



Monografia para Obtenção do Grau de Licenciatura em Biologia

Marinha

**Efeitos das Alterações Climáticas na Redistribuição do Camarão
Penaeidae na costa de Moçambique**



Autora:

Bélcia Da Fiana Jaime Nhantumbo



Monografia para Obtenção do Grau de Licenciatura em Biologia

Marinha

**Efeitos das alterações Climáticas na Redistribuição do Camarão
Penaeidae na costa de Moçambique**



Autora:

Bélcia Da Fiana Jaime Nhantumbo

Supervisor:

Doutor Anildo Naftal Nataniel

Quelimane, Maio de 2024

Dedicatória

Dedico este trabalho aos meus pais **Jaime Francisco Nhantumbo** e **Orquídea Eduardo Milisse**, aos meus irmãos, especialmente a minha irmã **Érica Jaime Nhantumbo**, ao meu supervisor **Anildo Naftal Nataniel** por todo apoio, confiança e carinho que depositaram em mim durante a realização dos meus sonhos ao longo da vida, e a mim mesmo pelo esforço e por fazer com que as dificuldades me tornassem mais forte de modo a alcançar o grau de licenciatura tão almejado por mim.

Agradecimentos

Agradeço a Deus por todo apoio por ele concedido, por sempre estar ao meu lado, por todo seu amor por mim mesmo que eu não seja digna deste amor. Obrigado meu Deus Por me amar acima da média, por ter colocado no meu caminho pessoas para me ajudar de modo a conseguir terminar este trabalho, por não permitir que as adversidades deste mundo me desviassem do meu propósito. O meu muito obrigado Senhor sei que nem toda a gratidão do mundo seria pário te engrandecer Deus.

Minha imensa e eterna gratidão a meu supervisor o Doutor Anildo Naftal Nataniel, por todo apoio para a realização deste trabalho, por sempre estar disponível para me orientar, pela atenção, pelo apoio moral, e por sempre confiar em mim, acreditar que eu era capaz de materializar este trabalho, diante de todas as dificuldades que enfrentamos ele sempre esteve lá comigo me dando força, o meu muito obrigada.

Um profundo e eterno agradecimento dirigido a minha família o meu pai Jaime Nhantumbo que é a força eletromotriz da minha vida, a minha mãe Orquídia Milisse minha âncora, por serem os meus pilares, meus conselheiros, a minha fonte de inspiração, a minha força, minha motivação, sempre tive o prazer e orgulho de contar com eles em todos os momentos da vida. Minha gratidão aos meus irmãos Érica Nhantumbo, Jaime Nhantumbo Júnior, Amádia Nhantumbo, Sérgio Nhantumbo, pelo amor, carinho, apoio e confiança depositada em mim durante os anos de estadia em Quelimane, foi uma convivência repleta de ensinamentos ricos que pretendo levar para toda vida.

Aos docentes da Escola Superior de Ciências Marinhas meu profundo agradecimento pelo conhecimento transmitido durante a minha formação e a todos os professores que tive o privilégio de ser ensinado por eles durante toda minha carreira estudantil e a todos os funcionários da escola meu muitíssimo obrigado. Um agradecimento especial ao doutor Mauro Uqueio, e ao doutor Daniel Mualeque, por toda atenção dispensada e por acreditarem no meu potencial.

Um agradecimento profundo e eterno ao Lopes Nhamossa, Loyde Raquel, Maria Chirunguse, Jéssica de Fátima por todo companheirismo, todas as rizadas dadas nesta jornada, o meu muito obrigada e dizer que o sentimento que sinto por vocês é eterno, vos amo. Sem me esquecer dos meus irmãos do condomínio António, Amílton, Joel, Pité, Domingos, Oliveira, Zonjo, Denisia, Tídia, Elídio, Nelda, muito obrigado por me ensinarem que a família não é só a de sangue, muito obrigado por serem a minha família nesta cidade, por todos os puxões de orelha, pelos convívios, em suma pela alegria que proporcionaram em minha vida.

A minha turma de Biologia Marinha (2020) que me proporcionou momentos incríveis e inesquecíveis durante os quatro anos juntos pela busca do conhecimento. Acima dos desentendimentos, das críticas e das exigências está a minha admiração e respeito para cada um de vós, meu obrigado sempre será pouco.

As turmas de Oceanografia, Química e Geologia Marinha que tive a oportunidade de partilhar os ensinamentos e conhecimento na Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras vai o meu humilde obrigado.

A todos que direta ou indiretamente estiveram envolvidos para que me tornasse esta mulher e tornasse possível a conquista do meu grau de licenciatura, minha profunda e sincera gratidão.

Declaração de Honra

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

A candidata

(Bélcia Da Fiana Jaime Nhantumbo)

Resumo

O camarão da família penaeidae é um recurso socio-ecologicamente e economicamente importante nas zonas costeiras de Moçambique, todavia as capturas ilustram uma tendência de declínio nos últimos anos. Neste âmbito, a pesca, a variação do ambiente e o efeito climático tem sido apontado com preocupação na redistribuição e realocação dos camarões em novos habitats. Assim, o estudo foi realizado para prever o efeito das variáveis ambientais e dos cenários climáticos otimistas (RCP2.6) e pessimistas (RCP8.5) na redistribuição espacial e temporal do camarão para o futuro (2050 e 2100). A captura foi usada como variável resposta e as covariáveis oceanográficas como preditores no ajuste do modelo aditivo generalizado (GAM). Os dados das capturas do camarão da família Penaeidae de 2010-2020 da pesca artesanal foram obtidos no Instituto Nacional Oceanográfico de Moçambique (InOM) e as variáveis oceanográficas produtoras (temperatura, altimetria, salinidade, oxigénio dissolvido, pH, produtividade primária, clorofila, fitoplâncton e correntes) e espaço-temporal (latitude, longitude, ano e mês) para a área de estudo estão disponíveis no consórcio My-Ocean Copernicus. Foi selecionado o modelo GAM através do método regressivo que consiste em ajustar todas as variáveis previamente disponíveis e eliminou-se uma variável de cada vez de acordo com o nível de significância (p -value < 0.05). Em seguida, foi usado o método “*k-fold cross validation*” para validar o GAM selecionado que posteriormente foi aplicado para prever futuras redistribuições dos camarões da família penaeidae na área de estudo. Os resultados mostraram que as capturas se relacionam à temperatura, a produtividade primária, ao oxigénio dissolvido, ao pH, a latitude, a salinidade, as correntes oceânicas da componente norte, e variação sazonal. Em relação aos efeitos climáticos prevê-se que no cenário otimista (RCP 2.6) para os períodos de 2050-PRE e 2100-PRE, uma expansão da costa ao mar no sentido Sul-Este e entre 2100-2050, não se prevê mudanças notáveis provavelmente devido a estabilização da temperatura neste período prevista pelo IPCC (2016). Entretanto, em um cenário pessimista (RCP 8.5) prevê-se uma pequena expansão das capturas do camarão da costa de Moçambique em direção ao alto mar no período de 2050-PRE e, para os períodos correspondentes a 2100-PRE e 2100-2050, o modelo projeta perdas significativas das capturas na costa Moçambicana e realocação no alto mar. Portanto, o estudo providencia resultados importantes que podem servir para delinear estratégias de conservação e gestão deste recurso de maior valor ecológico e socioeconómico.

Palavras chave: Camarão Penaeidae; Mudanças Climáticas; Variáveis Ambientais; Costa de Moçambique.

Abstract

Penaeidae Shrimp are a socio-ecologically and economically important resource in the coastal areas of Mozambique, however catches illustrate a declining trend in recent years. In this context, fishing, environmental variation and the climate effect have been highlighted with concern regarding the redistribution and relocation of shrimp in new habitats. Therefore, the study was carried out to predict the effect of environmental variables and optimistic (RCP2.6) and pessimistic (RCP8.5) climate scenarios on the spatial and temporal redistribution of shrimp for the future (2050 and 2100). Data on the catches of shrimp from the Penaeidae family from 2010-2020 from artisanal fishing were obtained from the Institute of Oceanography of Mozambique (InOM) and the oceanographic predictor variables (temperature, altimetry, salinity, dissolved oxygen, pH, primary productivity, chlorophyll-a, phytoplankton and currents) in the spatio-temporal (latitude, longitude, year and month) for the study area are available in the My-OceanC consortium. related to temperature, primary productivity, dissolved oxygen, pH, latitude, salinity, northern ocean currents, and seasonal variation. And in relation to climate effects, it is predicted that in the optimistic scenario (RCP 2.6) for the periods 2050-PRE, 2100-PRE, an expansion from the coast to the sea in a South-East direction in the area $> 35^{\circ}\text{E} / 23^{\circ}\text{S}$ and between 2100-2050, no notable changes are expected. However, in a pessimistic scenario (RCP 8.5) a reduction in shrimp catches on the coast of Mozambique is expected in the period 2050-PRE, and in the periods 2100-PRE and 2100- By 2050, the model does not project catches in national waters, that is, penaeidae shrimps could disappear off the coast of Mozambique. Therefore, the study provides important results that can serve to outline conservation and management strategies for this resource of greatest ecological and socioeconomic value and discusses aspects of adaptation.

Keywords: Penaeidae Shrimp; Climate changes; Environmental Variables; Coast of Mozambique.

Lista de abreviaturas

AIC	Critério de Informação de Akaike
D	Índice de Similaridade
Dev. Expl	Desvio Explicado
EEZ	Zona Económica Exclusiva
EDF	Grau de Liberdade Estimado
GAM	Modelo Aditivo Generalizado
GEE	Concentração de Gases de Efeito Estufa
GLM	Modelo Linear Generalizados
InOM	Instituto nacional Oceanográfico de Moçambique
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas
MDE	Modelo de Distribuição de Espécies
NPP	Produtividade Primária Líquida
Oxy	Oxigénio dissolvido
P V	Valor do P
PHa	pH anómalo
PRE	Período de Referência de Estudo
2050-PRE	Diferença do período de referência de estudo e 2050
2100-PRE	Diferença do período de referência de estudo e 2100
2100-2050	Diferença entre 2100 e 2050
R	correlação de Pearson
RCP	Representative Concentration Pathways
RMSE	Erro dos Mínimos Quadrados
So	Salinidade
Ton	Toneladas
SST	Temperatura Superficial da Água
Vo	Velocidade na Componente Este
I.Relativa	Importância Relativa

Lista de Figuras

Figura 1. Localização da área de estudo com a distribuição das capturas normalizadas e interpoladas através do “inverse distance weight function (idw). A linha verde indica o limite das 12 milhas náuticas reservada para a pesca artesanal na costa de Moçambique. Os pontos vermelhos indicam os locais e as proporções do camarão desembarcado. E a linha vermelha delimita a zona económica exclusiva (ZEE) de Moçambique.	24
Figura 2. A figura ilustra a influencia das variáveis ambientais na distribuição do camarão peneídeo na costa Moçambicana. NPP -Produtividade Primária, Oxy-Oxigénio Dissolvido, So-Salinidade, Vo-Velocidade das Correntes na componente Norte, SST- Temperatura Superficial da água, pHa-pH anómalo, f(x)- reflete a importância relativa das variáveis preditoras no modelo. Traços no eixo-x são observações. E as linhas tracejadas mostram os limites de confiança de 95%.	34
Figura 3. Previsão das capturas para a diferentes cenários climáticos entre o período de referência de estudo (PRE) e 2050, 2100, e entre 2100-2050 nos cenários moderados (RCP2.6) e crítico (RCP8.5). PRE- período de referência de estudo de 2011-2020, onde a linha verde indica o limite da zona económica exclusiva.	37
Figura 4. Mapa de distribuição das biomassas das diferentes espécies de camarão da família Penaidae.	54
Figura 5. Ilustração da inspeção gráfica da performance do modelo.....	56

Lista das tabelas

Tabela 1. Resultados do modelo aditivo generalizado (GAM) que ilustram o grau de ajuste para a estimar a redistribuição do camarão penaidae na costa de Moçambique. AIC- Critério de Informação Akaike, GCV-,validação generalizada cruzada n-tamanho da amostra, EDF- graus de liberdade efetivos, F-Estatístico- razão entre o desvio explicado e não explicado pela co -variável, Desvio Explicado- é o desvio explicado por todas as covariáveis no modelo, r-coeficiente de Pearson, RMSE- erro quadrático médio, Shoonan Index D- Grau de similaridade entre as observações e valores previsto pelo modelo, NPP- Produtividade Primária, SST- Temperatura superficial da água, Oxy- Oxigénio dissolvido na coluna de água, pHa- pH anómalo, Vo- velocidade das correntes da componente norte, So-Salinidade, Mês – sazonalidade e Ano- variável aleatória referente ao período de 365 dias.....	32
Tabela 2. Percentagem projetada para mudanças da área das capturas do camarão penaidae em cenários futuros de mudanças climáticas. Áreas inalteradas (%) indicadas por valores em torno de zero (0) anomalias; áreas perdidas indicadas por anomalias negativas e áreas ganhas indicadas por anomalias positivas e correspondem aos locais com agregação de capturas do camarão penaeidae. PRE - período de referência do estudo correspondente a 2011–2020.	35
Tabela 3. Tabela da corelação de Person entre as covariáveis.....	54

ÍNDICE

Dedicatória	iii
Agradecimentos.....	iv
Declaração de Honra	vi
Resumo.....	vii
Abstract	viii
Lista de abreviaturas.....	ix
Lista de Figuras	x
Lista das tabelas	xi
1. Introdução	14
1.1. Problematização e justificativa.....	16
1.1.1. Problematização.....	16
1.2. Objetivos	17
1.2.1 Objetivo geral.....	17
CAPÍTULO II	18
2. Revisão de literatura	18
2.1. Descrição da pesca artesanal	18
2.2. Classificação taxonómica	18
2.3. Ciclo de vida e crescimento do Camarão	18
2.4. Habitat	19
2.5. Modelos de distribuição de espécies	21
Modelo Aditivo Generalizado (GAM)	21
2.6. Modelo de previsão face às mudanças climáticas	22
CAPÍTULO III	23
3. Metodologia.....	23
3.1. Área de estudo	23
Dados de Captura.....	25

3.2. Dados ambientais e climáticos	25
3.4. Análise de dados	27
3.4.1. Análise exploratória dos dados	27
4.5. Seleção e ajuste do modelo	28
4.6. Previsão da redistribuição das capturas	30
5. Resultados	32
5.1. Performance do Modelo	32
5.2. Efeito das Variáveis Ambientais	33
6. Discussão	38
7. Conclusão.....	43
8. Recomendações.....	44
9. Referencias bibliográficas.....	45
10. Anexos.....	54

CAPÍTULO I

1. Introdução

Os camarões da família penaeidae são organismos bentônicos habitantes de oceanos e águas estuarinas, pertencentes ao táxon decápode, apresentam um corpo comprimido lateralmente, formado por segmentos com membranas articuladas e recoberto por uma carapaça de quitina relativamente rígida. Possuem duas regiões distintas, a anterior denominada de cefalotórax e a região posterior, a abdominal.

