



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**  
**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS PESQUEIROS E AQUICULTURA**

**A influência das variáveis ambientais na distribuição espaço-temporal do tubarão mako (*Isurus oxyrinchus*) no oceano atlântico sul e equatorial**

**Lucas Eduardo Comassetto**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Aquicultura da Universidade Federal Rural de Pernambuco como exigência para obtenção do título de Mestre.

**Prof. Dr. HUMBERTO GOMES HAZIN**  
Orientador

**Recife,**  
**Agosto/2016**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE  
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

C728i Comassetto, Lucas Eduardo  
A influência das variáveis ambientais na distribuição espaço-temporal do tubarão mako (*Isurus oxyrinchus*) no oceano atlântico sul e equatorial / Lucas Eduardo Comassetto . – 2016.  
64 f. : il.

Orientador: Humberto Gomes Hazin .  
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Aquicultura , Recife, BR-PE, 2016.  
Inclui referências.

1. Padronização CPUE 2. Elasmobrânquios 3. Espinhel long line I. Hazin, Humberto Gomes, orient. II. Título

CDD 639

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**  
**PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS PESQUEIROS E AQUICULTURA**

**A influência das variáveis ambientais na distribuição espaço-temporal  
do tubarão mako (*Isurus oxyrinchus*) no oceano atlântico sul-equatorial**

**Lucas Eduardo Comassetto**

Dissertação julgada adequada para  
obtenção do título de mestre em  
Recursos Pesqueiros e Aquicultura.  
Defendida e aprovada em 25/08/2016  
pela seguinte Banca Examinadora.

---

**Prof(a). Dr(a). HUMBERTO GOMES HAZIN**

(Orientador)

[Departamento de Ciências Animais]

[Universidade Federal Rural do Semi-Árido]

---

**Prof. Dr. Dráusio Pinheiro Vêras**

[Unidade Acadêmica de Serra Talhada]

[Universidade Federal Rural de Pernambuco]

---

**Prof. Dr. Fábio Hissa Vieira Hazin**

[Departamento de pesca]

[Universidade Federal Rural de Pernambuco]

## **Dedicatória**

*Aos meus pais, Rosane Maria da Fonseca e José  
Batista Comassetto, a minha esposa e filho, Marianna  
Torres e João Pedro e minha irmã Maria Alice (in  
memorian)...*

## **Agradecimentos**

À Universidade Federal Rural de Pernambuco em especial os professores do Departamento de Pesca e Aquicultura, inclusive aos que não participaram diretamente deste ciclo, mas que de alguma maneira contribuíram para que fosse possível.

Ao professor, orientador e amigo Humberto Gomes Hazin, por mais esta oportunidade, confiança e orientação.

Aos professores e doutores, por aceitarem o convite para compor a banca examinadora desta tese, Fábio Hissa Vieira Hazin, Thierry Frédou, Dráusio Pinheiro Vêras se disponibilizando a contribuir com este trabalho.

Ao professor, amigo e orientador José Carlos Pacheco por estar à disposição sempre desde o início da graduação.

A Marianna Torres minha esposa pela compreensão nos momentos em que não pude estar presente, por sempre me apoiar, acompanhar nas decisões, mudanças desde o início e agora por se a mãe do João Pedro (FAMÍLIA).

Aos meus pais José Batista e Rosane Maria da Fonseca que sempre me apoiaram e permitiram alcançar os objetivos, mesmo nos difíceis e nas melhores horas.

A minha amiga Raquel que muitas vezes me acolheu em sua casa durante o período que estava em recife.

A Índia Pierlângela que como uma irmã está sempre por perto (valeu PIÉR).

Ao LOAA, Tiago Hilário, Diêgo, Jannelson, Hébio, Adriano Leles, Ricácio, Vinicius, Marne.

Aos Engenheiros de Pesca do IFRR, Marcelo e Karine que como uma equipe nos momentos de ausência resolvem os problemas.

## Resumo

Este trabalho visa contribuir com informações sobre a variação espaço-temporal e sua relação com variáveis ambientais e o clima, ainda verificar o impacto causado sobre a distribuição da espécie em cenários de aumento da temperatura da superfície do mar (TSM). Foram avaliadas no presente trabalho as informações sobre a pesca oceânica brasileira que atua no Atlântico Sul e Equatorial, no período de 1978 a 2012 no sentido de gerar informações sobre os índices de captura por unidade de esforço (CPUE) padronizada a partir de um Modelo Linear Generalizado Misto (GLMM) usando uma abordagem Delta Lognormal, para contribuir na correta avaliação do estoque. Baseando-se nos resultados obtidos foi possível observar que a série padronizada da CPUE do tubarão mako mostrou uma tendência de aumento gradual, especialmente após o ano 2000 e essa tendência não é clara, podendo estar relacionada a diversos fatores: aumento real na abundância, aumento na capturabilidade, mudança na estratégia de pesca ou ainda, uma melhoria na comunicação de dados. Observou-se também que o tubarão mako apresenta preferência de temperatura no Atlântico Sul e Equatorial na faixa entre 17 e 22°C sendo a temperatura que apresenta o maior índice 19°C e com a sua maior abundância localizada abaixo de 20°S em água afastadas da costa nos meses de janeiro e fevereiro, nos meses de maio e junho os menores índices. Quando simulado o aumento da TSM foi observado que com a elevação em 1°C ocorre redução de 3-5%, 2°C redução de 15-20%, 3°C redução de 25 e 28% e a abundância se concentrando em uma área limitada entre 30°S-35°S/40°W-25°W e 4°C de aumento a redução de até 96%. Neste sentido estes resultados servirão para compreender a distribuição espaço-temporal e a correta avaliação e gestão da espécie.

**Palavras-chave:** padronização CPUE, Espaço-temporal, Tubarão, Espinhel, Atlântico Sul e Equatorial.

**Abstract**

This work aims to contribute information on the spatiotemporal variation and its relationship to environmental variables and the weather also determine the impact on the distribution of species increase scenarios of sea surface temperature (SST). Were evaluated in this study the information on the Brazilian oceanic fisheries operating in the South Atlantic and Equatorial in the period 1978-2012 in order to generate information on catch rates per unit effort (CPUE) standard from a linear model Mixed generalized (GLMM) using a Delta Lognormal approach, to contribute to the correct evaluation of the stock. Based on the results it was observed that the standardized series of CPUE of the mako shark showed a trend of gradual increase, especially after the year 2000 and this trend is not clear, it may be related to several factors: a real increase in abundance, increase in catchability, change in fishing strategy or even an improvement in data communication. It was also observed that the mako shark shows temperature preferably in the South Atlantic and Equatorial in the range between 17 and 22 ° C the temperature showing the highest rate 19 ° C and its greater abundance located below 20 ° S in water away from the coast in the months of January and February, the months of May and June the lowest rates. Once dummy increased TSM was observed that with increasing by 1 ° C decreases by 3-5% 2 ° C 15-20% reduction of 3 ° C reduction by 25 and 28% and the abundance focusing on a area bounded between 30 ° S-35°S / 40°W-25°W and 4 ° C increase the reduction of up to 96%. In this sense these results will be used to understand the spatial-temporal distribution and the proper assessment and management of the species.

**Key words:** soap films; GAMM, space-time; Shortfin Mako

**Lista de figuras**

	Página
Figura 1- Desenho esquemático de um exemplar de <i>Isurus Oxyrinchus</i> (COMPAGNO, 2001).....	16
Figura 2- Distribuição <i>Isurus Oxyrinchus</i> (COMPAGNO, 2001).....	18
 <b>Artigo científico I</b>	
Figura 1- Distribution of the effort done by the Brazilian tuna longline fishery in the Atlantic Ocean from 1978 to 2012 (35 years).....	40
Figura 2- Scatterplots matrices with the relationships between shortfin mako CPUE and the candidate continuous explanatory variables used diagonal panels show the scatterplots with smooth lowess regression lines.....	41
Figura 3- Proportion of positive captures and negative sets by year, quarter, area and strategy.....	42
Figura 4- Residual analysis of the Lognormal model fitting of shortfin mako caught by the Brazilian tuna longline fleet 1978 to 2012.....	43
Figura 5- Parameter estimates for predicting shortfin mako catch rates in the Southern Atlantic Ocean. For each parameter it is indicated the point estimate, the 50% (thick lines) and the 95% (thin lines) confidence intervals.....	44
Figura 6- CPUE standardized by factors to shortfin mako.....	45
Figura 7- Nominal and standardized scaled CPUE of shortfin mako for Brazilian tuna longliners from 1978 to 2012.....	46
 <b>Artigo científico II</b>	
Figura 1- Distribuição espacial do esforço de pesca realizados pela frota brasileira no período de 1978 a 2012.....	49
Figura 2- Distribuição dos resíduos e QQ plot do modelo final ajustado aos dados de CPUE do Mako, capturado por espinheleiros brasileiros no Oceano Atlântico Sul e Equatorial utilizando a distribuição Tweedie.....	52
Figura 3- Efeitos da variável TSM na CPUE do Mako capturado por espinheleiros brasileiros no Oceano Atlântico Sul e Equatorial no período de 1978 a 2012.....	53

- Figura 4- Efeitos da variável espaço-tempo na CPUE do Mako capturado por espinheleiros brasileiros no Oceano Atlântico Sul e Equatorial no período de 1978 a 2012.....54
- Figura 5- Média da Profundidade da Camada de Mistura (m) por mês para a área de maior abundância do tubarão mako. Linha pontilhada é a profundidade média do espínhel de superfície (Nunes, et. all., *no prelo*).....54
- Figura 6- Alterações na TSM e percentual de redução das taxas de captura para o mako capturado por espinheleiros brasileiros no Oceano Atlântico Sul e Equatorial. C0=sem alteração da TSM; C1= TSM+0,5°; C2= TSM+1,0°; C3= TSM+1,5°; C4= TSM+2,0°; C5= TSM+2,5°; C6= TSM+3,0°; C7= TSM+3,5°; C8= TSM+4,0°.....55
- Figura 7- Distribuição espacial das capturas Alterações na TSM e percentual de redução das taxas de captura para o mako capturado por espinheleiros brasileiros no Oceano Atlântico Sul e Equatorial.....56
- Figura 8- Distribuição temporal das capturas em resposta as alterações na TSM na captura para o mako capturado por espinheleiros brasileiros no Oceano Atlântico Sul e Equatorial.....57

**Lista de tabelas**

Página

**Artigo científico I**

Tabela 1- Catch and effort information of the Brazilian longline fleet from 1978 to 2012.....	36
Tabela 2- Deviance analysis table of positive catch rates (Lognormal) and proportion of positive sets (Binomial) models.....	37
Tabela 3- Summary table of analyses of Delta Lognormal Mixed Model formulations for shortfin mako catch rates from Brazilian pelagic longline fisheries from 1978 to 2012.....	38
Tabela 4- Nominal and standardized index of relative abundance of shortfin mako caught by Brazilian pelagic longline fishery fleet between the years of 1978 to 2012.....	39

**Artigo científico II**

Tabela 1- Sumário dos resultados dos modelos. DE= deviance explicada; RQMEP=Raiz quadrada do erro médio de previsão; SO= Suavisador Soap films; TPRS= Suavisador thin plate regression splines.....	51
---	----

## Sumário

	Página
Dedicatória	
Agradecimentos	
Resumo	
Abstract	
Lista de figuras	
Lista de tabelas	
1- Introdução e revisão da literatura .....	12
1.1- Taxonomia.....	15
1.2- Morfologia externa e identificação .....	15
1.3- Distribuição e Habitat.....	16
1.4- Alimentação .....	17
1.5- Reprodução.....	18
1.6- Situação dos estoques e a Pesca .....	19
1.7- Padronização dos dados de captura .....	20
2- Objetivo geral .....	21
2.1- Objetivos específicos .....	21
3- Referências .....	22
4- Artigo científico .....	28
4.1- Artigo Científico I .....	28
4.2- Artigo científico II.....	47
5- Considerações finais.....	60
6- Referências .....	61

## 1- Introdução e revisão da literatura

O *Isurus oxyrinchus*, mais conhecido como tubarão mako ou anequim, é um tubarão pelágico pertencente à família Lamnidae relativamente frequente nos oceanos Pacífico, Índico e Atlântico, tendo assim uma ampla distribuição geográfica. São encontrados em ambos os hemisférios desde regiões temperadas até as zonas tropicais. Possuem natação rápida, sendo considerado o mais rápido de todos os tubarões (COMPAGNO, 2001). No ano de 2009, a União Internacional para a Conservação da Natureza (IUCN) classificou esta espécie como vulnerável (VU) devido ao declínio observado em seus estoques em todo o mundo, à gestão inadequada desse recurso e à crescente pressão de pesca sobre a espécie.

Em geral, *Isurus oxyrinchus* são muito mais comuns na pesca brasileira com espinhel do que *Isurus paucus* e ambos são comumente agrupados como o “mako” (AMORIM et al., 2002). Mesmo que não ocorra pesca dirigida aos tubarões mako, sua carne possui alto valor comercial, o que difere da maioria dos tubarões, em que apenas as barbatanas são os subprodutos aproveitados (CLARKE et al., 2004). Devido às características que apresenta quando fígado no anzol, como saltos e grande resistência à captura, também desperta grande interesse na pesca esportiva, inclusive com a realização de vários campeonatos direcionados a esta espécie (COMPAGNO, 1984). A ICCAT (*International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas*) informou que o total de capturas anuais nominais atingiu 7.277 t, em 2012 (ICCAT, 2014). Segundo Anon (2005), a captura total registrada é provavelmente subestimada, devido à falta de informação sobre as capturas acessórias ou por falhas em mapas de bordo e relatórios de desembarque de diversas pescarias.

Como a maioria das espécies de tubarões, o *Isurus oxyrinchus* apresenta baixo potencial reprodutivo, maturidade sexual tardia, ciclo de vida longo e, conseqüentemente, menos resistência à pressão pesqueira. Dessa forma, as suas populações requerem um tempo maior para se recuperarem da sobrepesca (CORTES, 2008; SMITH et al., 2008).

Esse elevado índice de captura incidental de *Isurus oxyrinchus*, contudo, associado à carência aguda de informações sobre a biologia, ecologia e comportamento da espécie, é muito preocupante, em razão das dificuldades decorrentes para uma adequada avaliação dos seus estoques conforme constatado nas últimas avaliações realizadas pela ICCAT.

Dessa forma, um conhecimento adequado sobre a biologia das espécies capturadas é fundamental, por exemplo, para o desenvolvimento de modelos de padronização dos índices de captura por unidade de esforço, essenciais para a aplicação dos modelos de avaliação, além de crucial para a adoção e implementação de qualquer estratégia de manejo. Nesse sentido, nos últimos anos, o impacto da pesca com espinhel pelágico direcionado para a captura de atuns (albacoras laje, branca e bandolim) e espadarte, sobre as populações de tubarões, vem ganhando grande destaque no cenário internacional, refletindo-se em um amplo esforço da comunidade científica para o desenvolvimento de medidas mitigadoras capazes de reduzir os impactos ambientais causados pela pesca.

A exploração de um recurso pesqueiro pode ser monitorada pela variação da abundância desse recurso ao longo do tempo em que esteja submetido a certo esforço de captura. O monitoramento da variação na abundância relativa permite antever o impacto que venha a ser causado ou até mesmo a extinção de determinada espécie e possibilita que os responsáveis pela gestão dos recursos estabeleçam medidas de ordenamento da atividade pesqueira, sendo comumente realizado com a utilização de indicadores calculados a partir de informações de captura e de esforço pesqueiros obtidos junto à frota comercial. Como exemplo de indicador, o mais utilizado tem sido “captura por unidade de esforço (CPUE)”, que é largamente utilizada em biologia pesqueira e indispensável na grande maioria dos modelos de avaliação de estoques (HILBORN e WALTERS, 1992; SPARRE e VENEMA, 1997).

Embora o impacto das variações climáticas e ambientais sobre a captura e distribuição dos recursos pesqueiros venha sendo bastante discutido na arena internacional, em conjunção com a necessidade crescente de se buscar cada vez mais um manejo pesqueiro baseado no ecossistema (ecosystem-based fisheries management) (PIKITCH et al., 2004), historicamente o manejo dos recursos pesqueiros tem sido embasado em modelos de dinâmica populacional que levam em consideração apenas as alterações da abundância dos recursos ao longo do tempo (HILBORN e WALTERS, 1992).

Uma importante ferramenta utilizada para esse fim tem sido a modelagem matemática, por meio da qual é possível otimizar o esforço pesqueiro a partir da integração dos dados derivados da captura e das variáveis ambientais de interesse podendo-se, assim, identificar com maior precisão os padrões de distribuição espaço-temporal desses estoques. Recentemente tais modelos têm possibilitado a inclusão das

variáveis ambientais combinadas aos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e aos Modelos Generalizados Aditivados (GAM) e/ ou Lineares (GLM) os quais apresentam, atualmente, grande potencial no auxílio à exploração e conservação pesqueira, como por exemplo, na identificação de estratégias espaciais de conservação (fechamento temporário de áreas de pesca) (ZHENG et al., 2002; HAZIN, 2006, HAZIN e ERZINI, 2008) e melhor precisão nas estimativas dos índices de captura padronizados.

