



UNIVERSIDADE
E D U A R D O
MONDLANE

Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras

Monografia para obtenção do grau de Licenciatura em Biologia Marinha

Estudo da influência do El Niño sobre a pescaria de atum Bonito listrado (*Katsuwonus pelamis*, Linneaus 1758) no canal de Moçambique



Autora: Ana Domingos Madeira



Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras

Monografia para obtenção do grau de Licenciatura em Biologia Marinha

Estudo da influência do El Niño sobre a pescaria de atum Bonito listrado (*Katsuwonus pelamis*, Linneaus 1758) no canal de Moçambique

Autora:

Ana Domingos Madeira

Supervisores:

Anildo Naftal

Anildo Naftal Nataniel

Avelino Langa

Quelimane, Outubro de 2019

Agradecimentos

Agradeço a DEUS em primeiro lugar, pois em momento algum desta jornada me deixou desamparada.

Aos meus pais, Rosaria Julião e Domingos Madeira pelo apoio incondicional e confiança que depositaram em mim durante estes 4anos. Meus irmãos que sempre estiveram em meu coração e pelo carinho, agradeço imenso.

As minhas tias, Paula em especial por me receber em sua casa, tia Paulinha, tia Ana, tia Helena e tia Dulce pelo amor e preocupação que sempre demonstraram. Avo Lúdia, e avo Eugenia por cuidarem de mim sempre. Tio Acácio e minhas queridas primas pelo apoio.

Ao meu companheiro de todos momentos, Anselmo Chauque com quem aprendi e cresci muito. Sempre me incentivou a lutar e me sacrificar pelos estudos, um ombro amigo que posso contar para tudo.

Aos meus supervisores Anildo Naftal e Avelino Langa, agradeço pela paciência e comprometimento comigo. Aos docentes Daniel Mualeque e Noca Furaca, agradeço pela ajuda e paciência, e ao corpo docente da ESCMC em geral.

A todos colegas do ano 2016, especialmente os meus amigos Sónia Langa, Gesica Canivete, Nuno Mussa, Amós Nhaca, Abelardo Paruque, Nélio Siteo, Ricardo Mapulende, Amade Barraza e Lúcia Banze, agradeço imenso.

Agradeço a todos colegas da residência, em especial a Marlene, Alcinda, Yula, Cacilda, Luísa e Isabel.

Romanos 8:37 “ *Mas em todas estas coisas somos mais que vencedores, por aquele que nos amou*”

Declaração de Honra

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

(Ana Domingos Madeira)

Resumo

Nos últimos anos tem-se verificado uma redução das capturas globais. Paralelamente a isso, alterações na distribuição de várias espécies de peixes tem sido atribuídas a variáveis climáticas a nível regional e global. De acordo com Kumar (2014), o ENSO é a principal causa de variabilidade climática ao redor do globo. A ocorrência do El Niño pode afetar a região do canal de Moçambique, causando alterações na temperatura superficial da água do mar, o que pode afetar a vida e distribuição do *Katsuwonus pelamis*, uma vez que habita nas águas superficiais do mar, com elevada influência do evento. O presente estudo pretende avaliar a influência dos eventos de El Niño sobre a pescaria do atum *Katsuwonus pelamis* ao longo do canal de Moçambique nos anos 2000 a 2017, através da análise da relação entre o índice nino 3.4 e a temperatura da superfície do mar. A análise foi efectuada com auxílio do pacote informático Matlab. Posteriormente a relação entre a temperatura superficial do mar e as capturas do atum, obtidos na plataforma da Comissão de Atum do Oceano Índico, com recurso ao Modelo Aditivo Generalizado (GAM). Os resultados mostram que elevadas temperaturas superficiais do canal de Moçambique estão associadas ao índice nino 3.4 acima de 0.5, com destaque para os anos 2003, 2010 e 2016. A temperatura por sua vez mostrou-se uma variável importante para a abundância e distribuição do atum com uma correlação moderada ($r^2=0.41$) entre as capturas modeladas e a temperatura superficial da água do mar.

Lista de Abreviaturas

Símbolo	Significado
SST	Temperatura Superficial do Mar
ENSO	El Niño Oscilação Sul
PIB	Produto Interno Bruto
OS	Oscilação Sul
SSTA	Anomalia da Temperatura Superficial do Mar
APDRC	Asia Pacific Data Research Center
IOTC	Indian Ocean Tuna Comission
GAM	Modelo Aditivo Generalizado
EDF	Grau de Liberdade Efetivo
GCV	Validação da curva generalizada
DF	Grau de Liberdade
AIC	Critério de Informação de Akaike
SJK	Skipjack

Lista de figuras

Figura1	Impactos do evento El Niño em diferentes regiões do globo terrestre	5
Figura2	Características físicas do atum bonito listrado, <i>Katsuwonus pelamis</i>	6
Figura3	Distribuição global do atum <i>Katsuwonus pelamis</i>	6
Figura4	Canal de Moçambique	9
Figura5	Padrão de circulação do canal de Moçambique	10
Figura.6	Variação da temperatura superficial do Mar no canal de Moçambique (a, b e c) entre os anos 2000 a 2017	13
Figura.7	Variação do índice Nino 3.4 do pacífico (a) e das anomalias da temperatura superficial do Mar no canal de Moçambique: (b) Sul, (c) Centro e (d) Norte, entre os anos 2000 a 2017	14
Figura.8	Correlação entre as capturas observadas e as modeladas	16
Figura.9	Correlação entre as capturas e a temperatura superficial da água do Mar,	16

	capturas modeladas (a) e observadas (b)	
Figura.1 0	Distribuição das capturas no canal de Moçambique ao longo dos meses.	17
Figura.1 1	Varição das capturas em função das variáveis Latitude Longitude (a), esforço (b) e temperatura superficial do Mar (c)	18
Figura.1 2	Varição das capturas observadas (logSKJ) e modeladas (fitted) ao longo dos anos 2000 a 2017	19
Figura.1 3	Varição do esforço de pesca total ao longo dos anos 2000 a 2017	21

Lista de Tabelas

N r	Título da tabela	Pag.
1	Divisão das regiões do Canal de Moçambique	11
2	Modelo selecionado da distribuição de biomassa de SKJ no Canal de Moçambique	15

Índice

Agradecimentos.....	i
Declaração de Honra.....	ii
Resumo.....	iii
Lista de Abreviaturas.....	iv
Lista de Tabelas.....	v
1. Introdução.....	1
1.1. Problematização.....	2
1.2. Justificativa.....	2
1.3. Objectivos.....	3
2. Fundamentação teórica.....	4
2.1. O El Niño.....	4
2.2. Consequências do El Niño.....	5
2.3. Características gerais do <i>Katsuwonus pelamis</i>	6
2.3.1. Reprodução.....	7
2.4. Pesca de atum.....	8
3. Material e Métodos.....	9
3.1. Descrição da área de estudo.....	9
3.2. Descrição dos dados.....	10
3.3. Processamento de dados.....	10
3.3.2. Análise da tendência das capturas ao longo da série temporal.....	12
4. Resultados.....	13
4.1 Efeito do El Niño sobre as capturas de <i>K. pelamis</i>	13
4.2 Descrição da tendência das capturas ao longo da série temporal.....	17
5.1. Efeito do El Niño sobre as capturas de <i>K. pelamis</i>	20
5.2. Análise da tendência das capturas ao longo da série temporal.....	21
6. Conclusões e Recomendações.....	22
6.1. Conclusões.....	22

6.2. Recomendações.....	22
8. Referências bibliográficas.....	23

1. Introdução

O El Niño o aquecimento anormal das águas do Pacífico equatorial devido à mudança no regime dos ventos. A interação entre o comportamento de anomalias de Temperatura da Superfície do Mar (SST) no Pacífico tropical e os ventos na região do Pacífico Equatorial entre a costa do Peru e no Pacífico Oeste próximo à Austrália, constitui o fenómeno de interação oceano-atmosfera denominado El Niño Oscilação Sul (ENSO)[CITATION Lop06 \l 1033].

Os problemas físicos e biológicos associados aos eventos de El Niño, são caracterizados por mudanças que afetam a abundância e distribuição de peixes. Apesar de ser um fenómeno típico do Pacífico a sua influência pode ser observada ao longo de todo globo terrestre. As águas de temperatura relativamente elevadas na camada superficial do Pacífico equatorial ocidental apresentam uma temperatura acima de 28°C o ano todo, os ventos em superfície, algumas vezes, mudam de sentido, ou seja, sopram de oeste para este, contrariamente ao padrão normal. Durante os eventos do El Niño, as águas quentes da camada superficial do Pacífico equatorial ocidental se estendem para o leste, na região central do Pacífico, estendendo a região de desova do Bonito listrado[CITATION Leh00 \t \l 1033 \m Gil01].