Geralmente os camarões que pertencem a família Penaeidae ocorrem principalmente em regiões tropicais e subtropicais (Bauer, 2004), e dependem dos estuários como locais de berçário e crescimento (García & Le, 1981). Na costa de Moçambique, os crustáceos desta família são o grupo mais importante na pesca e encontram-se com maior abundância na Baía de Maputo e ao longo do Banco de Sofala (Bauer, 2004), desde a zona costeira até profundidades acima dos 70 metros. A maior concentração encontra-se em profundidades que variam de 5 a 25 metros e a sua distribuição está muito ligado com a presença de mangal no local onde o camarão passa as fases de vida iniciais (de Sousa *et al.*, 2011).

O conhecimento da distribuição e abundância das populações do camarão é fundamental para o manejo e conhecimento efetivo da pesca (Katsanevakis *et al.*, 2009). Apesar de muitas espécies de peneídeos habitarem os estuários quando juvenis, são predominantemente marinhos. Entretanto, os estuários são ecossistemas utilizados pelos peneídeos e, desempenham um papel importante na alimentação e crescimento (Bauer, 2004).

A abundância e recrutamento para pesca dos camarões da família penaeidae é regulado pelas variáveis ambientais tais como a variação da temperatura, salinidade, correntes geostróficas, produtividade do ecossistema, precipitação entre outros processos ecológicos (Pickens *et al.*, 2021; Schlenker *et al.*, 2023). Por outro lado, alterações climáticas globais relacionadas com o aumento da temperatura, alteração do padrão de circulação das massas de água oceânicas, desoxigenação (IPCC *et al.*, 2013; Dueri *et al.*, 2014; Rox *et al.*, 2014; Popova *et al.*, 2016;) determinam a redistribuição e abundância das espécies aquáticas causando impactos significativos nas comunidades pesqueiras.

Portanto, é fundamental aplicar modelos ecológicos de previsão que tem sido ferramentas com maior importância nos avanços de projeções na área da distribuição e abundância de espécies. Assim sendo, o Modelo Aditivo Generalizado (GAM, Wood, 2017) tem sido utilizado e recomendado para a relacionar as capturas com variáveis ambientais e prever a redistribuição das espécies sob os efeitos dos cenários climáticos (Exemplo: Yen *et al.*, 2016; Lopes *et al.*, 2018; Penino *et al.*, 2020; Nataniel *et al.*, 2021). O

GAM foi aplicado com o objetivo de encontrar-se o modelo mais parcimonioso por forma a dar resposta ao problema em questão, ou selecionar as variáveis que têm uma maior influência nas capturas e determinar efeito dos futuros cenários climáticos na redistribuição do camarão. Este estudo poderá contribuir para a conservação e gestão do recurso e prever as estratégias de adaptação e resiliência dos pescadores artesanais.

1.1. Problematização e justificativa

1.1.1. Problematização

Na costa Moçambicana nos últimos anos a pescaria do camarão vem registrando diminuição dos níveis de capturas devido, às ações antrópicas de pesca, modificações dos ecossistemas, poluição dos habitats costeiros. Por outro lado, as atividades de desenvolvimento industrial têm sido apontadas nas alterações climáticas globais que afetam os ambientes marinhos e os organismos associados, podendo levar extinção de alguns organismos marinhos, em particular para os crustáceos. As alterações climáticas podem ter um impacto significativo na redução da população do camarão da família penaeidae na costa de Moçambique, que pode relacionar-se com o aumento do nível do mar, variações da salinidade, alcalinidade do mar, a desoxigenação, a elevação da temperatura acima do nível de tolerância, afetando a ecologia dos ecossistemas costeiros, e conseqüentemente, a sobrevivência dos camarões e outras espécies marinhas. Além dos impactos diretos nas populações de camarões, as alterações climáticas afetam os padrões de ventos e correntes marítimas, o que pode influenciar na disponibilidade de alimento e a possível realocação das populações de camarões na costa. Face a estes pressupostos ambientais e climáticos surge a seguinte questão: *como é que os cenários climáticos influenciam a abundância e redistribuição do camarão na costa de Moçambique.*

1.1.2. Justificativa

As condições oceanográficas tais como alteração da temperatura e salinidade podem afetar o ciclo de vida dos camarões da família penaeidae (Gray, 2019; FAO, 2019), e os cenários climáticos modificam a redistribuição dos camarões nas comunidades costeiras (Silva *et al.*,2020), causando impactos negativos para as comunidades de pescadores dependente dos recursos para subsistência. Entretanto, na costa Moçambicana estudos que relacionam as variáveis ambientais de forma múltipla e os efeitos das alterações climáticas são raras. Por isso, pretende-se se fazer uma análise preliminar sobre os efeitos oceanográficos ambientais e climáticos na abundância e distribuição dos camarões da família penaeidae, para que os resultados possam ser utilizados no delineamento das estratégias de gestão e conservação dos recursos para além dos aspetos de adaptação ou mitigação climática para o bem-estar das comunidades pesqueiras, isto é, o bem-estar socioeconómico. Os resultados do presente estudo iram constituir bases de evidencias para prever mudanças na redistribuição dos camarões da família penaeidae no futuro, e verificar impactos de origem climática na pesca de camarões ao longo dos anos, permitindo que as comunidades pesqueiras se adaptem á mudanças previstas a ocorrer, e a desenvolver estratégias de manejo sustentável que possam mitigar esses impactos sobre os ecossistemas marinhos.

1.2. Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

- Analisar o efeito das alterações climáticas na abundância e redistribuição do camarão *penaeidae* na costa de Moçambique

1.2.2 Objetivos específicos

- Selecionar o modelo preditivo das capturas camarão;
- Relacionar as variáveis ambientais e a captura do camarão e;
- Prever a redistribuição espacial e temporal do camarão;

CAPÍTULO II

2. Revisão de literatura

2.1. Descrição da pesca artesanal

A pesca artesanal caracteriza-se pelo uso de pequenas embarcações, com menor esforço unitário de pesca. O regime do trabalho é familiar ou através de grupos de vizinhança ou parentesco e, a captura do pescado é realizado com embarcações de até 10 m (Shatz, 2002), com artes de pesca convencionais (Lopes e Gervásio, 1999), como arrasto de praia. Em Moçambique a pesca artesanal não tem espécies alvos, mas a família Penaeidae tem grande importância socioeconómica para a pesca artesanal. Os principais alvos desta família abordados no presente estudo são *Penaeus indicus*, *Metapenaeus monóceros* e *Penaeus japonicus* e, em conjunto, são responsáveis por cerca de 90% da captura total da família penaeidae na pesca artesanal (Brito e Pena, 2007; De Sousa *et al.*, 2009).

2.2. Classificação taxonómica

Domínio: Eucariota

Reino: Animália

Filo: Artrópode

Classe: Crustácea

Ordem: Decápode

Subordem: Dendrobranchiata

Família: Penaeidae

Género: *Penaeus spp*, *Metapenaeus sp*

2.3. Ciclo de vida e crescimento do Camarão

O ciclo de vida das espécies da família Penaeidae compreende duas fases: (i) uma fase marinha no estágio adulto e outra estuarina no estágio juvenil (Figura 2). A desova ocorre no mar aberto entre os meses de março e setembro, sendo o principal pico de desova frequentemente em novembro (Anker *et al.*, 2006). Durante os sucessivos estados larvares dá-se uma migração para os estuários, onde se desenvolvem nos mangais até ao estado juvenil. Atingem a fase de recrutamento entre os meses Janeiro-Março, onde os juvenis migram para o mar, atingindo a zona de pesca com um comprimento total de cerca de 10cm, com cerca de 4 meses de idade (De Sousa *et al.*, 2016). Um outro processo que provoca o mesmo efeito é o crescimento que é o aumento dos indivíduos em peso, sendo este diferente

consoante o sexo. Os machos, a partir de um certo tamanho crescem mais lentamente que as fêmeas. No entanto supõe-se que a idade máxima que eles atingem não é diferente devendo permanecer na área de pesca cerca de um ano (Nalini, 1968; Brinca & Sousa, 1984).

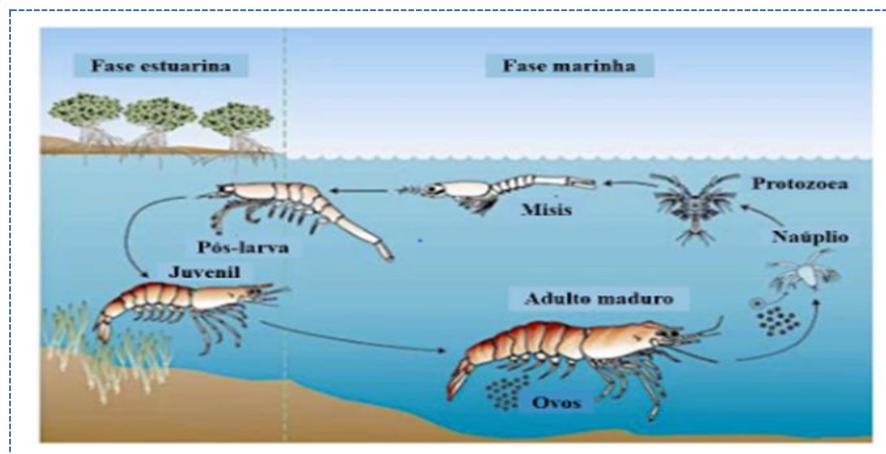


Figura 1. Ciclo de vida do camarão peneídeo. Fonte: adaptado por Sciro 2011.

2.4. Ecologia e Habitat

O camarão da família penaeidae ocorre praticamente ao longo de toda a costa de Moçambique em águas pouco profundas. A sua distribuição está muito ligada a existência de mangais, locais onde se desenvolve durante os primeiros meses de vida. Na costa Moçambicana podem ocorrer em arrastos efetuados entre a costa e os 70 metros de profundidade, mas as maiores concentrações encontram-se entre os 5 e 25 metros (Sousa *et al.*, 2016).

A família Penaeidae quanto ao habitat subdivide-se em dois grupos de organismos, um que possui hábitos bentónicos e vivem associados a fundos lamosos ou a substratos compostos por areia e, geralmente permanecem enterrados durante o dia (Costa *et al.*, 2007 e Simões *et al.*, 2010). Apesar de muitas espécies de peneídeos habitarem os estuários quando juvenis por ser um ecossistema altamente produtivo, e por desempenhar um papel importante na alimentação e crescimento, as espécies são predominantemente marinhas (Bauer, 2004).

As variações ambientais influenciam a dinâmica populacional das espécies marinhas, determinando padrões de distribuição, áreas e épocas para alimentação e desova. A variabilidade climática nos últimos anos vem deixando o mundo em alerta e desafiando os pesquisadores a desvendar as rápidas e severas mudanças do clima no mundo (Nóbrega e Santiago, 2014). Portanto, a captura do camarão peneídeos na costa Moçambicana pressupõe-se que está sendo influenciada pela dinâmica do ecossistema (exemplo: Ventos, Produtividade primária, Oxigénio, pH, Temperatura, Salinidade, e a

variação espaço-temporal) e alterações climáticas. Em seu ambiente natural, o camarão peneídeo alimenta-se principalmente de matéria detritiva, isto é produtividade primária morta. São animais filtradores, que utilizam suas antenas e patas para capturar partículas de alimentos suspensos na água (Barreto, 2016).

Não obstante, o aumento da temperatura da água afeta a fisiologia e o comportamento dos camarões, o que provavelmente leve a uma redução na sua taxa de crescimento e reprodução, e diversamente, aumentar a suscetibilidade a doenças. Contudo, alguns estudos descrevem detalhadamente as relações das variáveis ambientais e climáticas com os camarões como por exemplo: Spies *et al.* (2016) observaram que a medida que ocorrem descargas dos rios na costa Moçambicana verifica-se um aumento da água doce e, D'Sa & Korobkin (2009) verificaram concentrações aumentadas de clorofila que estimula a abundância do camarão para a região costeira. Zink *et al.* (2017) documentou que o camarão penaeidae subadulto tolera salinidades variadas (20–35 psu), Doerr *et al.* (2016) conduziram experimentos e determinaram que camarões penaeidae juvenis preferem 17–35 psu e onde a concentração de clorofila era alta e, Diop *et al.* (2007) verificaram que temperaturas inferiores do verão tinha uma relação positiva com as capturas.

As variações sazonais da salinidade e da temperatura da água que podem afetar a disponibilidade de alimento para os camarões, podendo afetar a cadeia alimentar do ecossistema costeiro, e conseqüentemente a sobrevivência de outras espécies marinhas (Garcia & Wasielesky, 2016). A redução do pH nos oceanos também pode afetar negativamente os camarões da família penaeidae, tornando a água mais ácida e reduzindo a disponibilidade de carbonato de cálcio, que é um importante componente para a formação de conchas e carapaças de camarões e outros organismos marinhos.

2.5. Modelos de distribuição de espécies

O conhecimento da distribuição geográfica é fundamental para alicerçar estudos evolutivos e ecológicos das espécies. Porém, a sua delimitação é um desafio devido à existência de agregação espacial desigual de informação da distribuição das espécies, alto custo de trabalhos de campo e, às variações que influenciam nessa distribuição ao longo do tempo. Tendo em vista essa problemática, os métodos de Modelagem de Distribuição de Espécies (MDEs) surgiram como uma grande contribuição para os estudos realizados nessas áreas. Os modelos de distribuição de espécies são muito utilizados, para priorizar áreas para conservação (Nóbrega *et al.*, 2011) discutir padrões biogeográficos (Werneck, 2012) e, com a disponibilização de dados modelados de clima do passado e do futuro, prever mudanças na distribuição dos organismos ao longo do tempo (Bonnacorso *et al.*, 2006).