Embora numerosos estudos já tenham demonstrado os benefícios do manejo espacial para a conservação de estoques pesqueiros costeiros, muito pouco tem sido publicado com essa abordagem sobre os ecossistemas oceânicos. Tal fato provavelmente se deva não só à sua maior distância da costa, mas, principalmente, devido à sua elevada complexidade espacial e temporal (HYRENBACH et al., 2000). Outro fator a ser destacado é a política, visto que o processo de gestão em águas situadas além dos limites de jurisdição nacional (mar territorial e zona econômica exclusiva) dependem da cooperação internacional, que, em muitos casos, como na pesca de atuns, envolve grande número de países. A escassez de trabalhos científicos envolvendo estes aspectos e a deficiência na coleta de dados torna esse processo particularmente complexo. Vaudo et. al. (2016) indicam que a compreensão da distribuição, movimentação e uso do habitat por grandes tubarões é imprescindível para a compreensão não só sobre as suas interações ecológicas, mas também para subsidiar uma gestão mais eficaz da sua pesca e os esforços de conservação.

E, para que isso seja possível, é necessário acompanhar a produção e o esforço de pesca, ajustando-se esse esforço aos limites sustentáveis de extração, além de tentar distribuir as capturas de diversos recursos (CLAVICO, 2008). O estudo climático faz, muitas vezes, o uso de modelos complexos, que pretendem, por exemplo, descrever e prever cenários de alterações climáticas (SILVA, 2013). A utilização dessas ferramentas passa, no entanto, pela análise de séries temporais de dados empíricos relevantes, que fornece informação essencial para uma melhor compreensão e caracterização dos processos envolvidos.

Os elementos climáticos estão sendo usados pelo IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) para que, através de modelos, possam apontar as tendências do clima no planeta para os próximos anos. Considerando que a relação de organismos marinhos com fatores ambientais comumente é observada avaliar o impacto sobre o comportamento de espécies que tenham forte relação de sua biologia com fatores ambientais torna imprescindível para uma correta compreensão de sua dinâmica.

Estudos que visam a determinar a distribuição e abundância dessas espécies são de extrema importância para avaliação do estado dos estoques. No caso de espécies integrantes da fauna acompanhante, particularmente existem dificuldades para implantação de indicações de manejo específicas, que possam reverter este nível excessivo de mortalidade por pesca.

Nesse sentido a realização deste estudo visa a contribuir com informações sobre tubarão mako com o objetivo de observar informações sobre a distribuição da espécie no oceano atlântico sul-equatorial e a compreensão sobre as variáveis ambientais e climáticas que influenciam a distribuição espaço temporal.

### **1.1- Taxonomia**

O tubarão mako *Isurus oxyrinchus* pertence à Ordem dos Lamniformes e à família Laminidae, que possui três gêneros: *Carcharodon*, *Lamna* e *Isuru*. No gênero *Isurus* duas espécies são reconhecidas: *I. oxyrinchus* e *I. paucus*. Segundo Compagno (2001) o tubarão mako está classificado taxonomicamente da seguinte forma:

Filo: Chordata

Subfilo: Vertebrata

Superclasse: Gnathostomata

Classe: Chondrichthyes

Subclasse: Elasmobranchii

Superordem: Galeomorphi

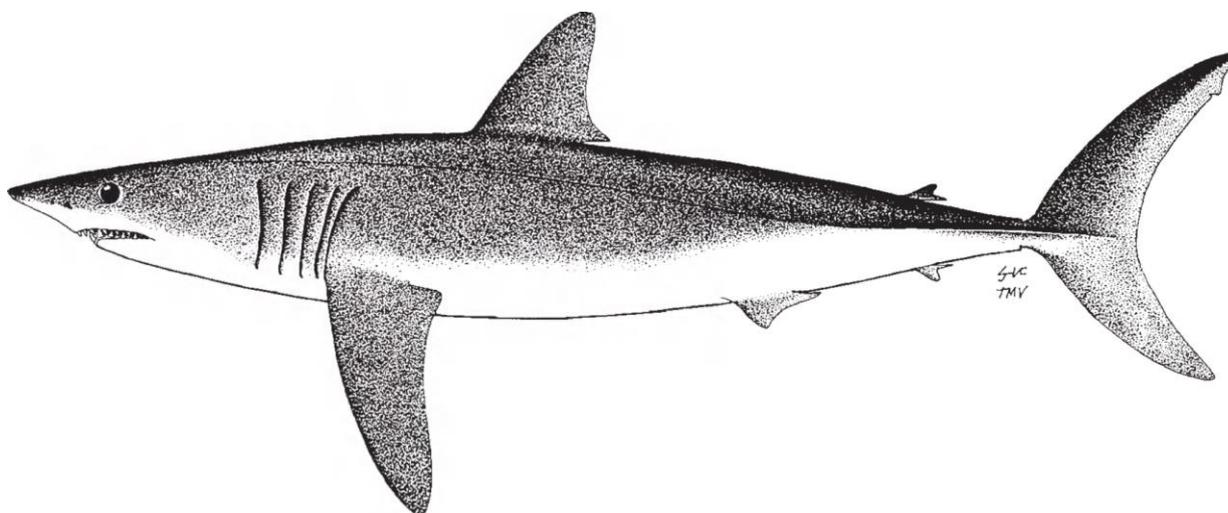
Ordem: Lamniformes

Família: Lamnidae

### **1.2- Morfologia externa e identificação**

O tubarão mako (Figura 1) apresenta focinho pontiagudo, olhos relativamente pequenos, boca em forma de “U” expondo dentes anteriores inferiores salientes e horizontais, mesmo com a boca fechada (COMAPGNO, 2001). Seu corpo é alongado, hidrodinâmico e fusiforme (WEGNER e CARTAMIL 2012). Barbatanas peitorais com extremidades relativamente estreitas e margem anterior de 16 a 22% do comprimento total da cabeça. Primeira barbatana dorsal se iniciando na mesma linha que o final da barbatana peitoral. Presença de uma quilha robusta no pedúnculo caudal, sem quilhas secundárias (COMPAGNO, 2001). Possui segunda barbatana dorsal e anal muito

pequenas. O início da segunda barbatana anal fica no meio da segunda barbatana dorsal, barbatana caudal em formato de lua crescente (EBERT 2014). Possui uma coloração azul brilhante dorsolateral ou arroxeadada em exemplares vivos, branco na parte inferior do focinho, tanto em jovens como adultos, seguindo a região ventral, a coloração da cabeça é mais escura e cobre até as fendas branquiais, porém é branca na parte inferior da segunda e terceira fenda branquial (COMPAGNO, 2001). O tubarão mako apresenta dimorfismo sexual em relação ao tamanho máximo, com registros de até 362 cm de comprimento furcal (CF) para as fêmeas (BIGELOW e SCHROEDER, 1948) e de até 270cm CF para os machos (BISHOP et. al, 2006), as fêmeas aparentemente amadurecem em tamanhos menores no Hemisfério Sul do que no oeste do Atlântico Norte (MOLLET et. al., 2000). Segundo Compagno (2001) o comprimento máximo estimado para a espécie é de 408 cm de comprimento total (CT).



**Figura 1- Desenho esquemático de um exemplar de *Isurus Oxyrinchus* (COMPAGNO, 2001)**

### **1.3- Distribuição e Habitat**

O *Isurus oxyrinchus* é um importante representante da comunidade de tubarões pelágicos, apresentando uma ampla distribuição circumglobal em mares da zona tropical e temperada (COMPAGNO et al., 2005), entre 50°N e 50° S (Figura 2). No oceano Atlântico oeste é registrada ocorrência do Canadá à Argentina; e no Atlântico leste, da Noruega até a África, (BIGELOW e SCHROEDER 1948, COMPAGNO 1984).

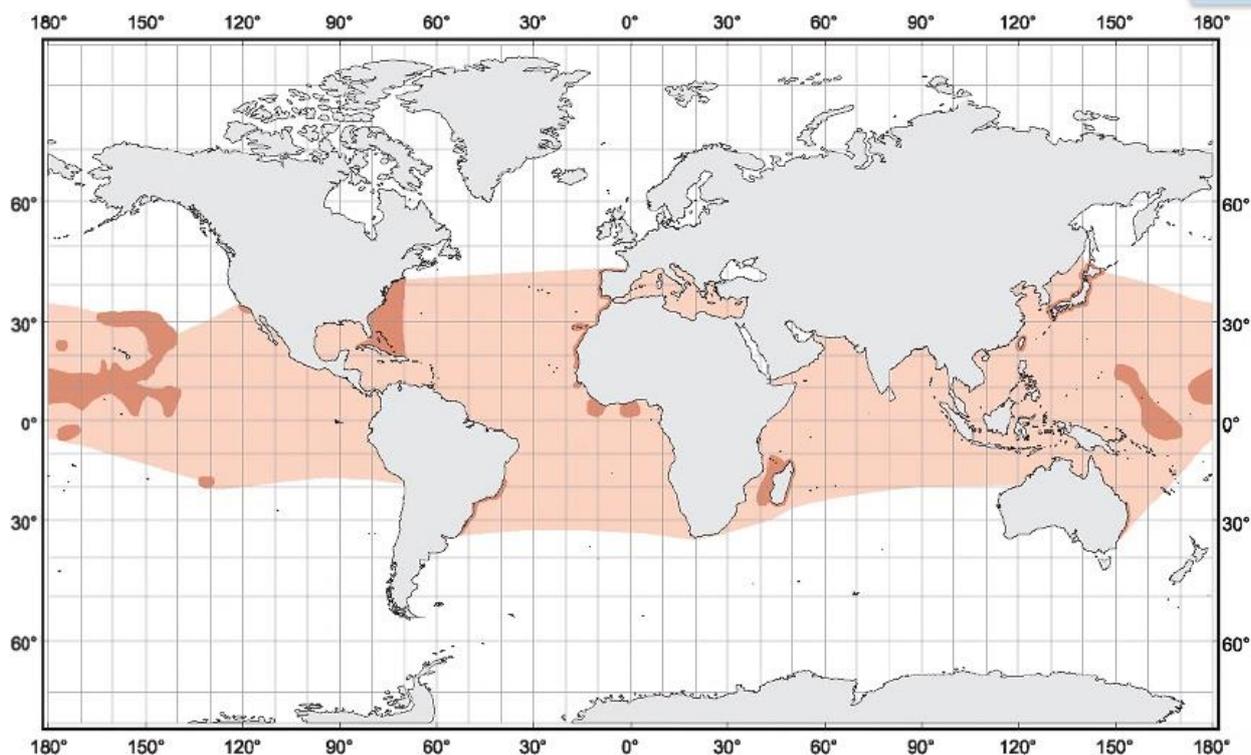
Também é comum encontrá-lo em águas tanto costeiras como oceânicas (COMPAGNO, 1984), ocorrendo próximo à costa onde a plataforma continental é estreita (STEVENS, 2008). O *Isurus. oxyrinchus* habita desde a superfície até

profundidade de 450m, alcançando ocasionalmente maiores profundidades (COMPAGNO, 2001). Em estudos realizados por Abascal et al. (2011), foram observados mergulhos a profundidades próximas a 900 m, sendo mais frequente na camada de mistura. Como outros membros da família Lamnidae o *I. oxyrinchus* apresenta endotermia o que possibilita que mantenha sua temperatura corporal em até 10°C acima da temperatura da água (CAREY e TEAL,1969). Apresenta preferências por água com temperaturas entre 17 e 22°C e raramente ocorre em temperaturas abaixo de 16°C (COMPAGNO, 2001; COMPAGNO, 2002).

No leste do Oceano Pacífico Norte, utilizando marcação via satélite foi possível observar que os movimentos latitudinais estão associados a mudanças sazonais na temperatura da água e da produtividade (BLOCK et al., 2011). Segundo Vaudo et al. (2016), no oeste do Oceano Atlântico Norte, as informações sobre a movimentação horizontal quase que totalmente são baseadas em dados de captura, marcação e recaptura, que também sugerem movimentos horizontais ligados à temperatura. Embora sejam registradas capturas regulares da espécie em diversas pescarias, há poucas informações disponíveis sobre a sua distribuição vertical, sendo a mesma praticamente restrita às áreas mais frias da sua distribuição geográfica. Vaudo et al. (2016) observaram em seu estudo que a temperatura influenciou a extremidade superior da distribuição de profundidade do tubarão mako, pois os indivíduos rastreados no Golfo do México passaram uma grande parte do tempo evitando as águas superficiais quentes. Há também uma grande necessidade de se obter uma melhor compreensão do uso do habitat e do comportamento desta espécie, principalmente para o atlântico sul devido à falta de informações sobre a mesma (BARRETO et. al. 2016).

#### **1.4- Alimentação**

Os tubarões mako são excelentes nadadores e predadores vorazes de topo de cadeia, alimentando-se principalmente de peixes ósseos e cefalópodes, mas, ocasionalmente de outros tubarões, raias, mamíferos marinhos, aves marinhas, tartarugas e crustáceos (COMPAGNO, 2001). Segundo Porsmoguer et. al. (2014), os peixes teleósteos são a principal fonte de alimento para *Isurus oxyrinchus* representando 82,4% do alimento encontrado nos estômagos analisados.



**Figura 2- Distribuição *Isurus Oxyrinchus* (COMPAGNO, 2001)**

Grandes exemplares de tubarão mako (com mais de 3 m de comprimento), têm dentição um pouco distinta dos menores, com dentes mais achatados, largos e triangulares, talvez mais adequados para cortar grandes indivíduos do que os dentes em forma pontiaguda de indivíduos menores (COMPAGNO 1984). Stillwell e Kohler (1982) estimaram que um tubarão mako de 68 kg pode consumir cerca de 2 kg de alimento por dia, sendo capaz de se alimentar de 8 a 11 vezes o seu peso corporal a cada ano. Stilwell (1990) sugeriu que estes animais podem chegar a consumir até 15 vezes o seu peso a cada ano. O impacto da predação do tubarão mako sobre a população de anchovas na costa nordeste dos Estados Unidos, por exemplo, estimada em 12,000 t, em 2002, pode exceder o total capturado pela atividade pesqueira, sendo a anchova uma espécie importante para pesca nesta região (WOOD et al., 2009).

### **1.5- Reprodução**

Os tubarões mako são vivíparos aplacentários e apresentam canibalismo intrauterino (oofagia) i.e. os embriões no útero alimentam-se de outros ovos produzidos pela mãe (SNELSON et. al., 2008; EBERT. e STEHMANN, 2013).

Os machos de *Isurus oxyrinchus* atingem a maturidade sexual com cerca 195 cm CT, bem inferior ao comprimento máximo reportado, igual a 285 cm CT. As fêmeas

alcançam a maturidade sexual com um tamanho bem superior ao dos machos, entre 270 e 300 cm CT (EBERT e STEHMANN, 2013), com uma idade estimada em 21 anos (BISHOP et. al., 2006). Barreto. et. al. (2016) indicaram que os tubarões mako capturados pela frota brasileira no atlântico sul central e ocidental são predominantemente imaturos.

A ninhada compreende entre 4 e 25 filhotes, com um período de gestação de 15 a 18 meses, seguido de um período de descanso (EBERT e STEHMANN 2013), fazendo com que o tempo total entre nascimentos seja de aproximadamente 3 anos (DUFFY e FRANCIS, 2001). O tamanho da ninhada tende a aumentar com o crescimento da fêmea.

Os nascimentos geralmente ocorrem a partir do final do inverno e início da primavera, em ambos os hemisférios, podendo estender-se até o verão. (EBERT e STEHMANN, 2013). Embora as regiões de berçários sejam pouco conhecidas, parecem estar localizadas perto de zonas costeiras, a exemplo da área próxima ao estreito de Gibraltar. *Isurus oxyrinchus* nascem com um tamanho aproximado de 60 a 70 cm CT (CASTRO 1983, MOLLET et al. 2000, COMPAGNO, 2001; EBERT e STEHMANN 2013).

## **1.6- Situação dos estoques e a Pesca**

A maioria das espécies de tubarão apresenta baixo potencial reprodutivo e maturação sexual tardia, sendo, portanto, mais suscetíveis de sofrerem sobrepesca (CORTES 2008; SMITH et al., 2008). A principal ameaça para o tubarão mako, portanto, é a pressão da pesca, histórica e contínua (CAILLIET et al., 2004). A gestão dos estoques de grandes peixes pelágicos é particularmente complexa, devido à sua natureza altamente migratória, ocorrendo, por muitas vezes, em águas internacionais e costeiras de vários países (CARVALHO et. al. 2011). Desta a forma, o ordenamento da pesca e o manejo dos estoques *I. oxyrinchus* só é possível através de esforços conjuntos de várias nações, tarefa que no Oceano Atlântico compete à Comissão Internacional para a Conservação do Atum Atlântico (*International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas-ICCAT*), organização pesqueira intergovernamental responsável pela conservação dos atuns e afins no oceano atlântico e mares adjacentes. Embora estudos passados tenham relatado um declínio nas taxas de abundância relativa do tubarão mako (TAKEUCHI et al., 2005), segundo uma avaliação dos estoques da espécie no Atlântico Norte e Atlântico Sul, realizada pela ICCAT, com base na série histórica de CPUE, os

mesmos parecem estar em boas condições, em anos mais recentes (ICCAT, 2012). Assim, as indicações de possível sobrepesca encontradas na avaliação anterior desses estoques não parecem ter se confirmado (ICCAT, 2013a). No entanto, o aumento recente da CPUE pode ter resultado tanto do real aumento da abundância, como no aumento da capturabilidade, em razão de mudanças na estratégia de pesca, ou ainda na melhora na coleta e envio de dados para a ICCAT (ICCAT, 2013b).