O atum bonito tem sido assumido como uma espécie que habita em águas superficiais quentes. O seu habitat é restringido por limites de temperatura (15 a 30 °C) e oxigénio dissolvido (3 a 4.5 ml/L). Estudos mostram que diferentes tamanhos dos indivíduos toleram limites de temperatura diferentes. Indivíduos menores toleram temperaturas mais elevadas ao contrário de indivíduos adultos que não toleram enormes diferenças na temperatura das águas., e, e uma análise das pescarias e variáveis ambientais já estabeleceu que a distribuição e abundância do atum estão estreitamente associadas mudanças físicas no oceano (Barkley *et al.*, 1978).

O atum bonito é a principal espécie de pesca de cerco em grande escala, responsável por cerca de 35% da captura total do atum em todo o mundo. No Oceano Índico, a captura de atum chegou a atingir cerca de 0,85 milhões de toneladas em 2008, das quais 48% foram de Bonito listrado. Esta espécie é comercialmente importante, classificada entre as 10 primeiras espécies que contribuiu muito para as capturas globais nos anos anteriores (Mugo *et al.*, 2010).

Cerca de 4 % do PIB (Produto Interno Bruto) de Moçambique provem da actividade pesqueira[CITATION Hel18 \l 1033]. O potencial estimado de produtos pesqueiros em Moçambique é cerca de 310000 toneladas. Sendo que uma das espécies que contribui significativamente na economia do país é o atum[CITATION Ant07 \l 1033].

Deste modo, este estudo tem como principal objectivo avaliar a influência do evento El Niño sobre a pescaria de atum no Canal de Moçambique por meio da análise das relações entre o índice El Niño e a SST (Temperatura Superficial do Mar, da sigla inglesa Sea Surface Temperature), e a relação SST com as capturas ao longo dos anos 2000-2017, a partir do Modelo Aditivo Generalizado (GAM, da sigla inglesa Generalised Additive Model).

1.1. Problematização

Nos últimos anos tem-se observado uma redução das capturas globais.

Recentes alterações na distribuição de várias espécies de peixes têm sido atribuídas às variáveis climáticas regionais. O fenómeno ENSO é considerado a principal causa de variações interanuais da precipitação e da temperatura ao redor do globo (Kumar *et al*, 2014). De acordo com Beverton & Holt, 1957 o número de indivíduos que desovam não determina o número de recrutas pois, apesar da elevada fecundidade das espécies, a sobrevivência das larvas e juvenis depende fundamentalmente das condições do ambiente. Por isso, a biomassa do manancial desovante é virtualmente irrelevante para a determinar o número de recrutas, excepto, em casos em que o manancial esteja próximo de zero. Tais condições abióticas do meio estão inteiramente relacionadas as condições climáticas. De tal forma que independentemente do número de indivíduos a desovar, se as condições ambientais forem favoráveis há maior probabilidade de se ter um óptimo recrutamento a pesca.

O Bonito listrado é uma espécie cuja distribuição está relacionada com a temperatura da água, sendo abundante nos trópicos. A ocorrência do El Niño tem influência sobre os processos oceanográficos e meteorológicos a nível global, incluindo a região do canal de Moçambique. Uma das consequências da ocorrência do El-Niño pode ser as alterações na temperatura superficial da água do Mar. Por sua vez, alterações na temperatura superficial da água do Mar podem afetar a vida e distribuição do Bonito listrado.

1.2. Justificativa

A produção primária e secundária bem como a estrutura das comunidades Marinhas são afetadas pelo aumento da temperatura das águas do oceano, aumento da estratificação da coluna de água e

mudanças na intensidade e a ressurgência com consequentes impactos sobre os padrões de migração de peixes, recrutamento, crescimento, distribuição, abundância e relação predador e presa (Kumar *et al.*, 2014).

Em grande escala, a distribuição e abundância de atum são determinadas pela temperatura do oceano. Estudos mais recentes apontam que a dinâmica da população do atum é influenciada pelo fenômeno ENSO (Lehodey, 2000). As mudanças nos parâmetros ambientais devido ao ENSO apresentam um desafio emergente para a gestão sustentável das pescarias de atum, de forma a garantir a sustentabilidade futura deste recurso.

1.3. Objectivos

Objectivo geral:

- Estudar da influência do El Niño sobre a pescaria de atum Bonito listrado (*Katsuwonus pelamis*, Linneaus 1758) no Canal de Moçambique, entre os anos de 2000 a 2017;

Objectivos específicos:

- Analisar o efeito da Temperatura Superficial do Mar sobre as capturas de atum;
- Descrever a tendência das capturas ao longo da serie temporal.

2. Fundamentação teórica

2.1. O El Niño

O El Niño representa o aquecimento anormal das águas superficiais e sub-superficiais do Pacífico Equatorial. O evento é caracterizado por anomalias de temperatura superficial do Mar (SST) que excedem o desvio padrão por pelo menos quatro (4) meses consecutivos [CITATION Gil01 \l 1033].

Este evento ocorre quando o índice de temperatura superficial do Oceano Pacífico é maior ou igual a $+0.5^{\circ}\text{C}$ e a La Niña quando o índice de temperatura superficial do Oceano Pacífico é menor ou igual a $-0,5^{\circ}\text{C}$. Quando o índice de temperatura da superfície do Oceano Pacífico encontra-se no intervalo de -0.5 a $+0.5^{\circ}\text{C}$ está-se perante a fase Neutra [CITATION Cou15 \l 1033].

2.1.1. El Niño Oscilação Sul (ENSO)

O ENSO que ocorre na região do Oceano Pacífico Equatorial é um dos fenómenos de grande escala que mais afecta principalmente a temperatura e precipitação em diferentes regiões da superfície terrestre. Resulta da interacção entre o oceano e a atmosfera, associado a alterações dos padrões normais dos ventos alíseos na região do Pacífico Equatorial com consequências na SST e entre a costa do Perú e a Austrália [CITATION Cou15 \l 1033].

A componente oceânica é caracterizada por anomalias da temperatura das águas superficiais do Oceano Pacífico Equatorial junto à costa Oeste da América do Sul e é actualmente monitorada através da Temperatura da Superfície do Mar. A componente atmosférica, também conhecida por Oscilação Sul (OS), expressa a correlação inversa existente entre a pressão atmosférica nos extremos do Pacífico Leste e Oeste, quando a pressão é alta a Leste usualmente é baixa a Oeste e vice-versa [CITATION Cou15 \l 1033].

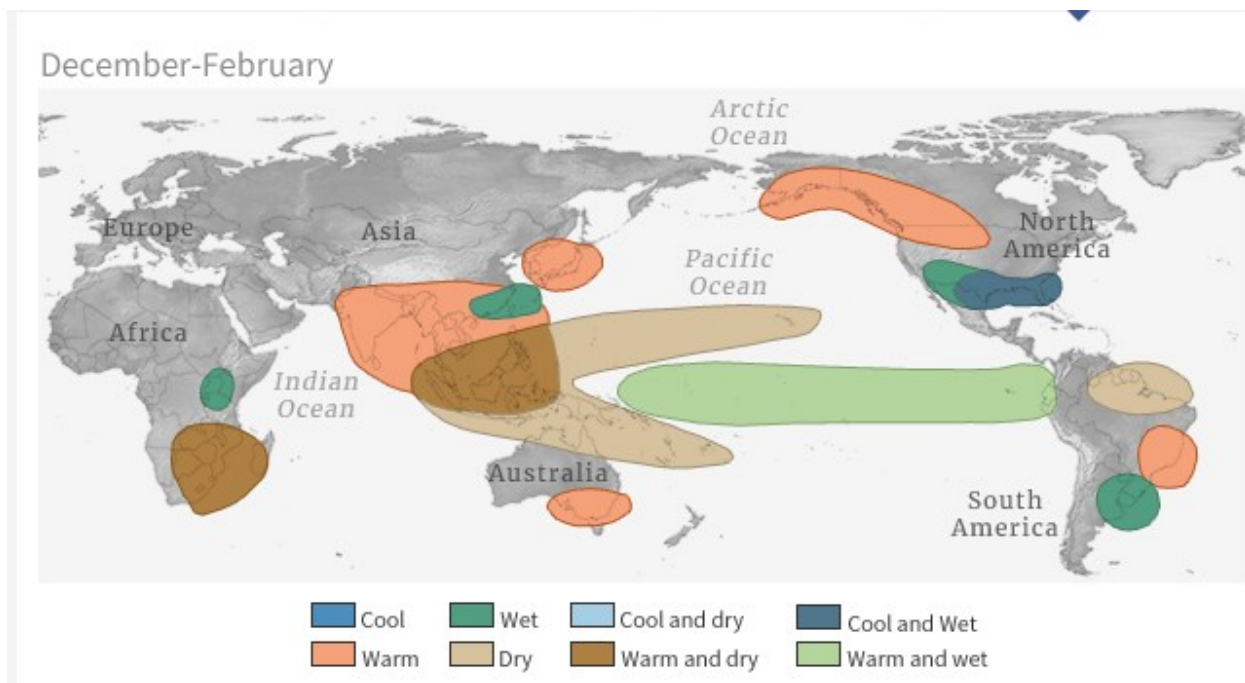


Figura 1. Impactos do evento El Niño em diferentes regiões do globo terrestre.