Os MDEs são baseados, principalmente, nas condições ambientais e são gerados a partir de um conjunto de regras que vão desde soluções matemáticas mais simples (exemplo: Distância Euclidiana e BIOCLIM), passando por ajustes estatísticos (exemplo: Modelos Lineares Generalizados – GLM, Modelos Aditivos Generalizados – GAM) até algoritmos derivados de inteligência artificial (exemplo: Maxent, GARP, Redes Neurais). Basicamente, o que estes algoritmos calculam é a similaridade ambiental entre os locais de ocorrência conhecidos para a espécie e outras regiões ainda desconhecidas. No final, os locais de maior similaridade são considerados como áreas de alta probabilidade de ocorrência (Paglia *et al.*, 2012). Uma das características desejadas dos MDEs é a transferibilidade, ou seja, a possibilidade de indicar áreas potenciais de ocorrência das espécies além dos locais já conhecidos. Para espécies ameaçadas de extinção, é importante gerar, de maneira rápida e eficiente, novas informações sobre suas distribuições geográficas e sobre o status de suas populações (Paglia *et al.*, 2012). Entretanto, o modelo GAM (Wood, 2006) tem sido aplicado para prever a distribuição das espécies, devido a sua flexibilidade em modelar relações lineares e não lineares incluindo variáveis categóricas (Hastie & Tibshirani, 1990).

2.6. Modelo Aditivo Generalizado (GAM)

O Modelo Aditivo Generalizado foi o modelo selecionado para verificar o efeito das variáveis ambientais, e prever a redistribuição futura do camarão penaeidae na costa de Moçambique. Este modelo é capaz de lidar com relações não-lineares entre uma variável independente e múltiplos preditores, isto é, acoplar variáveis espaciais, temporais e ambientais (Barreto, 2016).

- O modelo pode ser escrito da seguinte forma (Dallazuanna & Bonat, 2007).

$$g(\mu_i) = \theta + f_1 x_{1i} + f_2 x_{2i} + f_3 x_{3i} + \dots$$

ou

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

Sendo:

- $\mu_i \equiv e^{y_i}$ alguma distribuição da família exponencial;
- g_i é a variável resposta;
- x_i é uma coluna da matriz do modelo para uma dada variável;
- θ é o vetor do parâmetro correspondente e;
- f_i são as funções suaves das variáveis.
- $H(\theta)$ representa a função de ligação do modelo, $X_1; \dots; X_p$ definem-se como variáveis explicativas
- $f_j(\theta); j = 1; \dots; p$, são as funções parciais, também conhecidas como funções suavizadoras.

2.7. Modelo de previsão face às mudanças climáticas

Para modelar cenários futuros tem sido usado o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (acrónimo em inglês IPCC), e projeções de temperatura da superfície, salinidade, correntes oceânicas, acidificação e Oxigenação em trajetórias representativas das concentrações dos gases de efeito de estufa (RCP - Representative Concentration Pathways, IPCC, 2014). São propostas quatro RCP, isto é, quatro cenários de emissão e concentração de gases de efeito estufa (GEE) possíveis de acontecerem até 2100 (Guedes, 2018). Os RCPs incluem um cenário de mitigação moderada (RCP2.6), dois cenários intermediários (RCP4.5 e RCP6.0) e um cenário com emissões de GEE muito alta (RCP8.5), (IPCC, 2014).

RCP2.6 representa um caminho onde a emissão de gases de efeito estufa aumentam até 2050 e, tornam-se estáveis em média global de 1.6 °C até 2100. RCP8.5 é uma trajetória onde as emissões de GEE continuam crescendo sem limites, conduzindo para uma melhor estimativa de aumento da temperatura média global de 3 °C até 2100 (Van-Vuuren *et al.*, 2011).

CAPÍTULO III

3. Metodologia

3.1. Área de estudo

Moçambique localiza-se na costa oriental de África, com uma linha de costa extensa de cerca de 2.770 Km de comprimento (Hoguane, 2007). O estudo está centrado na região Centro-Sul do País entre as latitudes 16°S e 26°S (Figura 3). O clima é tropical húmido com duas estações distintas: a estação seca ou de inverno e a estação chuvosa ou de verão. A temperatura média anual do ar atmosférico é cerca de 23° C e 26° C nas zonas costeiras da região sul e norte, respetivamente. A precipitação média anual é de cerca de 1200mm entre os meses de Novembro e Abril. A costa moçambicana é caracterizada por uma ampla diversidade de habitats que inclui praias arenosas, dunas costeiras, recifes de corais, estuários, baías, florestas, pântanos de mangal, tapetes de ervas marinhas com espécies endémicas e em vias de extinção e, por recursos diversos, que inclui as pescarias, fauna e flora costeira que suportam a subsistência de cerca da metade da população moçambicana residente nestas zonas.

Entretanto a partir da área estreita do canal de Moçambique (~14°S) formam-se redemoinhos de mesoescala, que progridem para sul, aquecendo os ecossistemas costeiros de Moçambique com efeito na circulação das correntes norte-sul e na interação com a estrutura da pluma do rio (Malauene *et al.*, 2018). A produtividade dos ecossistemas costeiros em torno da área de estudo (16°S - 26°S) também é influenciada pelo escoamento das principais bacias hidrográficas (por exemplo: Save, Zambeze e Ligonha, Tew-Kai & Marsac, 2009) e pela contribuição dos estuários (por exemplo: Beira, Búzi, Macuse, Bons Sinais) fornecendo nutrientes para produtividade primária, alterando, diluindo e/ou misturando água salgada e água doce, aumentando a turbidez através da descarga de matéria orgânica e sedimentos (Hoguane & Armando, 2015; Furaca *et al.*, 2021; Groeneveld *et al.*, 2021; Mugabe *et al.*, 2021).

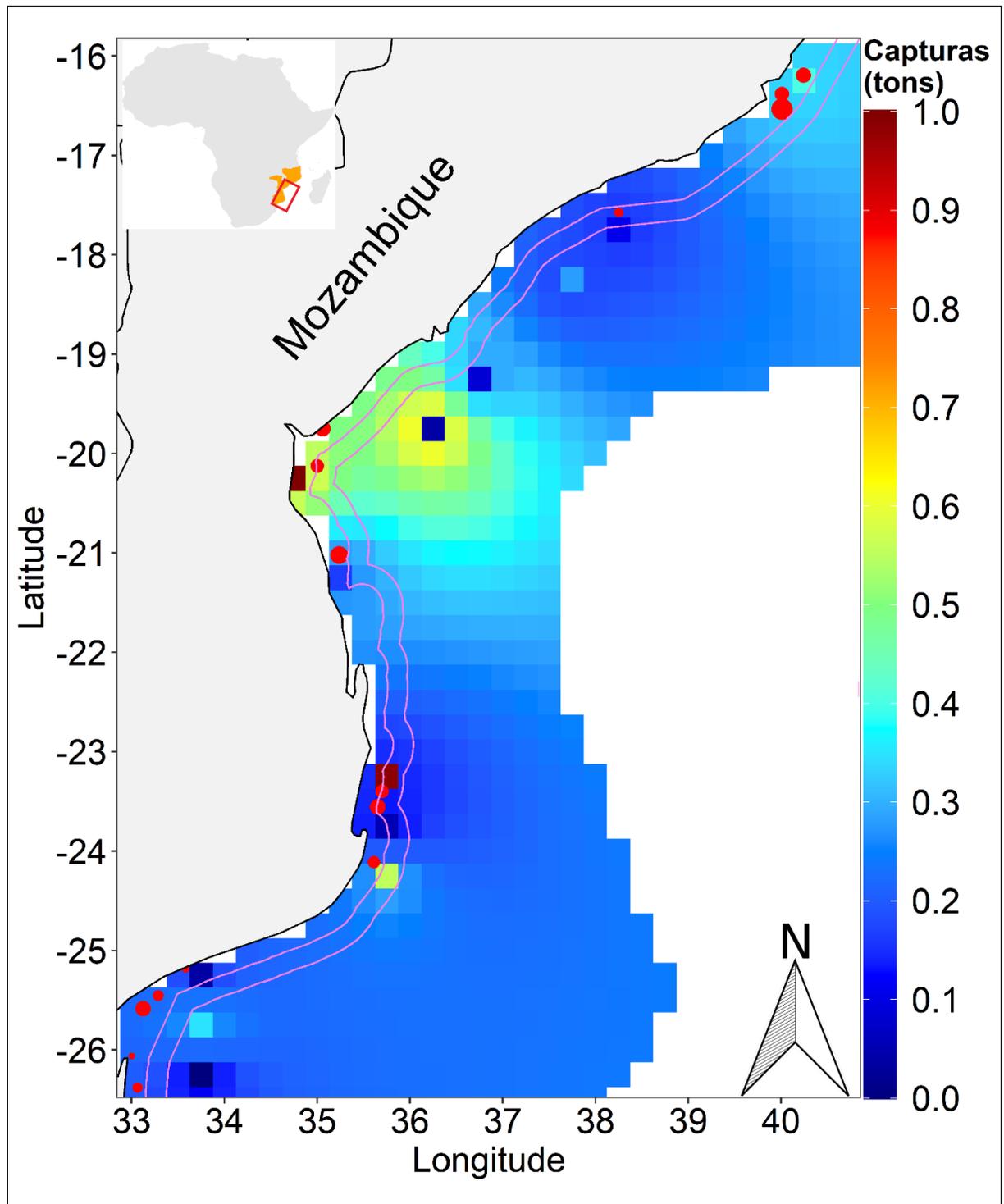


Figura 1. Localização da área de estudo com a distribuição das capturas normalizadas e interpoladas através do “inverse distante weight function (idw)”. As linhas rosas indicam o limite das 12 milhas náuticas e das 24 milhas náuticas respectivamente, sendo as 12 milhas reservadas para a pesca artesanal na costa de Moçambique. Os pontos vermelhos indicam os locais e as proporções do camarão desembarcado.

3.2. Dados de Captura

Para realização do presente estudo foram usados dados de pesca artesanal de arrasto para praia do camarão da família Penaeidae referentes ao período de Janeiro de 2010 a Dezembro de 2020, fornecidos pelo Instituto Nacional Oceanográfico de Moçambique (InOM), extinto Instituto de Investigação Pesqueira (IIP). Os dados tinham uma resolução temporal mensal correspondente aos distritos costeiros ou localidades entre as latitudes -14°S a - 26°S (Figura 2). Espacialmente, os dados estavam agregados em distritos administrativos e, com auxílio do Google Earth, foram extraídas as coordenadas da vila ou centro administrativo. E, a partir da linha da costa da vila administrativa até ao limite de 12 milhas náuticas do mar, foi feita uma estimativa de 0.25° x 0.25° de longitude e latitude equivalente a ~25Km, por forma a georreferenciar os dados de captura no meio marinho. Posteriormente, foi feita uma interpolação dos dados das capturas com ajuda da função `idw()` no pacote `spatstat` (Baddeley & Turner, 2005) no programa R versão 4.1.0 (R Team Core 2021) para estimar as médias ponderadas das capturas na área de estudo acessível aos pescadores artesanais (Figura 2). As espécies mais frequentes nas capturas foram *P. indicus*, *P. Japonicus* e *M. monocerus*. Os procedimentos anteriores (georreferenciamento e interpolação dos dados de capturas) permitiram também a extração das variáveis ambientais em cada quadricula de 0.25° x 0.25° que foram usados para simular o modelo preditivo da redistribuição das capturas.

3.3 Dados ambientais e climáticos

Os dados das variáveis ambientais para 2010-2020 foram obtidos no consórcio MyOcean-Copernicus EU (marine.copernicus.eu) no formato netCDF e foram convertidos para o formato CSV com o auxílio dos pacotes `ncdf4` (David, 2023), `tidyverse` (Wickham et al., 2019), `lubridate` (Grolemund & Wickham, 2011). Os dados físicos extraídos foram: temperatura (°C), salinidade (psu), velocidade das correntes ($m s^{-1}$), altura da superfície do mar (m) e espessura da camada das águas misturadas (m) estes dados foram extraídos do produto CMEMS GLOBAL_REANALYSIS_001_030. Também, foram extraídos dados biogeoquímicos tais como: oxigénio ($mmol m^{-3}$) fitoplâncton ($mmol m^{-3}$), produtividade primária ($mg m^{-3}$), clorofila ($mg m^{-3}$), e pH obtidos do produto GLOBAL_REANALYSIS_BIO_001_029. Estas variáveis foram assumidas como potencialmente relacionadas com dinâmica dos camarões, uma vez que vários estudos já exploraram ou evidenciaram a importância destas relações. Por exemplo, Schlenker *et al* (2023) relacionou o efeito da variabilidade climática e ambiental na abundância dos peneídeos; Pickens *et al* (2021) relacionou a distribuição do camarão penaeidae e habitats marinhos, estuarinos e do alto mar e; Petatán-Ramírez (2020) relacionou o potencial da distribuição do camarão penaeidae em função das variáveis ambientais. Estes estudos de

forma geral evidenciam uma estreita relação entre abundância populacional e variação ambiental. E as mudanças climáticas induzem a redistribuição e realocação de espécies no ambiente marinho (Exemplo: Ayube *et al.*, 2010; Domingo *et al.*, 2012; Lopes *et al.*, 2018;).

Variáveis espaço-temporais (longitude, latitude, mês e ano), também foram incorporadas aos modelos porque podem ajudar a explicar parte da variabilidade nas capturas não explicadas por outras variáveis ambientais e processos espacialmente estruturados (processos abióticos e bióticos) não incluídos neste estudo (Cortés-Avizanda *et al.*, 2011).

Apos a cessar os dados das variáveis ambientais no formato netCDF e convertidos para o formato CSV, com auxílio dos códigos de rotina dos pacotes raster (Hijmans., 2023) e rgeos (Bivand & Rundel, 2023) foram extraídos os dados das variáveis ambientais correspondentes aos locais interpolados das capturas correspondentes a 0.25° x 0.25° de resolução (limites ~ 25Km da pesca artesanal), tendo como referência a longitude, latitude, ano e mês da captura. Em seguida, os dados de variáveis ambientais foram congregados (associados) aos dados de captura como médias mensais na mesma resolução espacial definida previamente de 0.25°.

Posteriormente, projeções de temperatura de superfície do mar e salinidade do IPCC foram usadas para modelar cenários futuros (IPCC, 2014). Especificamente, foram obtidos as “*Vias de Concentração Representativos*” (RCP) 2.6 e 8.5 para os anos de 2050 e 2100 (níveis de força radiativo de aproximadamente 2,6 e 8,5 Wm⁻² até o final de 2050 e 2100, respectivamente) para temperatura média mensal da superfície do mar e salinidade com uma resolução espacial de 0,083° x 0,083° a partir de Bio-ORACLE (<http://www.bio-oracle.org>). O cenário de emissão RCP2.6 (otimista) assume a menor mudança, com um aumento de temperatura de 1°C até 2050 e 2°C até 2100 e um aumento de salinidade de 0,5 psu e 1 psu para esses mesmos anos, respectivamente. Já o cenário RCP8.5 (pessimista) pressupõe mudanças mais severas, com aumento de temperatura de 1,5° C até 2050 e quase 3° C até 2100, e aumento de salinidade de 1 psu e 1,5 psu para mesmo período, respectivamente (Meinshausen *et al.*, 2011; Penino *et al.*, 2011; IPCC, 2014).