O alto grau de incerteza nas estimativas de capturas realizadas no passado e a deficiência de alguns importantes parâmetros biológicos, particularmente para o estoque do sul, ainda são um obstáculo para a obtenção de estimativas fiéis da situação atual dos estoques de tubarão mako. (ICCAT, 2013b). Além disso, a avaliação de risco ecológico (*ecological risk assessment-ERA*) realizado em 2009 e 2012 demonstram que os tubarões mako estão entre os estoques mais vulneráveis no Atlântico (CORTÊS, et al., 2010; ICCAT, 2013b), além de ter sido classificado como vulnerável (VU) pela IUCN (*The International Union for Conservation of Nature*) (CAILLIET et al., 2009).

### **1.7- Padronização dos dados de captura**

A vasta maioria dos modelos de avaliação de estoque baseia-se nos dados de CPUE (captura por unidade de esforço), comumente obtida a partir de dados oriundos da pesca comercial, devido à sua maior disponibilidade e facilidade de obtenção, além do baixo custo, quando comparado com a realização de uma pesquisa independente (HILBORN e WALTERS 1992, HARLEY et al., 2001, ERISMAN et al. 2011). A sua utilização como índice de abundância relativa, porém, é bastante complexa por causa dos erros de interpretação que podem ocorrer devido à não linearidade das várias relações CPUE/abundância e CPUE/esforço de pesca (MAURY et al., 2001). Entre todos os métodos empregados para a padronização da CPUE, os modelos lineares generalizados (GLM) (VENABLES E RIPLEY 2002) e os modelos aditivos generalizados (GAM) (VENABLES E RIPLEY 2002; WOOD, 2006) são os mais comuns (MAUNDER e PUNT 2004; HINTON E MAUNDER, 2004; VENABLES e DICHMONT, 2004). Xiao, et al. (2004) no entanto, prevê que outras ferramentas, em particular modelos lineares generalizados mistos (GLMMs) e equações de estimativa generalizada (GEEs) serão os métodos de escolha no futuro, enquanto o foco das análises deverá ser, cada vez mais, a compreensão dos processos biológicos e como eles são amostrados.

## **2- Objetivo geral**

O presente estudo tem por objetivo estudar a distribuição espaço-temporal do tubarão mako no Oceano Atlântico Sul equatorial, incluindo a sua relação com as variáveis ambientais.

### **2.1- Objetivos específicos**

1. Padronizar a CPUE do tubarão mako capturado pela frota brasileira e arrendada no período de 1978-2012 (35 anos).
2. Identificar a distribuição espaço-temporal e a influência das variáveis ambientais na abundância relativa e capturabilidade do tubarão mako, no oceano atlântico sul e equatorial.
3. Avaliar a influência das variações climáticas na distribuição espaço temporal do tubarão mako, no Oceano Atlântico Sul e equatorial.

### 3- Referências

ABASCAL, F.J; QUINTANS, M; RAMOS-CARTELLE, A; e MEJUTO, J. Movements and environmental preferences of the shortfin mako, *Isurus oxyrinchus*, in the southeastern Pacific Ocean. **Marine Biology**, 158 (5): 1175-1184, 2011.

AMORIM, A.F; ARFELLI, C.A; BACILIERI, S. Shark data from Santos longliners fishery off Southern Brazil (1971-2000). **Collective Volume of Scientific Papers-ICCAT**, 54(4): 1341-1348, 2002.

ANON.. Report of the 2004 Intersessional Meeting of the ICCAT Subcommittee on Bycatches: shark stock assessment. **Collective Volume of Scientific Papers-ICCAT** 58(3): 799-890, 2005.

BARRETO R,R; FARIAS, W.K.T; ANDRADE, H.; SANTANA, F.M.; LESSA, R.; Age, Growth and Spatial Distribution of the Life Stages of the Shortfin Mako, *Isurus oxyrinchus* (Rafinesque, 1810) Caught in the Western and Central Atlantic. **PLoS ONE** 11(4), 2016.

BIGELOW, H.B.; W.C. SCHROEDER. Chapter three, Sharks. In: Fishes of the Western North Atlantic. **Mem. Sears Fnd. Mar. Res.**, (1) 1: 56-576, 1948.

BISHOP S.D.H.; FRANCIS M.P.; DUFFY, C.; MONTGOMERY J.C.; Age, growth, maturity, longevity and natural mortality of the shortfin mako shark (*Isurus oxyrinchus*) in New Zealand waters. **Marine and Freshwater Research**, vol. 57: 143 – 154, 2006.

BLOCK, B. A.; JONSEN, I. D.; JORGENSEN, S. J.; WINSHIP, A.J.; SHAFFER, S. J.; BOGRAD, S.J.; HAZEN, E.L.; FOLEY, D.G., BREED, G. A.; HARRISON, A.L.; GANONG, J. E.; SWITHENBANK, A.; CASTLETON, M.; DEWAR, H.; MATE, B.R.; SHILLINGER, G. L.; SCHAEFER, K. M.; BENSON, S. R.; WEISE, M. J.; HENRY, R.W.; COSTA, D.P.; Tracking apex marine predator movements in a dynamic ocean. **Nature** 475: 86–90, 2011.

CAILLIET, G.M.; CAVANAGH, R.D.; KULKA, D.W.; STEVENS, J.D.; SOLDI, A.; CLO, S.; MACIAS, D.; BAUM, J.; KOHIN, S.; DUARTE, A.; HOLTZHAUSEN, J.A.; ACUÑA, E.; AMORIM, A.; DOMINGO, A. *Isurus oxyrinchus*. **The IUCN Red List of**

**Threatened Species 2009:** acesso em 01 Fevereiro de 2016 e.T39341A10207466. <http://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2009-2.RLTS.T39341A10207466.en>. 2009.

CAREY, F. G.; TEAL, J. M.; Regulation of body temperature by the bluefin tuna. *Comp. Biochemical Physiology*. 28, 205-213, 1969.

CARVALHO, F. C.; MURIE, D. J.; HAZIN, F. H. V.; HAZIN, H. G.; MOURATO, B. L.; BURGESS, G. H. Spatial predictions of blue shark (*Prionace glauca*) catch rate and catch probability of juveniles in the Southwest Atlantic. *ICES Journal of Marine Science*, 68:890–900, 2011.

CASTRO, J.I. The sharks of North American waters. **Texas A&M University Press**, College Station, xii + 180 pp. 1983.

CLARKE. “Shark Product Trade in Hong Kong and Mainland China and Implementation of the CITES Shark Listings,” **TRAFFIC East Asia, Hong Kong**, pp 8859-8861, 2004.

CLAVICO, L. S. Estudo das relações da variabilidade climatológica relacionada à variabilidade social da safra de pescados de água doce desembarcado na cidade de Pelotas, RS. 105 P. **Dissertação (Mestrado)** – Universidade Federal de Pelotas, Rio Grande do Sul, 2008.

COMPAGNO, L.J.V. 1984. FAO Species Catalogue. Vol. 4: **Sharks of the World**. An annotated and illustrated catalogue of shark species known to date. **FAO Fisheries Synopsis** (125) 4(1): i-viii + 1-250; 4(2): i-x + 251-655, 1984.

COMPAGNO, L.J.V. Checklist of living Chondrichthyes. In: W.C. Hamlett, **ed. Reproductive Biology and phylogeny of chondrichthyes: sharks, batoids, and chimaeras**, pp. 501-548. Science Publishers, Inc., Enfield, New Hampshire. 2005.

COMPAGNO, L.J.V. **Sharks of the world**. An annotated and illustrated catalogue of shark species known to date. Volume 2. Bullhead, mackerel and carpet sharks (Heterodontiformes, Lamniformes and Orectolobiformes). **FAO Species Catalogue for Fishery Purposes**. No. 1, Vol. 2. Rome, FAO. 269p, 2001.

COMPAGNO, L.J.V.. Sharks. In: K.E. Carpenter, ed. **The living marine resources of the Western Central Atlantic**. Vol. 1. Introduction, mollusks, crustaceans, hagfishes, sharks, batoid fishes, and chimaeras, pp. 357-505. FAO species identification guide for fishery purposes and American Society of Ichthyologists and Herpetologists Special Publication. No. 5. FAO, Rome. 2002.

CORTES, E.. Comparative life history and demography of pelagic sharks. In: M.D. Camhi, E.K. Pikitch & E.A. Babcock (ed.) **Sharks of the Open Ocean: Biology, Fisheries and Conservation, Blackwell, Oxford, U.K.** 309-322p. 2008.

CORTES, E.; AROCHA, F.; BEERKIRCHER L.; CARVALHO F.; DOMINGO A.; HEUPEL M.; HOLTZHAUSEN, H.; SANTOS, M.N.; RIBERA, M.; SIMPFENDORFER C. Ecological risk assessment of pelagic sharks caught in Atlantic pelagic longline fisheries. **Aquatic Living Resources**, vol. 23: 25 – 34, (2010).

DUFFY, C.; FRANCIS, M.P. Evidence of summer parturition in shortfin mako (*Isurus oxyrinchus*) sharks from New Zealand waters. **New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research**, vol. 35: 319 – 324, 2001.

EBERT D.A.; STEHMANN, M.F.W. Sharks, batoids, and chimaeras of the North Atlantic **FAO Species Catalogue for Fishery Purposes. No. 7**. Rome, FAO. 523 pp, 2013.

EBERT, D.A. FAO. 2014. **On Board Guide for the Identification of Pelagic Sharks and Rays of the Western Indian Ocean**, 2014.

ERISMAN, B. E.; ALLEN, L. G.; CLAISSE, J. T.; PONDELLA, D. J.; MILLER, E. F.; MURRAY, J. H. The illusion of plenty: hyperstability masks collapses in two recreational fisheries that target fish spawning aggregations. **Canadian Journal Fisheries Aquatics Sciences**. 68:1705-1716. 2011.

HARLEY, S. J.; MYERS, R. A.; DUNN, A. Is catch-per-unit-effort proportional to abundance? **Canadian Journal Fisheries Aquatics Sciences**. 58:1760-1772. 2001.

HAZIN, H. G.; ERZINI, K. Assessing swordfish distribution in the South Atlantic based on spatial predictions. **Fisheries Research**., 90: 45-55. 2008.

HAZIN, H.G., Influência das variáveis oceanográficas na dinâmica populacional e pesca do espadarte, *Xiphias gladius Linnaeus 1758*, capturados pela frota brasileira. 2006, 213p. (**Tese de doutorado**) Universidade do Algarve/Portugal.

HILBORN, R.; WALTERS, C. J. Quantitative Fisheries Stock Assessment: Choice, Dynamics and Uncertainty. **Chapman and Hall, Inc., London, New York**: 570p. 1992.

HINTON, M. G.; MAUNDER, M. N. Methods for standardizing CPUE and how to select among them. **ICCAT Col. Vol Sci. Pap.** **56**(1):169-177. 2004.

HYRENBACH, K.D., FORNEY, K.A. AND DAYTON, P.K. (2000) Marine protected areas and ocean basin management. **Aquatic Conservation** 10:437–458. 2000.

ICCAT. **Statistical Bulletin** **42**(1)(1960–2012). Madrid, Spain. ICCAT; 2014.

ICCAT; **Report of the 2013 inter-sessional meeting of the sharks species group**. Mindelo, Cape Verde, 2013b.

ICCAT; **Report of the standing committee on research and statistics (SCRS)**. Madrid, Spain, 2013a.

ICCAT; Shortfin mako stock assessment and ecological risk assessment. **Report of the ICCAT sharks meeting to apply ecological risk analysis and shortfin mako assessment**. 11-18 June 2012, Olhão, Portugal. 105pp 2012.

MAUNDER, M. N.; PUNT, A. E. Standardizing catch and effort data: a review of recent approaches. **Fisheries Research**. 70: 141-159. 2004.

MAURY, O.; GASCUEL, D.; MARSAC, F.; FONTENEAU, A.; De ROSA, A. L.. Hierarchical interpretation of nonlinear relationships linking yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) distribution to the environment in the Atlantic Ocean. **Canadian Journal Fisheries Aquatics Sciences**. 58: 458-469. 2001.

MOLLET, H.F.; CLIFF, G.; PRATT, H. L.; STEVENS, J. D. Reproductive biology of the female shortfin mako, *Isurus oxyrinchus* Rafinesque, 1810, with comments on the embryonic development of lamnoids. **Fisheries Bulletin**, 98: 299-318, figs 1-6, 2000.

PIKITCH, E. K.; SANTORA, C.; BABCOCK, E. A.; BAKUN, A.; BONFIL, R.; CONOVER, D. O.; DAYTON, P.; DOUKAKIS, P.; FLUHARTY, D.; HENEMAN, B.; HOUDE, E. D.; LINK, J.; LIVINGSTON, P. A.; MANGEL, M.; MACALLISTER, M. K.; POPE, J.; SAINSBURY, K. J. **Ecosystem-based fishery management**. *Science*, 305: 346-347, 2004.

PORSMOQUER B.S., BANARU D, BEAREZ P, DEKEYSER I, MERCHAN FORNELINO M, ET AL. Unexpected Headless and Tailless Fish in the Stomach Content of Shortfin Mako *Isurus oxyrinchus*. **PLoS ONE** 9(2): e88488. doi:10.1371/journal.pone.0088488, 2014.

SILVA, A. C. C. Influência de variáveis climáticas na pesca artesanal de Macau – RN. 2013. 143p. **Tese (Doutorado)**. Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba.

SMITH, S.E., D.W. AU.; C. SHOW. Intrinsic rates of increase in pelagic elasmobranchs. In: M.D. Camhi, E.K. Pikitch & E.A. Babcock (ed.) **Sharks of the Open Ocean: Biology, Fisheries and Conservation Blackwell, Oxford, U.K.** 2008

SNELSON, F.F.; JR.; MULLIGAN, T.J.; WILLIAMS, S.E. Food habits, occurrence, and population structure of the bull shark, *Carcharhinus leucas*, in Florida coastal lagoons. **Bulletin Marine Science**, 34(1): 71-80, 1984.

SPARRE, P.; VENEMA, S.C. Introduction to tropical fish stock assessment. Part 1. **Manual. FAO Fisheries Technical Paper**. № 306.1, Rev. 2. Rome. 1997

STEVENS, J.D. The biology and ecology of the shortfin mako shark, *Isurus oxyrinchus*. In: **Sharks of the Open Ocean: Biology, Fisheries, and Conservation**. M.D. Camhi, E.K. Pikitch, & E.A. Babcock, pp. 87-94. Blackwell Publishing, Oxford, U.K. 2008.

STILLWELL, C.E.; KOHLER. N.E.; Food, feeding habits, and estimates of daily ration of the shortfin mako (*Isurus oxyrinchus*) in the northwest Atlantic. **Canadian Journal Fisheries Aquatics Sciences**, 39: 407-414. 1982.

STILWELL, C., The ravenous mako. Discovering sharks. **Bulletin of the American Littoral Society, Special Double Issue**, 19(4) and 20(1): 77-78, 1990.

TAKEUCHI Y.; SENBA Y.; NAKANO H. Demographic analysis on Atlantic blue and shortfin mako sharks. **International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas, Collective Volume of Scientific Papers 54**, 1231-1260, 2005.

VAUDO, J.J.; WETHERBEE, B.M.; WOOD, A.D.; WENG, K.; HOWEY-JORDAN, L.A.; HARVEY, G.M.; SHIVJI, M.S. Vertical movements of shortfin mako sharks *Isurus oxyrinchus* in the western North Atlantic Ocean are strongly influenced by temperature. **Marine Ecology Progress Series 547**:163-175, 2016.

VENABLES, W. N.; DICHMONT, C. M. GLMs, GAMs, and GLMMs: an overview of theory for applications in fisheries research. **Fisheries Research 70**:319-337. 2004.

VENABLES, W. N.; E RIPLEY, B.D. Modern Applied Statistics with S-plus. Fourth edition. **Springer-Verlag**, New York. 2002.

WEGNER, N.C.; CARTAMIL, D.P.. Effects of prolonged entanglement in discarded fishing gear with substantive biofouling on the health and behaviour of an adult shortfin mako shark, *Isurus oxyrinchus*. **Marine Pollution Bulletin 64**, 391–394, 2012.

WOOD, A.D.; WETHERBEE, B.M.; JUANES, F.; KOHLER, N.E.; WILGA, C.; Recalculated diet and daily ration of the shortfin mako (*Isurus oxyrinchus*), with a focus on quantifying predation on bluefish (*Pomatomus saltatrix*) in the northwest Atlantic Ocean. **Fisheries Bulletin 107**: 76–88, 2009.

XIAO. Y.; PUNT, A.E.; MILLAR. R.B.; QUINN II, T.J.; Models in fisheries research: GLMs, GAMS and GLMMs. **Fisheries Research. 70**, 137–139, 2004.

ZHENG, X.; PIERCE, J.G.; REID, D. G; JOLLIFFE, I.T. Does the North Atlantic current affect spatial distribution of whiting? Testing environmental hypotheses using statistical and GIS techniques. **Journal of Marine Science. 59**: 239 – 253. 2002.

