



Universidade Eduardo Mondlane

Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras

Monografia para Obtenção do Grau de Licenciatura em Biologia Marinha

**Redistribuição de camarões da família Penaeidae na região da Zona
Económica Exclusiva de Moçambique**

Autor:

Oliveira Juvêncio Gordinho Armando



UNIVERSIDADE
E D U A R D O
M O N D L A N E

Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras

Monografia para Obtenção do Grau de Licenciatura em Biologia Marinha

Redistribuição de camarões da família penaidae na região da Zona Económica Exclusiva de Moçambique

Autor:

(Oliveira Juvêncio G. Armando)

Supervisor:

(Doutor Anildo Naftal Nataniel)

Co-supervisor (a):

(Lic.ª. Bécia da Fiana Nhantumbo)

Presidente do júri:

(Msc. Bonifácio Manuessa)

Avaliador:

(Msc. Humberto S. Mabota)

Quelimane, Abril de 2025

Dedicatória



Dedico aos meus pais, Juvêncio Oliveira Armando e Berta Gordinho F. Furuma, que com amor e carinho, sempre me apoiaram.



“Talvez não tenha conseguido fazer o melhor, mas lutei para que o melhor fosse feito. Não sou o que deveria ser, mas Graças a Deus, não sou o que era antes”.

Martin Luther King

Agradecimentos

Em primeiro lugar, agradeço a Deus pela oportunidade da vida e possibilidade de contribuir de alguma forma compartilhando o resultado modesto que absorvi ao longo da formação.

O grupo de pessoas deve receber minha atenção especial são os meus pais: Juvêncio Oliveira e Berta Gordinho; aos meus irmãos: Armando, Sílvio, Delfina, Marquinha, Gabriela e a minha caçula Aracel não deixar do lado a minha sobrinha linda Berta. Tudo o que faço penso em vocês. Tudo que luto para obter uma posição na vida é para poder oferecer-lhes meu apoio incondicional. Eu amo todos vocês e lamento por não dizer isso mais vezes. Saibam que levo vocês comigo para onde quer que eu vá.

Agradeço ao meu supervisor Doutor Anildo Nataniel Naftal, pela paciência, apoio, compreensão, pelos conhecimentos transmitidos durante a minha formação.

Não esquecendo dos demais familiares e amigos que tanto torcem por mim. Em especial meu amigo e companheiro das batalhas Anilo Uassitela e Zarco Alfredo a vocês meus amigos endereço a minha profunda gratidão, os meus irmãos que juntos partilhamos a hospedagem e nos tornamos grande família: Amilton Roberto, António Chale e Renato Zonjo; Bécia Nhantumbo, Jessica Morengo, Denisia Catela, Belson Cumbe, Augusto Michone, meu muito obrigado.

Sem deixar do lado a minha companheira das batalhas desde pre-ensino até ao ensino universitário Maria Chiringuze, kanimambo.

Agradeço a minha turma de Biologia Marinha “2020” pelo companheirismo, aos docentes da Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras da Universidade Eduardo Mondlane, meu profundo agradecimento pelo conhecimento transmitido durante a minha formação, e a todos os funcionários da escola meu muitíssimo obrigado. Minha gratidão também a todos os pensadores, escritores e cientistas que fazem parte da história humana e já de longa data nos alertam a respeito da importância de preservar o meio ambiente.

Declaração de honra

Eu, **Oliveira Juvêncio Gordinho Armando**, declaro por minha honra, que este trabalho de culminação do curso em Biologia Marinha com o tema “Redistribuição do camarão da família Peneídea na região da Zona Económica Exclusiva”, nunca foi apresentado na sua essência ou parte do mesmo para obtenção de qualquer grau académico, e que o mesmo constitui resultado da minha investigação pessoal sob orientação dos meus supervisores, estando indicada no trabalho todas as fontes para a elaboração da mesma.

Autor

A handwritten signature in black ink that reads "Oliveira Armando". The signature is written in a cursive style with a large initial 'O'.

(Oliveira Juvêncio G. Armando)

Resumo

Os camarões da família Penaeidae constituem um recurso pesqueiro de grande importância econômica mundial para indústria pesqueira. A Zona Económica Exclusiva de Moçambique apresenta uma grande diversidade de espécies de camarões da família penaeidae, que desempenham um papel crucial na sustentabilidade dos ecossistemas marinhos e na economia local. No entanto, nos últimos anos, observa-se um padrão de redistribuição dessas espécies, o que tem levantado preocupações e questionamentos por parte de pescadores, pesquisadores e gestores ambientais. O presente estudo foi concebido para prever e modelar a redistribuição do camarão da família penaeidae na região da Zona Económica Exclusiva de Moçambique e identificar as variáveis ambientais que influenciam nessa redistribuição. Para a concepção do modelo foram utilizados dados de arrasto pelágico coletados durante o cruzeiro “Fridtjof Nansen”. As observações abrangem dois períodos distintos: de fevereiro a março de 2018 e de maio a junho de 2023. A área de estudo está situada entre as latitudes (-16° Sul e -25° Sul), e as longitudes (33°E e 40°E). Para modelar a redistribuição do camarão penaeidae no MZC, optou-se por GAM (Modelo Aditivo Generalizado), uma distribuição de Gauss foi usada para ajustar o modelo. As variações foram ilustradas através do gráfico de regressão múltipla, que explica a variação das capturas $f(x)$ em função de cada variável independente, onde as variáveis selecionadas foram significativas ao modelo com cerca de 58,5 % de desvio explicado: (Latitude – Longitude; Temperatura Superficial do Mar (SST); Velocidade das correntes no sentido Este (U_0); e o Oxigénio ($mmolm^{-3}$). Foi selecionado o modelo GAM para explicar a variação espacial e temporal do camarão penaeidae no MZC, e incluiu como preditor significativo a Temperatura Superficial do Mar. O resultado do modelo prevê mudanças entre os intervalos de tempo futuro de “2050-2030”, “2070-2030”, e “2090-2030” da redistribuição do camarão peneídea na região da Zona Económica Exclusiva de Moçambique entre os cenários (Optimista, Pessimista e Moderado).

Palavras-chaves: Camarão peneídea, Zona Económica Exclusiva, variáveis ambientais, MZC, GAM.

Abstract

Penaeidae shrimps are a fishery resource of great economic importance to the global fishing industry. Mozambique's Exclusive Economic Zone boasts a wide diversity of Penaeidae shrimp species, which play a crucial role in the sustainability of marine ecosystems and the local economy. However, in recent years, a pattern of redistribution of these species has been observed, raising concerns and questions among fishermen, researchers, and environmental managers. This study was designed to predict and model the redistribution of Penaeidae shrimps within Mozambique's Exclusive Economic Zone and identify the environmental variables that influence this redistribution. Pelagic trawl data collected during the "Fridtjof Nansen" cruise were used to develop the model. The observations cover two distinct periods: from February to March 2018 and from May to June 2023. The study area is located between latitudes (-16° South and -25° South), and longitudes (33°E and 40°E). To model the redistribution of penaeidae shrimp in the MZC, GAM (Generalized Additive Model) was chosen, a Gaussian distribution was used to fit the model. The variations were illustrated through a multiple regression graph, which explains the variation in catches $f(x)$ as a function of each independent variable. The selected variables were significant to the model with approximately 58.5% of the explained deviation: (Latitude–Longitude; Sea Surface Temperature (SST); Eastward Current Velocity (U_0); and Oxygen (mmolm^{-3}). The GAM model was selected to explain the spatial and temporal variation of penaeidae shrimp in the MZC, and included Sea Surface Temperature as a significant predictor. The model results predict changes between the future time intervals of "2050-2030," "2070-2030," and "2090-2030" in the redistribution of penaeidae shrimp in the Mozambique Exclusive Economic Zone region, among the scenarios (Optimistic, Pessimistic, and Moderate).

Keywords: Penaeidae shrimp, Exclusive Economic Zone, environmental variables, MZC, GAM.

Lista de siglas ou abreviaturas

AIC	Critério de Informação Akaike
GLM	Modelo Linear Generalizado
GAM	Modelos Aditivos Generalizados
MDE	Modelo de Distribuição de Espécies
MZC	Canal de Moçambique
TSM/SST	Temperatura Superficial do Mar
netCDF	Formulário de dados comuns de rede
CGV	Validação Cruzada Generalizada
Oxy	Oxigénio dissolvido
Uo	Velocidade das correntes no sentido Este
r	correlação de Pearson
MLD	Camada de mistura de densidade
So	Salinidade
RMSE	Erro dos Mínimos Quadrados
RCP	Representative Concentration Pathways
2050-2030	Diferença de estudo entre os anos de 2050 à 2030
Dev. Expl	Desvio Explicado
ZEE	Zona Económica Exclusiva

Lista de figuras

Figura 1: Camarão da família peneídea Rafinesque, 1815 (Marques, 2015).....	5
Figura 2: Ciclo de vida de camarão Peneídeo (García & E LE Reste, 1987).	6
Figura 3: Redistribuição das capturas em (tons) do camarão da família Peneídea na região do canal de Moçambique. Todas capturas foram alvo de arrasto pelágico capturado entre os períodos de 2018 e 2023. Onde os pontos vermelhos indicam os locais e as proporções do camarão penaedae desembarcado no cruzeiro “Fridtjof Nansen”.	10
Figura 4: Ajustes suavizados de covariáveis do modelo GAM, modelando a captura de camarão peneídea na região da ZEE de Moçambique. O painel mostra os efeitos parciais de cada covariável, nomeadamente Temperatura Superficial do Mar (SST), Velocidade das correntes no sentido Este (Uo) e Oxigénio (Oxy), plotados como ajustes suavizados e mapa de contorno da distribuição de capturas. As marcas de escala no eixo x são os dados observados. O eixo y representa a contribuição dos termos suaves para o modelo na escala de preditores lineares. Os eixos y, denotados como $f(x)$, refletem a	

importância relativa da variável preditora do modelo. As linhas tracejadas inferior e superior indicam os limites de confiança de 95% do gráfico suave.....19

Figura 5: Diferenças projectadas nas capturas (toneladas) de camarão *Peneídea* na região da Zona Económica Exclusiva de Moçambique, alvo de redes de arrasto pelágico e associadas entre os cenários futuros (2050, 2070 e 2090) no âmbito do BIO-ORACLE: SSP2.6, SSP3.7 e SSP8.5. A primeira coluna (painel “a”, “d”, “g”) representa as anomalias das capturas previstas entre as camadas de 2050 – 2030. A segunda coluna (painel “b”, “e”, “h”) mostra anomalias entre as camadas de 2070 – 2030. E a terceira coluna (painel “c”, “f”, “i”), exhibe as anomalias entre as camadas 2090 – 2030 da redistribuição do camarão na região da ZEE de Mz.21

Lista de equações

Lista de tabela

Tabela 1: Representantes da superfamília <i>Peneídea</i> (De Grave, et al., 2009)	4
Tabela 2: Espécies mais comum da família <i>Penaedae</i>	4
Tabela 3: Espécies amostradas e locais de origem.....	11

Índice

Dedicatória	i
Agradecimentos.....	iii
Declaração de honra	iv
Resumo.....	v
Abstract	vi
Lista de siglas ou abreviaturas	vii
Lista de figuras	vii
Lista de equações	viii
Lista de tabela.....	viii
Capítulo I: Introdução & Objectivos	1
1. Introdução	1
1.1. Problematização e Justificativa	2
1.1.1. Problematização	2
1.1.2. Justificativa.....	2
1.2. Objectivos.....	3
1.2.1. Geral:.....	3
1.2.2. Específicos:	3
Capítulo II: Revisão bibliográfica	4
2. Características Biológicas do Camarão da família Penaedae	4
2.1. Classificação taxonómica	5
2.2. Ciclo de vida, Ecologia e Habitat de camarão da família peneídea	6
2.3. Importância dos camarões Penaedae para Moçambique	7
2.4. Modelo preditivo de distribuição de espécies.....	7
2.5. Modelos Aditivos Generalizados (GAM).....	8
2.5.1. Termos aditivos do modelo	9
Capítulo III: Metodologia.....	10
3. Metodologia	10

3.1. Área de estudo	10
3.2. Dados de capturas	11
3.3. Aquisições das variáveis ambientais	11
3.4. Análise exploratória dos dados	12
3.5. Construção e ajuste do modelo	13
3.6. Previsão da redistribuição das capturas do camarão <i>Peneídea</i> no cenário ambiental.....	16
Capítulo IV: Resultados e Discussão	18
4. Resultados	18
4.1. Performance do Modelo GAM	18
4.2. Efeito das Variáveis Ambientais na redistribuição do camarão <i>peneídea</i>	18
4.3. Previsões futuras da distribuição espacial do camarão <i>penaediae</i> no MZC	19
5. Discussão	22
Capítulo V: Conclusão e Recomendações	25
6. Conclusão.....	25
7. Recomendações.....	25
Capítulo VI: Referências bibliográficas	26
8. Referências bibliográficas.....	26

Capítulo I: Introdução & Objectivos

1. Introdução

Os crustáceos estão entre os animais com maior variedade morfológica, além de estarem presentes em diferentes tipos de ambientes (Martin & Davis, 2001). Estes organismos são encontrados em, praticamente, todas as latitudes; desde a região costeira até o mar profundo dos oceanos (Fransozo & Negreiros-Fransozo, *Zologia dos Invertebrados*, 2017), dentre eles destaca-se a família Peneídea, a qual inclui as espécies de camarões marinhos mais importantes do mundo, apresenta ampla distribuição geográfica, ocorrendo em todos os oceanos, principalmente nas regiões tropical e subtropical (Baldwin, 1998; Boos, 2016).