3.4. Análise de dados

3.4.1. Análise exploratória dos dados

O objetivo da análise exploratória é de examinar os dados previamente à aplicação de qualquer técnica estatística, para a identificação dos potenciais problemas ou erros nos dados, e entender melhor os padrões presentes nos dados, detetar desvios ou eventos anômalos, além de encontrar relações interessantes entre os variáveis preditores e a variável resposta. Adicionalmente, foi feita uma inspeção gráfica sobre a natureza das variáveis, para avaliar a presença de valores anormais (uma observação que tem um valor relativamente grande ou pequeno em comparação com a maioria das observações). Uma ferramenta gráfica que normalmente é usada para deteção de valores discrepantes é o *'boxplot'*, que consiste em visualizar a mediana e a distribuição dos dados. Dependendo do software utilizado, a mediana é tipicamente apresentada como uma linha horizontal com os quartis de 25% e 75% formando uma caixa ao redor da mediana que contém metade das observações (Zuur *et al.*, 2010). Os valores anormais detetados foram corrigidos para o melhor ajuste do modelo nas fases subsequentes.

A posterior realizou-se o teste de correlação de Pearson, por forma a verificar o nível de correlação entre as variáveis explicativas. A correlação entre a variável preditor foi testada usando o índice de correlação de Pearson (r), e as variáveis com um índice absoluto superior a 70% ($-70 < r > +0,70$), um dos pares das variáveis foi excluído para evitar complicações na interpretação dos resultados (Dormann *et al.*, 2013). Adicionalmente, foi testada a importância relativa das variáveis usando o pacote randomForest (Liaw & Matthew, 2002) para auxiliar na seleção das variáveis a incluir no modelo quando um par de variáveis fosse colinear. 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 *et al.*, 2010). Feito o teste de correlação de Pearson (Tabela3 Anexo) observou-se que os seguintes pares de variáveis, longitude-latidade, latidade-altura da superfície do mar, produtividade primaria-clorofila, clorofila-fitoplâncton, fitoplâncton-salinidade, apresentam um índice absoluto de correlação superior a 70%. De acordo com o nível de importância de cada variável independente (Tabela 4, Anexo), e do conhecimento ecológico, as variáveis, fitoplâncton, clorofila, velocidade das correntes na componente Este, foram descartadas por causa de problemas de correlação com outras variáveis ecologicamente importantes.

3.5. Seleção e ajuste do modelo

Modelo Aditivo Generalizado (GAM; Wood, 2017) foi usado para prever a redistribuição espaço temporal do camarão da família penaeidae. Em estatística, GAM é um modelo linear generalizado no qual a variável resposta depende linearmente das funções suaves de algumas variáveis preditores. Desta feita avaliou-se a relação entre a variável dependente e as variáveis ambientais, adicionou-se uma função de suavização spline não-paramétrica, relacionada a série temporal, e o GAM foi ajustado com uma função “identity link” utilizando pacote estatístico mgcv (Wood, 2017).

Primeiramente simulou-se o modelo com base nas variáveis independentes (variáveis ambientais) e a variável dependente (capturas), pós o objetivo era de verificar o comportamento da distribuição das capturas em função das variáveis ambientais no período de referência de estudo (PRE), isto é, no período entre 2011-2020. 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 desvio explicado mostrar melhorias no desempenho do modelo quando as variáveis não significativas forem eliminadas. Assim, as variáveis, espessura da camada das águas misturadas, altura da superfície do mar, foram excluídas do modelo, pós o modelo não detetou significância destas a um nível de 95%.

➤ Usou-se a seguinte fórmula para ajustar e validar o modelo:

$$\log(\text{Captura}+1) \sim s(y, k = 6, bs = "cs") + s(\text{NPP}, k = 6, bs = "cs") + s(\text{SST}, k = 6, bs = "cs") + s(\text{So}, k = 6, bs = "cs") + s(\text{Oxy}, k = 6, bs = "cs") + s(\text{Month}, k = 6, bs = "cc") + s(\text{pHa}, k = 6, bs = "cs") + s(\text{Vo}, k = 6, bs = "cs") + s(\text{Year}, bs = "re")$$

O s é a função suavizada do spline penalizado, para as interações simples e variáveis ambientais (C). As variáveis simples foram ajustadas com spline de regressão cúbica (cs) para modelar relacionamentos não lineares. O “cs” garante que um spline de regressão com encolhimento seja aplicado, um suavizador pode ter zero graus de liberdade e todos os suavizadores com zero graus de liberdade podem ser descartados simultaneamente do modelo (Zuur *et al.*, 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, k , representando os graus máximos de liberdade para cada termo suave, foi definida como $k = 6$.

Para melhor aferir a adequabilidade do ajuste do modelo considerou-se a validação cruzada k - grupos, e neste caso foi considerado o $k=10$ (James *et al.*, 2014). Assim, o modelo foi ajustado em $k-1$ grupo e um dos subgrupos de dados foi usado para validar o modelo (James *et al.*, 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, a correlação de Pearson (r) para medir a relação estatística entre as variáveis contínuas por meio de `cor.test`, o índice de similaridade entre os valores previstos e observados foram calculados para medir a precisão e o desempenho preditivo do modelo, a correspondência entre os nichos ecológicos das populações do camarão da família *penaeidae* na costa Moçambicana foi estimada a partir do pacote `spaa` (Zhang, 2016) no software R, 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 *et al.*, 2008).

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), por forma saber como é que cada variável ambiental, e as variáveis espaço temporais influenciam na abundância das capturas do camarão da família *Penaeidae* na costa Moçambicana.

4.6. Previsão da redistribuição das capturas face as mudanças climáticas

O modelo construído com dados das variáveis ambientais foi usado para projetar a redistribuição do camarão da família penaeidae no futuro (2050 e 2100) de acordo com os cenários de mudanças climáticas RCP2.6 e RCP8.5 (Assis *et al.*, 2017) da temperatura e salinidade, para tal as demais variáveis usadas para construir o modelo foram definidas como zero, porque o objetivo era prever a redistribuição e realocação dos camarões da família penaeidae com base em SST (Temperatura) o principal fator para cenários de intensidade de mudança climática e, alterações de So (Salinidade) Porque nas áreas costeiras o efeito da descarga de água doce dos rios africanos influenciam as mudanças sazonais de salinidade. Além disso, SST está conectado a outras variáveis e processos ambientais (Gruber, 2011; Aral *et al.*, 2012; Miller & Wheeler, 2012; Aral & Guan, 2016; Popova *et al.*, 2016), por outro lado, a salinidade pode ter efeito na redistribuição do camarão da família penaeidae na área de estudo devido à influência da descarga de água doce das bacias hidrográficas (por exemplo: Zambeze, Save, Búzi, rios Ligonha), na precipitação, evaporação e mistura de massas de água (Sandeep *et al.*, 2018). Além do mais, os dados de Temperatura e de Salinidade do Bio-ORACLE têm sido amplamente utilizados para prever a distribuição potencial de espécies marinhas em diferentes cenários de mudanças climáticas (por exemplo Tyberghein *et al.*, 2012; Duffy *et al.*, 2016; Nataniel *et al.*, 2021).

Com o GAM selecionado, foi feita a previsão da redistribuição aos futuros cenários climáticos (RCP2.6 e RCP8.5) usando a função `predict.gam()` do pacote `mgcv` (Wood, 2017). Esta função contém equações numéricas que estimam ou extrapolam a variação da redistribuição futura da variável resposta (capturas de camarão no caso desse estudo) utilizando novos dados quer seja do passado ou do futuro que não foram previamente incluídos no modelo. Por isso, permite prever a redistribuição e realocação das espécies da família penaeidae, a partir de projeções de dados climáticos espaciais e temporais (Hijmans, 2016; 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 de atum (exemplo: Yien, 2016; Lopes *et al.*, 2017; Penino, 2020; Nataniel *et al.*, 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).

Assim sendo as variáveis climáticas disponíveis na BiO-ORACLE foram usadas para prever cenários futuros (ou seja, temperatura do mar - SST e salinidade do mar - So). As projeções climáticas foram

incluídas no modelo (New data) correspondendo as variáveis independentes no lugar das variáveis ambientais que foram definidas como nulas.

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 e presente (Dueri *et al.*, 2014; Yen *et al.*, 2016; Nataniel *et al.*, 2021), Isto é a diferença entre 2050-PRE, 2100-PRE, e as diferenças entre 2100-2050 para os cenários otimistas e pessimistas. Todas as análises foram realizadas usando R versão 4.1 (R Core Team, 2018).

Após o ajuste do modelo, e inclusão das projeções climáticas foi feita a projeção da redistribuição das capturas face aos cenários climáticos, esta projeção foi feita ate o limite das 200 milhas náuticas.

CAPÍTULO IV

5. Resultados

5.1. Performance do Modelo

O desempenho do modelo foi adequado, isto é, o erro dos mínimos quadrados (RMSE ~8%), o grau de liberdade estimado (EDF~32.5), critério de informação Akaike (AIC~2522.3), a validação cruzada generalizada (GVC~ 0.66), correlação de Pearson (r~43%) e o índice de similaridade (D~80%) (Tabela 1). As variáveis selecionadas pelo modelo foram significativas ($p < 0,01$) na sua maioria e explicaram cerca de 41.5% da variação da captura do camarão da família penaeidae. O desvio explicado para cada variável para avaliar o grau de importância de cada variável no modelo, F. estatístico e o grau de liberdade para cada variável foram estimados (Tabela 1), mostrando que as variáveis, latitude (F-estatístico ~ 46; Dev. Expl. ~ 14%), produtividade primaria (F-estatístico ~ 14; Dev. Expl. ~ 5%) e Mês (F-estatístico ~ 13; Dev. Expl. ~ 5%) contribuíram mais no desvio explicado total.

Tabela 1. Resultados do modelo aditivo generalizado (GAM) que ilustram o grau de ajuste para a estimar a redistribuição do camarão penaeidae na costa de Moçambique. AIC- Critério de Informação Akaike, GCV-, validação generalizada cruzada n-tamanho da amostra, EDF- graus de liberdade efetivos, F-Estatístico- razão entre o desvio explicado e não explicado pela co -variável, 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, NPP- Produtividade Primaria, SST- Temperatura superficial da água, Oxy- Oxigénio dissolvido na coluna de água, pHa- pH anómalo, Vo- velocidade das correntes da componente norte, So-Salinidade, Mês – sazonalidade e Ano- variável aleatória referente ao período de 365 dias.

Parâmetros	Modelo ajustado a partir da família Gaussiana				
R ² Ajustado (%)	38.40				
Desvio Explicado (%)	41.50				
AIC	2522.34				
GCV	0.66				
N	1046				
RMSE (%)	8				
r (%)	43				
Shoonan Index D (%)	80				
Co variáveis	EDF	Dev.	Expl.	F. Estatístico	p. value
		Covariável (%)			
Latitude	4.95	14.24		45.89	< 0.01
NPP	4.96	5.03		13.89	< 0.01
SST	2.25	1.47		3.06	< 0.01
Oxy	4.66	3.02		9.46	< 0.01
Mes	3.52	4.93		13.97	< 0.01
pHa	1.17	1.10		0.85	<0.05
Vo	4.39	4.44		5.90	< 0.01
So	2.14	4.31		8.84	< 0.01
Ano	0.03	0.21		0.98	<0.01

5.2. Efeito das Variáveis Ambientais na redistribuição das capturas

O efeito das variáveis ambientais selecionadas pelo Modelo Aditivo Generalizado (GAM) foi ilustrado através do gráfico de regressão múltipla (Figura 3), que explica a variação das capturas $f(x)$ em função de cada variável independente (variáveis ambientais) na Costa de Moçambique.

Onde latitudinalmente as capturas ($f(x)$) mostraram dois picos na costa de Moçambique, um entre a região de -17°S e -21°S e outro entre -23°S e -25°S . Esta área corresponde a regiões com baixa produtividade primária, isto é, a NPP (Produtividade Primária Líquida) ilustra uma relação inversamente proporcional as capturas ($f(x)$). Em relação da variação do Oxy (Oxigénio dissolvido na coluna de água), os camarões exibem dois grupos distintos, quer dizer, um grupo que prefere águas cuja concentração de oxigénio é $< 200 \text{ mmolm}^{-3}$ e um outro grupo que requer altas concentrações de oxigénio $> 210 \text{ mmolm}^{-3}$ (Figura 3).

Quanto a variação da S_o (salinidade) verificou-se também que os camarões da família penaeidae exibem dois grupos distintos em relação a tolerância da S_o (salinidade), isto é, um grupo que prefere águas com concentração salina $< 20 \text{ psu}$ e outro grupo que tolera o teor de salinidade $> 25 \text{ psu}$, cujos picos das capturas ($f(x)$) foram observados entre os meses de Abril a Junho. Neste período verifica-se que há redução da biomassa do camarão quando as V_o (correntes oceânicas na componente norte) se movem no sentido sul-norte, e, uma relativa agregação das capturas em correntes estacionárias (0 ms^{-1}) (Figura 3). Porém, verificam-se maiores concentrações do camarão da família penaeidae em temperaturas inferiores a 26°C , as anomalias de pH ilustram que as o camarão da família penaeidae se move em direção ao mar onde o pH é ~ 8 .