Fonte: NOAA (2019)

2.2. Consequências do El Niño

O Padrão de circulação observada em anos de El Niño na região equatorial do Oceano Pacífico mostra que os ventos em superfície, em alguns casos, chegam a mudar de sentido, ou seja, sopram de oeste para leste. Há um deslocamento da região com maior formação de nuvens e a célula de Walker fica bipartida. No Pacífico Equatorial podem ser observadas águas quentes em praticamente toda a sua extensão. A termoclina fica mais funda junto à costa oeste da América do Sul principalmente devido ao enfraquecimento dos ventos alísios. Em algumas regiões do globo também são observados aumento ou queda de temperatura [CITATION Gil01 \l 1033].

O padrão pode mudar de um lado para outro irregularmente a cada dois a sete anos, e cada fase desencadeia interrupções previsíveis de temperatura, precipitação e ventos. Essas mudanças interrompem os movimentos do ar em grande escala nos trópicos, desencadeando uma série de efeitos colaterais globais. O El Niño tem maior influência no Hemisfério Norte durante o inverno, no entanto os impactos do verão ocorrem nos trópicos (NOAA, 2019).

2.3. Características gerais do *Katsuwonus pelamis*

O atum é um peixe com fisiologia única e altos requisitos de energia. O *K. pelamis* tem um padrão metabólico muito alto, endotermia regional e uma fisiologia cardíaca específica. É uma espécie altamente migratória relativamente pequena, que geralmente habita as águas superficiais dos oceanos tropical e subtropical. [CITATION Due17 \l 1033]



Figura 2. A figura mostra as características físicas do atum bonito listrado, *Katsuwonus pelamis*.

Fonte: (Copyright, 2002)

O atum bonito listrado, *Katsuwonus pelamis*, é uma espécie cosmopolita, encontrada na região tropical de todos oceanos. Sua localização geográfica limita-se entre as coordenadas 55°-60°N e 45°-50°S, no Índico tropical encontram-se entre as latitudes 10 ° N a 10 ° S, com alta biomassa ao redor das Ilhas Maldivas e Canal do norte de Moçambique (até 15 ° S), abundando mais a zona do equador, onde pode ser encontrado durante o ano todo (Grande *et al.*, 2010).



Figura 3. Distribuição global do atum Katsuwonus pelamis.

Fonte: (Copyright, 2002)

O atum *Katsuwonus pelamis* é uma espécie cuja distribuição está associada a limites de temperatura e oxigênio dissolvido já estabelecidos. Estudos mostram que os limites de temperatura variam em diferentes lugares, e diferentes tamanhos do atum bonito. Esta espécie também requer água com concentrações de oxigênio dissolvido de pelo menos 3,0-3,5 ml / l (4-5 ppm), para sobrevivência a longo prazo (Barkley *et al.*, 1978). Nos indivíduos maiores, a taxa de metabolismo é mais elevada e, conseqüentemente, a temperatura do corpo é mais alta. Por causa disso, procuram sempre as águas frias para dissipar o calor e baixar sua temperatura corporal, evitando, assim, um superaquecimento. Em áreas com temperaturas inferiores ao mínimo tolerável não sobrevivem por muito tempo, sendo que o limite superior suportável varia de acordo com o tamanho do peixe. Devido a esta condição, considera-se que os indivíduos maiores não sobrevivem em áreas com elevadas temperaturas na superfície do Mar e com teores de oxigênio dissolvido muito baixos em profundidades, e em camadas de água mais frias.

2.3.1. Reprodução

A reprodução do *Katsuwonus pelamis* ainda carece de estudos mais aprofundados, sobretudo a sua estratégia reprodutiva em relação ao modo de regulação de fecundidade. A espécie tem um modo de reprodução oportunista e desova em Mar aberto, desde que as condições hidrológicas sejam favoráveis (Grande *et al.*, 2010). A amplitude latitudinal da desova é delimitada ao norte e ao sul por 24°C isoterma. A desova ocorre durante todo o ano com períodos de pico durante a monção norte (novembro a Março) e monção sul (junho a julho).

Em relação aos diferentes parâmetros reprodutivos, os estudos mais recentes do *Katsuwonus pelamis* no Oceano Índico estimaram um tamanho de 41 a 43 cm de comprimento da primeira maturação, correspondente a 1,5 anos. Estima-se que a fecundidade relativa do lote varie de 40 a 130 ovos / g de peso corporal, que varia com a época e tamanho do peixe. O período da desova é mais curto à medida que o peixe se afasta da linha do equador (Grande *et al.*, 2010).

Embora nenhuma avaliação quantitativa esteja disponível para região do Índico, o *K. pelamis* não é propenso a sobrepesca devido a alta capacidade de reprodução (Mugo *et al.*, 2010).

2.4. Pesca de atum

A pesca do atum está entre as pescarias mais capitalizadas e valiosas do mundo. A pesca de atum nas regiões tropicais e temperadas é operada em escala industrial nos Oceanos Índico, Atlântico e Pacífico, tendo chegado a desembarcar mais de 4,2 milhões de toneladas em 2011. Em 2014, a pesca de atum tropical e temperado registrou uma nova captura recorde de quase 4,8 milhões de toneladas globalmente. Das 23 (vinte e três) espécies de atum exploradas comercialmente em todo o mundo, 9 (nove) estão atualmente em estado de sobrepesca (Davies *et al.*, 2014).

O *Katsuwonus pelamis* representa a maior contribuição em termos de peso para as capturas globais de atum (58% da captura total), com 2,8 milhões de toneladas pescadas em 2014 [CITATION Due17 \l 1033].

3. Material e Métodos

3.1. Descrição da área de estudo

O canal de Moçambique localiza-se na região da África Oriental limitado entre as latitudes 10°20' S e 26°50', entre a costa de Moçambique e Madagáscar (Figura.4). Apresenta um padrão de circulação oceânica caracterizado por 3 células anticiclônicas que migram em função do período do ano, e pequenos vórtices ciclônicos entre os grandes anticiclônicos [CITATION Roa84 \l 1033]. Observam-se duas estações: uma estação seca de inverno de abril a setembro, durante a qual os dois vórtices ciclônicos (a e b) fundem-se formando uma língua que se estende até o centro da Zona Económica Exclusiva de Moçambique, e o vórtice anticiclônico (III) estende-se em direção a norte, atingindo os paralelos 21° S até 22° S, dando origem ao transporte de água subtropical, fria e mais salina, para a zona central, podendo atingir o Banco de Sofala e influenciar, por conseguinte, a distribuição das espécies existentes no local. E uma estação chuvosa de verão de outubro a Março quando os vórtices (I e II) parecem separados por um vórtice ciclônico [CITATION Ant07 \l 1033] & [CITATION Mus00 \l 1033].