#### **4- Artigo científico**

##### **4.1- Artigo Científico I**

Artigo científico submetido a Revista *Collective Volume of Scientific Papers-ICCAT*.

Todas as normas de redação e citação, deste capítulo, atendem as estabelecidas pela referida revista (em anexo).

**Normas da Revista *Collective Volume of Scientific Papers-ICCAT***

SCRS/2016/090

Collect. Vol. Sci. Pap.

ICCAT

**STANDARDIZED CATCH RATES OF SHORTFIN MAKO CAUGHT BY THE BRAZILIAN FLEET (1978-2012) USING A GENERALIZED LINEAR MIXED MODEL (GLMM), WITH A DELTA LOG APPROACH**

Comassetto, L.; Hazin, Fábio H.V; Hazin, Humberto G.;  
Sant'Ana, Rodrigo; Mourato, Bruno; Carvalho, Felipe.

**SUMMARY**

*In the present paper, catch and effort data from 91,831 sets done by the Brazilian tuna longline fleet, including both national and chartered vessels, in the equatorial and southwestern Atlantic Ocean, from 1978 to 2012, were analyzed. The fished area was distributed along a wide area of the equatorial and South Atlantic Ocean, ranging from 3°W to 52°W of longitude, and from 011°N to 40°S of latitude. The CPUE of the shortfin mako shark was standardized by a Generalized Linear Mixed Model (GLMM) using a Delta Lognormal approach. The factors used in the model were: year, fishing strategy, quarter, area, sea surface temperature, and the interactions year:area and year:quarter. The standardized CPUE series of the shortfin mako showed a gradual increasing trend, particularly after the year 2000 (Table 4 and Figure 7). The reason for such a trend is not clear and could result from a number of factors, including: an actual increase in abundance, an increase in catchability, a change in the fishing strategy or an improvement in data reporting.*

**INTRODUCTION**

In recent decades, there has been a growing concern with the status of several shark populations worldwide, mainly because of an increased mortality resulting from fishing. Among the pelagic sharks, the blue shark and the mako shark are two of the most common and widely distributed species, being mainly caught by the tuna longline fishery targeting tunas and swordfish. Although they were initially caught exclusively as bycatch, their status in the fishery has gradually changed over time, with an increased number of boats and fleets starting to target them, together with tunas and swordfish. The increased fishing pressure on these species has prompted Regional Fisheries Management Organizations, such as the International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas- ICCAT, to assess the condition of their stocks and the impact of the tuna fishery on them, aiming at designing and implementing management and conservation measures required to ensure their conservation.

The first attempt to assess the status of the mako stocks in the Atlantic Ocean was led by the Standing Committee on Research and Statistics of ICCAT (SCRS), in

2004. At that time, the main hindrance for the evaluation exercise was the lack of adequate data. Subsequent attempts to assess the condition of the mako stocks in the Atlantic Ocean were undertaken by ICCAT/SCRS in 2008 and 2012, but the results were again rather inconclusive, particularly in the case of the South Atlantic Population. As noted in the SCRS report of the 2008 assessment, it resulted in an estimate of unfished biomass that was biologically implausible, and thus the Committee could not draw any conclusion about the status of the southern stock. During the 2012 shortfin mako stock assessment, different standardized CPUE series were presented, both for the South and North stocks, but conflicting trends of CPUE and catch tendencies again casted doubt on the accuracy of the results. According to the report, the Committee noted that the increase in the CPUE series could be due to several reasons, including an increase in abundance, an increase in catchability, in the fishing strategy or in data reporting for this species. Finally, in 2015, a new stock assessment was required by the Commission, to be done in 2017, preceded by a data preparatory meeting in 2016.

With a view, therefore, to contribute information for the assessment of the South Atlantic stock of the mako shark, scheduled for 2017, in the present paper a standardized series of CPUE for the species, caught by the Brazilian fleet, including both national and chartered vessels, was updated, spanning for 35 years, from 1978 to 2012.

## **MATERIAL AND METHODS**

In the present study, catch and effort data from 91,831 tuna longline sets obtained from logbooks reported by the Brazilian tuna longline fleet, including both national and foreign chartered vessels, from 1978 to 2012, were analyzed. The longline sets were distributed along a wide area of the equatorial and South Atlantic Ocean, ranging from 3°W to 52°W of longitude, and from 011°N to 40°S of latitude (**Figure 1**). The resolution of 1° x 1°, per fishing set, was used for the analysis of the geographical distribution of fishing effort and catches.

Due to the high proportion of sets with zero catches of shortfin mako (85.6%), a GLMM using a Delta Lognormal approach was used for the standardization of CPUE. In the Delta Lognormal model, the catch rates are assumed to be the result of two dependent processes: a) the probability of catching at least one fish; and b) the conditional expected mean catch rate given that there is a positive probability of capture. In this case, the probability of capture was assumed to follow a binomial

distribution, while the mean catch rate was assumed to follow a normal error distribution of the log-transformed CPUE. A GLMM model was applied with the logit function being used as the link between the linear predictor and the binomial error response variable.

GLMM models are generally non-orthogonal and the order of entry of explanatory variables affects the contribution of each variable in the final model (McCullagh & Nelder, 1989). For the final model, the selection of factors and interactions was carried out by analysis of deviance tables (Ortiz and Arocha 2004). Briefly, main factors and interactions were included in the model if: a) the percent of total deviance explained by a given factor/interaction was 5% or greater; and b) the Chi-square probability was 0.05 or less for the test of deviance explained versus the number of additional parameters estimated for a given factor or interaction. In the case of a statistically significant interaction between the year factor and any other factor, they were considered as random interactions in the final model.

Once the fixed factors and interactions were selected, all interactions involving the factor year and area were evaluated as random variables to obtain the estimated index per year, transforming the GLMs in a GLMMs (Generalized Linear Mixed Models) (Cooke 1997). Selection of the final mixed model was based on the Akaike's Information Criterion (AIC), Schwarz's Bayesian Information Criterion (BIC), and a chi-square test of the difference between the [-2 log likelihood statistic] successive model formulations (Littell et al. 1996). Relative indices for the delta model formulation were calculated as the product of the year effect least square means (LSmeans) from the binomial and the lognormal model components. The LSmeans estimates use a weighted factor of the proportional observed margins in the input data to account for the unbalanced characteristics of the data. The factors considered as explanatory variables were "Year" (35), "Quarter" (4), "Area" (A1>20°S; A2<20°S), "Fleet strategy" (3). The fleet strategy was estimated in two steps. In the first step, a multivariate cluster analysis was conducted to identify the different Targeting Strategies (TS) by combining clusters of predominant species that were internally coherent and externally isolated (MathSoft, 1995). A total of 91,831 fishing sets with approximately 25 species reported in the observer logbooks were analyzed. The Target Strategy typology was then built using the "K Means" method (Kaufman and Rousseeuw, 2005). This approach is widely applied among non-hierarchical clustering techniques and is well adapted to very large datasets. Each cluster (of fishing sets) can be considered a Target Strategy (He *et al.*, 1997;

Pelletier and Ferraris, 2000; Hazin *et al.*, 2007; Mourato *et al.*, 2011). For a given number of clusters, the final value of the criterion is given. Analyses were conducted with different numbers of clusters, among which the most realistic solution was chosen when considering the evolution of the criterion value. The Target Strategy can be described by the mean values obtained (centroids) (Fall *et al.*, 2006). In the second step, a matrix was constructed considering the frequency of sets conducted by each fishing vessel within each cluster (Target Strategy). Then, a Fuzzy Clustering method with ordination-based Canonical Correspondence Analysis (CCA) was applied to find coherent patterns that may discriminate clusters of vessels (Fishing Fleets) with similar fishing strategies.

Because multiple explanatory variables were used in these models, which may potentially cause multicollinearity problems, Generalized Variance Inflation Factors (GVIF) were calculated for the models main effects (Fox and Monette, 1992). The definition of threshold values for these GVIF seems to be somewhat arbitrary, but as a general rule most authors recommend that values higher than 5 may be cause for concern, while values higher than 10 can indicate serious collinearity problems (Hair *et al.*, 1995; O'Brien, 2007).

All statistical and data analyses developed on this study were performed using the software R-3.2.4 (R Core Team, 2016) with the aid of packages *dplyr* (Wickham and Francois, 2015), *ggplot2* (Wickham, 2016), *lme4* (Bates, 2016), *lsmeans* (Lenth, 2016), *lmerTest* (Kuznetsova et al., 2016).

## RESULTS AND DISCUSSION

In terms of preliminary analysis of the explanatory variables, the shortfin mako CPUE had a significant and positive correlation with year, area, quarter and fishing strategy, and a significant negative correlation with SST (**Figure 2**). Some of the possible explanatory variables were also correlated between themselves, such as for example SST that was negatively correlated with both area (-0.78) and quarter (-0.27) (Figure 2). In this multivariate simple effect model, the Generalized Variance Inflation Factors (GVIFs) were calculated and in all cases the values were < 10, meaning that severe collinearity problems between these explanatory variables were not likely to be occurring. The calculated GVIF factors were: Year=3.66, Quarter=1.72, Area=3.26, Strategy=2.75 and SST=3.89.

The proportion of null catches of shortfin mako for the Brazilian fleet during the period of the present study was 85.6%. Positive catches proportion varied during the period of study between 1.9% and 36.6% of the sets (**Table 1**). The number of sets with positive and null catches by factors (**Figures 3**) indicates that the proportion of positive sets was relatively uniform for quarter and area, but different for fishing strategy, as it should be expected, and for different years, since the distribution of the different fishing strategies changed from year to year.

**Table 2** presents a summary of the deviance analysis for the two stages of the Delta model, a description for Lognormal and Binomial models. In both cases, the interactions year:quarter and year:area explained more than 5% of the total deviance. Thus, all interactions were tested in the GLMM as random variables. Comparisons of models considering different combinations of interactions were conducted and their summaries are presented in **table 3**. The selected models for the Lognormal and Binomial components were:

- Lognormal Model:  $\log(\text{CPUE}) =$   
Year+Strategy+Quarter+Area+SST+Year:Area+Year:Quarter
- Binomial Model: PROP=  
Year+Strategy+Quarter+Area+SST+Year:Area+Year:Quarter

Diagnostic plot for the Lognormal model showed that the assumption of the lognormal distribution for the positive dataset seems to be adequate as indicated in the QQ-plots (**Figure 4**). Residuals were homoscedastic at least in the case of the positive dataset. There were no temporal trends in the residuals on a yearly basis, so the assumption of independence of the samples was acceptable (**Figure 4**).

The pseudo- $R^2$  values of the final models explained 40% of the total variance. The value of parameter dispersion was 0.58, indicating that the final model does not show an overdispersion. The main factors were, in order of importance, year (52.3%), year:area (17.4%), year:quarter (14.6%), quarter (4.9%), area (4.9%), fishing strategy (4.3%) and SST (1.5%). According to Maunder & Punt (2004), the relatively low values of the pseudo- $R^2$  found in the present work are common in catch and effort data, due to the several factors that influence relative abundance but can't be considered in the model, including environmental, technological and operational factors. Besides, despite the "fishing strategy" was included as a factor in the present case, it is clearly an oversimplification of the many factors that certainly can't be accounted for, including

the targeting behavior of the skipper, which might be reflected in slight operational changes in the fishing operation, which may have a significant impact on the catch composition. The higher importance of the factor year:quarter and year:area in shortfin mako CPUE suggests an important and variable fluctuation in the spatiotemporal distribution of the species, from one year to the other.

In terms of model interpretation, models coefficients and respective effects presented in **Figure 5 and 6**, some interpretations can be taken with regards to the effects of the explanatory variables in the expected shortfin mako catch rates. In terms of seasonality it is expected for the fishery to have lower catch rates of shortfin mako during the quarter 1 (baseline), while higher catch rates are expected during the other quarters, specifically with highest catches during quarter 3 and 4. With regards to the environmental variables, higher catch rates are expected with decreasing SST. In terms of spatial variables, the expected catch rates increase towards area 2.

The standardized CPUE series shows a gradual increasing trend, particularly after the year 2000 (**Table 4 and Figure 7**). The reason for such a trend is not clear and could result from a number of factors, including those already noted in the 2008 assessment report, i.e.: an actual increase in abundance, an increase in catchability, a change in the fishing strategy or an improvement in data reporting for this species. Based exclusively on the present data, it is not possible to infer any of these potential reasons. The increasing trend noted in 2012, based on data spanning up to 2010, seems to be confirmed by the present results. A comparison with the trends shown in recent years by other fleets in this same ocean basin, e.g. Japanese, Chinese Taipei, Spanish, might confirm if this is a general trend or a behavior peculiar to the Brazilian fleet. Unfortunately, due to several problems faced by the country with regard to its fisheries statistics, it was not possible to update the Brazilian CPUE series up to more recent years, i.e. 2015 or, at least, 2014. Efforts, however, are on the way and hopefully more recent data will be made available, before the 2017 assessment.

## REFERENCES

- Amorim, A. F E Arfelli, C. A. 1984. Estudo biológico pesqueiro do espadarte, *Xiphias gladius* Linnaeus, 1758, no sudeste e sul do Brasil (1971 a 1981). B. Inst. Pesca, São Paulo, 11(único):35-62.
- Bates, D.; Maechler, M.; Bolker, B.; Walker, S. 2016. lme4: Linear Mixed-Effects Models using 'Eigen' and S4. R package version 1.1-11. <https://cran.r-project.org/web/packages/lme4>.

- Carvalho, F.; Murie, D.; Hazin, F. H. V.; Hazin, H.; Leite-Mourato, B.; Travassos, P.; Burgess, G. Catch rates and size composition of blue sharks (*Prionace glauca*) caught by the Brazilian pelagic longline fleet in the southwestern Atlantic Ocean. *Aquat. Living Resour.*, 23: 373-385, 2010.
- Hazin, H. G.; Hazin, F. H. V.; Travassos, P.; Carvalho, F. C.; Erzini, K. 2007. Standardization of Swordfish CPUE series caught by Brazilian longliners in the Atlantic Ocean, by GLM, using the targeting strategy inferred by cluster analysis. *Col. Vol. Sci. Pap., ICCAT, Madrid*, 60(6): 2039-2047.
- Kuznetsova, A.; Brockhoff, P. B.; Christensen, R. H. B. 2016. lmerTest: Tests in Linear Mixed Effects Models. R package version 2.0-30. <https://cran.r-project.org/web/packages/lmerTest>.
- Lenth, R. 2016. lsmeans: Least-Squares Means. R package version 2.23. <https://cran.r-project.org/web/packages/lsmeans>.
- Mourato, B., Arfelli, C., Amorim, A., Hazin, H., Carvalho, F., Hazin, F. 2011. Spatio-temporal distribution and target species in a longline fishery off the southeastern coast of Brazil. *Braz. j. oceanogr.* vol.59, **no.2**, São Paulo.
- R Core Team. 2016. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0. <http://r-project.org/>.
- Stefánsson, G. 1996, Analysis of groundfish survey abundance data: combining the GLM and delta approaches. *ICES Journal of Marine Science*, 53: 577-588.
- Wickham, H.; Francois, R. 2015. dplyr: A Grammar of Data Manipulation. R package version 0.4.3. <https://cran.r-project.org/web/packages/dplyr>.
- Wickham, H.; Chang, W. 2016. ggplot2: An Implementation of the Grammar of Graphics. R package version 2.1.0. <https://cran.r-project.org/web/packages/ggplot2>.

Table 1: Catch and effort information of the Brazilian longline fleet from 1978 to 2012.

<b>Year</b>	<b>Positive</b>	<b>Zero</b>	<b>% of zero</b>
1978	41	408	90.9
1979	21	389	94.9
1980	73	458	86.3
1981	29	436	93.8
1982	66	811	92.5
1983	31	576	94.9
1984	59	649	91.7
1985	63	394	86.2
1986	120	843	87.5
1987	58	820	93.4
1988	177	1030	85.3
1989	100	911	90.1
1990	16	274	94.5
1991	109	786	87.8
1992	70	1030	93.6
1993	5	258	98.1
1994	114	960	89.4
1995	192	1760	90.2
1996	69	911	93.0
1997	87	1658	95.0
1998	601	2013	77.0
1999	412	4832	92.1
2000	412	7566	94.8
2001	781	8929	92.0
2002	1137	5401	82.6
2003	543	2733	83.4
2004	1074	4133	79.4
2005	882	3064	77.6
2006	770	2107	73.2
2007	622	1883	75.2
2008	251	1272	83.5
2009	311	1643	84.1
2010	115	646	84.9
2011	286	764	72.8
2012	1107	1920	63.4

Table 2: Deviance analysis table of positive catch rates (Lognormal) and proportion of positive sets (Binomial) models.