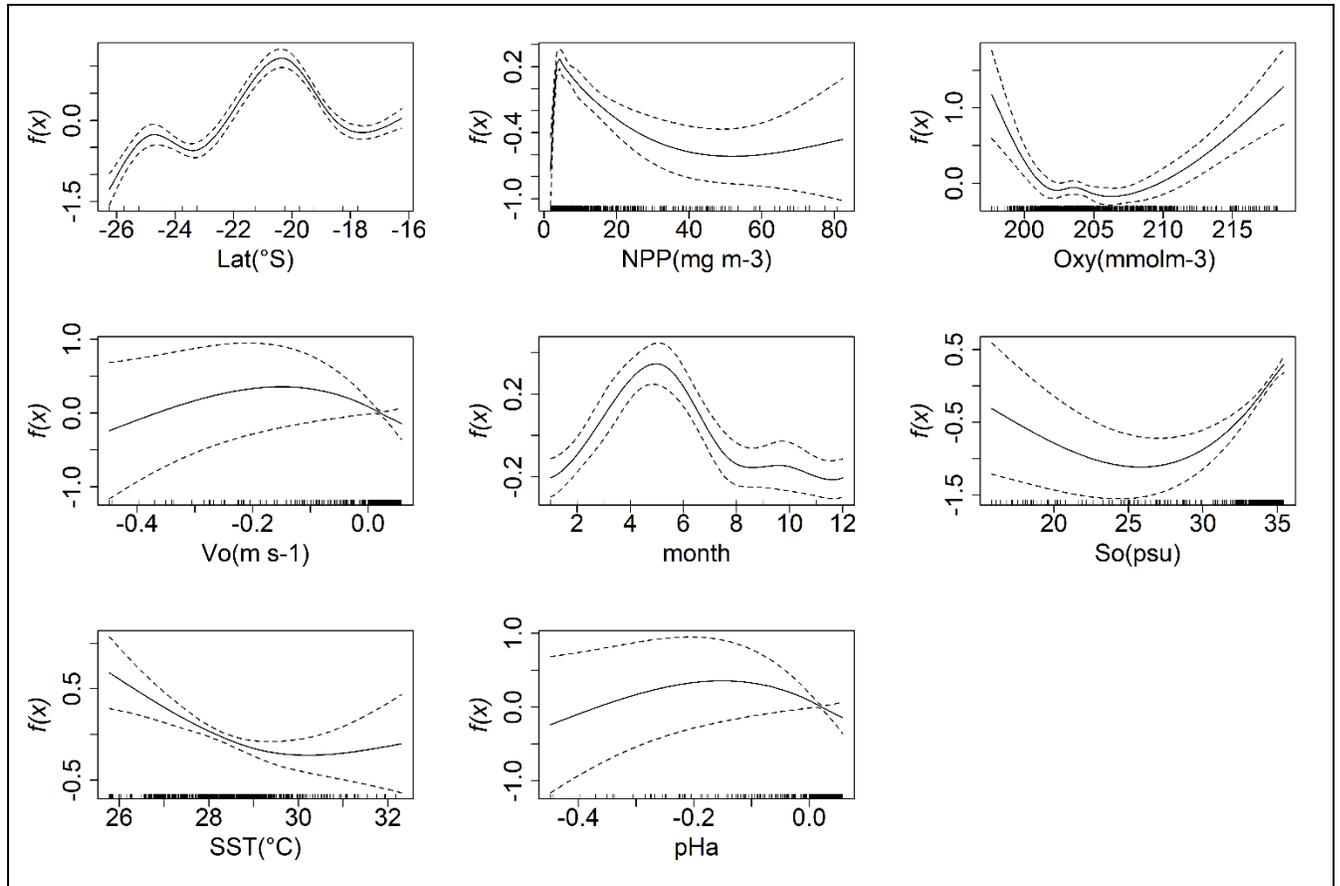


Figura3. Influência das variáveis ambientais na distribuição do camarão da família penaeidae na costa Moçambicana, representada pelo $f(x)$ que é uma função suavizada que explica a variação das capturas ao longo da costa Moçambicana. NPP -Produtividade Primária, Oxy-Oxigênio Dissolvido, So-Salinidade, Vo-Velocidade das Correntes na componente Norte, SST- Temperatura Superficial da água, pHa-pH anômalo, $f(x)$ - reflete a importância relativa das variáveis predictoras no modelo. A linha contínua indica a variação das capturas, e as linhas tracejadas inferior e superior nos gráficos indicam os limites de confiança de 95%.

5.3. Previsão da distribuição espacial e temporal do camarão

A Tabela 2 resume a percentagem de mudanças nas áreas onde a distribuição do camarão da família penaeidae é projetada nos cenários futuros de mudanças climáticas. As atuais áreas observadas para a pesca do camarão cobriam cerca de 75% da costa de Moçambique, enquanto as alterações globais projetadas na área para a agregação deste camarão são de 88%.

Os resultados do modelo Aditivo Generalizado para o cenário otimista (Tabela 2) preveem grandes mudanças no tamanho do habitat do camarão da família penaeidae para o período de diferença entre 2050-PRE, ou seja, as áreas de pesca mudariam (soma de perdas e ganhos) em cerca de 71%, havendo um ganho (aumento) das capturas na costa de Moçambique em cerca de 64%. Entre o período de 2100-

PRE o modelo também prevê ganho de área em 65%, e prevê um ganho absoluto das capturas em cerca de 61%. No entanto, para o período de diferença entre 2050-2100 o GAM projeta um ligeiro ganho de área de pesca do camarão da família penaeidae equivalente a 21% em um pequeno trecho da costa Moçambicana e, em maior parte da Costa Moçambicana as capturas manter-se-ão inalteradas (sem incremento e nem redução das capturas).

As alterações da área do camarão da família penaeidae previstas pelo cenário pessimista (Tabela 2) entre o 2050-PRE foram de cerca de 61%, prevendo-se um ganho de capturas em cerca de 50%, para o período de diferença entre 2100-PRE foram projetadas alterações de área em cerca de 27%, o modelo projetou perdas das capturas na costa Moçambicana em cerca de 12%. No entanto, entre o período de diferença entre 2100-PRE foram previstas mudanças contínuas na área do camarão em proporções >99%, com grandes perdas das capturas em cerca de 99%, significando que as espécies do camarão da família penaeidae poderão reduzir quase que completamente da costa Moçambicana e se realocar no mar aberto.

Tabela 2. Percentagem projetada para mudanças da área, e nas capturas do camarão da família penaeidae em cenários futuros de mudanças climáticas. Áreas inalteradas (%) indicadas por valores em torno de zero (0) anomalias; áreas perdidas indicadas por anomalias negativas e áreas ganhas indicadas por anomalias positivas e correspondem aos locais com agregação de capturas do camarão da família penaeidae. PRE - período de referência do estudo correspondente a 2010–2020.

RCP	Ano	Inalterada	Perda	Ganho	Ganho+Perda	Ganho-Perda
2.6	2050-PRE	29.01	3.46	67.52	70.98	+64.06
	2100-PRE	35.04	2.12	62.82	64.94	+60.70
	2100-2050	78.79	0.49	20.71	21.20	+20.22
8.5	2050-PRE	39.24	4.89	55.85	60.74	+50
	2100-PRE	76.02	18.09	5.88	26.97	-12.21
	2100-2050	0	99.98	0	99.98	-99.98

Quando projetada a distribuição espacial e temporal do camarão da família penaeidae na costa de Moçambique, constata-se que em um cenário otimista (RCP2.6) para o período de PRE-2050 haverá aumento de capturas em torno de 1.1 a 1.4 toneladas (Figura 4a) na região centro da costa Moçambicana, concretamente na província de Sofala (latitude 20° S – 25°S), apresentando uma tendência de expansão da costa ao mar na direção Sul-Este. O mesmo cenário de redistribuição das

capturas é previsto para o período de 2100-PRE, isto é, as capturas apresentam uma tendência de expansão da costa ao mar, na direção Sul-Este entre as latitudes 20°S – 23°S, com um ganho de capturas em torno de 1.1 a 1.4 toneladas (Figura 4b). Todavia para o período de diferença entre 2100-2050 prevê-se um ligeiro ganho das capturas de aproximadamente 0.6 toneladas em um pequeno trecho da costa Moçambicana, No entanto na maior parte da Costa Moçambicana não se prevê alterações (sem previsão de aumento ou de redução) das capturas (Figura 4c).

No cenário crítico ou pessimista (RCP8.5) para o período de diferença entre 2050-PRE, prevê-se um pequeno ganho (0.8 a 1.1 toneladas) de capturas do camarão na região centro da costa moçambicana (Figura 5d), com uma tendência de expansão da costa para o interior do mar, na direção Sul-este entre as longitudes 35°E e 38°E em latitudes >23°S. Contudo, no período de 2100-PRE, apenas em um pequeno trecho (35°E-37°E/20°S-23°S) prevê ganho de capturas em torno de 0.8 toneladas, porém, a redistribuição das capturas expande-se com menor intensidade nas longitudes superiores a 37°E (Figura 5e), e na restante área da costa Moçambicana prevê-se perdas de capturas em proporções superiores a 0.8 toneladas (Figura 5e), No entanto para o período de diferença entre 2100-2050 se prevê grandes perdas das capturas em quase toda a costa Moçambicana (Figura 5f).

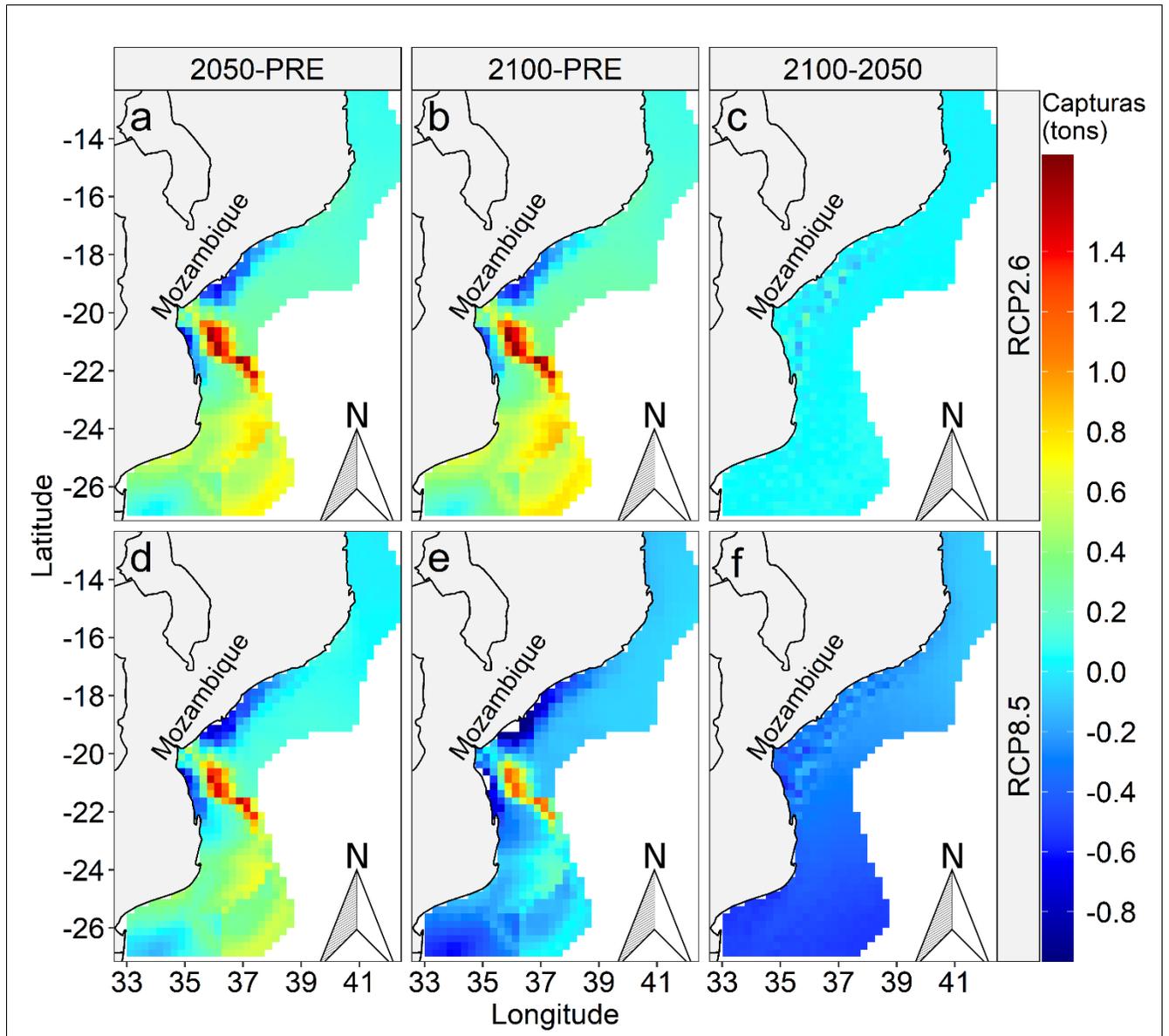


Figura 2. Previsão das capturas para a diferentes cenários climáticos entre o período de referência de estudo (PRE) e 2050, 2100, e entre 2100-2050 nos cenários moderados (RCP2.6) e crítico (RCP8.5). PRE- período de referência de estudo de 2011-2020.

CAPÍTULO V

6. Discussão

O conhecimento sobre a dinâmica dos recursos pesqueiros, define-se como uma estratégia eficaz para a exploração adequada e racional das diferentes espécies marinhas. Por sua vez, a variação dos fatores ambientais revela-se como um dos principais indicadores que interferem na distribuição dos recursos pesqueiros, determinando em certa medida padrões de recrutamento, dinâmica populacional, áreas e épocas para desova (Santos & Saquenha, 2015). Espécies com curto ciclo de vida como é o caso do camarão, frequentemente apresentam uma estreita relação entre abundância populacional e variação ambiental, tornando esses organismos potenciais espécies indicadoras de variabilidade climática (Schlenker *et al.*, 2023). Facto sustendo pelos resultados obtidos, que ilustram a relação de variação do camarão penaeidae com os parâmetros ambientais na costa de Moçambique a partir de aplicação de modelos estatísticos preditivos.

GAM usado neste estudo teve o melhor nível de precisão preditivo (RMSE ~8%). Conforme sugerido em estudos anteriores para seleção de bons modelos ecológicos preditivos (por exemplo: Fletcher & Fortin, 2018; Norberg *et al.*, 2019; Wikle *et al.*, 2019), ajustou-se um pequeno conjunto de modelos que mostram desempenho complementar e, em seguida, aplicou-se um procedimento de validação cruzada para a seleção do melhor modelo preditivo. O menor desvio explicado (41.5%), pode estar associado a outros processos que não foram incluídos no modelo.

Latitudinalmente, a variação das capturas teve dois picos entre a região de -17°S a - 21°S e outro pico entre -23°S a - 25°S, maioritariamente na região do banco de Sofala. Esta área inclui ecossistemas costeiros adjacentes, como mangal e estuários, que fornecem habitats vitais para várias espécies de camarões penaeidae (Macia, 2004; Rosle & Ibrahim, 2017; Faisal *et al.*, 2019). Em relação a variação da salinidade verificou-se que há dois grupos de camarões, isto é, espécies ou indivíduos que preferem águas com salinidade $<25 \text{ gkg}^{-1}$ e outras que se agregam em águas com salinidade $>25 \text{ gkg}^{-1}$. Esta correlação é típica de espécies dependentes de estuários, como os camarões da família penaeidae, cuja variação da salinidade ao longo da costa é altamente dinâmica (Begon *et al.*, 2006; Almeida *et al.*, 2012). Estudos prévios mostraram que alta salinidade tem um efeito positivo na abundância de camarões (Schlenker *et al.*, 2023), facto que foi comprovado neste estudo pelo grupo de camarões que toleram salinidades $>25 \text{ g/kg}^{-1}$, enquanto que o grupo que habita ambientes com concentrações salinas $< 25 \text{ gkg}^{-1}$ podem entrar num estágio de stress numa primeira fase, podendo até levar a morte com o aumento do teor de salinidade (Diop *et al.*, 2007). As alterações climáticas também têm influenciado na

variação da salinidade, por meio do ciclo hidrológico global, onde o aumento da temperatura pode levar a uma maior evaporação da água dos oceanos (Borges, 2017), o que, por sua vez, pode aumentar a salinidade da água remanescente influenciando a dinâmica das espécies de camarão da família penaeidae.