Os camarões peneídeos (Crustacea, Decapoda, Penaeidae) possuem importância ecológica, participando de relações tróficas essenciais na manutenção de ecossistemas (Pires, 1992; Sousa, Costa, Martins, & Fransozo, 2014). As distribuições das espécies de camarões marinhos dependem de uma variedade de factores ambientais (Boschi, 2000). Alguns pesquisadores têm investigado ao longo dos anos, como a distribuição de camarões Peneídea pode ser modulada pela variação de parâmetros ecológicos, particularmente, o tipo de sedimento, temperatura, salinidade e matéria orgânica (Nakagaki, Negreiros-Fransozo, & Fransozo, 1995; Negreiros-Fransozo, Nakagaki, & Reigada, 1999; Silva, Sancinetti, Fransozo, Azeveo, & Costa, 2014; Pantaleao, Batista, Fransozo, & Costa, 2016).

O conhecimento da distribuição das espécies, e dos factores que limitam essa distribuição tem sido foco de atenção de duas grandes áreas, a biogeografia e a biologia de conservação (Brown, Stevens, & Kaufman, 1996; Grehan, 1992). A delimitação da distribuição geográfica das espécies é um importante requisito para a adoção de acções conservacionistas mais eficientes (Austin, 2002). Uma das maneiras de se avaliar as consequências das mudanças climáticas para a distribuição de espécies é o uso do MDE (Modelo de Distribuição de Espécies) para visualizar as alterações na disponibilidade de áreas com condições ambientais adequadas para a ocorrência de determinada espécie ou grupo de espécies, frente às alterações no clima (Paglia, Teixeira de Rezende, Koch, Kortz, & Donatti, 2012). Os modelos de distribuição potencial de espécies são ferramentas que surgiram com a proposta de preencher as lacunas de conhecimento sobre os limites geográficos de espécies de interesse, e ainda ajudam na formulação de novas hipóteses sobre os mecanismos que determinam a distribuição destas espécies (Guisan & Zimmermann, 2000).

O aumento da pesca industrializada exerce forte pressão sobre os estoques naturais, resultando em sua redução. Curiosamente, a gestão pesqueira do camarão no Banco de Sofala, região central do país, ocorre de forma separada da Baía de Maputo, sugerindo a existência de estoques distintos (Simbine, 2015).

No entanto, a dinâmica da circulação oceânica e o comportamento de dispersão larval de algumas espécies de camarão indicam a necessidade de um estudo mais aprofundado sobre a sua redistribuição no canal de Moçambique. Avaliar o nível de distribuição do camarão nessa região é fundamental para uma gestão sustentável e eficaz dos recursos pesqueiros.

O objectivo do presente estudo está justamente em analisar as variáveis ambientais que influenciam a redistribuição do camarão da família peneídea na região da Zona Económica Exclusiva de Moçambique. Desta forma, o presente estudo preenche uma lacuna importante, já que pouco se sabe sobre a redistribuição do camarão peneídea na região da ZEE de Mz e os factores ambientais que a afectam.

1.1. Problematização e Justificativa

1.1.1. Problematização

Os camarões da família Peneídea, podem ser encontrados em todos os oceanos (Dall, Hill, Rothlisberg, & Staples, 1990). A região de Moçambique apresenta uma grande diversidade de espécies de camarões peneídea, que desempenham um papel crucial na sustentabilidade dos ecossistemas marinhos e na economia local. No entanto, nos últimos anos, observa-se um padrão de redistribuição dessas espécies, o que tem levantado preocupações e questionamentos por parte de pescadores, pesquisadores e gestores ambientais. Por outro lado, o efeito da variação das condições ambientais oceanográficas e as alterações climáticas têm sido apontados como factores que alteram a distribuição e captura do camarão da família penaeidae (Ashle *et al.*, 2018; Chassot *et al.*, 2019; Dueri *et al.*, 2014). Diante desse pressuposto, torna-se imperativa a realização de estudos aprofundados para elucidar as causas e os impactos desse fenómeno.

1.1.2. Justificativa

Os camarões peneídeos constituem um recurso pesqueiro de grande importância económica mundial para indústria pesqueira (Dall, Hill, Rothlisberg, & Staples, 1990; Chan, 1998; Leung & Engle, 2006; FAO, 2007). A análise da sua redistribuição pode oferecer percepções valiosas acerca das alterações ambientais e dos padrões migratórios destes camarões. Em diversas regiões, incluindo o Canal de Moçambique, a pesca de camarão representa uma actividade económica de relevo. O conhecimento

da distribuição geográfica é fundamental para embasar estudos evolutivos e ecológicos das espécies. As distribuições futuras dessas espécies são também cruciais para nos guiar nas ações de adaptação, como por exemplo, na avaliação dos custos da restauração desses mananciais em áreas com diminuição prevista de espécies e na identificação de áreas que podem ser usadas como corredores ecológicos. A compreensão da redistribuição dos camarões poderá também ter implicações significativas para a indústria pesqueira.

1.2.Objectivos

1.2.1. Geral:

- Modelar a redistribuição de camarões da família peneídea na região da Zona Económica Exclusiva de Moçambique

1.2.2. Específicos:

- Compreender os efeitos das variáveis ambientais na redistribuição do camarão peneídeo;
- Prever a redistribuição espacial do camarão peneídeo.

Capítulo II: Revisão bibliográfica

2. Características Biológicas do Camarão da família Penaeidae

Os camarões da família Penaeidae são crustáceos decápodes que incluem várias espécies importantes para a pesca comercial. Entre os representantes da superfamília Peneídea, sete famílias são conhecidas (Tabela 1). Destas, a família Peneídea é a mais abundante (Dall, Hill, Rothlisberg, & Staples, 1990). A família Peneídea inclui inúmeras espécies de interesse econômico, amplamente exploradas pela pesca artesanal e industrial (Fransozo, et al., 2016).

Tabela 1: Representantes da superfamília de Camarão (*De Grave, et al., 2009*):

Representantes da superfamília de camarão
Aegeridae Burkenroad, 1963 (somente fóssil)
Aristeidae Wood-Mason in Wood-Mason & Alcock, 1891
Benthescymidae Wood-Mason in Wood-Mason & Alcock, 1891
Carpopenaeidae Garassino, 1994 (somente fóssil)
Sicyoniidae Ortmann, 1898
Solenoceridae Wood-Mason in Wood-Mason & Alcock, 1891
Peneídea Rafinesque, 1815

A pesca do camarão em Moçambique, tem sido considerada um dos pilares da economia nacional, sendo que as espécies mais comuns da família Peneídea estão listadas na Tabela 2. Dados de capturas de pesca mostraram predominância de *F. indicus* e *M. monoceros*, provavelmente por serem as espécies mais abundantes dentro dos grupos dos peneídeos existentes nesta região (Ronneback, Macie, Almqvist, Schultz, & Troell, 2002).

Tabela 2: Espécies mais comum da família Penaeidae:

Espécies
<i>Penaeus monodon</i> (Giant Tiger prawn)
<i>Melicertus latisulcatus</i> (Western King prawn)
<i>Metapenaeus monóceros</i> (Speckled shrimp)
<i>Marsupenaeus japonicus</i> (Kuruma prawn)
<i>Fenneropenaeus indicus</i> (Indian White prawn)
<i>Penaeus semisulcatus</i> (Green Tiger prawn)

Os camarões peneídeos compreendem um grupo diverso de espécies que habitam ambientes estuarinos (De Croos & Palsson, 2010), distribuídas em regiões tropicais e subtropicais (Dall, Hill, Rothlisberg, & Staples, 1990; Chan, 1998). Possuem uma importância econômica mundial tanto na indústria pesqueira como na aquacultura. Porém, muitas espécies encontram-se sobre-explotadas nas regiões onde elas ocorrem (De Croos & Palsson, 2010; MINISTÉRIO DAS PESCAS-MOÇAMBIQUE, 2012).

2.1. Classificação taxonômica

Os camarões da família Peneídea, divididos atualmente em 33 gêneros e 216 espécies existentes, possuem uma ampla distribuição em quatro regiões: a região Indo-Oeste (Austrália e Ásia) do Pacífico, leste do Pacífico, Oeste e leste do Atlântico (Dall, Hill, Rothlisberg, & Staples, 1990; Chan, Tong, Tam, & Chu, 2008), na parte oriental do Mar Mediterrâneo e da África Oriental, incluindo o Banco de Sofala (Caveriviere, Chaboud, & Rafalimanana, 2008; Franco & Ferreira., 2006; Primavera, 1985; Yano, 1995). Segundo (Fisher, et al., 1990) que consideraram a classificação taxonômica feita por (Rafinesque, 1815), em Moçambique sete gêneros ocorrem e 19 espécies, muitos destes gêneros habitam águas costeiras, com exceção dos gêneros *Metapenaeopsis*, *Parapenaeus* e *Penaeopsis*, que se distribuem em águas profundas (Perez-Farfante & Kensley, 1997; Sakai & Shinomiya, 2011; Frasen & De Grave, 2009).

As espécies de camarões marinhos analisadas no presente estudo pertencem a família Penaeidae (Rafinesque, 1815), economicamente importante para a região de Moçambique. Pertencem ao filo Arthropoda, à classe Malacostraca, à ordem Decapoda, e à subordem Dendrobranchiata (Bate, 1888). A Família Penaeidae teve seu gênero *Penaeus* desmembrado em vários gêneros por (Perez-Farfante & Kensley, 1997), sendo que as espécies que ocorrem no Canal de Moçambique estão divididas em dois gêneros: *Penaeus spp*, *Metapenaeus sp*.

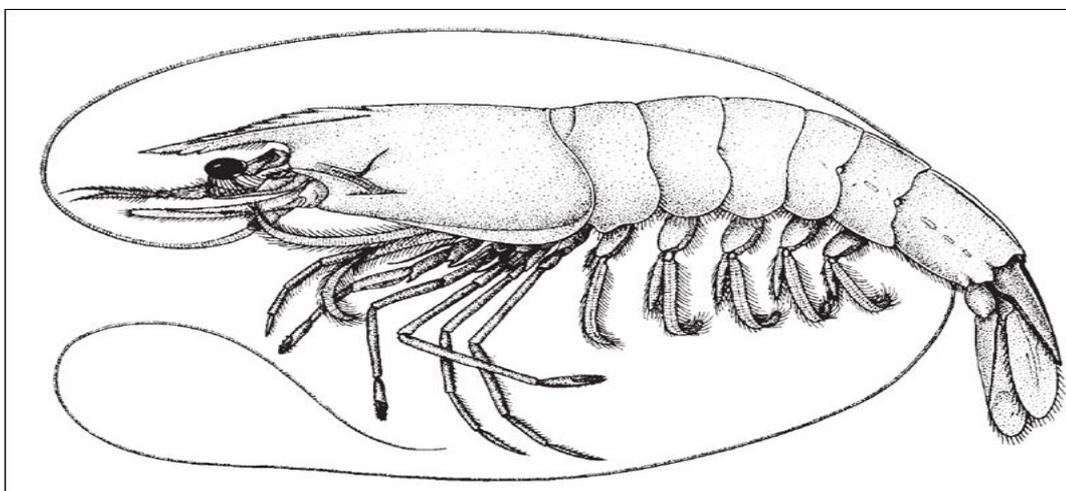


Figura 1: Camarão da família peneídea *Rafinesque, 1815* (Marques, 2015).

2.2. Ciclo de vida, Ecologia e Habitat de camarão da família peneídea

Muitas espécies marinhas, incluindo os peneídeos, possuem grandes populações que passam por estágios larvais pelágicos. O grande tamanho populacional pode ser uma das características responsáveis para a conectividade destas populações numa larga escala espacial (Couceiro, Barreiro, Ruize, & Sotka, 2007).

Baseados na morfologia do télson, os camarões da família peneídea podem ser divididos em dois grupos: um grupo com o télson fechado (Penaeus, Fenneropenaeus, Marsupenaeus, Melicertus, Farfantepenaeus e Metapenaeus) e o outro, constituído por aqueles com o télson aberto (Litopenaeus). Estes possuem sulcos com protuberâncias que facilitam o contacto com os espermatóforos, enquanto o grupo de télson fechado possui placas laterais que conduzem para o receptáculo seminal, onde o espermatóforo é depositado (Primavera, 1979; Yano, Kanna, Oyama, & Wyban, 1988). O comportamento sexual difere entre estes dois grupos. As espécies com o télson fechado copulam com as gonadas ainda imaturas, enquanto as espécies com télson aberto o fazem depois da maturação do ovário.

Em geral, os peneídeos desovam em águas oceânicas, porém as distâncias dependem da hidrologia local, sobretudo da influência da água doce vinda dos rios ao longo da costa (Teikwa & Mgaya, 2003). Grande parte dos membros desta família possui um ciclo de vida similar com duas fases principais: uma estuarina e outra marinha (Figura 2).