<b>Model</b>	<b>Deviance</b>	<b>Change in deviance</b>	<b>% of total deviance</b>
<b><i>Positive catch rates</i></b>			
Null	8952.03	NA	NA
Y	7518.00	1434.03	52.3
Y + S	7400.48	117.52	4.3
Y + S + Q	7265.40	135.08	4.9
Y + S + Q + A	7130.34	135.06	4.9
Y + S + Q + A + SST	7089.03	41.32	1.5
Y + S + Q + A + SST + Y:A	6571.46	517.57	18.9
Y + S + Q + A + SST + Y:Q	6688.40	-116.94	-4.3
Y + S + Q + A + SST + Y:A + Y:Q	6209.59	478.81	17.5
<b><i>Proportion of positive</i></b>			
Null	35773.29	NA	NA
Y	31760.50	4012.79	32.0
Y + S	30022.15	1738.36	13.9
Y + S + Q	29124.13	898.01	7.2
Y + S + Q + A	25639.71	3484.43	27.8
Y + S + Q + A + SST	25395.07	244.64	1.9
Y + S + Q + A + SST + Y:A	23934.62	1460.45	11.6
Y + S + Q + A + SST + Y:Q	24428.23	-493.61	-3.9
Y + S + Q + A + SST + Y:A + Y:Q	23224.81	1203.43	9.6

Table 3: Summary table of analyses of Delta Lognormal Mixed Model formulations for shortfin mako catch rates from Brazilian pelagic longline fisheries from 1978 to 2012.

<b>Model</b>	<b>AIC</b>	<b>BIC</b>	<b>logLink</b>	<b>LHT</b>
<i>Positive catch rates</i>				
Y + S + Q + A + SST + (1   Y:A)	25588.3	25909.0	-12750.2	0.00
Y + S + Q + A + SST + (1   Y:Q)	25888.0	26208.7	-12900.0	1
Y + S + Q + A + SST + (1   Y:A) + (1   Y:Q)	25251.6	25579.6	-12580.8	0.01
<i>Proportion of positive</i>				
Y + S + Q + A + SST + (1   Y:A)	30305.9	30633.0	-15110.0	0.00
Y + S + Q + A + SST + (1   Y:Q)	30968.2	31295.3	-15441.1	1
Y + S + Q + A + SST + (1   Y:A) + (1   Y:Q)	29922.6	30257.3	-14917.3	0.00

Table 4: Nominal and standardized index of relative abundance of shortfin mako caught by Brazilian pelagic longline fishery fleet between the years of 1978 to 2012.

Year	CPUE		LCI index	UCI index	CV	Scaled index	LCI	UCI index scaled	Scaled CPUE
	nominal	index					index scaled		
1978	0.051	0.013	0.082	0.002	0.506	0.111	0.718	0.016	0.178
1979	0.031	0.007	0.064	0.001	0.548	0.061	0.556	0.006	0.109
1980	0.118	0.033	0.244	0.004	0.542	0.290	2.130	0.036	0.411
1981	0.056	0.010	0.086	0.001	0.538	0.087	0.752	0.010	0.194
1982	0.060	0.010	0.081	0.001	0.529	0.088	0.712	0.011	0.209
1983	0.032	0.006	0.054	0.001	0.538	0.054	0.471	0.006	0.113
1984	0.132	0.040	0.188	0.008	0.429	0.353	1.640	0.073	0.461
1985	0.157	0.058	0.264	0.012	0.439	0.510	2.305	0.105	0.549
1986	0.122	0.044	0.191	0.010	0.425	0.384	1.670	0.083	0.427
1987	0.061	0.021	0.103	0.004	0.432	0.186	0.896	0.037	0.212
1988	0.194	0.075	0.312	0.017	0.429	0.654	2.730	0.145	0.677
1989	0.133	0.059	0.259	0.012	0.428	0.512	2.264	0.109	0.464
1990	0.319	0.131	1.145	0.013	0.587	1.141	10.008	0.115	1.113
1991	0.126	0.043	0.232	0.008	0.477	0.376	2.028	0.066	0.439
1992	0.048	0.052	0.237	0.011	0.438	0.459	2.067	0.095	0.167
1993	0.025	0.015	0.187	0.001	0.633	0.133	1.635	0.010	0.087
1994	0.127	0.077	0.328	0.017	0.430	0.674	2.862	0.148	0.442
1995	0.186	0.138	0.581	0.030	0.426	1.205	5.079	0.266	0.651
1996	0.175	0.147	0.654	0.030	0.446	1.282	5.716	0.265	0.611
1997	0.121	0.078	0.355	0.016	0.422	0.679	3.101	0.143	0.424
1998	0.244	0.160	0.563	0.039	0.450	1.396	4.916	0.343	0.850
1999	0.162	0.081	0.345	0.018	0.420	0.707	3.013	0.157	0.566
2000	0.088	0.052	0.227	0.012	0.414	0.457	1.981	0.101	0.306
2001	0.195	0.179	0.734	0.041	0.422	1.568	6.418	0.356	0.679
2002	0.318	0.210	0.826	0.048	0.430	1.833	7.215	0.424	1.111
2003	0.483	0.246	0.947	0.057	0.436	2.150	8.277	0.502	1.686
2004	0.364	0.271	0.940	0.067	0.451	2.367	8.210	0.588	1.272
2005	0.488	0.163	0.612	0.039	0.438	1.423	5.343	0.337	1.702
2006	0.872	0.158	0.610	0.037	0.435	1.380	5.327	0.322	3.043
2007	0.989	0.200	0.757	0.047	0.438	1.744	6.619	0.410	3.452
2008	1.632	0.227	0.915	0.051	0.433	1.983	7.995	0.448	5.697
2009	0.504	0.191	0.744	0.044	0.435	1.669	6.505	0.386	1.760
2010	0.342	0.194	0.793	0.042	0.451	1.694	6.927	0.368	1.193
2011	0.321	0.394	1.235	0.102	0.484	3.446	10.792	0.891	1.122
2012	0.751	0.223	0.790	0.054	0.449	1.945	6.905	0.475	2.621

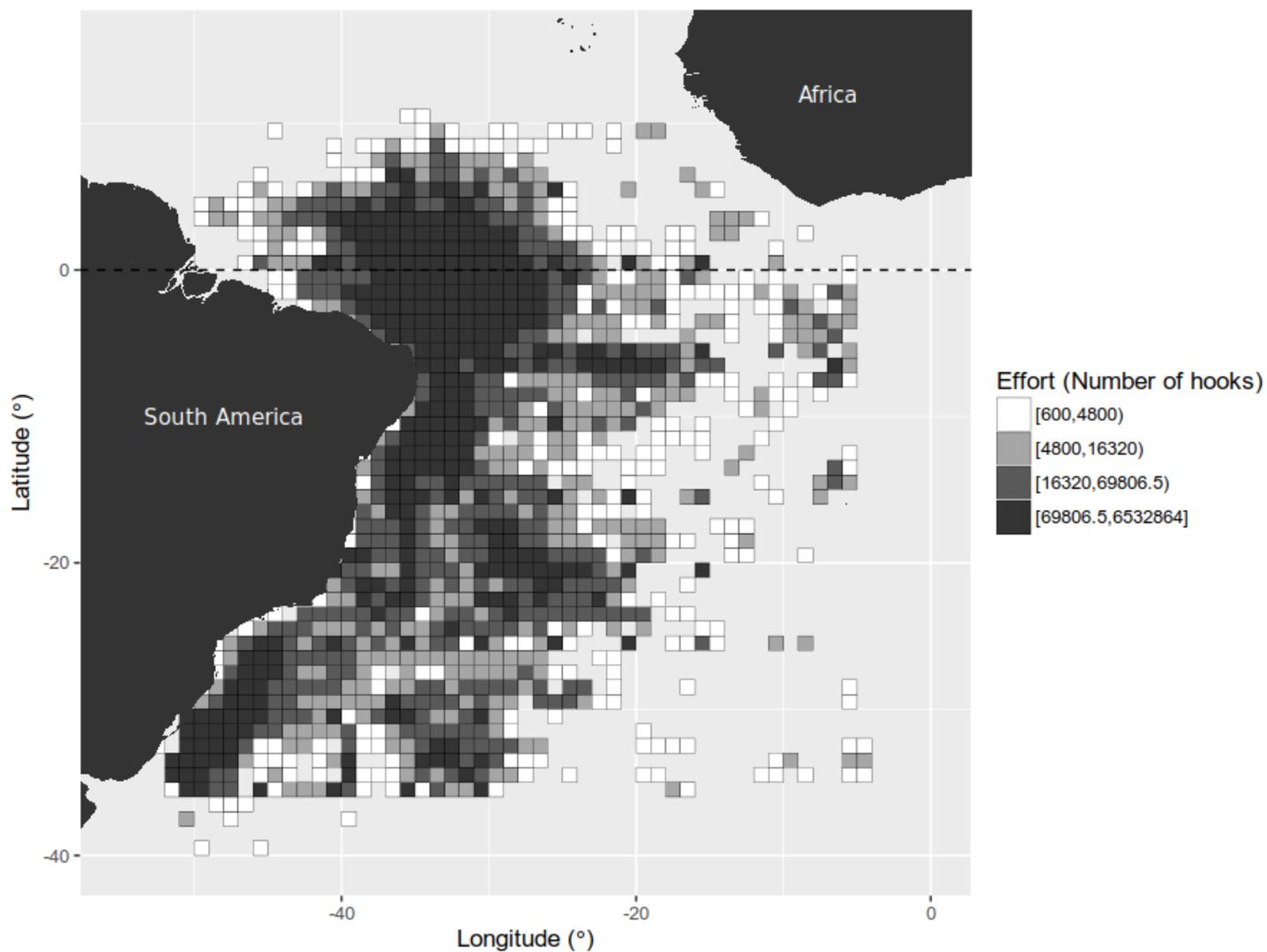


Figure 1: Distribution of the effort done by the Brazilian tuna longline fishery in the Atlantic Ocean from 1978 to 2012 (35 years).

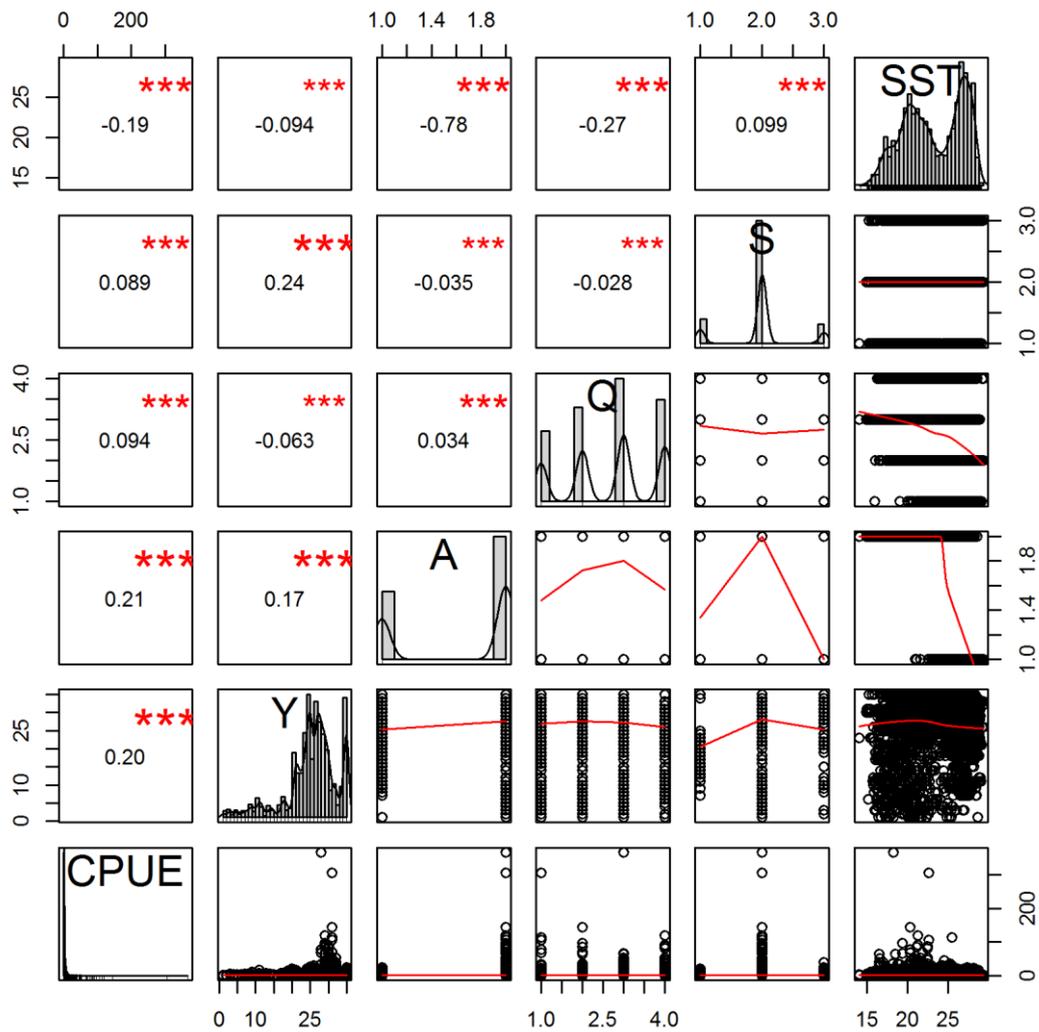


Figure 2- Scatterplots matrices with the relationships between shortfin mako CPUE and the candidate continuous explanatory variables used diagonal panels show the scatterplots with smooth lowess regression lines.

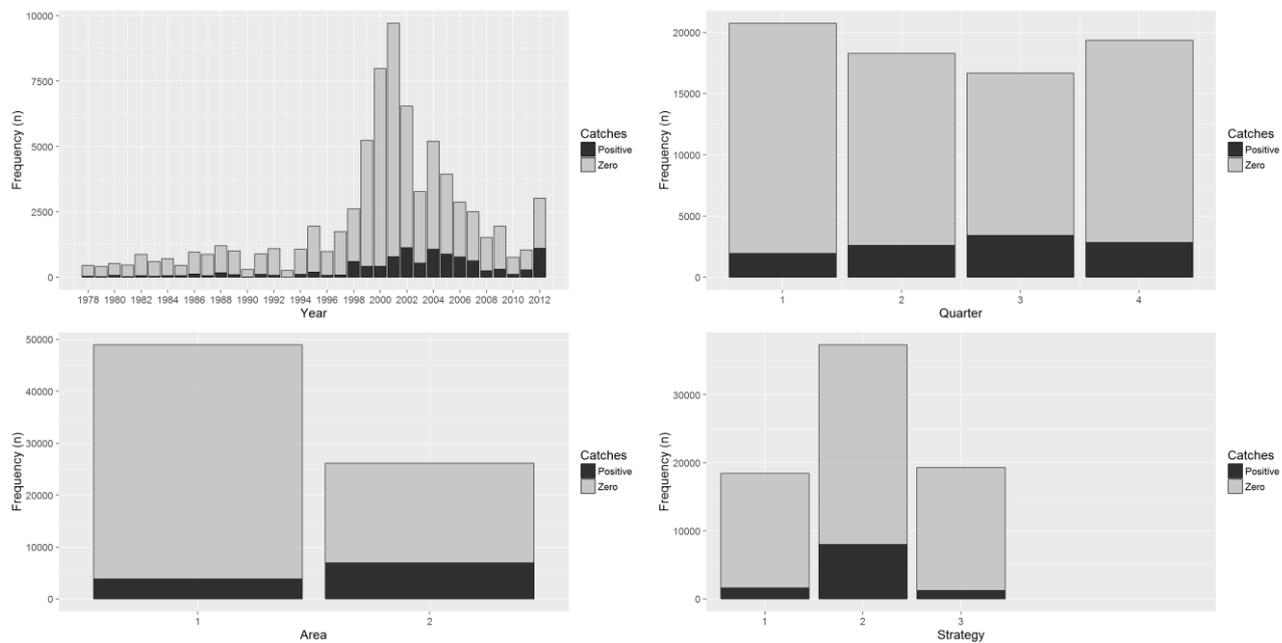


Figure 3: Proportion of positive captures and negative sets by year, quarter, area and strategy.