O movimento das correntes oceânicas no sentido sul-norte, mostrou uma relação inversa com as capturas, quer dizer, o fluxo da água na direção norte influencia negativamente as capturas. Este resultado pode ser explicado pela influência das correntes oceânicas na costa de Moçambique, as correntes de Moçambique (Hazin, 2006) que transporta a água doce dos rios diluindo a água salgada, podendo alterar o gradiente osmótico dos camarões, as condições de reprodução e crescimento na região norte (DiMarco, *et al.*, 2001), padrões de abundância e distribuição de camarões (Tomczak *et al.*, 2013). O presente estudo registou maiores capturas do camarão penaeidae entre os meses de Março-Julho, corroborando com os resultados encontrados no trabalho realizado por Branco *et al.* (1999), e diferem dos resultados encontrados em outros estudos, cujo pico de maior captura de camarão ocorre no verão (Bell *et al.*, 2014).

No geral, a relação entre temperatura e as capturas foi inversa, isto é, em águas cujas temperaturas foram $>26^{\circ}\text{C}$ as capturas registam um decréscimo. Estes resultados concordam com os estudos prévios (Costa & Fransozo, 2005) que consideram o intervalo de 24°C a 28°C como faixa ótima para um desempenho ideal do camarão. Portanto, a variação da temperatura da água fora da faixa ótima pode afetar a reprodução, a eclosão dos ovos, o crescimento larval e a redistribuição dos camarões (Stratton *et al.*, 2019).

Contudo, os camarões da família penaeidae exibem dois grupos distintos quanto a concentração do oxigénio dissolvido, quer dizer, um grupo que prefere águas cuja concentração de oxigénio foi $< 200 \text{ mmol m}^{-3}$ e um outro grupo que requer altas concentrações de oxigénio $>210 \text{ mmol m}^{-3}$. Estas diferenças podem estar associadas aos grupos das espécies e/ou aos estágios de desenvolvimentos, isto é, a fase juvenil do camarão da família penaeidae ocorre nas águas costeiras com baixa concentração de oxigénio dissolvido devido as trocas e misturas com águas provenientes dos estuários e canais de mangal cujas águas são anóxicas (Wu *et al.*, 2007; Mattone & Sheaves, 2017). No entanto, os camarões da família Penaeidae na fase adulta requerem oxigenação da água para sobrevivência e desenvolvimento (Domingo & Bates, 2012). Em ambiente marinho os camarões penaeidae toleram acima de 5 mg l^{-1} de oxigénio para que as funções metabólicas dos camarões ocorram normalmente (Velip & Rivonker, 2018). Quando a concentração de oxigénio dissolvido na água fica abaixo de 5 mg l^{-1} , os camarões podem experimentar estresse, redução da taxa de crescimento, maior suscetibilidade a

doenças e, em casos extremos, podem até morrer (Turner *et al.*, 2001). O aumento da temperatura média da superfície do mar devido ao aquecimento global pode afetar a solubilidade do oxigênio na água. À medida que a água é aquecida (Bauer, 2004), a sua capacidade de reter oxigênio diminui (Barreto, 2016), o que pode resultar numa diminuição do regime de oxigênio solúvel nos oceanos. Sendo que quando há baixa oxigenação na água, os camarões podem se afastar das áreas afetadas em busca de condições mais favoráveis. Isso pode levar a uma redução na captura em áreas com baixa concentração de oxigênio (Kapoor, 1974). O mesmo fenômeno ocorre com a variação do pH, onde as capturas apresentam uma tendência de aumentar em função do aumento do pH, em direção ao alto mar. Este resultado pode ser explicado pelo facto de que os valores compreendidos entre 8– 9 do pH são considerados ótimos para o crescimento do camarão da família penaeidae e valores de pH abaixo de 6, correspondem a uma faixa relativamente ácida nos oceanos, que pode prejudicar o desenvolvimento dos estágios larvais do camarão (Parry *et al.*, 2007). Quando o CO₂ se dissolve na água do mar, forma ácido carbônico, reduzindo o pH da água e torna-a mais ácida (Hagy & Abdula, 2007). E os estudos têm mostrado que níveis mais baixos de pH podem reduzir a taxa de sobrevivência das larvas de camarão e afetar seu crescimento e desenvolvimento adequado (Allisson *et al.*, 2005), tornando mais difícil a formação e a manutenção de suas estruturas de carbonato de cálcio (carapaças), causando a diminuição da quantidade de larvas de camarão que atingem a fase adulta, impactando os camarões no futuro (Kevrekids & Thessalou-Legali, 2012).

A produtividade primária ilustra uma relação inversamente proporcional as capturas do camarão, na costa de Moçambique (NPP > 20 mgm⁻³), quer dizer, os camarões da família penaeidae não se alimentam diretamente da produção primária líquida (NPP), mas sim da matéria orgânica detrital gerada na produção primária (Al-Maslamani *et al.*, 2012). Portanto, se a produtividade primária for alta, isso pode resultar em uma maior disponibilidade de alimento para os camarões na fase subsequente, ou seja, a correlação entre a NPP e abundância do camarão da família penaeidae poderia ser desfasada. A maior contribuição da produtividade que agrega os camarões nas águas costeiras e estuarinas provém dos ecossistemas de mangal (Chong *et al.*, 2001; Macia, 2004) ervas marinhas, macroalgas (Hydens *et al.*, 2005; Correia *et al.*, 2022) e fitoplâncton (Newell *et al.*, 1995). E a região de estudo é caracterizada por este tipo de ecossistemas de mangal, ervas marinhas, macroalgas e produção do fitoplâncton no mar aberto (Hoguane, 2007; Mugabe *et al.*, 2021), que providenciam a interação observada entre o camarão e a NPP (Produtividade Primária Líquida). Por outro lado, nos ecossistemas com baixa produtividade primária pode haver escassez de alimento para os camarões, o que pode afetar negativamente sua reprodução e crescimento, resultando em uma redução na captura (Melo-Merino *et al.*, 2020).

Importante salientar que os recursos pesqueiros, desenvolvem-se melhor quando as condições ambientais são de ótima adaptação das espécies. Quando se registam mudanças, estes reagem e migram para áreas onde as condições lhes sejam mais favoráveis ou sofrem menos stress (dos Santos & Saquenha, 2015). Neste contexto, o efeito das mudanças climáticas em camarões da família Penaeidae tropicais já foi investigado (ex: Ives *et al.*, 2009; Lopes *et al.*, 2018) mostrando uma certa preocupação pelos impactos causados na dinâmica dos camarões. Na costa de Moçambique os camarões da família Penaeidae exibiram uma tendência de redistribuição que segue o padrão dos cenários climáticos, isto é, o aumento da temperatura e salinidade no sentido Norte-Sul. Especificamente, no cenário moderado (RCP2.6) prevê-se para o período de 2050-PRE e 2100-PRE maior sensibilidade dos penaeidae a pequenas variações do clima, isto é, maior expansão das capturas do camarão a partir da zona costeira (latitude 18°S-22°S) no sentido Sul-Este (>37°E / >22°S), mais para o interior do mar. Esta projeção pode ser influenciada pelas correntes oceânicas oriundas do Norte (Malauene *et al.*, 2018), que transportam massa de água doce descarregados pelos rios na costa (Hoguane, 2007), alterando a concentração de salinidade (so) e variações da temperatura. Isso pode influenciar a migração e a distribuição das espécies de camarão devido as condições ambientais previstas para o futuro na distribuição e realocação dos penaeidae (Corrêa & Martinell, 2009). A SST (Temperatura Superficial do Mar) tem um papel importante como impulsionador das variações climáticas na ecologia do camarão (Lopes *et al.*, 2018) para além de impulsionar outras variáveis oceanográficas que determina a distribuição das espécies (Lopes, *et al.*, 2017; Nataniel, *et al.*, 2021), alterações climáticas podem afetar o aumento da temperatura, os padrões de correntes oceânicas e a disponibilidade de alimentos (Haunschild, *et al.*, 2016), podendo fazer com que algumas espécies procurem águas mais frias em latitudes mais altas ou migrar para águas mais profundas onde as temperaturas são ideais. Isso pode ter consequências para as pescarias e a economia local, uma vez que a captura de camarões poderia diminuir em algumas áreas e aumentar em outras. Associado ao SST (Temperatura Superficial do Mar), a So (salinidade) que é influenciada pelas descargas das bacias hidrográficas (ex: Zambeze, Save, Limpopo e Maputo) contribui para o padrão de realocação do camarão observado neste estudo devido a circulação da pluma e das correntes na direção Sul e mar aberto (Kowarsch, 2015). Entretanto, no período 2100-2050 em um cenário otimista (RCP2.6), o modelo não prevê alterações espaciais na agregação dos camarões, provavelmente devido estabilidade de SST (Temperatura Superficial do Mar) e da So (Salinidade) previsto nos modelos climatológicos entre 2050 e 2100 (Meinshausen, *et al.*, 2011; IPCC, 2014).

Porém, no cenário pessimista (RCP8.5) o modelo projeta maiores perdas das capturas na região da costa de Moçambique, quer dizer, os camarões da família penaeidae mostram alta sensibilidade ao aumento severo da temperatura e salinidade até o final do ano 2100. Por exemplo, para o período de 2050-PRE, embora a expansão das capturas é esperada em latitudes $>21^{\circ}\text{S}$, a intensidade de dispersão é reduzida (Figura 4e). Pós, o aumento da temperatura e da salinidade devido às mudanças climáticas pode afetar as condições ambientais necessárias para a sobrevivência e reprodução dos camarões da família Penaeidae (Berrang-Ford *et al.*, 2015). Se as temperaturas se tornarem muito altas, isso pode levar a um declínio e deficiências desses camarões porque afeta desenvolvimento, crescimento e sobrevivência, uma vez que são sensíveis às variações de temperatura como outros animais ectotérmicos (Barkemeyer *et al.*, 2016), cuja sua temperatura corporal depende da temperatura do ambiente. Com o aumento contínuo da temperatura e salinidade prevista entre 2100-PRE e 2100-2050 no cenário pessimista, o modelo projeta perda das capturas, isto é, o camarão poderá desaparecer quando a temperatura e a salinidade tornar-se crítica ao longo da costa Moçambicana por mortalidade massiva (Kir & Kumulu, 2008; Tyler *et al.*, 2017) ou dispersão e realocação em outros habitats com condições favoráveis para a reprodução, crescimento e desenvolvimento (Corrêa & Martinell, 2009).

O propósito mais importante na abordagem das mudanças climáticas é reduzir os riscos para os sistemas naturais e sociais decorrentes dela. Por isso, há uma necessidade de se avaliar de forma abrangente, objetiva, e rigorosa as informações científicas, técnicas e socioeconômicas relevantes para a compreensão dos impactos e riscos decorrentes das mudanças climáticas e opções para adaptação, mitigação e resiliência.

CAPÍTULO VI

7. Conclusão

Com a elaboração do presente estudo pode se concluir que a abundância e redistribuição do camarão da família penaeidae estão significativamente relacionadas à temperatura, a produtividade primária, ao oxigênio dissolvido, ao pH, a latitude, a salinidade, á correntes oceânicas na componente norte, e a sazonalidade. Sendo estas, variáveis com um efeito importante na redistribuição e abundância das espécies do camarão da família penaeidae na costa Moçambicana e explicaram cerca de 41% da variação das capturas.

Em relação aos efeitos climáticos em um cenário otimista (RCP 2.6) prevê-se um aumento ou ganho da área de capturas do camarão da família penaeidae em cerca de 64% entre 2050-PRE e no período 2100-PRE prevê-se uma expansão da área das capturas 60%, para o período de 2100-2050 prevê-se uma expansão da área das capturas em 20%, ambos na direção Sul-Este.

No entanto em um cenário pessimista (RCP 8.5) prevê-se que para o período entre 2050-PRE haverá uma expansão da área das capturas em torno de 50% na direção Sul-Este, para o período de 2100-PRE prevê-se que haverá uma perda da área das capturas em 12%, e para o período de 2100-2050 prevê-se grandes perda da área das capturas em aproximadamente 99%.

8. Recomendações

Para os estudos subsequentes recomenda-se:

- As comunidades pesqueiras da região para inovar e melhorar a capacidade tecnológica para a procura e captura do camarão no alto mar onde prevê-se a realocação e agregação dos penéides e outras espécies associados com muita importância socioeconómica para as comunidades costeiras da região;
- A realização de pesquisas usando dados independentes com uma melhor resolução temporal e espacial das capturas do camarão penaeidae para simular modelos de previsão e redistribuição sob os futuros cenários climáticos;
- Fazer a previsão da redistribuição e realocação do camarão da família penaeidae usando dados climatológicos com uma escala de 10 anos, e o uso de “Shared Socioeconomic Pathway Scenarios” (SSP) entre outras com melhor resolução temporal e;
- Realizar pesquisas de projeções climatológicas de previsão e realocação específica dos tamanhos das espécies.