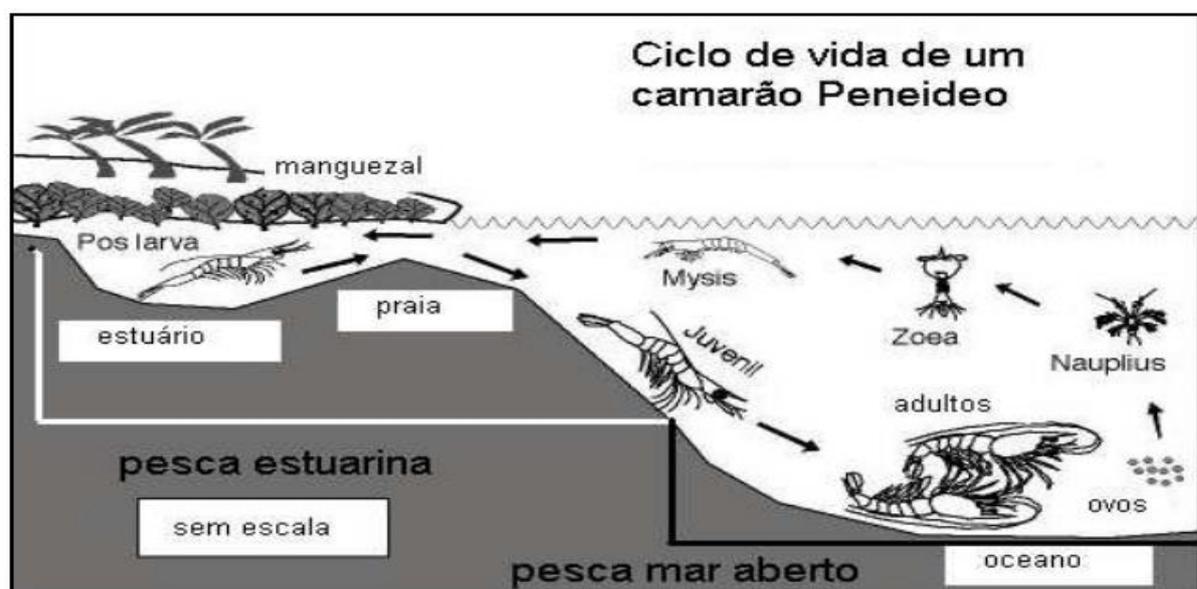


Figura 2: Ciclo de vida de camarão Peneídeo (García & E LE Reste, 1987).

O ciclo de vida dos membros da família Penaeidae envolve larvas plantônicas com uma variedade de fases desde naupliu, protozoa, mysis e pós-larva, seguido pelos estágios juvenis e adultos. Devido a estes diferentes estágios, os peneídeos ocupam diferentes habitats e a migração é um componente necessário no seu ciclo de vida (Macie, 2004). Estudos destes camarões demonstraram que eles apresentam diferentes padrões de migração nos quais as larvas e pós-larvas migram das áreas de desova para os viveiros (berçários) e os juvenis dos viveiros para o mar aberto (Dall, Hill, Rothlisberg, & Staples, 1990). No entanto a dispersão das larvas pode ser afectada por diferentes factores que incluem gradiente de temperatura (abaixo de 15°C), correntes e profundezas oceânicas que podem restringir a dispersão das larvas, dando origem a populações estruturadas (Dall, Hill, Rothlisberg, & Staples, 1990).

2.3.Importância dos camarões Penaeidae para Moçambique

Os camarões peneídeos constituem um recurso pesqueiro de grande importância econômica mundial tanto para indústria pesqueira quanto para a de cultivo (Dall, Hill, Rothlisberg, & Staples, 1990; Chan, 1998; FAO, 2007). Em Moçambique a pesca do camarão é uma das bases da sua economia, contribuindo com cerca de 13 % da receita de exportação com o mercado concentrado nos Estados Unidos, Japão e Europa (FAO, 2009). Além disso, apresentam fundamental importância ecológica por constituírem itens alimentares importantes para várias espécies da fauna aquática, contribuindo para o equilíbrio trófico desse ambiente (Boos, 2016). O sector pesqueiro emprega mais de 90 mil pessoas (pesca, coleta, processamento e comercialização), das quais 70 mil no setor marítimo e 20 mil na pesca de água doce (FAO, 2007).

2.4.Modelo preditivo de distribuição de espécies

A modelagem preditiva de distribuição de espécies consiste em um processamento computacional que combina dados de ocorrência de uma ou mais espécies com variáveis ambientais, construindo assim uma representação das condições requeridas pelas espécies (Anderson, Lew, & Peterson, 2003). Alguns algoritmos têm sido aplicados para criar modelos que representam essas condições e que podem ser projectados sobre um mapa que exhibe as áreas potenciais de ocorrência dessas espécies.

A modelagem de distribuição tem sido amplamente utilizada com múltiplos objectivos, tais como: utilização de modelos de distribuição potencial em análises biogeográficas (Siqueira & Duringan, 2007); conservação de espécies raras ou ameaçadas (Araujo & Williams, 2000; Engler, Guisan, & Rechsteiner, 2004); reintrodução de espécies (Hirzel, Hausser, Chessel, & Perrin, 2002); perda de biodiversidade (Polasky & Solow, 2001); impactos de mudanças climáticas (Peterson, et al., 2002;

Oberhauser & Peterson, 2003; Siqueira & Peterson, 2003; Thomas, et al., 2004; Pearson, et al., 2006; Araújo, Thuiller, & Pearson, 2006; Araújo, Nogueira-Bravo, Reginster, Rounsevell, & Whittaker, 2008); auxílio na determinação de áreas prioritárias para conservação (Ortega-Huerta & Peterson, 2004; Chen, 2009).

A modelagem preditiva tem sido chamada por alguns autores de modelagem de distribuição geográfica (Austin, 2002). Os MDEs são muito utilizados, por exemplo, para priorizar áreas para conservação (Nóbrega & De Marco Junior, 2011), discutir padrões biogeográficos (Werneck, 2012) e, com a disponibilização de dados modelados de clima passado e futuro, prever mudanças na distribuição dos organismos ao longo do tempo (Bonnacorso, Koch, & Peterson, 2006).

Os MDEs (Modelos de Distribuição de Espécies) podem fornecer importante contribuição para a elaboração e implantação de estratégias de conservação *in situ* realizadas tanto por organizações conservacionistas locais quanto por organismos internacionais actuando em escalas mais amplas, conferindo um carácter mais aplicado a uma ferramenta analítica que surgiu para tentar responder questões básicas acerca de padrões biogeográficos e ecológicos (Paglia, Teixeira de Rezende, Koch, Kortz, & Donatti, 2012).

2.5. Modelos Aditivos Generalizados (GAM)

O Modelo Linear Generalizado (GLM) é frequentemente utilizado para analisar dados em que a variável resposta não segue uma distribuição normal. Porém, alguns estudos indicam restrições impostas na aplicação dessa abordagem. Por exemplo, o GLM assume relacionamentos lineares entre as variáveis explicativas e a resposta, o que pode não ser aplicável em todos os casos. Além disso, a autocorrelação espacial do fenômeno investigado pode ser um desafio (Ayalew & Yamagishi, 2005; Van Den Eeckhaut, et al., 2006; Brenning, 2012; Goetz, Guthrie, & Brenning, 2011). Para suprir as restrições impostas pelo GLM, a literatura sugere o uso dos Modelos Aditivos Generalizados (GAM). O GAM é uma extensão do GLM, no qual os coeficientes lineares das variáveis explicativas são substituídos por funções de alisamento ajustadas empiricamente, como splines. Isso permite expressar relações não lineares entre as variáveis respostas e explicativa (Hastie & Tibshirani, 1990).

No contexto específico da redistribuição do camarão Penaeidae na região da Zona Económica Exclusiva de Moçambique, o Modelo Aditivo Generalizado é uma alternativa pertinente para avaliar o efeito das variáveis ambientais e prever a redistribuição futura.

- O Modelo Aditivo Generalizado (GAM) baseia-se na seguinte estrutura:

$$g(\mu_i) = \theta + f_1 \times 1_i + f_2 \times 2_i + f_3 \times 3_i + \dots$$

Ou

$$g(\mu_i) = \theta + \sum_{j=1}^p f_j(x_{ij})$$

Onde:

- g é uma função “link” monotonica que relaciona a variável resposta com as co-variáveis;
- θ representa o termo de intercepto no modelo;
- $\mu_i \equiv e^{y_i}$ Alguma distribuição da família exponencial;
- y_i É a variável resposta;
- x_i É uma coluna da matriz do modelo para uma dada covariável;
- f_i São as funções suaves das covariáveis.
- $f_j(\theta); j = 1; \dots p$ São as funções parciais, também conhecidas como funções suavizadoras (Wood & Augustin, 2002).

2.5.1. Termos aditivos do modelo

Nos modelos GAMLSS, todos os parâmetros da distribuição podem ser modelados pelas covariáveis através de relações na forma linear e/ou não-linear e/ou através de funções suavizadoras não-paramétricas. Uma relação não-linear pode ser paramétrica não-linear ou um suavizador. Estas relações afectam cada um dos valores preditos de cada parâmetro da distribuição, resultando na alteração da forma da distribuição da variável dependente (Rigby & Stasinopoulos, 2005).

Capítulo III: Metodologia

3. Metodologia

3.1. Área de estudo

Moçambique situa-se na fachada oriental do continente africano, integrando um dos mais extensos litorais da região, com cerca de 2.700 km de comprimento (Hoguane, 2007). Esta configuração costeira delimita uma ampla Zona Económica Exclusiva, onde o Canal de Moçambique (Figura 3) está situado entre a costa da África Oriental e Madagáscar, aproximadamente entre as latitudes 12° Sul á 26° Sul e Longitudes 33° E á 40° E (Fernando, 2019). Sendo delimitado ao norte pelo arquipélago de Cômoros, a Este por Madagáscar e ao Oeste por Moçambique (Nataniel, *et al.*, 2021) com uma Costa que é relativamente complexa, rica em ecossistema marinho incluindo, recifes de coral, florestas de mangais e zonas pelágicas dinâmicas que constituem maiores habitats para os camarões peneídeo (Chassot, *et al.*, 2019; Fernando, 2019).

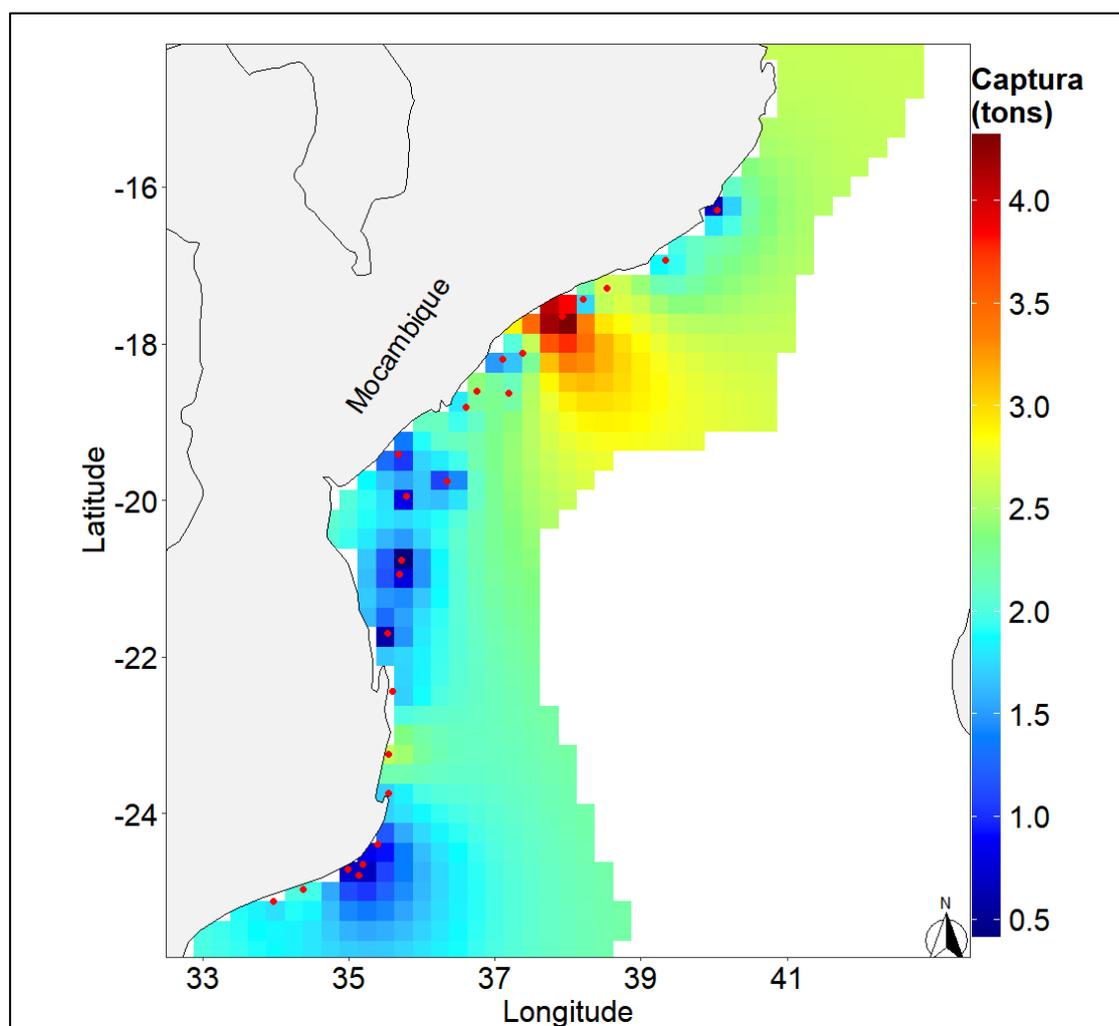


Figura 3: Redistribuição das capturas em (tons) do camarão da família Peneídea na região da ZEE de Moçambique. Todas capturas foram alvo de arrasto pelágico capturado entre os períodos de 2018 e 2023. Onde os pontos vermelhos indicam os locais e as proporções do camarão peneídeo desembarcado no cruzeiro “Fridtjof Nansen”.

3.2.Dados de capturas

Para a realização do presente estudo, usou-se dados de arrasto pelágico para a captura de camarões da família Penaeidae (1691 observações) coletados durante o cruzeiro “Fridtjof Nansen”. Os dados abrangem dois períodos distintos: de fevereiro a março de 2018 e de maio a junho de 2023. A área de estudo corresponde ao Canal de Moçambique, situado entre as latitudes -16° Sul à -25° Sul, e as longitudes 33°E à 40°E.