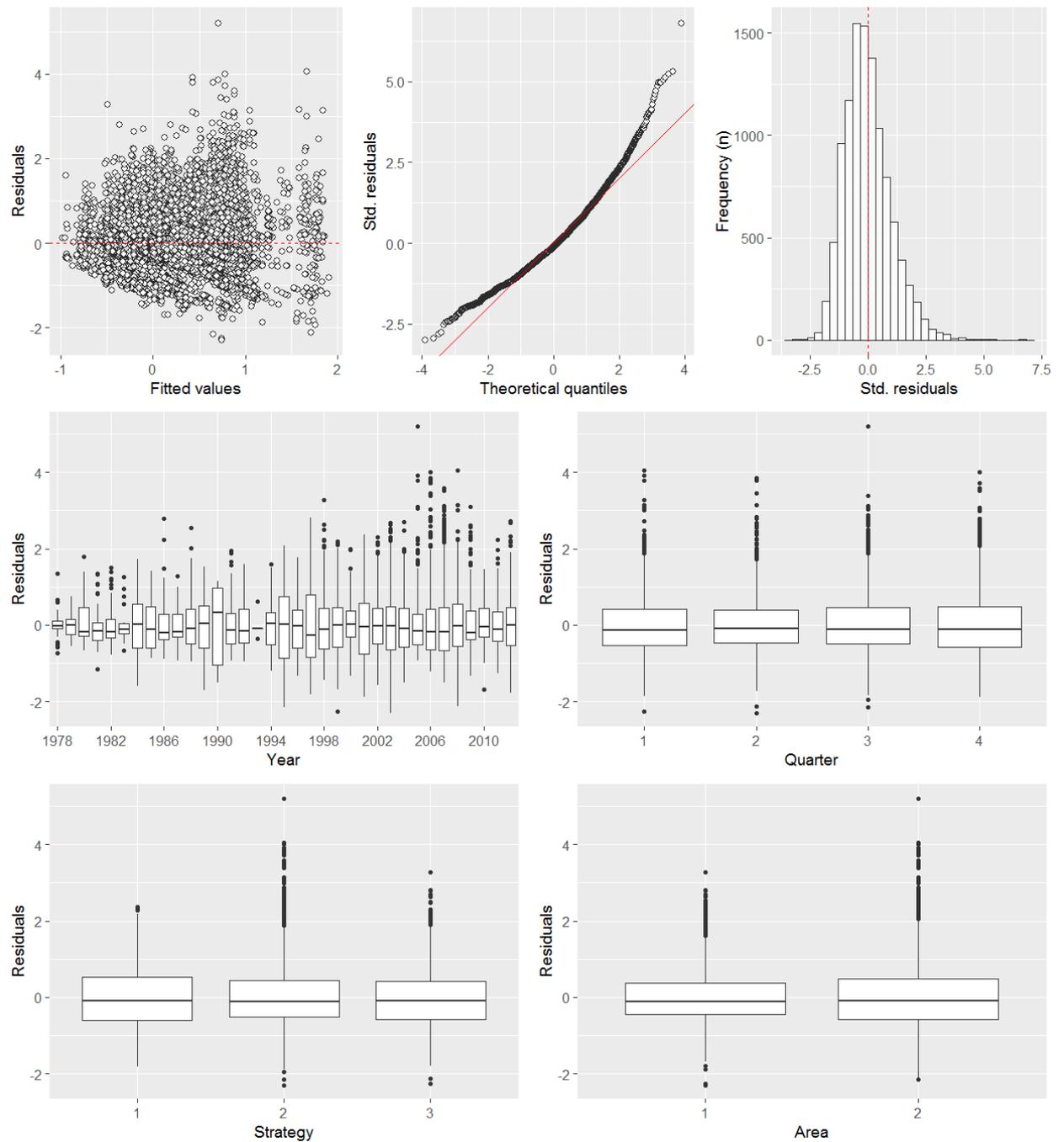
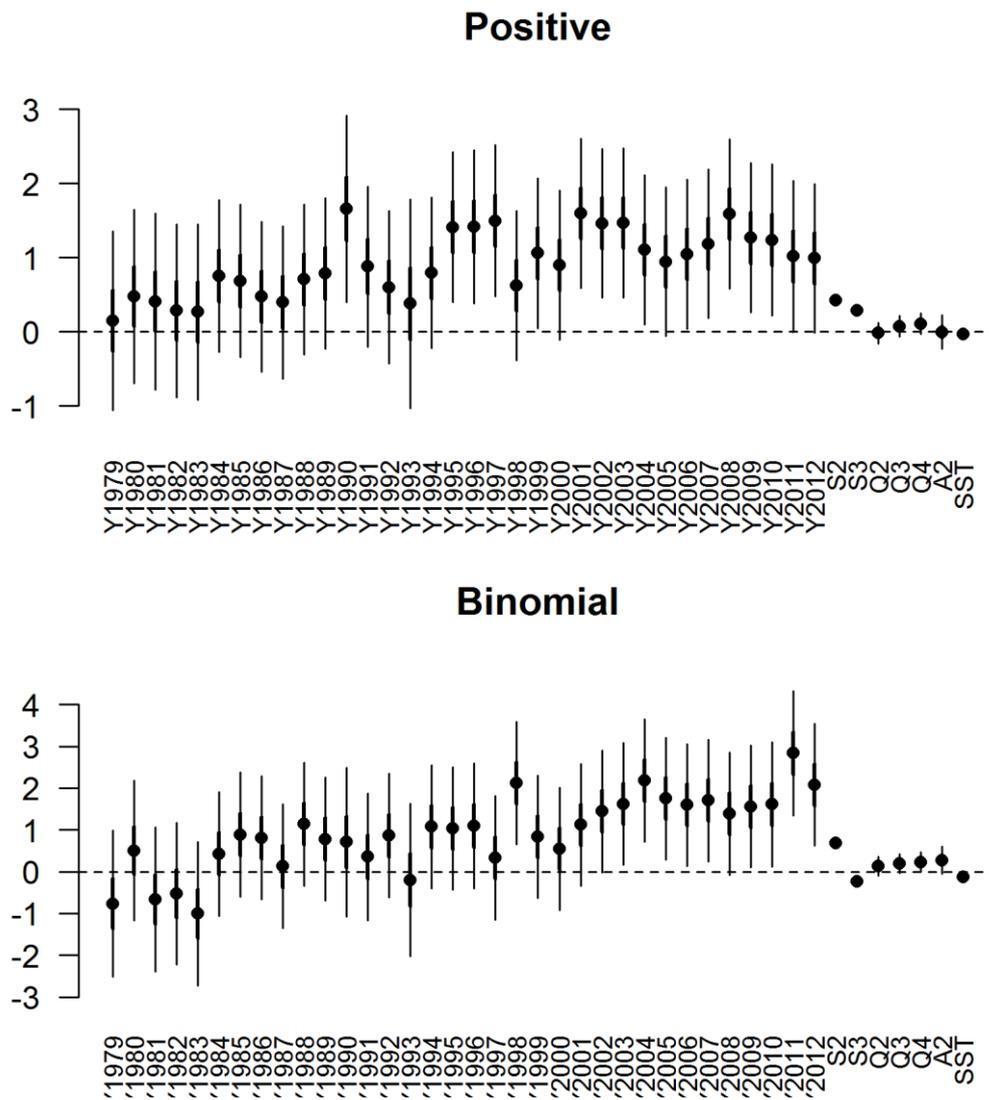
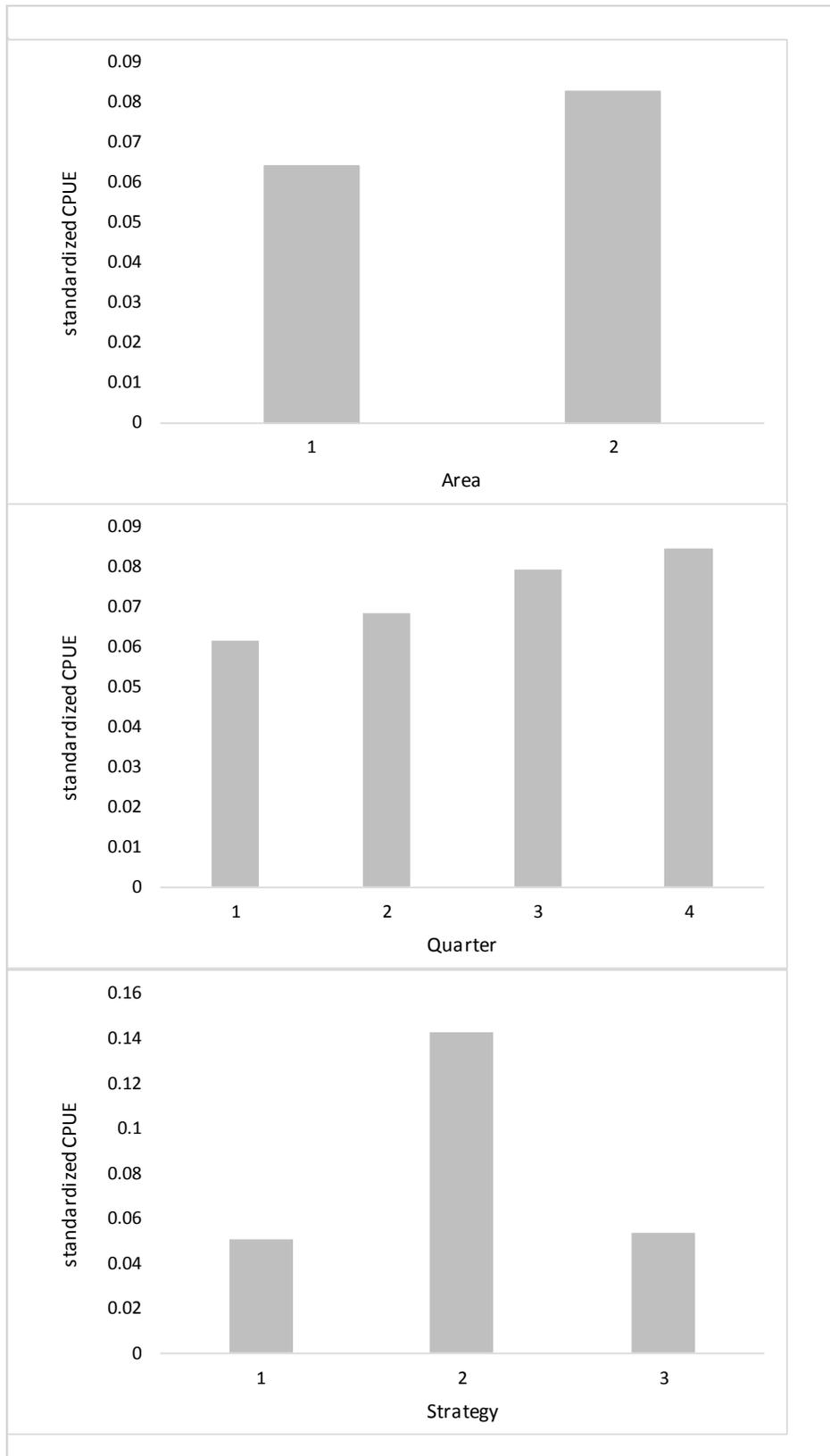


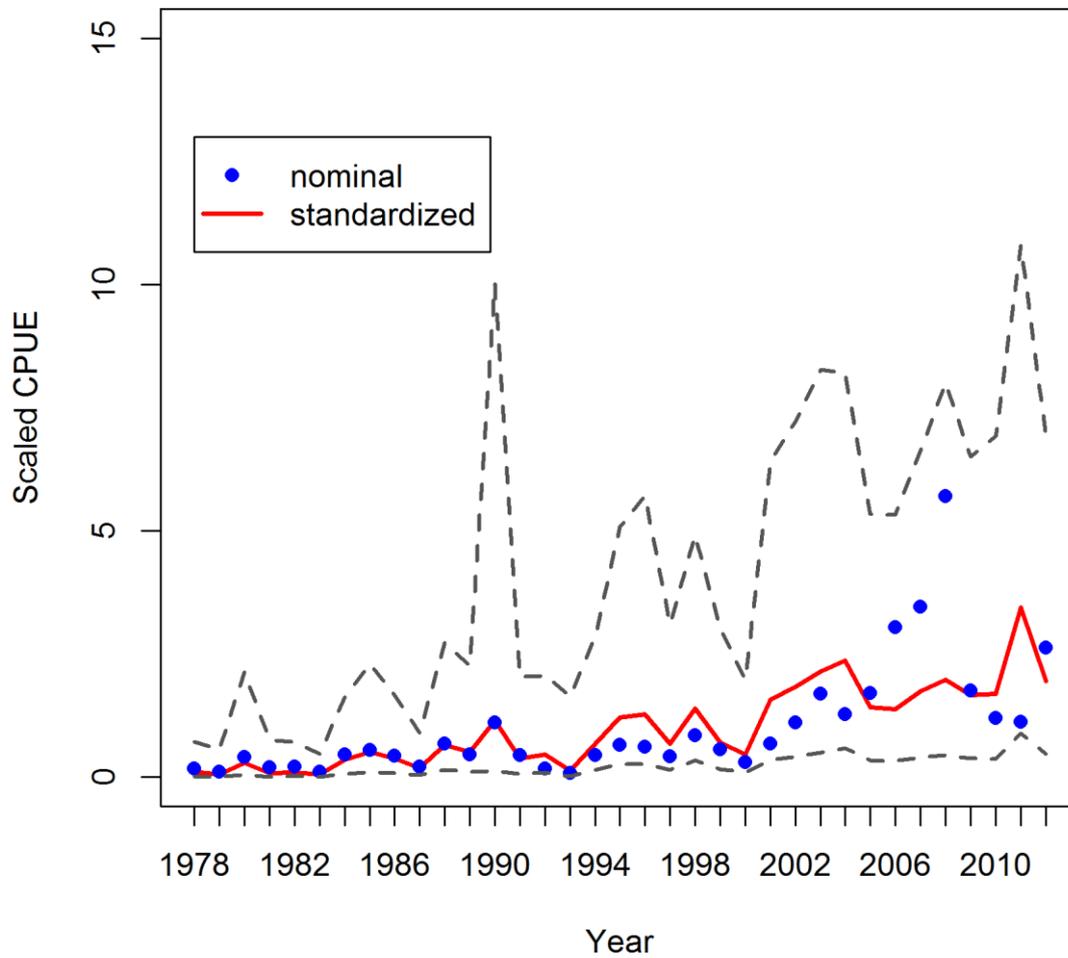
Figure 4: Residual analysis of the Lognormal model fitting of shortfin mako caught by the Brazilian tuna longline fleet 1978 to 2012.



**Figure 5-** Parameter estimates for predicting shortfin mako catch rates in the Southern Atlantic Ocean. For each parameter it is indicated the point estimate, the 50% (thick lines) and the 95% (thin lines) confidence intervals.



**Figure 6-** CPUE standardized by factors to shortfin mako



,0,  
Figure 7: Nominal and standardized scaled CPUE of shortfin mako for Brazilian tuna longliners from 1978 to 2012.

## 4.2- Artigo científico II

### **Distribuição espaço temporal das capturas do *Isurus oxyrinchus*, (Rafinesque, 1810) em relação às variáveis ambientais e climáticas no oceano atlântico sul equatorial**

#### **Introdução**

O *Isurus oxyrinchus*, mais conhecido como tubarão mako ou anequim, é um tubarão epipelágico pertencente à família Lamnidae relativamente frequente nos oceanos Pacífico, Índico e Atlântico. Ocupa áreas tropicais e temperadas, sendo uma considerada uma espécie altamente migradora. Habita, preferencialmente, regiões oceânicas e eventualmente chega próximo à costa, ocupa praticamente todos os mares entre as coordenadas de 50 ° N e 50 ° S, ocorrendo no nordeste do Atlântico até 60° (STEVENS, J.D. 2008, EBERT e STEHMANN, 2013).

Em 2014, último ano com estatística disponíveis, no oceano atlântico, foi capturado 6.058 t, representando 0,85% em relação ao total capturado, sendo 95% das capturas provenientes do espinhel (ICCAT, 2015). Mesmo não sendo alvo das pescarias, no atlântico sul, suas capturas foram relativamente altas 5,6% (ICCAT, 2015), em função alto valor comercial que sua carne fornece, diferentemente da maioria dos tubarões, em que apenas as barbatanas são os subprodutos aproveitados (CLARKE, 2004).

Esse alto índice de captura, associado à aguda carência de informações sobre a biologia da espécie capturada, é extremamente preocupante em razão dos possíveis impactos da pesca sobre as suas populações, preocupação está agravada pela dificuldade de se realizar uma adequada avaliação da condição dos seus estoques, em razão da falta de informações básicas, não somente biológicas, mas de captura e esforço de pesca, ambientais, distribuição horizontal e vertical, uso do habitat, efeitos de mudanças climáticas, conforme constatado pelo Comitê Permanente de Pesquisa e Estatística (SCRS) da ICCAT (Comissão Internacional para a Conservação do Atum Atlântico).

Com relação às condições ambientais, Brill e Lutcavage (2001) comentaram que a inclusão das variáveis ambientais nas análises de distribuição e abundância contribui para o melhor ajuste dos modelos. Muitas espécies, em particular os grandes migradores, como os atuns, agulhões e tubarões, possuem um ciclo de vida estritamente relacionado com as condições ambientais, as quais, por conseguinte, influenciam a

disponibilidade e vulnerabilidade dos recursos explorados (SHARP, 1978; HINTON E DERISO, 1998).

Outro ponto importante que deve ser considerado é relativo aos efeitos das mudanças climáticas globais nos ecossistemas marinhos (WALTHER et al., 2002). Além do aquecimento da temperatura superficial do oceano, alterações em correntes oceânicas e na profundidade da camada de mistura, os efeitos em cadeia incluem alterações na produção primária e secundária, mudanças nas áreas de distribuição e na abundância relativa das espécies, entre outras (COCHRANE et al., 2009). Impactos na atividade pesqueira decorrem de alterações na disponibilidade dos recursos pesqueiros, em razão do deslocamento das áreas de distribuição e mudanças na abundância relativa das espécies alvo das pescarias e pelo incremento de eventos climáticos extremos que reduzem o acesso aos recursos (BADJECK et al., 2010). O deslocamento das áreas de distribuição das espécies pode ainda elevar capturas acidentais, comprometer a efetividade das medidas de manejo dos recursos pesqueiros e até mesmo frustrar iniciativas de manejo ecossistêmico, como o estabelecimento de áreas marinhas protegidas.

Diante da necessidade de uma melhor compreensão sobre a distribuição e os fatores ambientais sobre a captura do mako, o presente trabalho pretende contribuir para geração de novas informações, principalmente no que se refere à variação espaço-temporal da espécie *Isurus oxyrinchus*, assim como os efeitos das variações climáticas na pesca.

