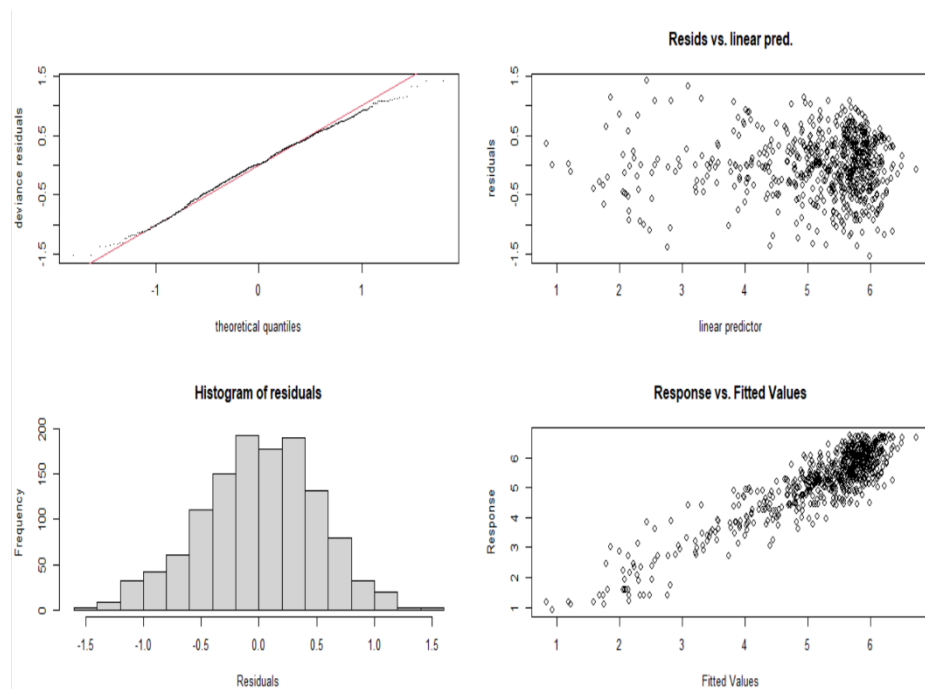


Figura 9: Ilustração da inspeção gráfica da performance do modelo