Durante o cruzeiro, todas as capturas foram classificadas e medidas com base no tamanho. Em cada lance de arrasto, as espécies de camarão da família Penaeidae foram identificadas por espécie (conforme ilustra a Tabela 3), e foram realizadas medições do número de indivíduos e Lc dessas espécies.

Tabela 3: Espécies amostradas e locais de origem.

Espécies amostradas da família Penéidea	Área de ocorrência
<i>Penaeus japonicus</i>	Oceano Índico
<i>Penaeus latisulcatus</i>	Oceano Índico
<i>Penaeus semisulcatus</i>	Oceano Índico
<i>Penaeus indicus</i>	Oceano Índico
<i>Metapenaeus monóceros</i>	Oceano Índico

3.3.Aquisições das variáveis ambientais

Para a concepção do modelo foi necessário a obtenção de variáveis ambientais dos anos correspondentes ao período de referência de estudo (2018 e 2023 no MZC) estas que foram adquiridas no consórcio MyOcean-Copernicus EU (marine.copernicus.eu) no formato netCDF e foram convertidos para o formato CSV com o auxílio dos pacotes ncd4, tidyverse e lubridate entre outras funções básicas na versão 4.4.0 do software Rstudio (R Core Team, 2024).

As variáveis físicas que foram extraídas do produto CMEMS GLOBAL_REANALYSIS_001_030 são: camada de mistura de densidade (MLD; m), a temperatura superficial da água (SST; °C), velocidade das correntes (V_o e U_o ; m/s), a salinidade (S_o ; psu). Também, foram extraídos dados biogeoquímicos do produto GLOBAL_REANALYSIS_BIO_001_029 nomeadamente: oxigênio (Oxy, mmolm⁻³), clorofila (Chl, mg m⁻³), e a produtividade primária (NPP, mg m⁻³), estão listadas na “tabela 4”. Estas variáveis foram assumidas como potencialmente relacionadas com dinâmica dos camarões, estando essas directamente associadas a saúde e ao bom funcionamento do ecossistema (Ricklefs, 2011). Ao longo dos anos, pesquisadores como (Zagaglia, 2004), (Maury, Gascuel, Marsac,

Fonteneau, & De Rosa, 2001), e (Begelow, Boggs, & He, 1999), realizaram estudos sobre a distribuição de espécies pelágicas e relacionado com as variáveis ambientais.

Os dados das variáveis espaço-temporais (longitude, latitude, ano e mês), foram incluídos ao modelo porque podem ajudar a explicar parte da variabilidade nas capturas não explicadas por outras variáveis ambientais e processos espacialmente estruturados (processos bióticos e abióticos) não incluídos neste estudo (Cortês-Avizanda, et al., 2011).

Tabela 4: Variáveis ambientais e espaciais utilizadas no estudo

Variáveis	Sigla das variáveis	Unidade	Resolução Espacial
Camada de mistura de densidade	MLD;	<i>m</i>	0.25° x0.25°
Temperatura Superficial do Mar	SST;	°C	0.25° x0.25°
Velocidade das correntes	Vo e Uo	<i>m/s</i>	0.25° x0.25°
Salinidade	SO;	<i>psu</i>	0.25° x0.25°
Oxigênio	Oxy,	<i>mmolm-3</i>	0.25° x0.25°
Clorofila	Chl,	<i>mg m-3</i>	0.25° x0.25°
Produtividade primária	NPP,	<i>mg m-3</i>	0.25° x0.25°
Longitude	Lat	<i>graus</i>	0.25° x0.25°
Latitude	Lon	<i>graus</i>	0.25° x0.25°
Ano (2018 e 2023)	ano	-	0.25° x0.25°
Mês	Mês	-	0.25° x0.25°

3.4. Análise exploratória dos dados

Todas as análises estatísticas foram realizadas no software R versão 4.4.0 (R Core Team, 2024) e um nível de significância (α) de 0,05 foi definido para a modelagem. Seguindo o protocolo de (Zuur, Ieno, & Elphick, 2010), foi feita uma análise exploratória dos dados antes da modelagem. Análises exploratórias foram realizadas para verificação dos valores discrepantes “outliers”, homogeneidade da variância, normalidade, linearidade e colinearidade entre variáveis.

De seguida, foi feita uma inspeção gráfica sobre a natureza das variáveis, para avaliar a presença dos “outliers” (uma observação que possui um valor reactivamente grande ou pequeno em comparação com a maioria das observações). Os valores anormais detectados foram corrigidos para o melhor ajuste do modelo nas fases subsequentes.

Na fase posterior, foi testada a correlação entre as covariáveis preditoras usando o coeficiente de Pearson (r) (Zuur, Leno, & Elphick, 2010), e uma covariável entre os pares com coeficiente de correlação maior que 70% ($r > +0,70$) foi descartada do processo de seleção de variáveis de modo a evitar problemas de colinearidade que podem causar instabilidade no modelo (Dormann, et al., 2013). O descarte de uma das variáveis colinear, foi com base no teste de importância relativa e conhecimento ecológico sobre a espécie (Zuur, Ieno, Walker, Saveliev, & Smith, 2009).

Para ter uma visão geral das relações potenciais de covariáveis e a variável de resposta (isto é, captura de camarão peneídea) no tempo e no espaço. O efeito relativo de covariáveis na variável dependente também foram exploradas para reunir informações sobre as mais importantes variáveis que afectam a captura e a redistribuição do camarão Peneídea no MZC e reduzem a complexidade e a redundância do modelo em fases posteriores (Dell, Wilcox, & Hobday, 2011) usando o pacote randomForest (Liaw & Matthew, 2002). Por outro lado, o conhecimento ecológico das variáveis sobre as espécies é fundamental na escolha da variável a ser excluída ou incluída no modelo quando se verifica a correlação entre pares das variáveis (Zuur, Leno, & Elphick, 2010).

3.5. Construção e ajuste do modelo

Para modelar a redistribuição do camarão penaeidae no MZC, optou-se por Modelo Aditivo Generalizado (GAM), que são capazes de lidar com relações não-lineares entre uma variável independente e múltiplos preditores (por exemplo variáveis espaciais e ambientais) (Wood & Augustin, 2002). Uma distribuição de Gauss foi usada para ajustar o modelo, o que é normalmente apropriado para a descrição de abundância heterogênea (Swartzman, Sturtzle, Kulman, & Powojowski, 1994).

Os modelos foram rodados no (R versão 4.4.0) utilizando o pacote mgcv nos quais os graus de liberdade para cada função temporal foram ajustados. Nestes, thin plate regression splines são o padrão (Wood, 2006). Nós limitamos a quantidade de suavização para 4 graus de liberdade para cada spline, modelando as tendências não lineares e evitando o excesso de encaixe que não teria sentido ecológico (Forney, 2000). Funções de suavização para tentar capturar padrões gerais nas tendências temporais de espécies, variáveis ambientais, reduzindo o ruído, foram utilizados (Figura 4). Esta técnica é especialmente útil para avaliar visualmente a relação entre as variáveis de séries temporais, onde as tendências podem ser difíceis de visualizar. Especificamente, séries temporais foram suavizadas usando a técnica de suavização do tipo *lowess*, um método resistente de outlier que estima uma curva de regressão polinomial utilizando montagem local (Cleveland, 1979).

Simulou-se o modelo com base nas variáveis independentes (variáveis ambientais) e a variável dependente (capturas), pós o objectivo era verificar o comportamento da distribuição das capturas de

camarão em função das variáveis ambientais no período de referência de estudo (2018 e 2023). Para a seleção de variáveis foi utilizado o método regressivo, que consiste em ajustar todas as variáveis previamente disponíveis com exceção das variáveis outrora excluídas por problemas de correlação com outras variáveis ecologicamente importantes, e foi se eliminando uma variável de cada vez de acordo com os seguintes critérios (Wood, 2017):

- (i) Se o valor de Critério de informação Akaike (AIC, Akaike, 1974) do GCV reduzirem com a eliminação da variável não significativa;
- (ii) Inspeção gráfica para verificar se o intervalo de confiança não inclui zero em toda a linha de regressão; e
- (iii) Os desvios explicado mostrar melhorias no desempenho do modelo quando as variáveis não significativas forem eliminadas.

Todas as combinações possíveis entre as co-variáveis foram testadas. Mantivemos o modelo que teve a menor pontuação de Validação Cruzada Generalizada (GCV), que nos mostrará o modelo com o parâmetro mais suavizado e com a melhor combinação. A variância explicada foi utilizada para avaliar o ajuste de cada modelo aos dados. Equação 3 (Cleveland, 1979).

Além disso, uma técnica de bootstrap (Efron, 1979) com o método do percentil, aplicou-se a cada série temporal, a fim de explicar a variabilidade no ajuste original lowess. Com esta metodologia, cada série terá um intervalo de confiança de 95% para os valores de lowess originais. A validação de um modelo é também conhecida como teste externo e consiste do confronto de seus resultados contra dados reais (ou semi-reais) da distribuição da espécie (Thompson, 2003; Perkins, Schisterman, & Vexler, 2006).

Essa é uma das etapas mais importantes do processo. Sem a validação, a interpretação de um modelo perde seu sentido, visto que tudo o que está representado pode estar incorreto ou com graus inaceitáveis de imprecisão. As medidas tradicionais de capacidade discriminatória de um modelo dependem da adoção de um limite de decisão arbitrário (threshold) o que acaba inserindo mais um factor de subjectividade na interpretação do modelo (Guisan & Zimmermann, 2000). A escolha desse limite de decisão é usualmente baseada no conhecimento da probabilidade – subjetiva – da ocorrência da espécie de interesse assim como do julgamento das consequências em tomar decisões erradas (Thompson, 2003; Sargent, 1998; Sing, Beerenwinkel, & Lengauer, 2004).

Todo modelo apresenta seus erros e acertos, que são avaliados em conjunto para determinarmos a qualidade do mesmo. Uma das melhores fontes de explicação sobre as curvas características de operação pode ser encontrada no relatório de (Fawcett, 2004).

- Fórmula usada para ajustar e validar o modelo:

$$\begin{aligned} Formula = & \log(indwt + 1) \sim te(lon, lat, k = 20, bs = "ts") + \\ & s(sst, k = 6, bs = "cs") + s(u_0, k=6, bs="cs") + \\ & s(oxy, k = 3, bs = "cs") \end{aligned}$$

Onde:

O "s" é a função suavizada do spline penalizado, para as interações simples e variáveis ambientais (C). Todas as interações foram ajustadas pelo tensor smooth "ts", enquanto as covariáveis individuais foram ajustadas com regressões spline cúbicas "cs" para modelar relacionamentos não lineares. As regressões de spline cúbica garantem que: uma spline de regressão com encolhimento seja aplicado, que um suavizador pode ter zero graus de liberdade e que todos os suavizadores com zero graus de liberdade pode ser simultaneamente retirada do modelo (Zuur, Ieno, Walker, Saveliev, & Smith, 2009); "c" especifica a spline de regressão cúbica cíclica usada para ilustrar o comportamento cíclico da direção das correntes de superfície do mar denotada como direção (Wood, 2006). A dimensão, denotada por "k", foi usado para representar os graus máximos de liberdade permitidos para cada termo suave, e foi definida como $k = 6$.

Para avaliar e validar o desempenho do modelo, foi aplicado uma validação cruzada k-fold (James, Witten, Hastie, & Tibshirani, 2014). Esta técnica consiste em dividir aleatoriamente as observações em k grupos, (neste estudo "k" foi definido para 20 dobras). O modelo foi ajustado em k-1 grupos, enquanto um dos subgrupos de dados foi usado para validar o modelo (James, Witten, Hastie, & Tibshirani, 2014; Gonçalves, 2021).

Para avaliar a precisão do modelo, calculou-se erro dos mínimos quadrados (RMSE) de modo a encontrar coeficientes que minimizam a diferença entre o valor observado e o valor predito. Utilizou-se a correlação de Pearson (r) para medir a relação estatística entre as variáveis contínuas por meio de cor.test. Também se calculou o índice de similaridade entre os valores previstos e observados para medir a precisão e o desempenho preditivo do modelo.

Para estimar a correspondência entre os nichos ecológicos das populações do camarão penaeidae, foi estimada a partir do pacote "spaa" (Zhang, 2016), tendo se selecionado a análise de componentes principais para mostrar o espaço climático de cada nicho. As estimativas de sobreposição de nicho foram baseadas no índice de similaridade de "Schoener" (Warren, R, & Turelli, 2008), permitindo uma análise detalhada da correspondência entre os nichos ecológicos das populações de camarão penaeidae na região da ZEE.

Em seguida fez-se a visualização das curvas da variável resposta, onde foram ilustradas a relação da dependência parcial examinando o efeito das variáveis independentes (variáveis ambientais) mantidas em sua média para criar intervalos de previsão com um nível de confiança de 95% sobre a variável dependente (Capturas), de modo à saber como é que cada variável ambiental, e as variáveis espaço temporais influenciam na redistribuição e abundância das capturas do camarão Peneídea.