9. Referencias bibliográficas

- Aidar, E., Gaeta, S. A., Giancesella, G. S., Kutner, M., & Teixeira, C. (1993). *Ecossistema costeiro subtropical: nutrientes dissolvidos, fitoplâncton e clorofila-a e suas relações com as condições oceanográficas*. SP: Publicação Especial do Instituto Oceanográfico.
- Allisson, E. H., Adger, W. N., Badjeck, M. C., Brown, K., Conway, D., Dulvy, N. K., . . . Reanlods, J. (2005). *Effects of climate change on the sustainability of capture and enhancement fisheries important to the poor: analysis of the vulnerability and adaptability of fisherfolk living in poverty*. Fisheries Management Science Program.
- Almeida, A. C., Fransozo, A., & Teixeira, G. M. (2012). *Ecological distribution of the shrimp in three bays on the south-eastern coast of Brazil: African Journal of Marine Science*.
- Andreoli, R. V. (2004). *Influência da Temperatura da Superfície do Mar dos Oceanos Pacífico e Atlântico na Variabilidade de Precipitação em Fortaleza*. Fortaleza: Revista Brasileira de Meteorologia.
- Anker, A., Ahyong, S. T., Noel, P. Y., & Palmer, A. R. (2006). *Morphological phylogeny of Alpheid shrimps: parallel preadaptation and the origin of a key morphological innovation, the snapping claw*. *Evolution*.
- Ayube, Z. (2010). *Effect of temperature and rainfall as a component of climate change on fish and shrimp catch in Pakistan*. *Pakistan: the journal of transdisciplinary environmental studies*.
- Brinca, L., & de Sousa, L. P. (1984). *A study on growth of Metapenaeus monoceros (Fabricius) of Maputo Bay*.
- Barkemeyer, R., Dessai, S., Monge-Sanz, B., Renzi, B. G., & Napolitano, G. (2016). *Linguística análise de resumos do IPCC para formuladores de políticas e cobertura associada*. *Nat. Clim. Mudança* . <http://dx.doi.org/10.1038/nclimate2824>.
- Barreto, R. K. (2016). *INFLUÊNCIA DE VARIÁVEIS AMBIENTAIS NA PESCA E NA OCORRÊNCIA DE CAMARÕES PENAEIDAE*. p. 43.
- Bate, C. S. (1888). *Report of the Crustacea Macrura collected by the H.M.S. . Zoology*.
- Bauer, R. T. (2004). *Remarkable Shrimps: Adaptations and Natural History of the Carideans*. Oklahoma University Press, Norman,.

- Begon, M., Townsend, C. R., & Harper, J. L. (2006). *Ecology from individuals to ecosystems*. Blackwell Publishing.
- Bell, R. J., Hare, J. A., & Manderson, J. P. (2014). *Mudanças externas na abundância de solha de verão e de inverno*. *Revista CIEM de Ciências Marinhas*.
- Berrang-Ford, L., Pearce, T., & Ford, J. D. (2015). *Abordagens de revisão sistemática para o clima pesquisa de adaptação à mudança*. *Reg. Ambiente. Mudança*.
- Bertini, G., Fransozo, A., & Melo, G. A. (2004). *Biodiversity of brachyuran crabs from non-consolidated sublittoral bottom on the northern coast of São Paulo State*. São Paulo: *Biodiversity and Conservation*.
- Bivand, R., & Rundel, C. (2023). *rgeos: Interface to Geometry Engine - Open Source ('GEOS')*. <https://CRAN.R-project.org/package=rgeos>.
- Blanton, W. K. (1999). *Transporte gerado pelo vento de larvas passivas fictícias para estuários rasos de maré*. *Pesca Oceanografia*.
- Bonnacorso E, K. I. (2006). *Pleistocene fragmentation of Amazon species' ranges* *Diversity*. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1366-9516.2005.00212>.
- Borges, T. K. (2017). *EVAPORAÇÃO EM SUPERFÍCIE DE ÁGUA LIVRE COM BAIXA TURBIDEZ. BAHIA*.
- Borri, A. (2023). *Redução de biodiversidade é um dos principais impactos da criação de camarão*.
- Branco, J. O., Lunardon-Branco, M. J., Souto, F. X., & Guerra, C. R. (1999). *Estrutura populacional do camarão sete-barbas *Xiphopenaeus kroyeri* na Foz do Rio Itajaí-Açú, Itajaí, SC, Brasil*. *Brazil: Brazilian archives of Biology and Technology*.
- Brander, K. (2010). *Impacts of climate change on fisheries*. *Journal of Marine*.
- Brill, R. W., & Lowe, T. E. (1998). *How water temperature really limits the vertical movements of tunas and billfishes*. *International Congress on Biology of shrimp*. American Fisheries Society.
- Burone, L., & Muniz, P. (2003). *Spatial distribution of organic matter in the surface sediments of Ubatuba Bay (Southeastern – Brazil)*. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*.
- Corrêa, A. B., & Martinell, J. M. (2009). *Composição da População do Camarão Penaeidae no Estuário do Rio. Curuçá, Pará, Brasil: Revista Científica da UFPA*.

- Correa, M. E., & Comim, F. (2013). *Mudança climática e desenvolvimento humano: uma análise baseada na Abordagem das Capacitações de Amartya Sen. Econ. soc. territ.*
- Correia, D. A. (2010). *O mar no século XXI. Lisboa: Mareliberum.*
- Costa, R. C., & Fransozo, A. (2005). *Abundance and ecologic distribution of te shrimp Rimaphenaeus constrictus (Crustacea: Penaidea) in the northern coast of São Paulo . Brazil: Journal of Nature History.*
- Costa, R. C., & Fransozo, A. (2005). *Abundance and ecologic distribution of te shrimp Rimaphenaeus constrictus (Crustacea: Penaidea) in the northern coast of São Paulo. Brazil: Journal of Nature History.*
- David, P. (2023). *ncdf4: Interface to Unidata netCDF (Version 4 or Earlier. <https://CRAN.R-project.org/package=ncdf4>.*
- DiMarco, S. F., Chapman, P., Nowlin, W. D., Peter, H., Donohue, K., & Luther, M. (2001). *Volume transport and property distributions of the Mozambique Channel.*
- Diop, H., Keithly, W. R., & Kazmierczak, R. F. (2007). *Previendo a abundância de camarão branco (de parâmetros ambientais e estágios de vida anteriores. Pesquisa Pesqueira).*
- Domingo, J. M., & Bates, A. E. (2012). *Tolerância térmica e a redistribuição global dos animais. Natureza Mudança Climática.*
- Domingo, J. M., Bates, A. E., & Dulvy, N. K. (2012). *Tolerância térmica e redistribuição global dos animais. Natureza Mudança Climática.*
- Dallazuanna, H. S., & Bonat, W. H. (2 de outubro de 2007). *Modelos Aditivos generalizados com o R. p. 1.*
- De Sousa, L. P. (24 de 01 de 2023). *Distribuição e biologia das espécies de camarão de águas. pp. 3,4.*
- dos Santos, E., & Saquenha, C. (2015). *Influência dos fatores ambientais na distribuição e abundância dos recursos pesqueiros na zona sul de Angola (Namibe). Brasil.*
- D'Sa, E. J., & Korobkin, M. (2009). *Examining SeaWiFS chlorophyll variability along the Louisiana coast using wavelet analysis. In Proceedings.*

- Dulvy , N. K., Rogers , S. I., & Jennings , S. (2008). *Mudanças climáticas e aprofundamento da assembléia de peixes do Mar do Norte: um indicador biótico do aquecimento dos mares. Jornal de Ecologia Aplicada.*
- Eissa , A. E., & Manal , M. Z. (2011). *The impact of global climatic changes on the aquatic environment . Procedia Environmental Sciences.*
- 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. Mozambique.*
- Forney, K. A. (2000). *Environmental models of cetacean abundance: reducing uncertainty in population trends. Conservation Biology.*
- Garcia, L. C., & Wasielesky, J. W. (2016). *Temperature effects on growth and survival of the Pacific white shrimp Litopenaeus vannamei cultured in biofloc systems. Aquaculture Research.*
- García, S., & Le, R. L. (1981). *Life Cycles, Dynamics, Exploitation and Management of Coast Penaeid Shrimp Stocks. FAO Fisheries Technical Paper. Roma.*
- Groeneveld, J. C., Hogueane, A. M., MacKay, F., Munga, C., Santos, J., & Kuguru, B. (2021). *Estuarize-WIO: A socio-ecological assessment of small-scale fisheries in estuaries of the Western Indian Ocean.*
- Grolemund, G., & Wickham, H. (2011). *Dates and Times Made Easy with. <https://www.jstatsoft.org/v40/i03/>.*
- Gonçalves, T. M. (2021). *Modelo Aditivo Generalizado com função baseada num Perceptrão Multicamada: Estimacão da função razão de possibilidades e respectivo intervalo de confiança. Lisboa.*
- Hadley, W. (2023). *forcats Tools for Working with Categorical Variables. <https://CRAN.R-project.org/package=forcats>.*
- Hagy, B. N., & Abdula, S. N. (2007). *AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS. Leanne Wilson .*
- Hastie, & Tibshirani. (1990). *Generalized Additive Model.*
- Haunschild, R., Bornmann , L., & Marx, W. (2016).

- Hazin, H. (2006). *Influência das variáveis oceanográficas na dinâmica especialidade de Oceanografia. Universidade de Algarve.*
- Hijmans, R. J. (2022). *aster: Geographic Data Analysis and Modeling. <https://CRAN.R-project.org/package=raster>.*
- Hijmans, R. J. (2023). *raster: Geographic Data Analysis and Modeling R package version 3.6-23. <https://CRAN.R-project.org/package=raster>.*
- Hogwane, A. M., & Armando, E. V. (2015). *The influence of the river runoff in the artisanal fisheries catches in tropical coastal waters – The case of the Zambezi River and the fisheries catches in the northern Sofala Bank, Mozambique. Mozambique: Journal of Integrated Coastal Zone Management.*
- Hosmer, D. W., & Stanley, L. (2013). *Applied Logistic Regression. 3rd ed. John Wiley & Sons, Inc.*
- Juliana, C. (2015). *Derretimento Superficial e desgargas de água de derretimento nos últimos 34 anos na península Antártica.*
- Kapoor, N. N. (1974). *Alguns estudos sobre a respiração da ninfa do mosquito-pedra, Paragnetina media (Walker) Hydrobiologia.*
- Kevrekids, K., & Thessalou-Legali, M. (2012). *Reproductive biology of the prawn Melicertus kerathurus (Decapoda: Penaeidae) in Thermaikos Gulf (N. Aegean Sea). Helgoland Marine Research.*
- Kowarsch, M. (2015).
- Leite, P. (2020). *Benefícios do Camarão – Para Que Serve e Propriedades. Espanha.*
- Lopes, P. F., Penino, M. G., & Freire, F. (2018). *Mudanças climáticas podem reduzir capturas de camarão no Brasil equatorial.*
- Li, M., Zhang, C., Xu, B., Xue, Y., & Ren, Y. (2020). *Uma comparação entre GAM e GWR na modelagem da distribuição espacial do camarão mantis japonês (Oratosquilla oratoria) em águas costeiras.*
- Malauene, B. S., Moloney, C. L., Lett, C., Robert, M. J., Fransic, M., & Penven, P. (2018). *Impacto dos redemoinhos offshore na circulação da plataforma e plumas fluviais do Banco de Sofala, Canal de Moçambique. Jornal de Sistemas Marítimos.*

- Melo-Merino , S. M., Reyes-Bonilla , H., & Lira-Norieg, A. (2020). *Modelos de nicho ecológico e modelos de distribuição de espécies em ambientes marinhos: Uma revisão da literatura e análise espacial das. Modelagem Ecológica*415.
- Mugabe, E., Madeira, A. N., Mabota, H. S., Nataniel, A. N., Santos, J., & Groeneveld, J. C. (2021). *Small-scale fisheries of the Bons Sinais Estuary in Mozambique with emphasis on utilization of unselective gear. Mozambique.*
- Morley , J. W. (2017). *As assembleias marinhas respondem rapidamente à variabilidade climática do inverno. Biologia da Mudança Global.* <https://doi.org/10.1111/gcb.13578> PMID:27885755.
- Nalini, C. (1968). *Observations on the maturity and spawning of Metapenaeus monoceros (Fabricius) at Cochín. Indian Journal of Fisheries.*
- Nataniel, A. N. (2021). *A socio-ecological and economic approach to tropical tuna fisheries in the Mozambique Channel.*
- NC , D. F. (2022). *Plano de Manejo da Pesca de Camarão na Carolina do Norte, Emenda 2. Divisão de Pesca Marinha da Carolina do Norte. Morehead City.*
- Oliveira , D. M., & Frédou , F. L. (2011). *Caracterização e dinâmica espaço-temporal da atividade pesqueira na Baía de Marajó. Fortaleza: Arquivos de.*
- Paglia, A. P., Koch, I., & De Rezende, D. T. (2012). *Modelos de Distribuição de Espécies em Estratégias para a. Brasil: <http://dx.doi.org/10.4322/natcon.2012.031>.*
- Paiva, M. P. (1997). *Recursos pesqueiros estuarinos e marinhos do Brasil. Universidade Federal do Ceará.*
- Parry, M. L., Canziani, O. F., Palutikof, J. P., & Van Der Linden, P. J. (2007). *Climate Change Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge.*
- Pauly, D. (2013). *Does catch reflect abundance? Yes, it is a crucial signa. Nature.*
- Peréz, F. I., & Kensley, B. (1997). *Penaeoid and Sergestoid Shrimps and Prawns of the World – Keys and Diagnosis for the Families and Genera. Pariz.*
- Pederse, J. T. (2020). *A variabilidade nas tendências históricas de emissões sugere necessidade de uma ampla gama de cenários globais e análises regionais. portugal.*

- Pickens, B., Carroll, R., & Taylor, C. (2021). *Prever a distribuição do camarão Penaeid revela ligações entre os habitats marinhos estuarinos e offshore.*
- Pittman, S. R., Kneib, C., Simenstad, E., & Nagelkerk, I. (2011). *ecologia: Aplicação da ecologia da paisagem ao ambiente marinho. Série Progresso de Ecologia Marinha*427.
- Quilanda, F. (2001). *Spatial and temporal variability of coastal temperature and salinity on Angola waters. MSc Thesis of Oceanography. University of.*
- Renfro, W. C., & Brusher, H. A. (1982). *Abundância sazonal, distribuição de tamanho e desova de três camarões (Penaeus aztecus, P. setiferus, e P. duorarum) no noroeste do Golfo do México). Memorando técnico da NOAA.*
- Santos, M. C. (2010). *ORDENAMENTO DA PESCA DE CAMARÕES NO NORDESTE DO BRASIL. Boletim Técnico-Científico do CEPENE - Centro de Pesquisa e Gestão de Recursos Pesqueiros do Litoral Nordeste.*
- Schlenker, L. S., Stewart, C., Rocha, J., Heck, N., & Morley, J. W. (15 de Maio de 2023). *Environmental and climate variability drive population size of annual penaeid shrimp in a large lagoonal estuary. Department of Biology, Coastal Studies Institute, East Carolina University, Wanchese, North Carolina, p. 1.*
- Schrank, W. (2007). *The ACIA, climate change and fisheries . Journal.*
- Shillington, F. A. (2006). *Large scale physical variability of the Benguela Current Large Marine Ecosystem (BCLME). Elsevier.*
- Silva, F. E. (1 de Janeiro de 2012). *Efeito de variáveis Climáticas, Hidrológicas e Físico-Químicas nas capturas do camarão sete barbas. p. 62.*
- Simango, M. L. (7 de 2019). *Estudo da Dinâmica e Abundância Populacional de Camarões Penaeideos no Estuário dos Bons Sinais, Distrito de Quelimane provincia da Zamezia.*
- Sousa, P. D. (2023). *Distribuição e biologia das espécies de camarão de águas pouco profundas. <http://hdl.handle.net/1834/32674>.*
- Silva, J. R. (2005). *Instituto de Ciências do Mar Universidade Federal do Ceará. Brazil.*
- Simões, S. M. (2012). *Estrutura da comunidade e biologia reprodutiva dos camarões marinhos (Penaeidea e Caridea), no Complexo. Brasil.*