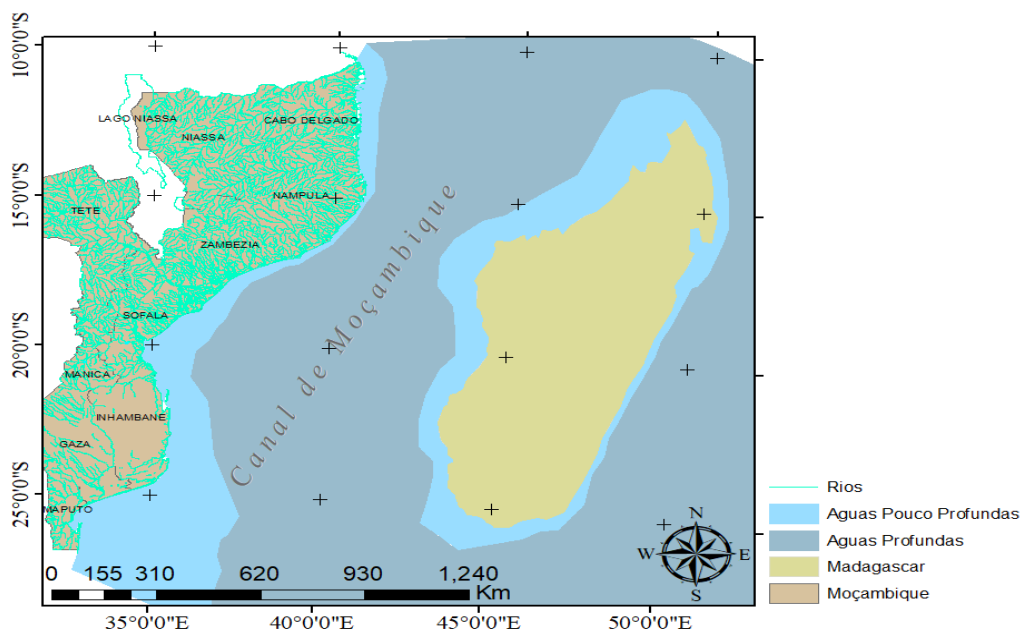


Figura 4. Canal de Moçambique

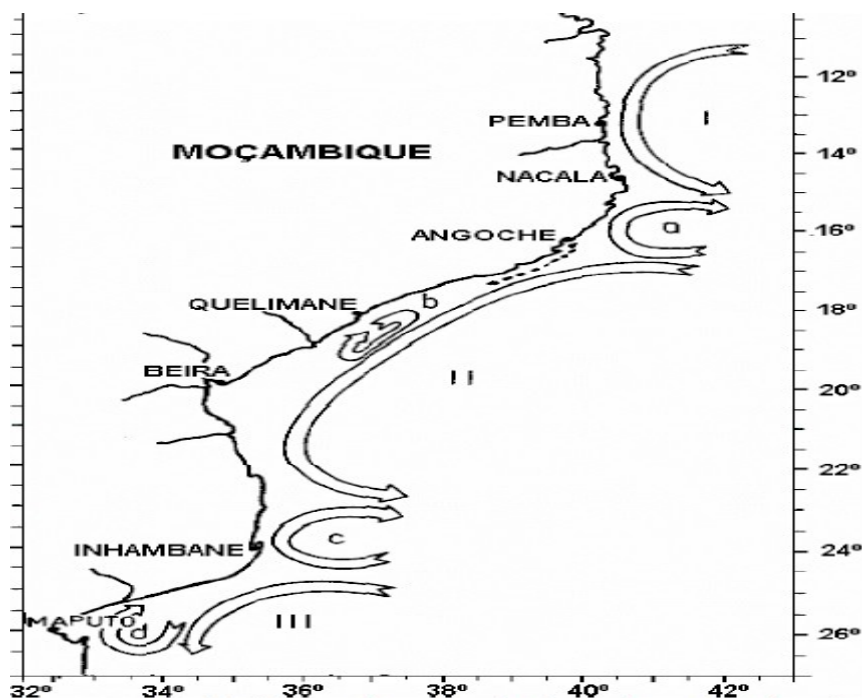


Figura 5. Padrão de circulação do canal de Moçambique.

Fonte:[CITATION Ant07 \l 1033]

3.2. Descrição dos dados

Os dados de temperatura da superfície da água do Mar (SST, °C), anomalias da temperatura (SSTA, °C) e índice Nino 3.4 (°C) referentes aos anos de 2000 a 2017 usados nesse estudo foram adquiridos na plataforma Asia Pacific Data Research Center (APDRC) (<http://apdrc.soest.hawaii.edu>). Os dados de SST e SSTA são interpolados no NCDC. Esses dados são obtidos a partir de dados in situ, combinados com os do satélite infravermelho Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR). As análises têm resolução espacial de 0.25° e resolução temporal de 1 dia.

Os dados de captura (ton) e esforço (horas) de pesca correspondentes aos anos de 2000 a 2017 da pesca de cerco foram obtidos a partir da plataforma da Comissão de Atum do Oceano Indico (IOTC) (iotc.org/data/datasets), com uma resolução espacial de 1° x 1° e resolução temporal mensal.

3.3. Processamento de dados

3.3.1. Análise do efeito do El Niño sobre a pescaria de atum

Numa primeira fase determinou-se os anos em que se observou o evento El Niño a partir do índice Nino 3.4 da região do pacífico.

Posteriormente o índice 3.4 foi relacionado com as anomalias da temperatura superficial do Mar do canal de Moçambique com ajuda do Software Matlab, onde dividiu-se o canal de Moçambique em 3 regiões: sul, centro e norte (Tabela 1). A partir dos dados retirados das três regiões do Canal de Moçambique foi feita a análise interanual e sazonal da SST.

Em seguida, foi relacionada a anomalia da temperatura superficial das regiões do Canal de Moçambique com o índice Nino 3.4 do Pacífico.

Tabela 1. Divisão das regiões do Canal de Moçambique

Regiões do Canal de Moçambique	Coordenadas Geográficas			
Sul	27° S 35° E	27° S 43° E	23° S 35° E	23° S 43° E
Centro	21° S 38° E	21° S 43° E	18° S 38° E	18° S 43° E
Norte	14° S 41° E	14° S 44° E	12° S 41° E	12° S 44° E

Após identificar os anos de ocorrência do fenômeno do El Niño e mostrar as variações da temperatura da água no canal de Moçambique, foi aplicado o modelo GAM para modelar as capturas tomando em consideração outras variáveis como por exemplo o esforço e a periodicidade que podem estar por detrás da variação das capturas para reduzir o erro da correlação SST e capturas. E por fim foi feita a correlação entre a SST e as capturas observadas, e com as capturas modeladas.

O modelo estatístico GAM foi aplicado para mostrar a influência dos fatores ambientais, na variabilidade espaço-temporal e o esforço de pesca sobre as capturas do atum. Deste modo, no modelo GAM foi usando o coeficiente de regressão de spline [CITATION SNW06 \l 1033] usando a função gam () a partir do pacote mgcv no R, versão 2018.

```
Biomassa<-mgcv::gam(log(SKJLS+1)~ te(Long,Lats,Month,k=c(50,6),bs=c("ts","cs"),d=c(2,1))+
s(Effort,k=6, bs="cs")+ s(SST,k=6, bs="cs")+
s(Year,bs="re"),family= gaussian(),data=ana)
```

Onde: mgcv- é o pacote estatístico usado no R para modelar a variável resposta, neste caso a biomassa; s-coeficiente de regressão de spline do ajuste; k-máximo grau de liberdades permitido para o spline; bs- base do spline; cc- regressão cúbica cíclica; cs- regressão cúbica de spline. Os restantes termos são as co-variáveis consideradas no modelo.

A qualidade do ajuste dos modelos de GAM foi estimada como a percentagem do desvio explicado a partir dos residuais [CITATION SNW06 \l 1033] (Zuur *et al.*, 2009). Também, foi usado a função `gam.check ()` para a verificação da qualidade do modelo através do método gráfico. Segundo [CITATION SNW06 \l 1033]; (Zuur *et al.*, 2009), GAM próximo do ajuste apresenta: (a) os valores teóricos e da amostra apresentam *qq-plot* muito próximo a uma linha recta e sugere uma distribuição normal; (b) homogeneidade, isto é, os valores do residual em função dos valores modelados deve ser similar na linha do zero; (c) o gráfico da variável observada versus a variável modelada deve ser uma linha recta; (d) o histograma do residual deve apresentar distribuição normal.

As ferramentas do pacote `gamViz ()` e `ggplot2` [CITATION Wic09 \l 1033] foram explorados para visualizar os dados observados e modelados.

3.3.2. Análise da tendência das capturas ao longo da série temporal

Os resultados do modelo estatístico GAM foram usados para ilustrar a variação das capturas em função da interacção da combinação da latitude, longitude, mês por um lado, e por outro foi considerado o esforço, SST e ano. Os mesmos resultados foram usados para estimar a tendência das capturas ao longo da série temporal em estudo para avaliar a variação das capturas entre os anos em que foi observado o El Niño e os anos normais. E posteriormente foram também usados os resultados do GAM para prever a variação das capturas entre anos que ocorreu o fenómeno de El Niño. E por fim fez-se a relação entre a variação das capturas observadas e modeladas ao longo dos anos 2000 a 2017 com recurso à regressão polinomial de ordem 3 para mostrar a tendência das capturas.