3.6.Previsão da redistribuição das capturas do camarão Peneídea no cenário ambiental

O GAM, foi o modelo selecionado para prever a redistribuição futura do camarão *Penaedae* na região da Zona Económica Exclusiva de Moçambique. As variáveis climáticas disponíveis no BiO-ORACLE foram utilizadas para prever cenários futuros (ou seja, temperatura da superfície do mar-TSM), enquanto as restantes variáveis utilizadas para construir o modelo foram definidos como zero, dado que o objectivo era prever com base nas mudanças de TSM – o principal proxy para cenários de intensidade de alterações climáticas. SST tem sido considerado um dos melhores factores para prever o nicho ecológico de organismos pelágico (Camarão Peneídea) ex.: (Mugo, Saitonh, Nihira, & Kuroyama, 2010; Dueri, Bopp, & Maury, 2014), pois influencia as habilidades fisiológicas e o comportamento migratório (Graham & Dickson, 2004) afecta a alimentação ideal de forragem e as taxas de crescimento (Barkley, Nell, & Gooding, 1978) e limita a desova agregação entre cardumes em águas latitudinais norte e sul, onde as temperaturas isotermas médias $>24^{\circ}\text{C}$ (Matsumoto, Skillman, & Dizon, 1984; Schaefer, 2001).

Além disso, SST é um bom proxy para, ou está conectado a outras variáveis e processos ambientais por exemplo: (Lali & Persons, 2006; Mann & Lazier, 2006; Miller & Wheeler, 2012; Aral & Guan, 2016). Além disso, os dados de TSM do Bio-ORACLE tem sido amplamente utilizado para prever a distribuição potencial de espécies marinhas sob diferentes cenários de mudanças climáticas, por exemplo (Tyberghein, et al., 2012; Duffy, Lefcheck, Stuart-smith, Navarrete, & Edgar, 2016).

Mudanças na redistribuição do camarão Peneídea foram avaliado estimando as diferenças nas previsões espaciais de cada célula quadrada de $\frac{1}{4}^{\circ}$ entre cenários futuros projetados e do período de referência por exemplo, (Dueri, Faugeras, & Maury, 2012; Yen, Teemari, & Lee, 2016).

Foi feita a previsão da redistribuição aos futuros cenários climáticos (RCP2.6, RCP3.7 e RCP8.5) usando a função `predict.gam()` do pacote `mgcv` (Wood, 2017). Esta função contem equações numéricas que estimam ou extrapolam a variação da redistribuição futura da variável resposta (capturas de camarão) utilizando novos dados quer seja do passado ou do futuro que não foram previamente incluídos no modelo. Por isso, permite prever a redistribuição e real+ocação das espécies da família *penaeidae*, a partir de projeções de dados climáticos espaciais e temporais (Hijmans, 2023;

Wood, 2017) nos diferentes habitats. Este procedimento já foi aplicado em vários estudos para prever a redistribuição das espécies marinhas como por exemplo: a redistribuição do camarão penaeidae ao longo da costa de Moçambique (Nhantumbo, 2024), a redistribuição de atum exemplo: (Yen, Teemari, & Lee, 2016; Lopez, et al., 2017; Nataniel, 2021), a distribuição de pequenos pelágicos (exemplo: Murase *et al.*, 2009; Penino *et al.*, 2020; Wang *et al.*, 2020; Lima *et al.*, 2022), distribuição espécies demersais como o camarão (exemplo: Lopes *et al.*, 2017; Petatán et al.,2020; Pickens *et al.*, 2021; Schlenker *et al.*, 2023).

As mudanças na distribuição de capturas do camarão penaeidae foram avaliadas estimando as diferenças nas previsões espaciais de cada célula quadrada de 0,25° entre os cenários projetados para o futuro (Nataniel, 2021; Dueri, Bopp, & Maury, 2014; Yen, Teemari, & Lee, 2016), Isto é a diferença entre 2050-2030, 2070-2030 e 2090-2030, para os cenários otimistas, moderado e pessimistas. Todas as análises foram realizadas usando R versão 4.4.0 (R Core Team, 2024).

Capítulo IV: Resultados e Discussão

4. Resultados

4.1. Performance do Modelo GAM

Neste estudo foram analisados os dados de captura do Camarão Peneídea na região da ZEE de Moçambique e os parâmetros ambientais que o influenciam. As variáveis incorporadas no modelo estão ilustradas na Tabela 5, onde se ilustra a variância explicada do modelo, com 58.5% da variação das capturas do camarão Peneídea. As variáveis preditoras que se mostraram altamente significativas ($p < 0,01$), sugerindo a sua inclusão no modelo, foram SST (°C), oxigênio (Oxy) e velocidade das correntes (Uo), o que também foi suportado pelas métricas usadas para validar o modelo, baseado na validação cruzada, isto é, a área sob a curva característica de operação do receptor (ROC, Figura 4). O que sugere um ótimo desempenho do modelo GAM para análise da redistribuição do Camarão Peneídea na região da ZEE de Moçambique.

Tabela 5: Resultados estatísticos do Modelo GAM selecionado para explicar a redistribuição do camarão peneídea na ZEE de Moçambique. , *GCV*- validação generalizada cruzada; *n* - tamanho da amostra; *AIC* - Critério de Informação Akaike, *Desvio Explicado* - é o desvio explicado por todas as variáveis no modelo, *r*- coeficiente de Pearson, *RMSE* - erro quadrático médio, *Shoonan Index D*- grau de similaridade entre as observações e valores previsto pelo modelo.

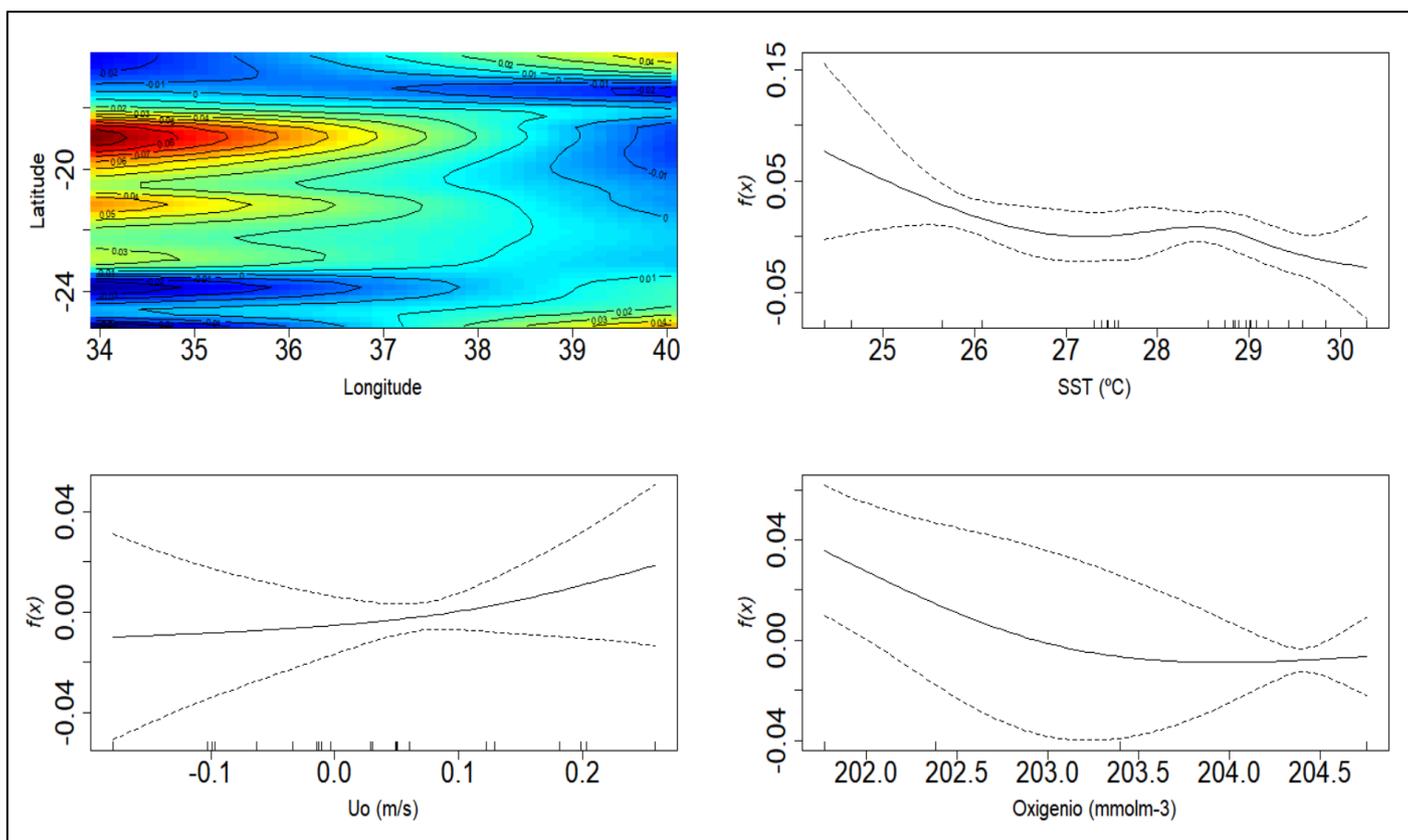
Parâmetros	Modelo ajustado a partir da família Gauss
R-sq.(adj)	0.576
Deviance explained	58.5%
GCV	5.5531e-05
n	1206
RMSE (%)	14
AIC	8412.906
Shoonan Index D (%)	71
r (%)	43

4.2. Efeito das Variáveis Ambientais na redistribuição do camarão peneídea

Seguindo o princípio da parcimônia, o modelo GAM selecionado para explicar a redistribuição do camarão da família peneídea na ZEE de Moçambique, incluiu como preditores significativos: SST (°C), Oxy (mmolm⁻³), e Uo (m/s). As variações foram ilustradas através do gráfico de regressão múltipla (figura 4), que explica a variação das capturas $f(x)$ em função de cada variável independente, onde as variáveis selecionadas foram significativas ao modelo (Latitude – Longitude; Temperatura Superficial do Mar (SST); Velocidade das correntes no sentido Este (Uo); e o Oxigênio).

A captura do camarão penaeídeo mostrou tendência decrescente em águas mais quentes, onde valores iguais ou superiores a 25°C apresentaram tendência decrescente de captura na região da ZEE de Moçambique (Figura 4). Quanto a variação do Oxigénio os camarões da família penaeidae preferem águas com concentração de Oxy <202 mmolm-3 e à medida que os níveis de oxigênio aumentam mostra uma leve tendência decrescente de capturas, sugerindo que níveis mais altos de oxigênio podem estar associados a uma menor presença ou captura do camarão Penaeidae na ZEE.

Figura 4: Ajustes suavizados de covariáveis do modelo GAM, modelando a captura de camarão peneídea na região da ZEE de Moçambique. O painel mostra os efeitos parciais de cada covariável, nomeadamente Temperatura Superficial do Mar (SST), Velocidade das correntes no sentido Este (Uo) e Oxigénio (Oxy), plotados como ajustes suavizados e mapa de contorno da distribuição de capturas. As marcas de escala no eixo x são os dados observados. O eixo y representa a contribuição dos termos suaves para o modelo na escala de preditores lineares. Os eixos y, denotados como $f(x)$, refletem a importância relativa da variável preditora do modelo. As linhas tracejadas inferior e superior indicam os limites de confiança de 95% do gráfico suave.



4.3. Previsões futuras da distribuição espacial do camarão penaeidae na região da ZEE de Mz

O modelo GAM, foi selecionado para explicar a variação espacial do camarão penaeidae na região da ZEE de Moçambique, e incluiu como preditor significativo a Temperatura Superficial do Mar. O resultado do modelo prevê mudanças entre os intervalos de tempo futuro de “2050-2030”, “2070-2030”, e “2090-2030” da redistribuição do camarão peneídea no Canal de Moçambique entre os cenários (Optimista, Pessimista e Moderado). Com base na descrição e na análise visual do mapa,

onde as pontuações de classificação das cores acima de zero correspondem à áreas com alta densidade de captura do Camarão Peneídea e as cores abaixo de zero indica as regiões com baixo índice de capturas de Camarão Peneídea.

Para o cenário otimista (SSP1-2.6), o modelo prevê uma baixa concentração de capturas do camarão peneídea, variando entre 0.075 e 0.1 toneladas, no período de 2050-2030 com uma distribuição mais uniforme ao longo do canal (Figura 5a). Há uma tendência de redistribuição das capturas na região sul de Moçambique, entre as latitudes (-23°S e -26°S) e longitudes (33°E e 37°E), indicando uma realocação para o mar aberto. No período de 2070 - 2030 o camarão da família penaeidae apresenta uma concentração elevada de capturas com um acréscimo de (0.1 á 0.2) toneladas de captura (Figura 5b) distribuídas entre as latitudes (-20°S à -26°S) e longitude (33°E á 38°E), apresentando tendência de alastramento das capturas da região sul do canal de Moçambique para a região centro, e no período de 2090 – 2030 prevê-se um ganho das capturas (Figura 5c) nas latitudes (-18°S a -26°S) e longitude (33°E a 39°E), apresentando assim uma tendência de realocação para o mar aberto.

No cenário Moderado (SSP3-7.0), projeta-se perdas significativas das capturas de camarão peneídea na região da ZEE de Moçambique entre 2050 a 2030 (Figura 5d). De 2070 a 2030 (Figura 5e), estima-se um leve aumento na captura na região norte e sul do Canal de Moçambique, entre as latitudes -14°S a -16°S e longitudes 33°E a 38°E, aproximadamente 0,020 toneladas de camarão peneídeo. Para o período de 2030 a 2090 (Figura 5f), prevê-se índice baixo de capturas, e apresenta uma leve expansão da captura na região norte do Canal de Moçambique, entre as latitudes -14°S a -18°S e longitudes 33°E a 39°E.