## **Material e métodos**

### **Aquisição dos dados**

O presente trabalho analisou dados da pesca de atuns e afins oriundos das frotas arrendadas e nacionais espinheiras que operam no Atlântico Sul e Equatorial. A área de estudo compreendeu a zona pelágica oceânica do Atlântico, situada entre as latitudes de 10°N e 50°S e entre 0° de longitude e a costa da América do Sul (Figura 1). Os dados referentes aos lançamentos, área de pesca, esforço e captura foram obtidos através dos mapas de bordo das embarcações sediadas no Brasil, no período de 1978 a 2012. Como índice de abundância relativa foi utilizada a CPUE, em número de indivíduos, por 1000 anzóis.

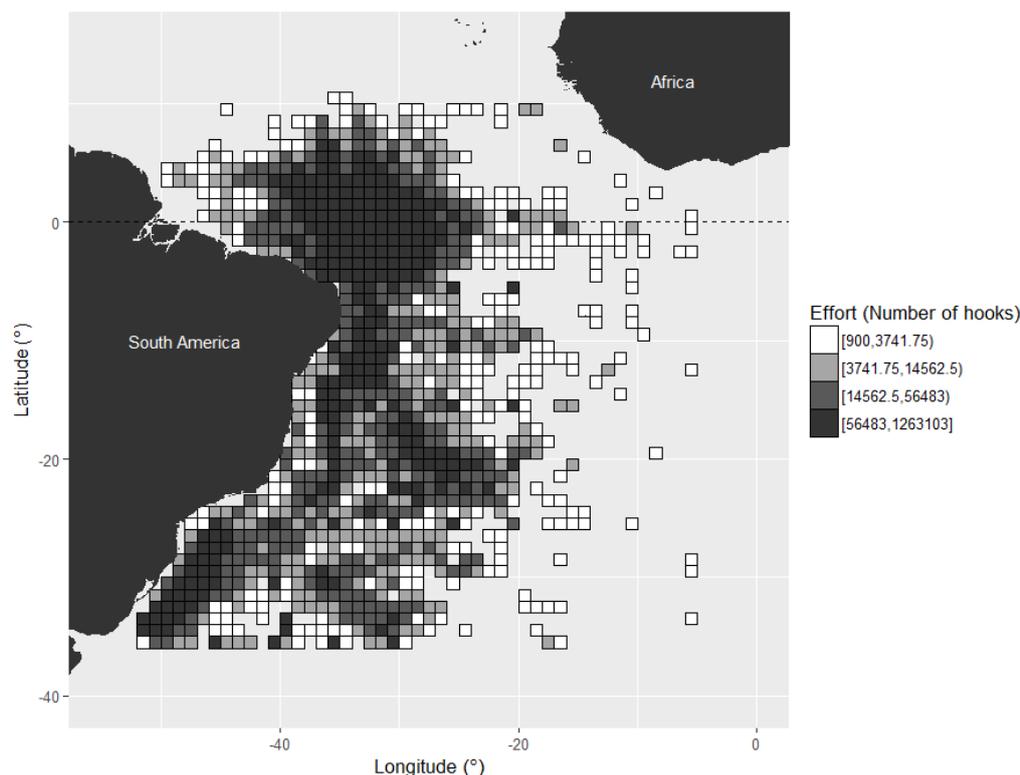


Figura 1- Distribuição espacial do esforço de pesca realizados pela frota brasileira no período de 1978 a 2012.

### Análise dos dados

Devido ao fato da pesca comercial atuar em espaço e tempo pré-definidos pelos recursos que se deseja capturar, eliminando assim a independência dos dados (recolhidos aleatoriamente) (AUGUSTIN et al., 2013), os Modelos Aditivos Generalizados Mistos (GAMMs) foram utilizados com o intuito de analisar a relação entre os fatores ambientais sobre a performance pesqueira (CPUE) do tubarão mako. Os GAMMs são extensões do GLM e combinam propriedades estatísticas de duas estruturas amplamente necessárias em estudos biológicos, nomeadamente modelos mistos lineares, que incorporam efeitos aleatórios e modelos lineares generalizados, que lidam com a não-normalidade dos dados (BOLKER et al., 2008). Nos GAMM, dois tipos de variáveis podem ser consideradas, os efeitos fixos e os efeitos aleatórios, estes últimos normalmente incluem blocos ou estudos observacionais que são replicados em espaço ou tempo, mas podem também englobar variações entre indivíduos, espécies, regiões.

A escolha do que deve ser efeito fixo ou aleatório às vezes pode ser uma escolha conceitual. No presente estudo, optamos por utilizar como variáveis aleatórias a embarcação e a estratégia de pesca (definida por Hazin et al, 2016) uma vez que

conceitualmente a variabilidade nas taxas de captura de tubarão mako entre os barcos pode depender das características intrínsecas de cada frota de pesca, capitão e tripulação, enquanto as outras variáveis explicativas foram consideradas como efeitos fixos. Para a escolha das covariáveis utilizadas no modelo final foi aplicado o método da dupla penalidade (*double penalty approach*) proposto por Marra e Wood (2011), no qual, todas as covariáveis que tenham tendência a zero, ou seja, que a sua função de suavização final seja uma linha com o valor de zero, devem ser retiradas do modelo final. Para o cálculo das funções de suavização foi utilizado o método de REML.

Um total de 14 modelos foram desenvolvidos, onde foram testadas diferentes configurações, com e sem a adição de uma estrutura espaço-tempo. A formulação final do GAMM utilizado pode ser expressa da seguinte forma:

*Modelos com estruturação espaço-tempo:*

$$\mu_{i\text{captura}} = f_1(\text{Latitude}, \text{Longitude}, \text{Mês}) + f_2(\text{TSM}) + \text{Ano}_{(i)} + v_{k(i)} + \text{offset}(\log(\text{esforço})),$$

*Modelos com estrutura espaço*

$$\mu_{i\text{captura}} = f_3(\text{Latitude}, \text{Longitude}) + f_4(\text{TSM}) + f_5(\text{Mês}) + \text{Ano}_{(i)} + v_{k(i)} + \text{offset}(\log(\text{esforço})),$$

*Modelos sem estrutura espaço-tempo*

$$\mu_{i\text{captura}} = f_3(\text{Latitude}) + f_3(\text{Longitude}) + f_4(\text{TSM}) + f_5(\text{Mês}) + \text{Ano}_{(i)} + v_{k(i)} + \text{offset}(\log(\text{esforço}))$$

onde,  $\mu_i = E(y_i)$  e  $y_i$  é parte de uma distribuição de Tweedie (DUNN e SMYTH, 2005; TWEEDIE, 1984) com variância  $\sigma \mu_i^p$ . A distribuição Tweedie foi escolhida devido a sua capacidade de lidar com dados contínuos contendo grandes quantidades de zeros (82,5%) (TWEEDIE, 1984). A variável Ano, em ambos os modelos, representa o fator ano em  $i^{\text{th}}$ ,  $f_2$  a  $f_5$  são funções suavizadoras das covariáveis: Latitude, Longitude, Mês, Temperatura da Superfície da Água do Mar.  $v_{k(i)}$  é o efeito da variável aleatória Frota.  $f_1$  é o tensor suavizador tri-dimensional, onde o espaço (Latitude, longitude) é modelado com um suavizador isotrópico (*soap films* e *thin plate regression splines*) e o tempo (Mês) com um suavizador *cubic regression spline* (WOOD et al, 2008). A inclusão desse tensor é importante já que não há escalonamento natural do espaço contra o tempo (AUGUSTIN et al., 2009). O valor do parâmetro  $p$ , que exhibe a maximização da verossimilhança, analisado nesta distribuição, foi estimado em 1,34, que demonstra uma composição entre as distribuições de Poisson e Gamma.

A acuracidade do modelo foi avaliada utilizando-se *n-fold* validação cruzada onde: (1) todos os dados foram divididos em sub conjuntos aleatoriamente (2) foram

calculados os valores previstos ocultando-se os observados de cada sub-conjunto. Em seguida foi utilizado o coeficiente de correlação entre os valores observado e o correspondente valores previstos para a validação cruzada do modelo candidato.

Um total de 9 cenários de acréscimo da TSM (0.5°C, 1.0°C, 1.5°C, 2.0°C, 2.5°C, 3.0°C, 3.5°C, 4.0°C), foram simulados de forma a verificar a influência da mesma no comportamento espacial do tubarão mako. Os valores de acréscimo atribuídos a TSM foram uniformes para toda área de pesca. O percentual de redução (PR) para cada cenário foi calculado através da formula:  $PR = \sum ((P - O)/O) * 100$ , onde  $P$  é o valor predito (simulado) e  $O$  é valor observado do cenário atual.

## Resultados

### Seleção do modelo e validação

Dentre os 14 modelos testados, os menores valores da RQMEP foram observados nos modelos com estruturação espaço-tempo considerando os limites de fronteira (soap films) (Tabela 1). O melhor modelo foi o de número 14 que apresentou o menor valor de RQMEP (1,69) explicando mais 49% da variância final do modelo.

Tabela 1 – Sumário dos resultados dos modelos. DE= deviance explicada; RQMEP=Raiz quadrada do erro medio de previsão; SO= Suavisador Soap films; TPRS= Suavisador thin plate regression splines.

Estrutura dos modelos	DE	RQMEP	SO	TPRS	Knots
(Embarcação,bs="re")+s(tsm)+s(lat)+s(lon)+s(mes)+s(Ano)	31.64%	7.32			
(Embarcação,bs="re")+s(tsm)+s(lon,lat)+s(mes)+s(Ano)	32.11%	5.20			
(Embarcação,bs="re")+s(tsm)+s(lon,lat,k=100)+s(mes)+s(Ano)	34.37%	5.60			
(Embarcação,bs="re")+s(tsm)+s(lon,lat,Ano)+s(mes)	34.95%	4.98			
(Embarcação,bs="re")+s(tsm)+s(lon,lat,mes)+s(Ano)	36.18%	4.95			
(Embarcação,bs="re")+s(tsm)+s(lon,lat,Ano,mes)	36.48%	4.97			
(Embarcação,bs="re")+s(tsm)+s(lat)+s(lon)+s(mes)+s(Ano)	31.66%	3.50			x
(Embarcação,bs="re")+s(tsm)+s(lon,lat)+s(mes)+s(Ano)	31.87%	3.53			x
(Embarcação,bs="re")+s(tsm)+s(lon,lat,k=100)+s(mes)+s(Ano)	34.46%	2.28			x
(Embarcação,bs="re")+s(tsm)+s(lon,lat,Ano,bs=c("tp","cr"))+s(mes)	34.95%	1.89		x	x
(Embarcação,bs="re")+s(tsm)+s(lon,lat,mes,bs=c("tp","cs"))+s(Ano)	36.18%	1.96		x	x
(Embarcação,bs="re")+s(tsm)+s(lon,lat,Ano,mes,bs=c("tp","cs"))	36.48%	1.92		x	x
(Embarcação,bs="re")+te(lon,lat,mes,bs=c("so","cs"))+s(tsm)	49.15%	1.95	x		x
(Embarcação,bs="re")+s(tsm)+te(lon,lat,mes,bs=c("so","cs"))+Ano	49.72%	1.69	x		x

Todas as variáveis do modelo foram significativas (teste F,  $p < 0,05$ ). Por ordem de importância e explicação na variação da CPUE, interação entre “longitude, latitude e mes” explicou 50% do total da variância explicada do modelo final, a variável temperatura da superfície do mar explicou 38% e variável ano com 12%.

As análises dos resíduos do modelo tweedie demonstram que os valores se distribuem homocedasticamente e sua maior parte em torno de zero, indicando que o modelo ajustado não apresenta viés. Contudo, observa-se pequenas discrepâncias entre os quantis residuais e o quantis residuais normalizados, com valores extremos aparecendo somente na extremidade positiva (Figura 2), indicando que os pressupostos assumidos para a distribuição da variável resposta (erro) e a função de ligação foram aceitáveis.

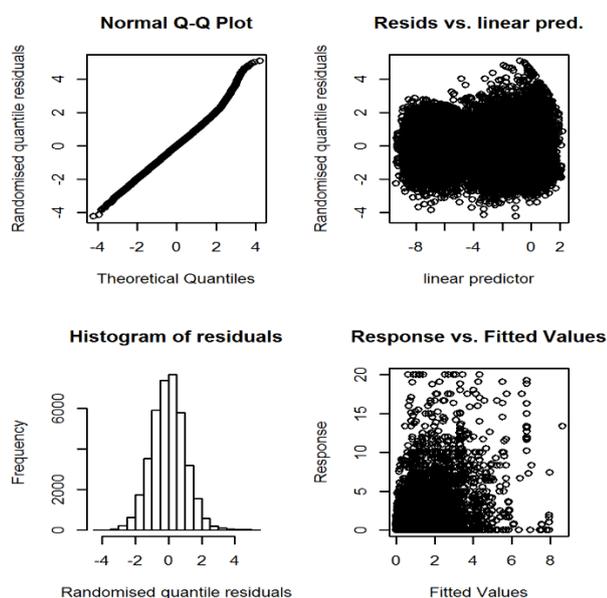


Figura 2- Distribuição dos resíduos e QQ plot do modelo final ajustado aos dados de CPUE do Mako, capturado por espinheiros brasileiros no Oceano Atlântico Sul e Equatorial utilizando a distribuição Tweedie.

### Efeito da TSM na captura

O efeito da temperatura da superfície da água do mar (TSM) na CPUE demonstra uma tendência significativamente positiva a partir de 14°C a 26°C, com os valores mais elevados sendo registrados em 18°C. A faixa ótima para ocorrência e respectivamente aumento da CPUE ocorre entre 17°C e 22°C (Figura 3).

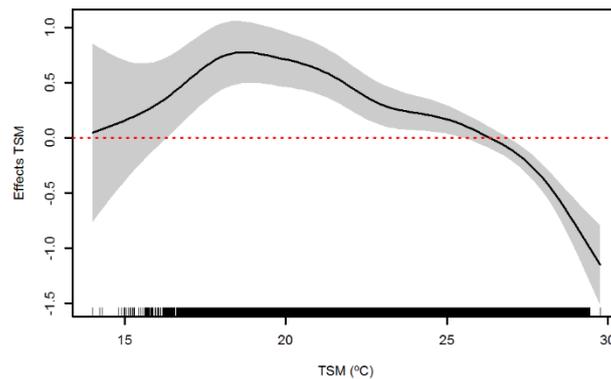


Figura 3- Efeitos da variável TSM na CPUE do Mako capturado por espinheleiros brasileiros no Oceano Atlântico Sul e Equatorial no período de 1978 a 2012.

### **Efeito do Espaço-tempo nas capturas**

Os resultados das análises espaciais do modelo escolhido, demonstra um claro padrão de migração sazonal para o tubarão mako, com sua maior abundância ocorrendo abaixo de 30°S, porém sem correlação com as isotermas. Nos meses de janeiro e fevereiro ocorre a maior abundância de tubarão mako, em águas mais afastadas da costa com a profundidade da camada de mistura (PCM) variando entre 27 e 32 metros. A partir de março sua abundância cai gradativamente, com o aumento da profundidade da camada de mistura chegando a quase nulidade nos meses de maio e junho, quando a PCM atinge os maiores valores. A partir de julho as taxas de captura do mako aumenta gradativamente próximo à costa da região sul do Brasil, migrando para o leste da costa brasileira, para áreas mais oceânicas nos meses de novembro e dezembro, coincidindo com o deslocamento da PCM para 30 m (Figura 4 e 5).

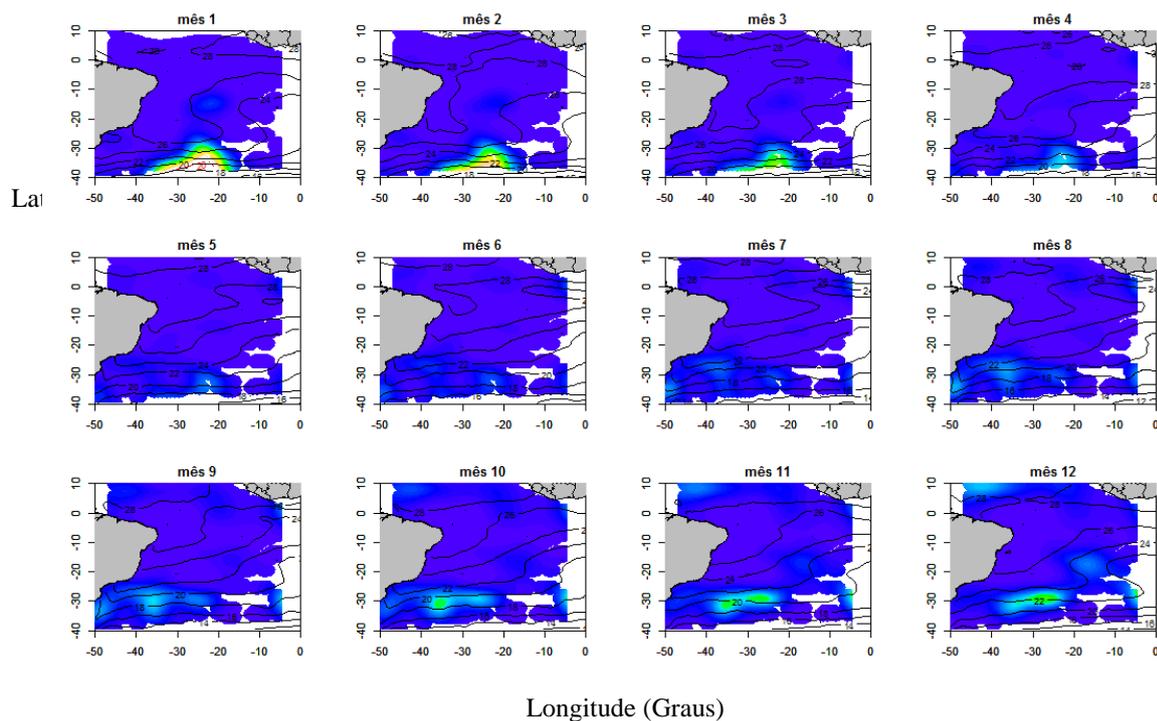


Figura 4- Efeitos da variável espaço-tempo na CPUE do Mako capturado por espinheiros brasileiros no Oceano Atlântico Sul e Equatorial no período de 1978 a 2012. As linhas representam as isotermas.