4. Resultados

4.1 Efeito do El Niño sobre as capturas de *K. pelamis*

A temperatura superficial da água do Mar apresenta um padrão de distribuição definido, podendo se observar duas fases por ano, uma com temperaturas mais baixas (24 a 25°C) seguida por outra com temperaturas relativamente mais elevadas (28 a 29°C). A SST no Canal de Moçambique também mostrou uma variabilidade interanual. Por exemplo, nos anos de 2006, 2009, 2010, 2016 e 2017, os máximos de temperatura foram mais elevados quando comparados com os restantes, sobretudo nas regiões centro e sul. Vários factores como o vento, podem estar na origem desta variabilidade interanual.

O norte do Canal de Moçambique foi a região mais quente, seguida do centro e finalmente o sul. Nesta região, registaram-se temperaturas mais baixas nos anos de 2001, 2003 e 2009 durante o período do inverno.

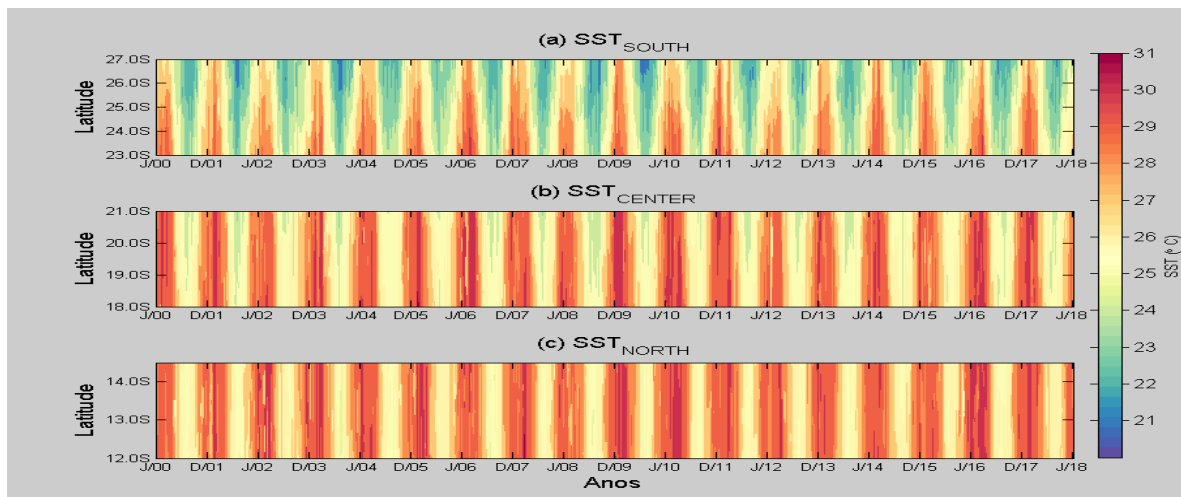


Figura 6. Variação da temperatura superficial do Mar no canal de Moçambique (a, b e c) entre os anos 2000 a 2017.

A Figura 7 ilustrada a relação entre o Índice Nino 3.4 e anomalias de SST. Nos anos 2003, 2005, 2007, 2010, 2012 e 2016, observam-se anomalias de SST acima de 0.5°C que evidenciam a ocorrência do El Niño. A anomalia da temperatura superficial do Mar no canal de Moçambique foi elevada (>0.5°C) nos mesmos anos em que o índice Nino 3.4 for superior a 0.5., Contudo, verificou-

se intensidades diferentes nas diversas regiões do canal, sendo que os valores de anomalia mais elevados são observados na região norte do canal, reduzindo latitudinalmente. Observa-se também uma mudança no padrão de distribuição da anomalia da SST quando os valores de anomalia estão abaixo de -0.5 nos anos 2000, 2008 e 2011, onde registam-se anomalias de temperatura relativamente altas no sul do canal tendendo a diminuir latitudinalmente em direcção ao norte do canal.

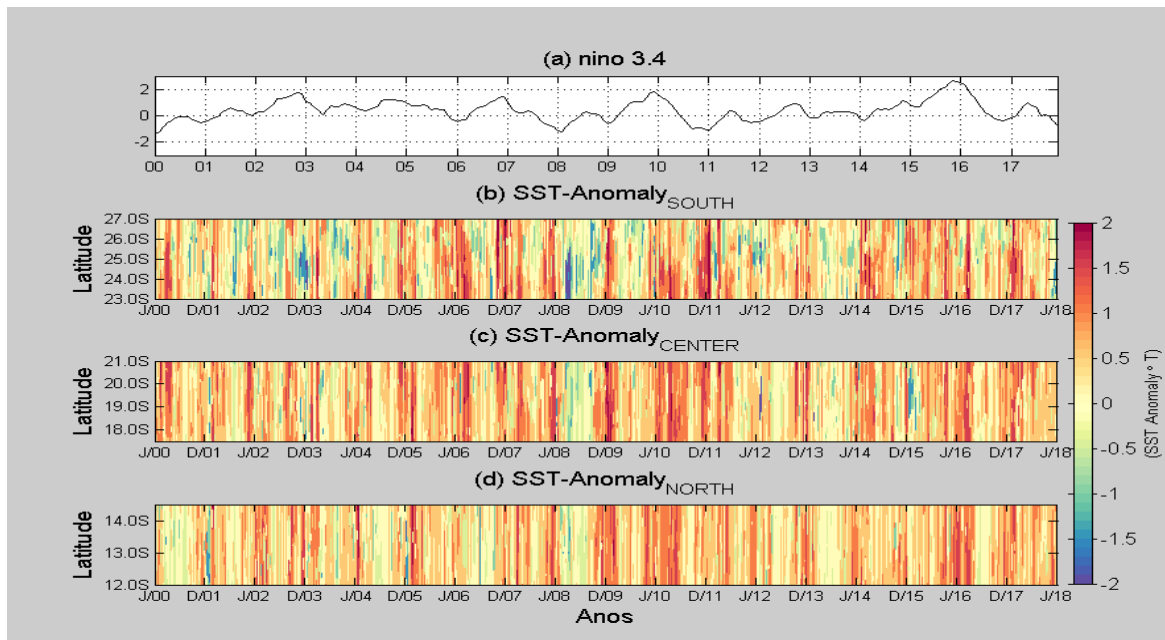


Figura 7. Variação do índice Nino 3.4 do pacífico (a) e das anomalias da temperatura superficial do Mar no canal de Moçambique: (b) Sul, (c) Centro e (d) Norte, entre os anos 2000 a 2017

4.1.1. Modelo de Biomassa de *K. pelamis*

O resumo estatístico do modelo de biomassa de *K. pelamis* está ilustrado na Tabela 2. Todos os termos analisados no modelo (esforço, SST e variabilidade temporal) são altamente significativos ($p < 0,0001$). O resumo estatístico do modelo de biomassa de *K. pelamis* representa os melhores ajustes suavizados para o efeito condicional das variáveis preditivas na variável de interesse, isto é, captura de *K. pelamis*. Os modelos produziram ajustes adequados para os dados considerados baseando-se na percentagem do desvio explicado a partir do modelo GAM que é de 48%, com pequenas anomalias do residual. O diagnóstico gráfico dos modelos confirmou a normalidade (histograma e “*qq plot*”), homogeneidade da variância (residual versus valores modelados), assim como o ajuste do modelo (valores observados versus valores modelados), isto é, a relação gráfica entre a variável resposta e os valores modelados é linear (Figura 12).

Tabela 2. Modelo selecionado da distribuição de captura de K. pelamis no Canal de Moçambique.
 O GAM foi ajustado com a distribuição de Gauss com a função “identity link”. EDF- graus de liberdade efectivos do modelo; AIC- critério de informação de Akaike; GCV- “generalized cross validation”; DF. Residual- grau de liberdade residual; SST - Temperatura da Superficial do Mar.