No cenário pessimista (SSP5-8.5), para o período de diferença entre 2050-2030, prevê-se um ganho ligeiro de capturas de camarão *Penaedae* na região sul de Moçambique entre as latitudes (23°S a 26°S) e longitude (33°E a 37°E), apresentando ligeira expansão de capturas para a região norte de Moçambique, entre as latitudes -14°S à -16°S (Figura 5.g). Para o período de diferença entre 2070 e 2030, há uma mudança notável na redistribuição, com expansão das áreas de alta densidade de captura entre as latitudes -14°S a -18°S e -22°S a -26°S e longitude 33°E à 39°E (Figura 5.h). E para o período de diferença de estudo entre 2090 e 2030, a distribuição do camarão da família *Penaedae* continua a se expandir, com mais áreas apresentando alta densidade de captura. Isso sugere que o camarão *Penaedae* está se adaptando bem às novas condições ambientais previstas para o futuro (Figura, 5.i).

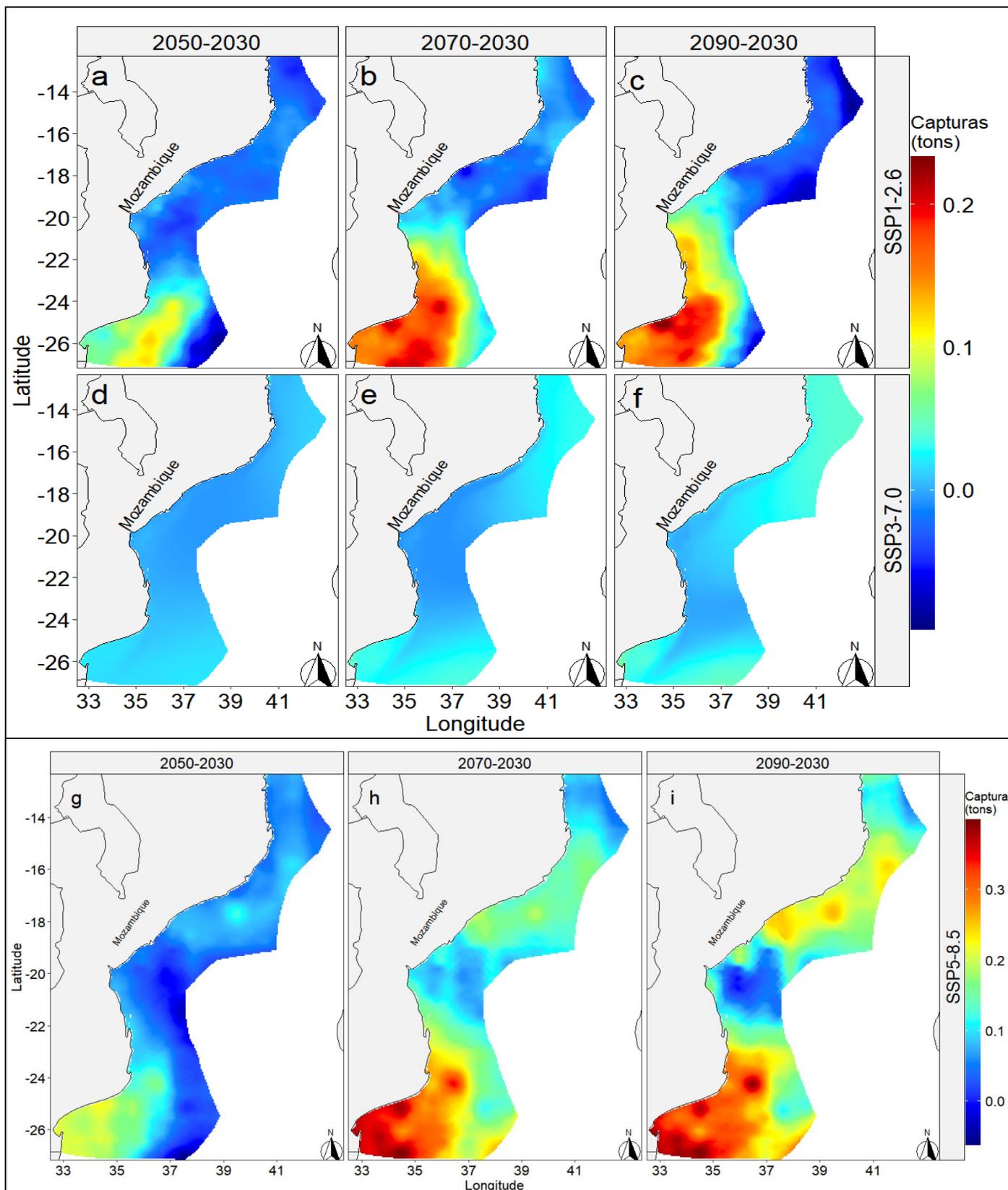


Figura 5: Diferenças projectadas nas capturas (toneladas) de camarão Peneídea na região da Zona Económica Exclusiva de Moçambique, alvo de redes de arrasto pelágico e associadas entre os cenários futuros (2050, 2070 e 2090) no âmbito do BIO-ORACLE: SSP2.6, SSP3.7 e SSP8.5. A primeira coluna (painel “a”, “d”, “g”) representa as anomalias das capturas previstas entre as camadas de 2050 – 2030. A segunda coluna (painel “b”, “e”, “h”) mostra anomalias entre as camadas de 2070 – 2030. E a terceira coluna (painel “c”, “f”, “i”), exhibe as anomalias entre as camadas 2090 – 2030 da redistribuição do camarão na região da ZEE de Mz.

5. Discussão

A ocupação e manutenção de uma espécie em um determinado ambiente é resultado das condições ambientais, interações bióticas adequadas e processos de dispersão (Chase & Liebold, 2003). Tais condições ambientais determinam os limites de ocorrência de uma espécie. A disponibilidade de alimento, salinidade, profundidade e temperatura são parâmetros essenciais na distribuição espacial de camarões penaeoídeos (Boschi, 1963, 2000, Carvalho-Batista *et al.*, 2011). Bem como, as relações inter-específicas (*e.g.* predação) podem influenciar a abundância dessas populações, como sugerido por Souza *et al.* (2014). Além disso, Dall *et al.* (1990) e Costa e Fransozo (2004) afirmaram que a temperatura é um importante parâmetro determinante na distribuição dos organismos, especialmente para os camarões penaeoídeos. Variáveis climáticas e em particular a temperatura, estão entre os factores mais importantes que guiam a distribuição das espécies (Guisan & Zimmermann, 2000). Através dos resultados encontrados neste estudo, o modelo mostrou que as espécies da família penaeidae estudadas obtêm uma faixa óptima em temperaturas iguais ou inferior a 24 °C, e os valores superiores a 25 C° apresentaram menor captura de camarão penaeidae. Estudo similares feito pelo Barbieri (2002), a temperatura é um dos parâmetros mais importantes para o desenvolvimento de camarões. De acordo com (Dall *et al.* 1990) faixa de temperatura óptima e de tolerância para alimentação, crescimento e sobrevivência varia entre as espécies da família de penaeoídeos.

Estudos realizados por Silva *et al.* (2020) sugere que haja uma correlação positiva entre a SST e a abundância de camarões Penaeidae em águas tropicais. Eles sugerem que temperaturas mais altas podem aumentar a actividade metabólica e a disponibilidade de alimento, resultando em maiores capturas. Pesquisas feitas por Johnson *et al.* (2018) indicou que temperaturas extremas (acima de 28°C) podem levar a uma diminuição nas capturas devido ao estresse térmico, o que também é refletido nos resultados do presente estudo, onde as capturas de camarão começam a diminuir após atingir uma faixa óptima. No entanto, a variação da temperatura da água fora da faixa óptima pode afectar a reprodução e a redistribuição dos camarões (Stratton *et al.*, 2019).

Baseando-se em estudos anteriores, a velocidade das correntes no sentido leste (U_0) que foi significativo neste estudo, pode influenciar significativamente a distribuição da captura de camarões Penaeidae. Por exemplo, estudos realizados por (Peters e Marrase, 2000; Dell *et al.*, 2011) indicam que correntes oceânicas e variáveis oceanográficas, como a velocidade e direção das correntes, afectam a disponibilidade de nutrientes e a distribuição de plâncton, que são essenciais para a alimentação dos camarões.

Estudos de Smith et al. (2020) encontrou uma correlação positiva entre a velocidade das correntes leste e o aumento das capturas de camarão, sugerindo que correntes mais fortes podem trazer mais nutrientes para as áreas de pesca, aumentando a produtividade. Pesquisa de Johnson e Lee (2019) observaram que variações na velocidade das correntes podem causar mudanças na distribuição espacial dos camarões peneídea, com correntes mais rápidas resultando em uma maior dispersão dos indivíduos.

O modelo mostrou que as espécies de peneídeos estudadas preferem a taxa de oxigênio < 202.0 mmolm⁻³, e taxas de oxigênio superior à 202.5 mmolm⁻³ o camarão da família penaedae apresentou baixas concentrações de capturas de camarão penaedae na região da Zona Económica Exclusiva de Moçambique, este cenário é corroborada por diversos estudos que exploram a relação entre a concentração de oxigênio dissolvido e a abundância de espécies marinhas. Segundo Almeida et al. (2018), a disponibilidade de oxigênio é um factor crítico na distribuição de crustáceos marinhos, influenciando directamente sua sobrevivência e reprodução. Da mesma forma, pesquisa de Sousa et al. (2020) revela que variações na oxigenação do habitat podem causar flutuações significativas nas populações de camarões, destacando a sensibilidade dessas espécies a mudanças nos parâmetros ambientais.

As séries temporais climáticas são um indicador das interações complexas do sistema climático do mar, representando um efeito combinado de oscilações em diversas escalas de tempo que são naturais do sistema climático de ações antrópicas. A separação de variações naturais das alterações antrópicas geralmente é uma tarefa difícil, pois é muitas vezes baseada em séries temporais de observações feitas durante períodos reactivamente curtos.

As alterações ambientais causadas pelo aquecimento global, influenciam o padrão de distribuição e composição das espécies da família Penaedae, como é o caso da temperatura que é considerado um dos principais factores que contribuem para a reprodução e o recrutamento deste grupo de organismos (SHENKAR & SWALLA, 2011).

A temperatura superficial do mar (TSM) desempenha um papel fundamental como factor impulsor das variações climáticas que afectam directamente a ecologia do camarão. Segundo Lopes et al. (2018), a TSM influencia não apenas o comportamento dessas espécies, mas também impuliona outras variáveis oceanográficas que determinam a sua distribuição espacial (Lopes et al., 2017; Nataniel et al., 2021). Nesse contexto, as alterações climáticas emergem como uma preocupação global, especialmente devido aos seus impactos sobre os ecossistemas marinhos. Esses impactos comprometem a estrutura da pesca e de outros recursos vivos, afectando a redistribuição,

agregação e realocação das espécies marinhas. Adicionalmente, o aumento do nível do mar (Gruber, 2011; Ramírez et al., 2017) pode influenciar a elevação das temperaturas oceânicas, modificar os padrões de correntes marinhas e alterar a disponibilidade de alimentos (Haunschild et al., 2016). Tais mudanças podem levar espécies, como o camarão, a migrar para águas mais frias em latitudes mais altas ou para áreas mais profundas, onde as condições térmicas sejam mais favoráveis.

No que tange às projeções futuras relacionadas à redistribuição espacial do camarão da família Penaeidae na região da Zona Económica Exclusiva de Moçambique (ZEE), modelos preditivos apontam cenários preocupantes para as próximas décadas. Para o período entre 2050 - 2030, 2070 - 2030, e 2090 - 2030 sob diferentes cenários climáticos – otimista (SSP1-2.6), moderado (SSP3-7.0) e pessimista (SSP5-8.5), projeta-se um baixo índice de capturas em toneladas. Estudos prévios sobre peneídeos, focados em análises demográficas e populacionais (McMillen-Jackson & Bert, 2004; Tzeng, 2007; Li et al., 2009; Imai et al., 2013), indicam que a expansão populacional dessas espécies poderá ocorrer em regiões de alto-mar no período de 2070-2100, especialmente sob cenários mais extremos. Contudo, os dados desses modelos revelam uma maior concentração de capturas nos cenários otimista (SSP1-2.6), e pessimista (SSP5-8.5), o que sugere uma possível reorganização espacial adaptativa para essas espécies frente às pressões ambientais.

Capítulo V: Conclusão e Recomendações

6. Conclusão

A redistribuição do camarão da família Penaeidae na região da ZEE de Moçambique é fortemente influenciada por factores ambientais e climáticos, com destaque para a temperatura superficial do mar (TSM), disponibilidade de oxigênio e variáveis oceanográficas, como velocidade e direção das correntes. Esses factores não apenas moldam os padrões de ocorrência e abundância das espécies, mas também têm implicações directas na sua sobrevivência, crescimento e reprodução, o modelo explicou com cerca de 58.5% da variação das capturas no MZC.

As temperaturas elevadas, próximas e superior à faixa de 25°C indicaram redução na abundância, corroborando o impacto do estresse térmico em espécies peneídeas. A interação entre a TSM, correntes oceânicas e disponibilidade de oxigênio demonstrou ser crucial para determinar áreas de maior produtividade, indicando que mudanças climáticas e alterações antrópicas podem intensificar os desafios à pesca sustentável na região.

7. Recomendações

Monitoramento contínuo e integrado das variáveis ambientais:

- Estabelecer sistemas de monitoramento regular da temperatura superficial do mar, concentração de oxigênio dissolvido e velocidade das correntes na região de Moçambique.
- Ampliar as séries temporais de dados oceanográficos e climáticos para distinguir padrões de variações naturais das alterações antrópicas.

Modelagem preditiva aprimorada:

- Incorporar cenários de uso sustentável dos recursos pesqueiros, combinados com os cenários climáticos, para avaliar os impactos no setor econômico da pesca.

Cooperação regional e internacional:

- Fomentar parcerias entre os países do Oceano Índico para compartilhar dados, tecnologias de monitoramento e boas práticas de manejo.