- Simões, S. M. (2012). *Estrutura da comunidade e biologia reprodutiva dos camarões marinhos Penaeidea e Caridea no Complexo Baía-Estuário de Santos e São Vicente/SP Brasil. Brazil.*
- Simões, S. M. (2012). *Estrutura da comunidade e biologia reprodutiva dos camarões marinhos Penaeidea e Caridea, no complexo Baía - Estuário de Santos e São Vicente. Brazil.*
- Spies, R. B., Senner, S. E., & Robbins, C. S. (2016). *Uma visão geral do ecossistema do norte do Golfo do México. Ciência do Golfo do México.*
- Stratton , M. A., Nesslage , G. M., & Latour, R. J. (2019). *Clima multidecadal e preditores de abundância de pesca para invertebrados costeiros do Atlântico Sul. Pesca Oceanografia.*
- Szuwalski, C. S., Vert-Pre, K. A., & Punt , A. E. (2015). *Examinando suposições comuns sobre recrutamento: uma meta análise da dinâmica de recrutamento para a pesca marinha mundial.*
- Tew-Kai, E., & Marsac, F. (2009). *Padrões de variabilidade da clorofila da superfície do mar no Canal de Moçambique: Uma abordagem quantitativa. Jornal de Sistemas Marítimos.*
- Tomczak, M., & Godfrey, J. S. (2013). *Regional Oceanography: An Introduction. Daya Publishing House.*
- Turner , M. G., Gardner, R. H., & O'Neill, R. V. (2001). *Ecologia da paisagem na teoria e na prática. 2ª ed. New York: Springer.*
- Velip, D. T., & Rivonker, C. U. (2018). *Dinâmica trófica de poucos selecionados peixes costeiros costeiros com ênfase nos camarões como presa. Jornal de Pesquisa do Mar.*
- 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. <http://dx.doi>.*
- Wickham , H., Averick , M., & Bryan, J. (2019). *Welcome to the {tidyverse}. Journal of Open Source Software.*
- Wickham, H. (2016). *ggplot2: Elegant Graphics for Data Analysis. New York: <https://ggplot2.tidyverse.org>.*

Wood, S. N. (2017). *Generalized Additive Models: An Introduction with R (2nd edition)*. Journal of the Royal Statistical.

Wolf, M. R. (2014). *ECOLOGIA DAS POPULAÇÕES E COMUNIDADE DOS CAMARÕES DECAPODA NO LITORAL NORTE DE SANTA CATARINA*. Brazil.

Zhang, J. (2016). *spaa: SPecies Association Analysis*. <https://CRAN.R-project.org/package=spaa>.

10. Anexos

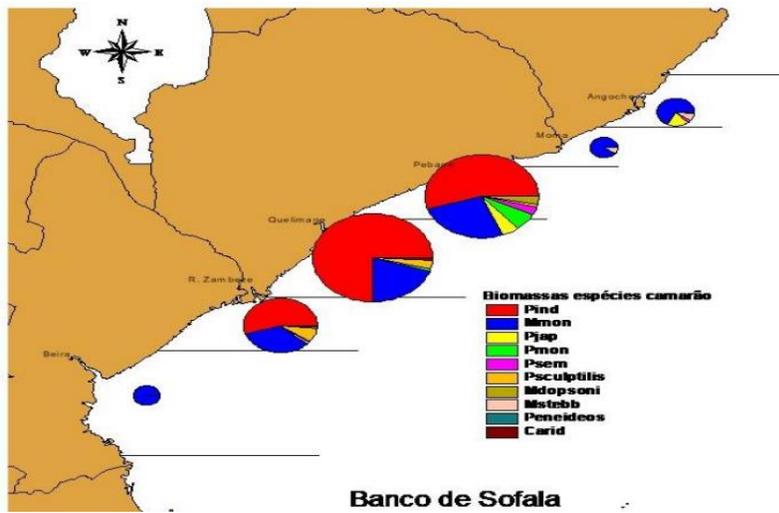


Figura 3. Mapa de distribuição das biomassas das diferentes espécies de camarão da família Penaeidae.

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

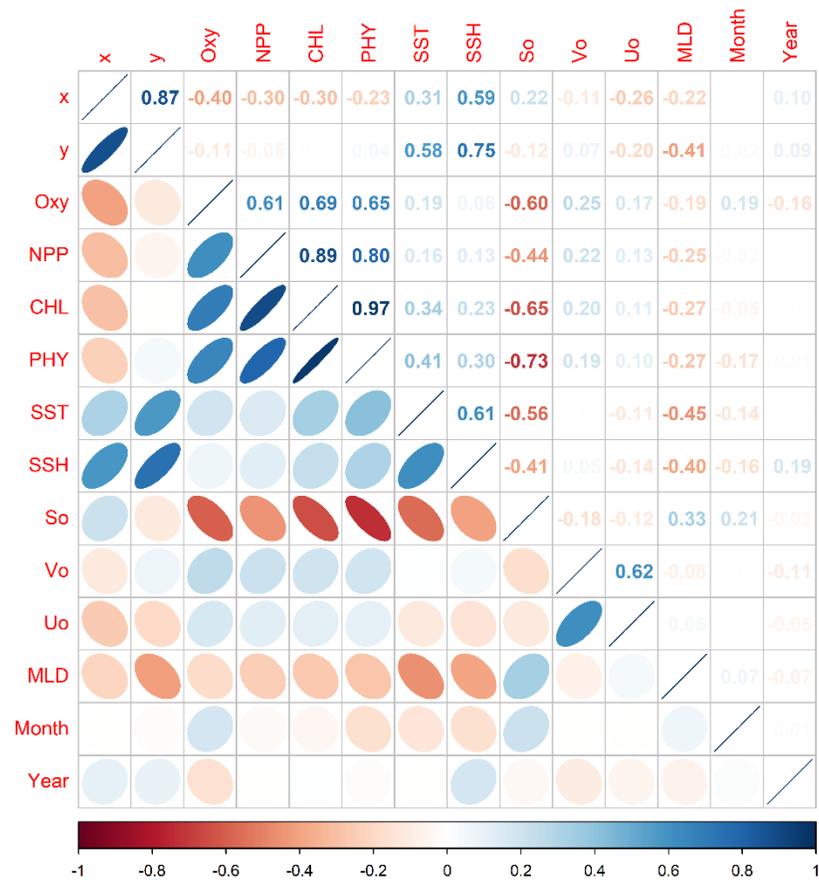
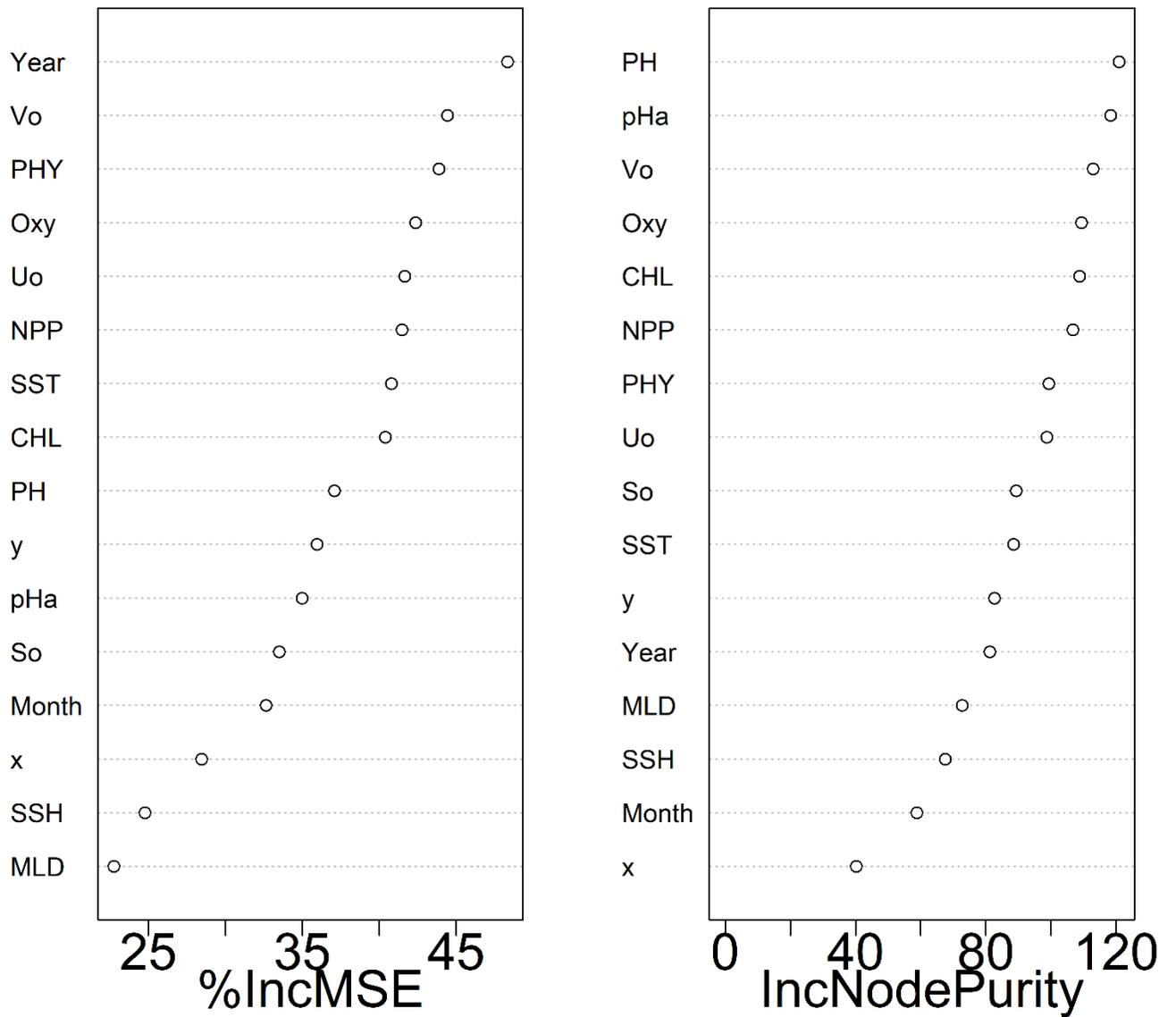


Tabela 4: Importância relativa de cada variável testada pelo randomForest para auxiliar na seleção das variáveis a incluir no modelo.



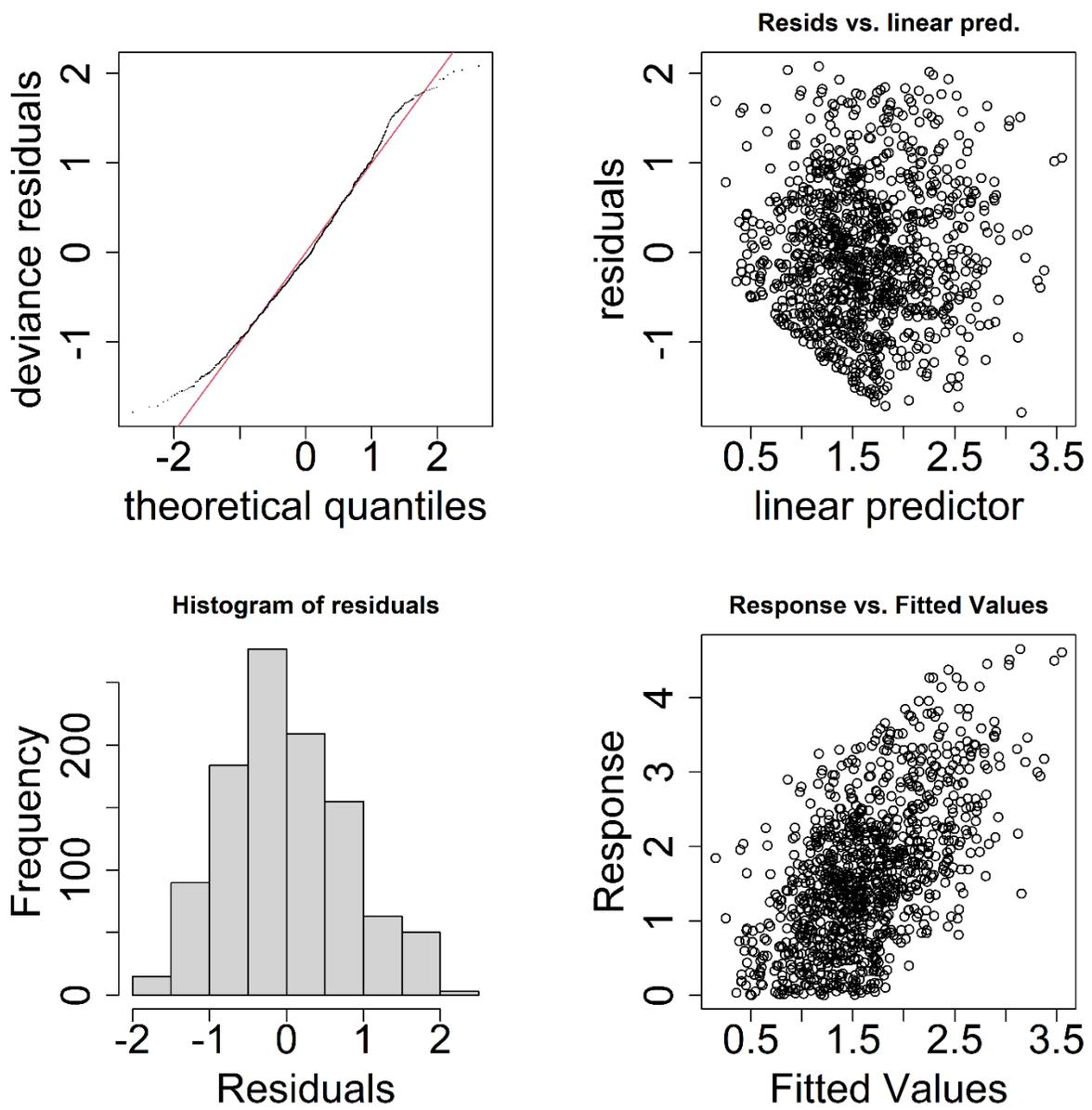


Figura 4. Ilustração da inspeção gráfica da performance do modelo