Parâmetros	Modelo Biomassa SKJ	
R ² Ajustado	0.46	
Desvio explicado (%)	0.48	
AIC	3038.24	
GCV	0.65258	
EDF	45.63	
DF. Residual	11214.37	
N	1260	
Variáveis preditivas	EDF	P-Value
Esforço	4.65	<0.001
SST	1.64	<0.001
Ano	0.53	<0.001
Mês	-	-
Longitude	-	-
Latitude	-	-
Longitude x Latitude x Mês	37.79	0.001

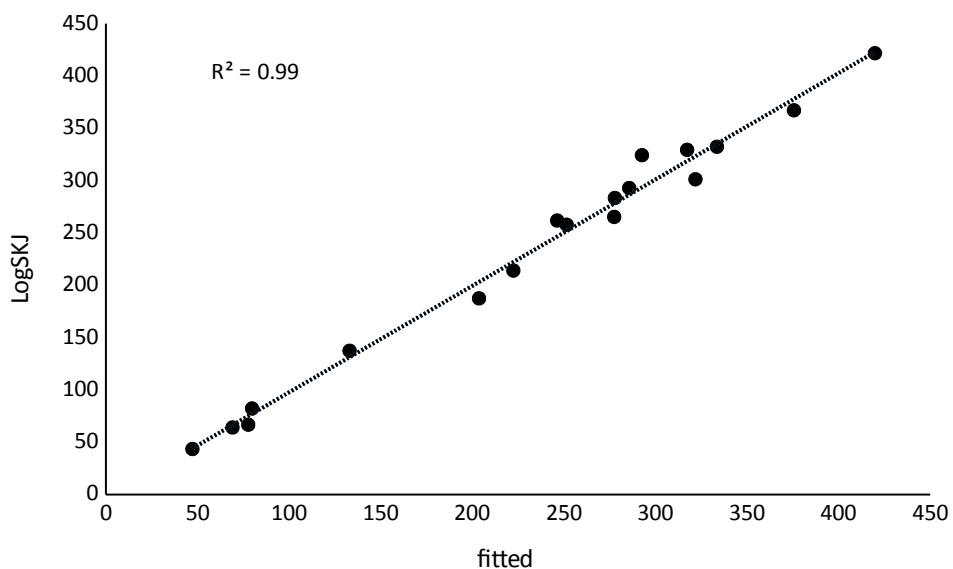


Figura 8. Correlação entre as capturas observadas e as modeladas.

A Figura 8 ilustra o grau de correlação existente entre as capturas e a temperatura superficial do Mar. A máxima correlação verificada entre a temperatura superficial e as capturas modeladas foi de $r^2=41$ e menor grau de relação com as capturas observadas com $r^2=0.27$.

A relação entre a temperatura e as capturas observada é relativamente baixa, pois apresenta maior dispersão das capturas ao longo das temperaturas observadas.

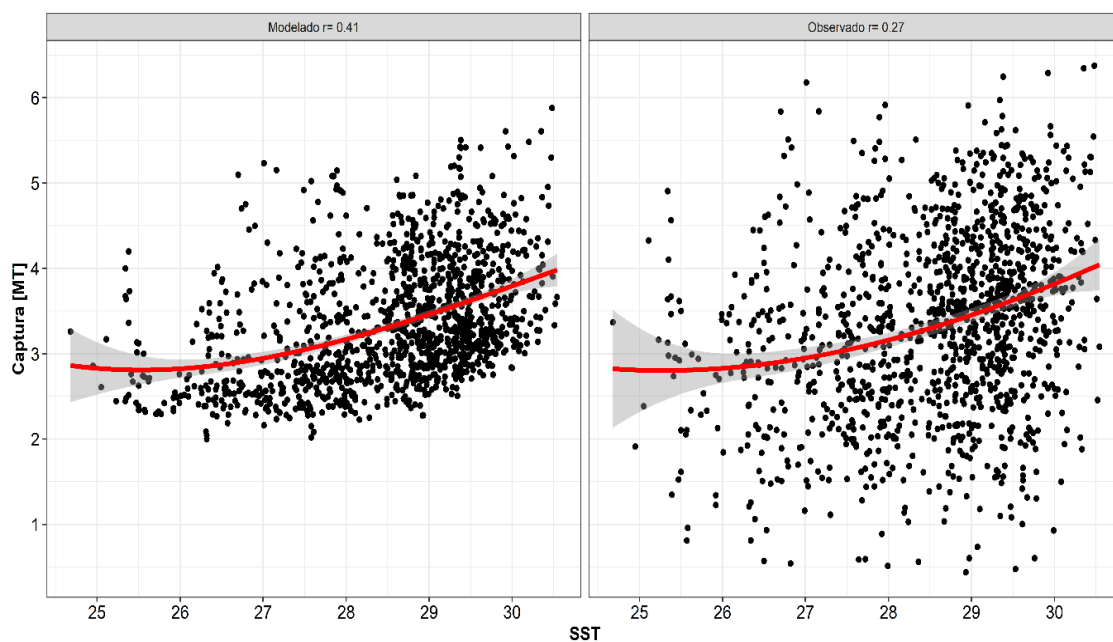


Figura 9. Correlação entre as capturas e a temperatura superficial da água do Mar, capturas modeladas (a) e observadas (b).

4.2 Descrição da tendência das capturas ao longo da série temporal.

A combinação dos fatores como o período do ano e a localização mostra uma variação sazonal das capturas é mostrada na Figura 9. Os valores maiores de $s(x)$ na figura indicam maiores capturas de atum, e vice-versa. As capturas elevadas do atum verificaram-se nos meses de Fevereiro, Março, Abril na região sul do canal, próximo da Ilha de Madagascar. Contrariamente, na região sul próximo da costa de Moçambique as capturas observadas durante os meses de Novembro, Dezembro e Janeiro são relativamente baixas.

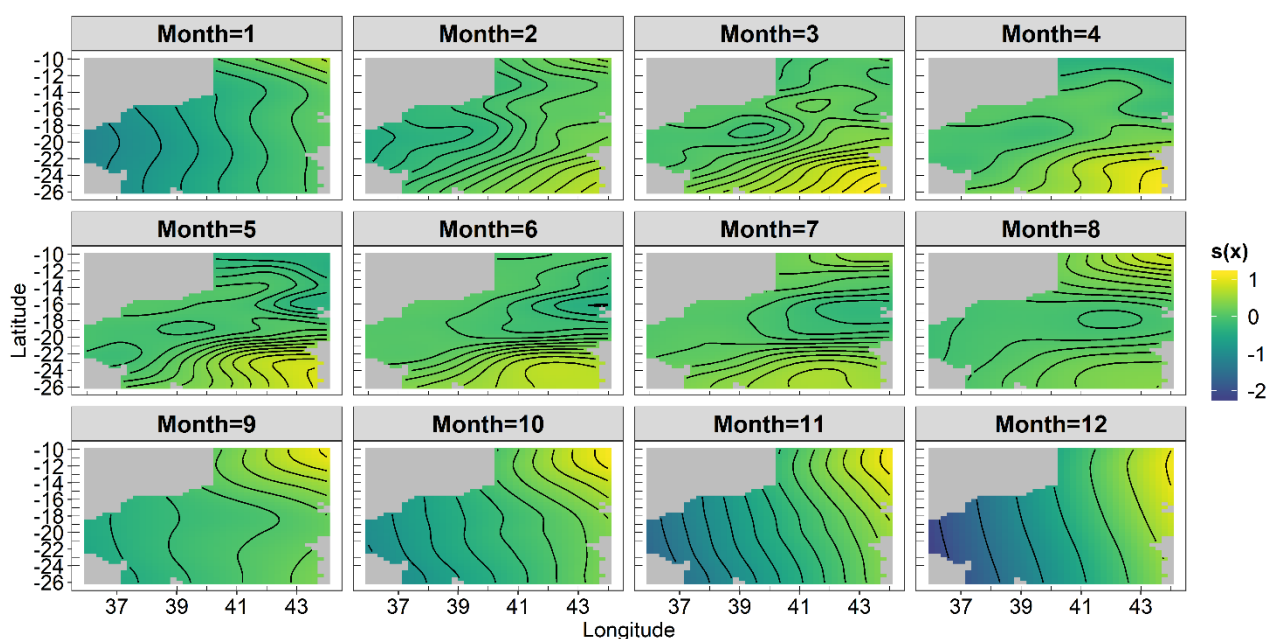


Figura 10. Distribuição das capturas no canal de Moçambique ao longo dos meses. Os valores maiores de $s(x)$ indicam maiores capturas de atum, e vice-versa.

A Figura 10 mostra o efeito de cada uma das variáveis preditivas (latitude e longitude (a), esforço (b) e a SST (c)) sobre as capturas de atum. Em termos de distribuição espacial, as maiores capturas do atum são observadas na região sul do canal mais próximo a costa de Madagascar reduzindo a medida que nos aproximamos ao norte do canal (Figura. 10-a). A relação entre o esforço e as capturas do atum mostra que a medida que o esforço de pesca aumenta, aumentam também as capturas até atingir o nível máximo de esforço sustentável (Figura. 10-b). A relação entre as capturas e a SST mostrada na Figura. 10-c indica que as capturas do atum apresentam menor desvio

e estão associadas à temperaturas relativamente altas (27 a 30°C). As menores capturas e maior desvio coincidem com baixas temperaturas, cerca de 25 e 26°C.