Capítulo VI: Referências bibliográficas

8. Referências bibliográficas

- Anderson, R. P., Lew, D., & Peterson, A. T. (2003). Evaluating predictive models of species' distributions: criteria for selecting optimal models. *Ecological Modelling*(162), pp. 211-232.
- Aral, M. M., & Guan, J. (2016). Temperatura global da superfície do mar e estimativa do aumento do nível do mar com intervalo de tempo histórico ideal dados. (8). Obtido de <https://doi.org/10.3390/w8110519>
- Araújo, M. B., Nogueira-Bravo, D., Reginster, I., Rounsevell, M., & Whittaker, R. J. (2008). Exposure of European biodiversity to changes in human-induced. (*Environmental Science & Policy* 11), pp. 38-45.
- Araújo, M. B., Thuiller, W., & Pearson, R. G. (2006). Climate warming and the decline of amphibians and reptiles in Europe. (*Journal of Biogeography* 33), pp. 1712-1728.
- Araujo, M. B., & Williams, P. (2000). Selecting areas for species persistence using occurrence data. *Biological Conservation*(96), pp. 331-345.
- Austin, M. P. (2002). Spatial prediction of species distribution: an interface between ecological theory and statistical modelling. *Ecological Modelling*. (157), pp. 101-18.
- Ayalew, L., & Yamagishi, H. (2005). The application of GIS-based logistic regression for landslide susceptibility mapping in the Kakuda-Yahiko Mountains. *Geomorphology*, 65, pp. 12-31.
- Baldwin, J. D. (1998). Molecular phylogeny and biogeography of the marine shrimp *Penaeus*. *Molecular Phylogenetics*, 10(3), pp. 399-407.
- Barkley, R., Nell, W., & Gooding, R. (1978). Atum Skipjack, *Katsuwonus pelamis*, habitat baseado em temperatura e oxigênio requisitos. Peixe. Touro. (76), pp. 653-662.
- Bate, C. (1888). Report of the Crustacea Macrura collected by the H.M.S. "Challenger" during the years 1873-1876. Report on the Scientific Results of the Voyage of H.M.S. *Challenger During the Years*, pp. 1873-1876.
- Begelow, A. K., Boggs, C. H., & He, X. (1999). Environmental effects on swordfish and blue sharks catch rates in the US. *North Pacific longline fishery. Fish. Oceanogr.*, pp. 178-198.
- Bonnacorso, E., Koch, I., & Peterson, T. (2006). Pleistocene fragmentation of Amazon species' ranges. *Diversity and Distributions.*, pp. 157-164. Obtido de <http://dx.doi.org/10.1111/j.1366-9516.2005.00212.x>
- Boos, H. (2016). Avaliação dos Camarões Peneídeo (Decapoda: Penaeidae). pp. 300-317.
- Boschi, E. E. (2000). Species of decapod crustaceans and their distribution in the marine zoogeographic provinces. *Revista de Investigacion y Desarrollo Pesquero*.(13), pp. 7-136.

- Brenning, A. (2012). Improved spatial analysis and prediction of landslide susceptibility: *Practical recommendations, in Landslides and Engineered Slopes, Protecting Society through Improved Understanding*, pp. 789-795.
- Bringgs, J. C. (1999). Coincident biographic patterns: Indo-West Pacific Ocean. *Evolution* 53.
- Brown, J. H., Stevens, G. C., & Kaufman, D. M. (1996). The geographic range: Size, shape, boundaries, and internal structure. *Annual Review of Ecology and Systematics*, pp. 597-623.
- Caveriviere, A., Chaboud, C., & Rafalimanana, T. (2008). *Les crevettes cotieres de Madagascar*. Marseille.
- Chan, T. Y. (1998). Species Identification Guide for Fishery Purposes. *The Living Marine Resources of the Western Central Pacific*, pp. 851-971.
- Chan, T. Y., Tong, J., Tam, Y. K., & Chu, K. H. (2008). Phylogenetic relationships among the genera of the Penaeidae (Crustacea:Decapoda) revealed by mitochondrial 16S rRNA gene sequences. pp. 38-50.
- Chen, Y. H. (2009). Conservation biogeography of the snake family Colubridae of China. *North-Western Journal of Zoology* 5, pp. 251-262.
- Cleveland, R. B. (1979). Robust locally-weighted regression and smoothing scatterplots. *Journal of American Statistical Association*(74), pp. 829-836.
- Cortês-Avizanda, A., Almaraz, P., Carrete, M., Sanchez-Zapata, J. A., Delgado, A., Hiraldo, F., & Donazar, J. A. (2011). A heterogeneidade espacial na distribuição de recursos promove a sociabilidade facultativa em duas aves migratórias transaarianas. (6), pp. 1-11. Obtido de <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0021016>
- Couceiro, L., Barreiro, R., Ruize, J. M., & Sotka, E. E. (2007). Genetic isolation by distance among populations of the netted dog whelk *Nassarius reticulatus* (L.) along the European Atlantic coastline. (98), pp. 603–610.
- De Croos, M. T., & Palsson, S. (2010). Mitochondrial DNA variation and populations genetic structure of white shrimp *Fenneropenaeus indicus* along the coastal belt of Sri Lanka. *Aquatic Living Resour*(23), pp. 315-323.
- De Grave, S., Pentcheff, N. D., Ahyong, S. T., Chan, T. Y., Crandall, K. A., Dworschak, P. C., . . . Wetzer, R. (2009). A classification of living and fossil genera of decapod crustaceans. *Raffles Bulletin of Zoology*, pp. 1 – 109.
- Dell, J., Wilcox, C., & Hobday, A. J. (2011). Estimation of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) habitat in waters adjacent to Australia's East Coast: Making the most of commercial catch data. *Fisheries Oceanography*(20(5)), pp. 383–396.

- Dormann, C. F., Elith, J., Bacher, S., Buchmann, C., Carl, G., Carre, G., . . . Lautenbach, S. (2013). Collinearity: A review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance., *Ecography*,(36(1)), pp. 27-46.
- Dueri, S., Bopp, L., & Maury, O. (2014). Projetando os impactos das mudanças climáticas na abundância do bonito-listrado e no espaço distribuição Globo. *Chang. Biol.* (20), pp. 742–753. Obtido de <https://doi.org/10.1111/gcb.12460>
- Dueri, S., Faugeras, B., & Maury, O. (2012). Modelagem da dinâmica do bonito-listrado no Oceano Índico com APECOSM-. Formulação do modelo. *Eco. Modelo. Modelagem da dinâmica do bonito-listrado no Oceano Índico com APECOSM-E*(245), pp. 41-54. doi:2012.02.007
- Duffy, J. E., Lefcheck, J. S., Stuart-smith, R. D., Navarrete, S. A., & Edgar, G. J. (2016). A biodiversidade aumenta a biomassa dos peixes de recife e a resistência às alterações climáticas. (113), pp. 6230-6235. doi:1524465113
- Enfron, B. (1979). Bootstrap methods: another look at the jackknife. *Annals of Applied Statistic*(7), pp. 1-26.
- Engler , R., Guisan, A., & Recheineiner, L. (2004). Animproved approach for predicting the distribution of rare and endangered species from occurrence and pseudo-absence data. *Journal of Applied Ecology*(41), pp. 263-274.
- FAO. (2007). Fishery Country Profile. *FID/CP/MOZ*. Obtido em 27 de Setembro de 2013, de Disponível em: <http://www.fao.org/fi/oldsite/FCP/en/nam/profile.htm>. 2007.
- FAO. (2009). Governo de Moçambique. *Quadro das Demandas e Propostas de Guiné-Bissau para o Desenvolvimento de um Programa Regional de Cooperação entre Países da CPLP no domínio da Luta contra a Desertificação e Gestão Sustentável das Terras*. Obtido em 24 de Setembro de 2013, de Site do TCP CPLP/FAO www.fao.org/tc/cplpuncdd
- FAO. (2018). El estao mundial de la pesc y la acuicultura. *Cumplir los objetivos de desarrollo sostenible*.
- FAO. (2019). Fisheries and Aquaculture Department. (Faostat, Ed.) *Organização Das Nações Unidas para alimentação e a Agricultura*.
- Fawcett, T. (2004). ROC graphs: notes and practical considerations for researchers. *HP Labs, Palo Alto, CA. Technical Report HPL*.
- Fisher, W., Sousa, I., Silva, C., Freitas, D., Poutiers, J. M., & Massinga, A. (1990). Fichas FAO de identificação de espécies para actividade de pesca. Guia de Capo das espécies comerciais marinhas e de águas salobras de Moçambique. *Instituto de Investigação Pesqueira de Moçambique*, p. 424.

- Forbes, A. T., & Demetriades, N. T. (2005). A review of the commercial, shallow water penaeid prawn resource of South Africa. *Status, Fisheries, Aquaculture and Management*. Obtido em 05 de Agosto de 2013, de <http://cernm.nmmu.ac.za>
- Forney, K. A. (2000). Environmental models of cetacean abundance: reducing uncertainty in population trends. *Conservation Biology*(14(5)), pp. 1271-1286.
- Franco, A. R., & Ferreira, J. G. (2006). Development of growth model for penaeid shrimp. *Aquaculture* 259, pp. 268-277.
- Fransozo, A., & Negreiros-Fransozo, M. L. (2017). *Zologia dos Invertebrados*. (ISBN: 978-85-277-2806-5).
- Fransozo, A., Sousa, A. N., Rodrigues, G. F., Telles, J. N., Fransozo, V., & Negreiros-Fransozo, M. L. (2016). Decapod crustacean captured along with the sea-bob shrimp fisheries on non-consolidated sublittoral From Northern Coast of São Paulo. *Boletim do Instituto de Pesca*, 42 (2), pp. 369-386.
- Frasen, C. M., & De Grave, S. Y. (2009). Decapod Crustacean Phylogenetics, II Advances in Our Knowledge of Shrimp-Like Decapods. *Evolution and radiation of shrimp-like decapods: an overview in:*, pp. 246-259.
- García , S., & E LE Reste, L. (1987). Ciclos vitales, dinámica, explotación y ordenación de las poblaciones de camarones peneidos costeros. *Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. FAO Série Documento Técnico de Pesca*(203), p. 180.
- Goetz, J. N., Guthrie, R. H., & Brenning, A. (2011). Integrating physical and empirical landslide susceptibility models using generalized additive models. *Geomorphology*(129), pp. 376–386.
- Gonçalves, T. M. (2021). Modelo Aditivo Generalizado com função baseada num Perceptrão Multicamada: Estimacão da função razão de possibilidades e respectivo intervalo deconfiança.
- Graham, J. B., & Dickson, K. A. (2004). Fisiologia comparativa do atum. *J. Exp. Biol.* (207), pp. 015–4024. Obtido de <https://doi.org/10.1242/jeb.01267>
- Grehan, J. R. (1992). Biogeography and conservation in the real word. *Global. Ecol. Biogeogr*, pp. 96-97.
- Guisan, A., & Zimmermann, N. E. (2000). Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological Modelling*.(135), pp. 147-186.
- Hastie, T. J., & Tibshirani, R. J. (1990). Generalized Additive Models. (335).
- Hijmans, R. J. (2023). raster: Geographic Data Analysis and Modeling R package version 3. pp. 6-23. Obtido de <https://CRAN.R-project.org/package=raster>
- Hirzel, A. H., Hausser, J., Chessel, D., & Perrin, N. (2002). Ecological-niche factor analysis: how to compute habitat-suitability maps without absence data? *Ecology*(83), pp. 2027-2036.

- Holthuis, L. B. (1980). Species Catalogue. (F. Fish, Ed.) *Shrimps and prawns of the world, Vol 1*, pp. 1-271.
- James, G., Witten, D., Hastie, T., & Tibshirani, R. (2014). Uma introdução à aprendizagem estatística com aplicação em R. *Springer Texts in Statistics*. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.peva.2007.06.006>
- Lali, C., & Persons, T. (2006). Oceanografia Biológica: Uma Introdução, 2ª ed. Segunda Edição, Universidade de British Columbia, Vancouver. pp. 1 - 337. doi:ISBN 0-7506-3384-0,
- Lamont, T., Barlow, R. G., Morris, T., & Van Den Berg, M. A. (2014). Characterization of mesoscale features and phytoplankton variability in the Mozambique Channel. *Deep-Sea Research*, pp. 94-105.
- Leung, P., & Engle, E. (2006). World Aquaculture Society and Blackwell Publishing. *Shrimp culture: Economics*.
- Liaw, A., & Matthew, W. (2002). Classification and regression by randomForest. *R News*.(2(3)), pp. 18-22.
- Lopez, J., Moreno, G., Lennert-Cody, C., Maunder, M., Sancristobal, L., Cabalero, A., & Dagorn, L. (2017). Preferências ambientais de espécies de atum e não atuns associadas a dispositivos de agregação de peixes à deriva (DFADs) no Oceano Atlântico, apuradas através de bóias ecobatímetros de pescadores. *Res. do Mar Profundo. II*, pp. 127-138. Obtido de <https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2017.02.007>
- Macie, A. (2004). Juvenile Penaeid Shrimp Density, Spatial Distribution and Size Composition in four adjacent habitats within a Mangrove-Fringed Bay on Inhaca Island. *Western Indian Ocean J. Mar Sci*, 3(2), pp. 163-178.
- Mann, K. H., & Lazier, J. N. (2006). Dinâmica dos Ecossistemas Marinhos: Interações Biológicas-Físicas nos Oceanos., (B. Publishing, Ed.) (13). doi:978-1-4051-1118-8.
- Marques, C. G. (2015). Relações Genéticas em Espécies de Camarões Peneídeos (Crustacea, Decapoda, Penaeidae) de Ocorrência no Litoral Brasileiro.
- Martin, J. W., & Davis, G. E. (2001). An updated classification of the recent Crustacea. *Museu de História Natural do Condado de Los Angeles Contribuições na Ciência*, p. 123.
- Matsumoto, W. M., Skillman, R. A., & Dizon, A. E. (1984). Sinopse de dados biológicos sobre o atum Skipjack, *Katsuwonus pelamis*. *Pesca da FAO, NOAA, Departamento de Comércio.*, pp. 1-99.
- Maury, O., Gascuel, D., Marsac, F., Fonteneau, A., & De Rosa, A. L. (2001). Hierarchical interpretation of nonlineay relationships linking yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) distribution to the environment in the Atlantic Ocean. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences.*, pp. 458-469.

- Miller, C. B., & Wheeler, P. A. (2012). Oceanografia Biológica. *Oregon State University, Oregon.*, pp. 1-925. doi:ISBN 978-1-4443-3302-2,
- MINISTÉRIO DAS PESCAS-MOÇAMBIQUE. (2012). Proposta De Plano De Gestão Das Pescarias De Camarão Do Banco De Sofala. Obtido de Disponível em: http://www.adnap.gov.mz/documentos/plano/PG_Camarao_2013.pdf.
- Mkare, T. K. (2013). Genetic Population structure of penaeid prawns *Penaeus monodon* Fabricius 1798, *Fenneropenaeus indicus* H. Milne Edwards 1837 and *Metapenaeus monoceros* Fabricius 1798.
- Mugo, R., Saitonh, S. I., Nihira, A., & Kuroyama, T. (2010). Características do habitat do bonito-listrado (*Katsuwonus pelamis*) no oeste do Pacífico Norte: uma perspectiva de sensoriamento remoto. *Peixe. Oceanogr*(19), pp. 382-396. Obtido de <https://doi.org/10.1111/j.1365-2419.2010.00552.x>
- Nakagaki, J. M., Negreiros-Fransozo, M. L., & Fransozo, A. (1995). Composição e abundância de camarões marinhos (Crustacea; Decapoda: Penaeidae) na Enseada de Ubatuba, Ubatuba, Brasil. *Arquivos de Biologia e Tecnologia*,(38), pp. 583–591.
- Nataniel, A. N. (2021). A socio-ecological and economic approach to tropical tuna fisheries in the Mozambique Channel. Tese de doutorado, Departamento de Ciências Marinhas e Biologia Aplicada, Universidade de Alicante. p. 177.
- Negreiros-Fransozo, M. L., Nakagaki, J. M., & Reigada, A. D. (1999). Seasonal occurrence of decapods in shallow waters of a subtropical area. In: Schram, F.R. (Org.). *Crustaceans and the biodiversity crisis.*, pp. 351-361.
- Nhantumbo, B. D. (Maio de 2024). Efeitos das Alterações Climáticas na Redistribuição do Camarão Penaeidae na costa de Moçambique. *Universidade Eduardo Mondlane-ESCMC*.
- Nóbrega, C. C., & De Marco Junior, P. (2011). Unprotecting the rare species: a niche-based gap analysis for odonates in a core Cerrado area. *Diversity and Distributions*, pp. 491-505. Obtido de <http://dx.doi.org/10.1111/j.1472-4642.2011.00749.x>
- Oberhauser, K., & Peterson, A. T. (2003). Modeling current and future potential wintering distributions of eastern North American monarch butterflies. *Proceedings of the National Academy of Sciences*(100), pp. 14063-14068.
- Ortega-Huerta, M. A., & Peterson, A. T. (2004). Modelling spatial patterns of biodiversity for conservation prioritization in North-eastern Mexico. *Diversity and Distributions 10.*, pp. 39-54.
- Paglia, A. P., Teixeira de Rezende, D., Koch, I., Kortz, A. R., & Donatti, C. (December de 2012). Modelos de Distribuição de Espécies em Estratégias para a Conservação da Biodiversidade e

- para Adaptação Baseada em Ecossistemas Frente a Mudanças Climáticas. *Naturera & Conservação*, pp. 231-234. Obtido de <http://dx.doi.org/10.4322/natcon.2012.031>
- Pantaleao, J. F., Batista, A. C., Fransozo, A., & Costa, R. C. (2016). The influence of upwelling on the diversity and distribution of marine shrimp (Penaeoidea and Caridea) in two tropical coastal areas of southeastern Brazil. *Hydrobiologia*,(763), pp. 381-395.
- Pearson, R. G., Thuiller, W., Araújo , M. B., Martinez-Meyer, E., Brotons, L., McClean, C., . . . Lees, D. C. (2006). Model-based uncertainty in species range prediction. (*Journal of Biogeography* 33), pp. 1704-1711.
- Perez-Farfante, I., & Kensley, B. F. (1997). Penaeoid Amd Sergestoid Shrimps and Prawns of the World. *Keys and Diagnoses for the Families and Genera.*, V.175, p. 233.
- Perkins, N. J., Schisterman, E. F., & Vexler, A. (2006). Receiver Operating Characteristic Curve Inference from a Sample with a Limit of Detection. *American Journal of Epidemiology*, 165.
- Peterson, A. T., Ortega-Huerta, M. A., Bartley, J., Sánchez-Cordero, V., Soberon, J., Buddemeier, R. H., & Stockwell, D. B. (2002). Future projections for Mexican faunas under global climate change scenarios. (*Nature* 416), pp. 626-629.
- Pires, A. M. (1992). Structure and dynamics of benthic megafauna on the continental shelf offshore of Ubatuba, southeastern. *Marine Ecology Progress Series.*, pp. 63-76.
- Polasky, S., & Solow, A. R. (2001). The value of information in reserve site selection. *Biodiversity and Conservation.* (10), pp. 1051-1058.
- Primavera, J. H. (1979). Notes on the courtship and mating behavior in *Penaeus monodon* Fabricius (Decapoda, Natantia). *Crustaceana* 37, pp. 287-292.
- Primavera, J. H. (1985). A review of maturation and reproduction in closed thelycum penaeids. *Proceedings of the First International Conference on the Culture of Penaeid Prawns/Shrimps.*, pp. 47-64.
- Rafinesque, C. S. (1815). *Palerme*, Smithsonian Institution. pp. 1-224. doi:<http://dx.doi.org/10.5962/bhl.title.106607>.
- Ricklefs, R. E. (2011). *A Economia da Natureza*. p. 546.
- Rigby, R. A., & Stasinopoulos, D. M. (2005). Generalized additive models for location, scale and shape. *Journal of the Royal Statistical Society: Series C (Applied Statistics)*.(54(3)), pp. 507–554. Obtido de <https://rss.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1467-9876.2005.00510.x>.
- Ronneback, P., Macie, A., Almqvist, G., Schultz, L., & Troell, M. (2002). Do penaeid Shrimps have a Preference for Mangrove habits? Distribution Pattern Analysis on Inhaca Island, Mozambique. *Estuarine, Coastal and Shelf Science.* (55), pp. 427-436.

- Sakai, K., & Shinomiya, S. (2011). Preliminary report on eight new genera formerly attributed to *Parapenaopsis* Alcock, 1901, sensu lato (Decapoda, Penaeidae). *Crustaceana*, *V.84*(4), pp. 491-504.
- Sargent, R. G. (1998). Verification and Validation of Simulation Models. D.J.Medeiros, E.F.Watson, J. S. Carson, and M.S.Manivannan. *Proceedings of 1998 Winter Simulation Conference*. .
- Schaefer, K. M. (2001). Avaliação da atividade de desova do atum Skipjack (*Katsuwonus pelamis* no leste do Oceano Pacífico. *Peixe. Touro.* (99), pp. 343–350.
- Silva, E. R., Sancinetti, G. S., Fransozo, A., Azeveo, A., & Costa, R. C. (2014). Biodiversity, distribution and abundance of shrimps Penaeoidea and Caridea communities in a region the vicinity of upwelling in the Southeastern of Brazil. pp. 1-11.
- Simbine, L. (2015). Análise da diversidade e estrutura genética de *Fenneropenaeus indicus* e *Metapenaeus monoceros* com base no mtDNA e uso do DNA barcoding na identificação das espécies de Peneídeos (Crustacea, Decapoda, Penaeidae) da costa de Moçambique. *UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS*, p. 23.
- Sing, T., Beerenwinkel, N., & Lengauer, T. (2004). Learning mixtures of localized rules by maximizing the area under the ROC curve. Valencia, Spain. *Proceedings of the 1st International Workshop on ROC Analysis in Artificial Intelligence*. pp. 89-96.
- Siqueira, M. F., & Duringan, G. (2007). Modelagem da distribuição geográfica de espécies lenhosas de cerrado no Estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Botânica*(30), pp. 239-249.
- Siqueira, M. F., & Peterson, A. T. (2003). Consequences of global climate change for geographic distributions of cerrado tree species. *Biota Neotropica*(3), pp. 1-14.
- Sofia. (2008). FAO - Fisheries and Aquaculture Department. *Food And Agriculture Of The United Nations*.
- Sousa, U. P., Costa, R. C., Martins, I. A., & Fransozo, A. (2014). Associações entre as biomassas de peixes Sciaenidae (Teleostei: Perciformes) e de camarões Penaeoidea (Decapoda: Dendrobranchiata) no litoral norte do Estado de São Paulo. *Biota Neotropica*, pp. 83-92.
- Swartzman, G., Sturtzle, W., Kulman, K., & Powojowski, M. (1994). Relating the distribution of pollock schools in the Bering Sea to environmental factors. (51#4), p. 481±492.
- Teikwa, K., & Mgaya, Y. D. (2003). Abundance and Reproductive Biology of the Penaeidae Prawns of Bagamoyo Coastal Waters, Tanzania. *Western Indian Ocean J. Mar. Sci.*, *2*(2), pp. 117–126.
- Ternon, J. F., Bach, P., Barlow, R., Huggett, J., Jaquemet, S., Marsac, F., . . . Roberts, M. J. (2014). The Mozambique Channel: From physics to upper trophic levels, Deep Sea Research Part II: *Topical Studies in Oceanography*, *100*, pp. 1-9.

- Thomas, C. D., Cameron, A., Green, R. E., Bakkenes, M., Siqueira, M. F., Grainger, A., . . . Williams, S. E. (2004). Extinction risk from climate change. (*Nature* 427), pp. 145-148.
- Thompson, M. L. (2003). Assessing the diagnostic accuracy of a sequence of tests. *Biostatistics*.(4), pp. 341-351.
- Tyberghein, L., Verbruggen, H., Pauly, K., Troupin, C., Mineur, F., & De Clerck, O. (2012). Bio-ORACLE: Um conjunto de dados ambientais globais para modelagem de distribuição de espécies marinhas. *Globo. Eco. Biogeografia*, pp. 1466-8238. doi:2011.00656.x
- Van Den Eeckhaut, M., Vanwalleghem, T., Poesen, J., Govers, G., Verstraeten, G., & Vandekerckhove, L. (2006). Prediction of landslide susceptibility using rare events logistic regression: a case-study in the Flemish Ardennes (Belgium). *Geomorphology*, 76, pp. 392-410.
- Warren, D. G., R, E., & Turelli, M. (2008). Environmental niche equivalency versus conservatism: quantitative approaches to niche evolution. *International Journal of Organic Evolution*.(62(11)).
- Werneck, E. P. (2012). Deep diversification and long-term persistence in the South American dry 'dry diagonal': integrating continent-wide phylogeography and distribution modeling of geckos. *Evolution*,, pp. 3014-3034. Obtido de <http://dx.doi.org/10.1111/j.1558-5646.2012.01682.x>
- Wiens, J. A., Stralberg, D., Jongsomjit, D., Howell, C. A., & Snyder, M. A. (2009). Niches, models, and climate change: assessing the assumptions and uncertainties. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 106., pp. 19729-19736.
- Wood, S. N. (2006). On confidence intervals for generalized additive models based on penalized regression splines. *Australian & New Zealand Journal of Statistics*(48(4)), pp. 445-464.
- Wood, S. N. (2017). Generalized Additive Models: An Introduction with R (2nd edition). *Journal of the Royal Statistical*.
- Wood, S. N., & Augustin, N. H. (2002). GAMs with integrated model selection using penalized regression splines and applications to environmental modelling. *Ecological modeling*, pp. 157-177.
- Yano, I. (1995). Final oocyte maturation, spawning and mating in penaeid shrimp. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, Behavioural Ecology of Decapod Crustaceans: An Experimental Approach*, pp. 113-118.
- Yano, I., Kanna, R. A., Oyama, R. N., & Wyban, J. A. (1988). Mating behaviour in the penaeid shrimp *Pennaeus vannamei*. *Marine Biology* 97., pp. 171-175.

- Yen, K. S., Teemari, T., & Lee, M. L. (2016). Prever o potencial de captura do bonito-listrado no oeste e centro do Oceano Pacífico sob diferentes cenários de mudanças climáticas. *J. Mar. Tecnologia*. pp. 1053-1062. Obtido de <https://doi.org/10.6119/JMST-016-0713-1>
- Zagaglia, C. R. (2004). Remote sensing data and longline catches of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the equatorial Atlantic. *Remote Sensing of Environment*.(1-2), pp. 267-281.
- Zhang, J. (2016). spaa: SPecies Association Analysis. Obtido de <https://CRAN.R-project.org/package=spaa>
- 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 Science*, pp. 1–564.
- Zuur, A. F., Leno, E. N., & Elphick, C. S. (2010). A protocol for data exploration to avoid common statistical problems. *Methods Ecol, Evol.* 1,, pp. 3–14. Obtido de <https://doi.org/10.1111/j.2041-210x.2009.00001.x>