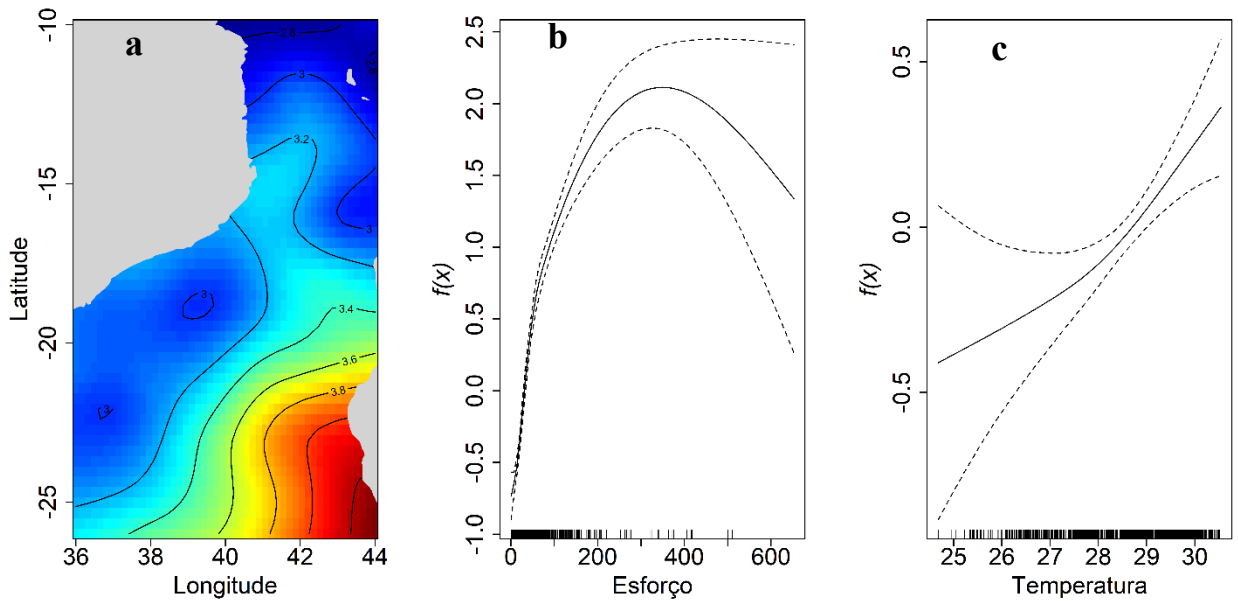


Figura 11. Variação das capturas em função das variáveis Latitude Longitude (a), esforço (b) e temperatura superficial do Mar (c).

A variação interanual das capturas observadas e modeladas ao longo do período de análise (2000 a 2017) é mostrada na Figura 11. De modo geral, as capturas observadas mostram um declínio a partir do ano 2000 atingindo o mínimo (cerca de 50ton) em 2004. Em seguida verificou-se um aumento das capturas atingindo o seu pico entre os anos de 2008 e 2010 (aproximadamente 450 ton). As capturas modeladas e observadas apresentam variações semelhantes.

De modo geral, as capturas do atum não mostram uma tendência linear com a ocorrência do El Niño (Figura.7-a) no Canal de Moçambique. Por exemplo, nos anos 2003 e 2010 durante o El Niño as capturas reduziram. Por outro lado, nos anos de 2005, 2007 e 2016 houve um aumento das capturas do atum. Vários factores como por exemplo, o esforço de pesca e periodicidade nas capturas do atum podem estar na origem da fraca relação entre as capturas e a SST (indicador do El Niño) nesta região. A discussão da fraca relação entre a SST e as capturas será detalhada no Capítulo 5.

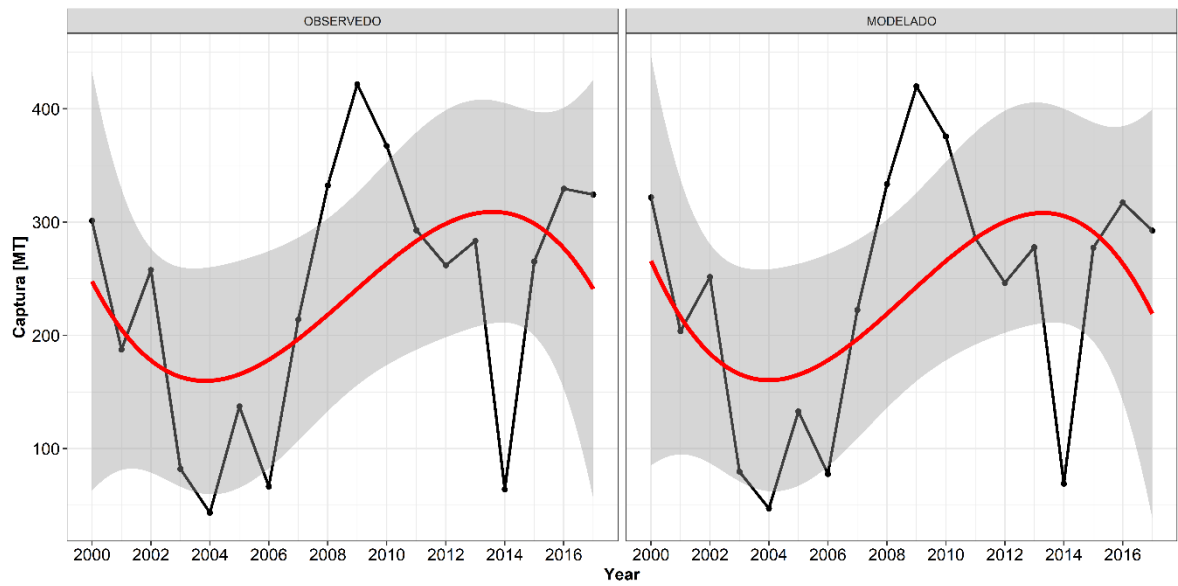


Figura 12. Variação das capturas observadas ($\log SKJ$) e modeladas (fitted) ao longo dos anos 2000 a 2017.

5. Discussão

5.1. Efeito do El Niño sobre as capturas de *K. pelamis*

No Canal de Moçambique as anomalias de temperatura nos anos de ocorrência do El Niño (2003, 2005, 2007, 2010, 2012 e 2016) apresentam-se acima do normal. Apesar de não existir nenhum estudo que mostre de que maneira o evento El Niño (que ocorre no pacífico) influencia na Temperatura Superficial do Mar do canal de Moçambique, Dueri (2017) afirma que há entrada de águas do Pacífico no oceano Indico pela região de indonésia e Sumatra. As águas de elevada SST são transportadas a partir da região Indo-Pacífico pela Corrente Sul Equatorial até a costa de Madagáscar onde se bifurca em Corrente Norte Equatorial do Madagáscar e Corrente Sul Equatorial do Madagáscar. Parte da Corrente Norte Equatorial do Madagáscar entra no Canal de Moçambique iniciando a Corrente de Moçambique [CITATION Roa84 \l 2057]. Por outro lado, a componente atmosférica associada ao El Niño interfere nos padrões de distribuição de humidade influenciando no aquecimento e precipitação de várias partes do globo (Couana, 2015). Desta forma admite-se que as variações de anomalia de Temperatura do Mar no Canal de Moçambique registadas nos anos de ocorrência deste fenómeno são uma resposta do mesmo.

A relação entre a Temperatura e as capturas observadas é baixa ($r^2= 0.27$). Esta baixa correlação pode estar associada à factores como o esforço de pesca que tem uma tendência crescente ao longo dos anos em estudo (2000 a 2017) (*Figura 13*). O que sugere que para uma determinada temperatura pode-se obter diversas capturas mediante o esforço de pesca empreendido. Destacam-se também outros factores associados à baixa correlação, como a concentração de clorofila, disponibilidade de alimento, correntes e relações ecológicas entre os organismos descritos por Mugo *et al.*, (2010), que não são considerados nessa correlação.

Por outro lado, as capturas resultantes do modelo apresentam melhor relação com a Temperatura Superficial do Mar ($r^2=0.41$), uma vez que as capturas modeladas tem a contribuição da SST como principal variável preditiva, conjuntamente com localização geográfica (representada pela Latitude e Longitude), período do ano (mês) e esforço de pesca. Contudo, a SST e a concentração de oxigênio são frequentemente utilizados para definir limites de grande escala para o potencial habitat do atum (Mugo *et al.*, 2010).

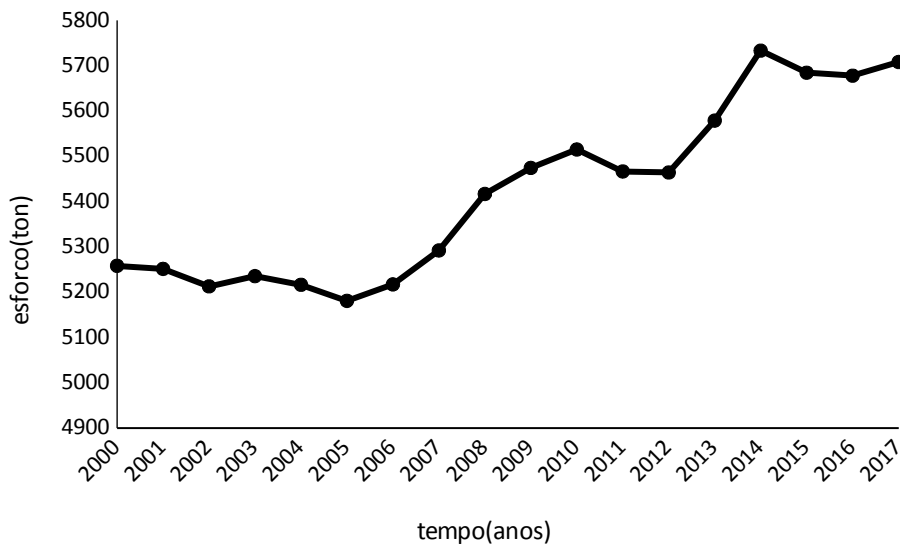


Figura 13. Variação do esforço de pesca total ao longo dos anos 2000 a 2017.

5.2. Análise da tendência das capturas ao longo da série temporal

A variação interanual da Temperatura Superficial do Mar mostra valores altos nos anos de ocorrência do El Niño, fato que evidencia a influência deste evento no Canal de Moçambique. Contudo, não se verifica um padrão de resposta das capturas de atum a este fenómeno.

Por exemplo, ao longo dos primeiros 6 anos do período em estudo, as capturas reduziram. As capturas mais baixas foram registadas nos anos 2003 e 2004, período que coincidiu com a ocorrência do El Niño e um ano neutro, respetivamente. Contrariamente ao observado por Kumar *et al.*, (2014) em toda a região do Oceano Índico, as capturas foram elevadas no mesmo período (2004), facto que pode ser associado ao reduzido volume de dados usados neste estudo. Ainda de acordo com Kumar *et al.*, (2014), valores de captura elevados são observados durante os anos de El Niño fraco no oceano Índico, com tendência a diminuir durante a ocorrência de severo.

Vários autores (e.g. Petrere, 1978, Simoes, 1984 e Castelo, 2007) apontam para um aumento das pescas em função do esforço de pesca, uma vez que as capturas aumentam à medida que se aumenta o esforço de pesca, até que se atinja o esforço de pesca máximo sustentável, a partir do qual por mais que se aumente o esforço, não haverá aumento de captura, podendo se verificar redução das capturas.

6. Conclusões e Recomendações

6.1. Conclusões

Os eventos de El Niño promovem variações na temperatura superficial do mar no Canal de Moçambique, com a SST a aumentar nos anos de ocorrência de El Niño. Contudo, não se verificou uma relação linear com a pescaria de atum Bonito listrado (*Katsuwonus pelamis*, Linneaus 1758).

A Temperatura Superficial do Mar teve um efeito moderado sobre as capturas do atum *K. pelamis*, com a correlação máxima entre as duas variáveis de $r^2=0.41$. O que implica uma relativa importância da SST na abundância e distribuição desta espécie. Facto que aponta o El Niño como um evento com consequências para as capturas do atum, apesar não linearidade entre o El Niño e as capturas.

Houve uma tendência de aumento das capturas do atum ao longo do período de estudo. No ano de 2004 verificou-se um mínimo das capturas de *K. pelamis* seguindo-se de um aumento, cujo máximo observado verificou-se no do ano 2009.

6.2. Recomendações

- ✓ Recomenda-se que sejam incluídos dados como a data exacta das capturas e o comprimento médio dos indivíduos capturados na plataforma IOTC, para auxiliar na precisão da análise entre as variáveis biológicas e as ambientais;
- ✓ Em futuros estudos que sejam inclusos outros factores biológicos e ambientais que tenham influência na distribuição e abundância d população de *K. pelamis*.

8. Referências bibliográficas

- Barkley, R., Neill, W., & Gooding, R. (1978). Skipjack Tuna, *K. pelamis* Habitat Based on Temperature and Oxygen Requirements. *Fishery Bulletin*, 10.
- Beverton, R., & Holt, S. (1957). *On the dynamics of exploited fish population*. London.
- Castelo, J. P. (2007). Gestão Sustentável dos recursos pesqueiros. *PANAMJAS*, 6.
- Chopo, H. (2018). Moçambique conta com pesca de atum para recuperar receita. *Jornal O País*, 2.
- Couana, E. A. (2015). *Influência do ENSO Sobre a Precipitação nas Cidades de Maputo, Beira e Lichinga*. Trabalho de Conclusão de Curso, Maputo.
- Davies, T. K., Milner-Gulland, & J., C. C. (2014). Modelling the Spatial Behaviour of a Tropical Tuna Purse Seine Fleet. *Plos. ONE*, 18.
- Dueri, S. (2017). *Impacts of climate change and ocean acidification on Indian Ocean tunas*. Developpement Durable Relations Internationales.
- El Nino & La Nina*. (20 de Setembro de 2019). Obtido de NOAA Climate.gov: <https://www.climate.gov>
- Grande, M., Murua, H., Zudaire, & Korta, M. (2010). *Spawning activity and batch fecundity of skipjack, *Katsuwonus pelamis*, in the Western Indian Ocean*. Basque Country, Spain: AZTI Tecnalia.
- Hoguane, A. M. (2007). Perfil Diagnóstico da Zona Costeira de Moçambique. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 14.
- Kumar, P. S., Pillai, G. N., & Manjusha, U. (2014). El Nino Southern Oscillation (ENSO) impact on tuna fisheries in Indian Ocean. *Springer plus*, 13.
- Lehodey, P. (2000). *Impacts of the El Niño Southern Oscillation on tuna populations and fisheries in the tropical Pacific Ocean*. 13 Meeting of the Standing Committee on Tuna and Billfish, New Caledonia.
- Lehodey, P. (2001). The pelagic ecosystem of the tropical Pacific Ocean: dynamic spatial modelling and biological consequences of ENSO. *Elsevier*, 30.
- Lopes, F. (2006). *Relação entre o mei (multivariate enso index) e a precipitação pluvial no estado do rio grande do sul*. Dissertação, Lopes, F. (2006). Relação entre o mei (multivariate enso index) e a precipitação pluvial Universidade Federal de Pelotas, Faculdade de Meteorologia, RS-Brasil.

- Mugo, R., Saitoh, S.-I., Nihira, A., & Kuroyama, T. (2010). Habitat characteristics of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) in the western North Pacific: a remote sensing perspective. *Fisheries Oceanography*, 15.
- Mustafa, M. (2000). *El Niño 1997-1998 Mozambique Case Study*. Reducing the Impact of Environmental Emergencies Through Early Warning and Preparedness, Maputo.
- Oliveira, G. S. (Marco de 2001). Fenomeno climatico. *O El Nino e voce*.
- Petrere, M. (1978). *Pesca e esforco de pesca no Estado do Amazonas*. Brasil.
- Saertre, R., & Silva, A. d. (1984). The Circulation of the Mozambique Channel. *Elsevier*, 24.
- Simoës, F. (1984). *Pesca de pequena escala em Mocambique: possibilidade de desenvolvimento*. Boletim de Divulgacao, Instituto de Investigacao Pesqueira, Maputo.
- Wickham, H. (2009). *ggplot2. Elegant graphics for data analysis*.
- Wood, S. (2006). *Generalized Additive Models: an introduction with R- Copyright CRC do not distribute*.
- Zuur, A. F., Ieno, E. N., Walker, N. J., Saveliev, A. A., & Smith, G. M. (2009). *Mixed Effects Models and Extensions in Ecology with R. Journal of Statistical Software*.