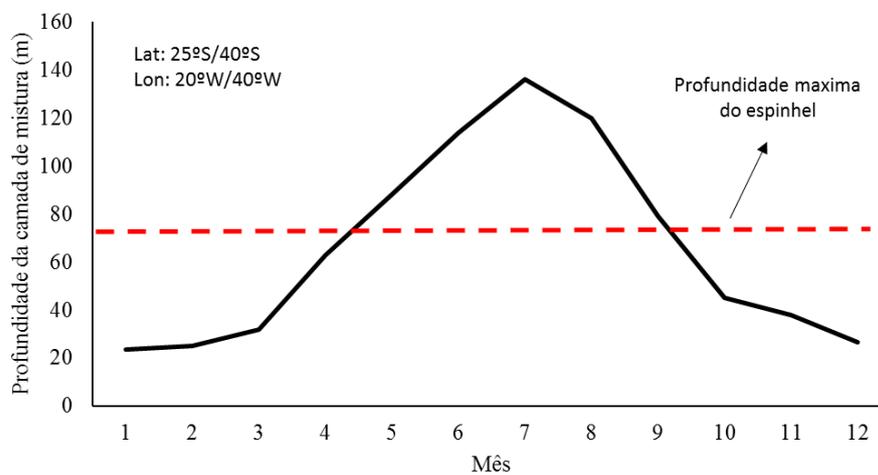


Figura 5- Média da Profundidade da Camada de Mistura (m) por mês para a área de maior abundância do tubarão mako. Linha pontilhada é a profundidade média do espinhel de superfície (Nunes, et. all., *no prelo*)

### Alterações na TSM e seus efeitos na pesca

Baseado nas análises de índices de CPUE e relacionados com a TSM foram propostos 8 cenários (C) além do atual com simulações de elevação da TSM em uma escala de 0,5°C até atingir 4,0°C, em 2100 (*International Panel on Climate Change – IPCC, 2014*). Os cenários simulados de aumento de temperatura do oceano projetaram uma redução na taxa de captura do mako na ordem de 3-5% com o acréscimo de 1°C (C2) na TSM observando uma forte redução da abundância na área equatorial, para os meses de janeiro a março, como as maiores capturas ocorrendo nos meses de junho a outubro e de 15-20% com o acréscimo de 2°C (C4), praticamente fica limitada as latitudes abaixo de 20°C, com abundância aparecendo a partir do mês de maio até outubro (Figura 6, 7 e 8). No cenário C3 (aumento da TSM em 3°C) os percentuais de redução do mako variam entre 25% e 28%, com a abundância se concentrado em uma área limitada compreendida entre 30°S-35°S/40°W-25°W, nos meses julho a agosto. Observa-se, também, um aumento da abundância em direção ao leste. Enquanto que no C8 (aumento da TSM em 4°C) a redução do da taxa de captura pode atingir 96%, e maior abundância ocorrendo restritamente no mês agosto (Figura 6, 7 e 8).

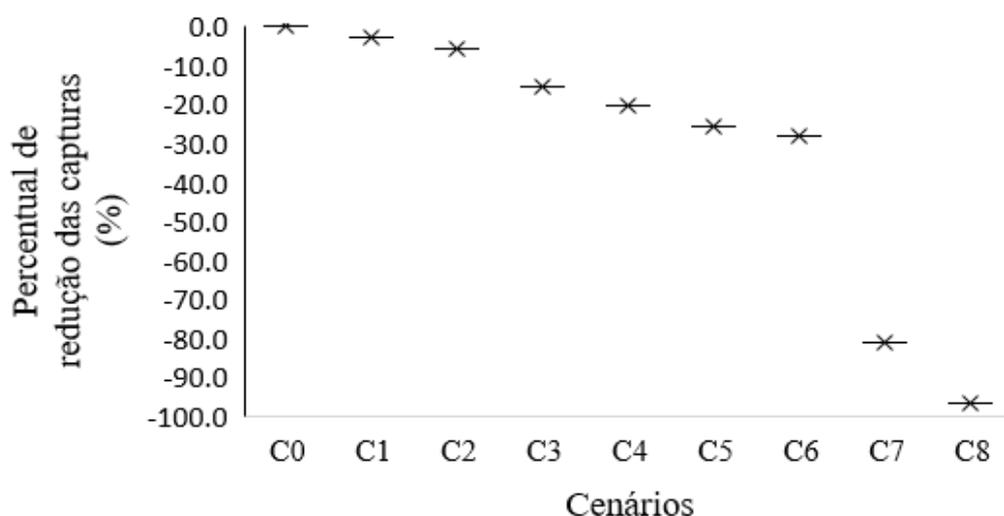


Figura 6- Alterações na TSM e percentual de redução das taxas de captura para o mako capturado por espinheleiros brasileiros no Oceano Atlântico Sul e Equatorial. C0=sem alteração da TSM; C1= TSM+0,5°; C2= TSM+1,0°; C3= TSM+1,5°; C4= TSM+2,0°; C5= TSM+2,5°; C6= TSM+3,0°; C7= TSM+3,5°; C8= TSM+4,0°.

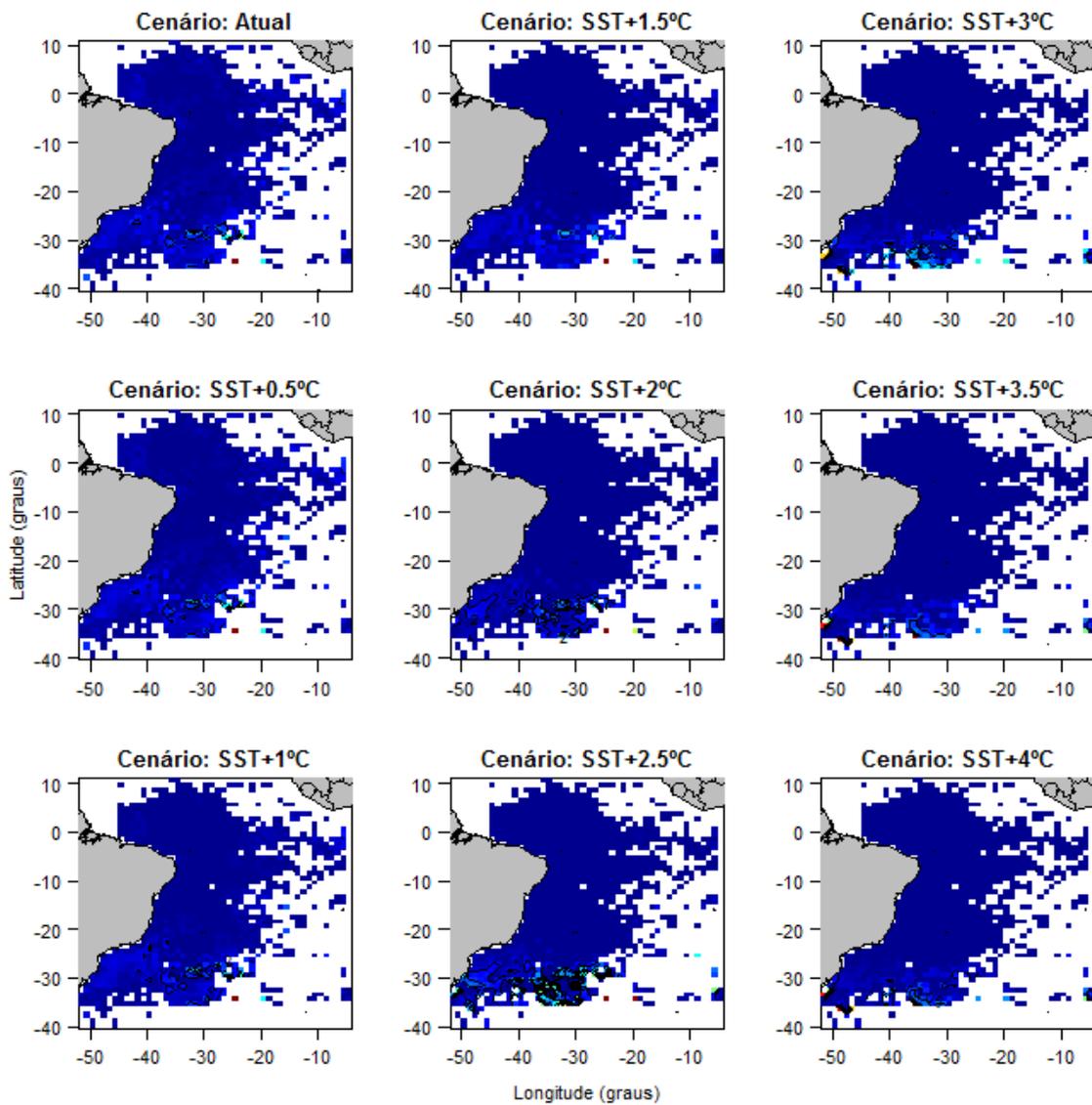


Figura 7- Distribuição espacial das capturas Alterações na TSM e percentual de redução das taxas de captura para o mako capturado por espinheleiros brasileiros no Oceano Atlântico Sul e Equatorial.

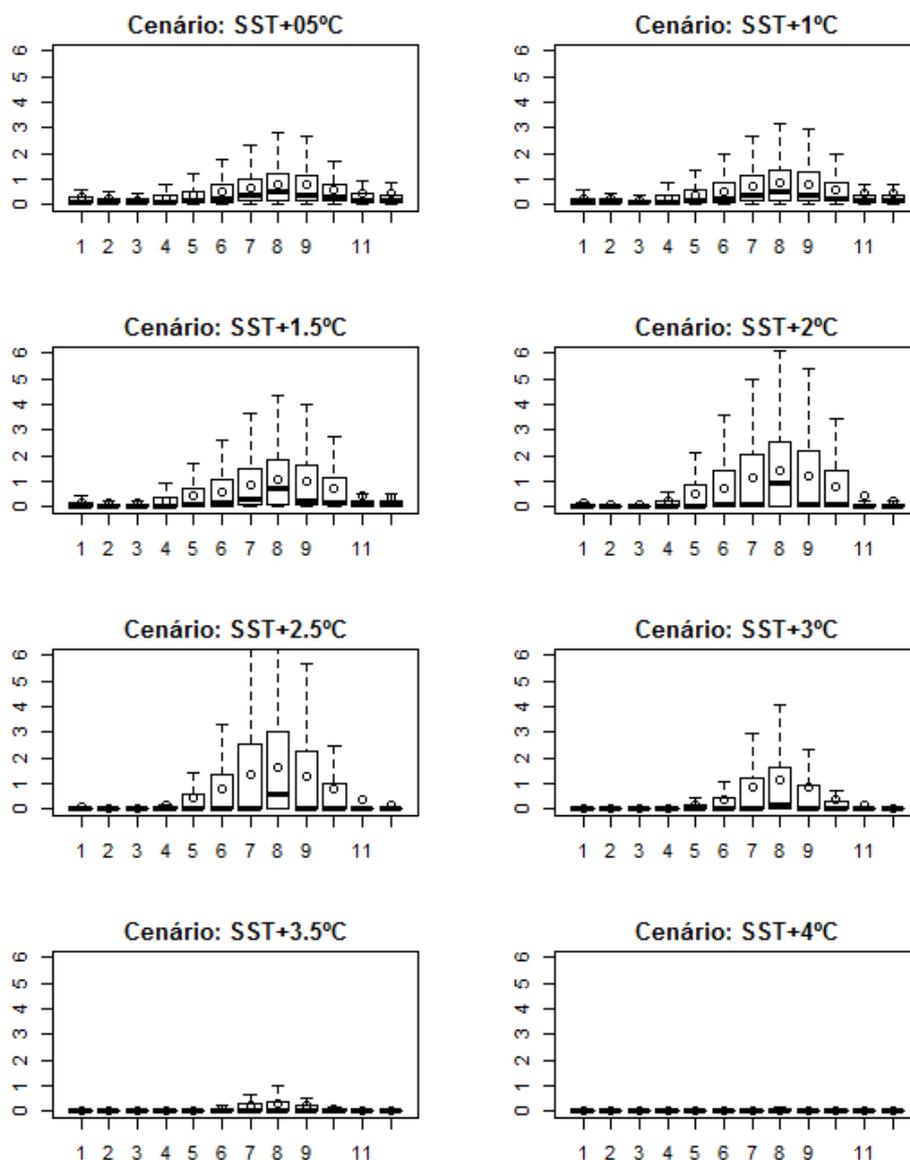


Figura 8- Distribuição temporal das capturas em resposta as alterações na TSM na captura para o mako capturado por espinheleiros brasileiros no Oceano Atlântico Sul e Equatorial.

### Discussão

A identificação de associações significativas entre as espécies pelágicas e as condições ambientais representa um ponto de partida para a interpretação da CPUE como um índice de abundância de espécies altamente migratórias (BRILL & LUTCAVAGE 2001, SCHICK et al., 2004). Uma vez que o desempenho das frotas de espinheleiras é influenciado pela disponibilidade e de vulnerabilidade (RICKER, 1975) dos recursos, em relação ao meio em que vive, para determinar as estratégias de pesca.

Dessa forma, em modelos espaciais é importante não assumir que as capturas em áreas geograficamente vizinhas sejam semelhantes (AUGUSTIN et al., 2013), devido as

características intrínsecas do meio (ex. ressurgências). Esta preocupação é particularmente importante quando um objetivo da análise são as interações espaço-temporais. Os modelos sem especificação de limites de fronteiras são inadequados impor suavidade em toda a área de pesca podendo levar a conclusões incorretas (WOOD et al, 2008), a) Suponha que uma rápida mudança na densidades, os modelos vão tentar acomodar esta mudança brusca, aumentando a flexibilidade dos suavizadores espaço-tempo, e conseqüentemente probabilidade de existência de interação espaço-tempo fora dos limites da área de pesca, mesmo se nenhum estiver presente; b) por outro lado, se o modelo interpreta incorretamente as mudanças bruscas da variabilidade aleatória, resultará em *oversmoothing*, e conseqüentemente diminuirá a probabilidade de detecção da interação, mesmo quando se está presente. Por esse motivo, com a finalidade de evitar esses possíveis erros, foi adicionado o suavizador *soap films* na interação para que não suavize os limites dessas fronteiras.

Os resultados dos modelos mostraram que os modelos com suavizadores *soap films* apresentaram melhor desempenho em relação aos modelos com TPRS, em termos de RQMEP, corroborando com os resultados obtidos por Augustin et al. (2013). O uso do suavizador *soap films* apresenta uma clara vantagem que evita a imposição de áreas espacialmente correspondente, neste caso dependente da TSM. Entretanto, devem-se tomar cuidados, pois os resultados podem ser sensíveis às limitações das fronteiras estabelecidas (WOOD et al., 2008; AUGUSTIN et al., 2013).

Estudos realizados com o auxílio de marcas eletrônicas no Oceano Pacífico (HOLTS e BEDFORD 1993, SEPULVEDA et al., 2004, ABASCAL et al. 2011) e Atlântico Norte (VAUDO, 2016) demonstram que a espécie prefere águas entre 17°C e 22°C de TSM. Runcie et al. (2016) analisando dados de captura e esforço para o Norte do Pacífico observaram um efeito significativo da TSM sobre a CPUE nominal para os tubarões mako em temperaturas acima 18°C. No presente trabalho os resultados mostram que o mako apresenta uma ampla faixa de temperatura, com efeitos positivos sendo observado a partir de 15°C a 25°C e a faixa ótima entorno de 17°C e 22°C, padrão semelhante ao observados em outros oceanos.

O padrão de distribuição do mako no oceano Atlântico Sul não está associado a isoterma de superfície e sim uma consequência da interação entre a profundidade do espinhel e a PCM. A profundidade média de atuação do espinhel de superfície, segundo Nunes et al., (*no prelo*) é de 75 m, assim nos meses mais quentes a PCM apresenta mais rasa, em média 27m de profundidade, tornando o recurso acessível ao espinhel.

Enquanto, nos meses mais frios a média da PCM é igual a 106 m, variando entre 63 e 136 m de profundidade limitando assim a área de atuação do espinhel de superfície ao recurso. Este resultado justifica porque as maiores abundâncias foram observadas no primeiro e quarto trimestre do ano. Padrão oposto parece ocorrer no Atlântico Norte, onde as capturas ocorrem exclusivamente no primeiro e quarto trimestre (CAMPANA et al., 2005), entretanto não foram analisadas qualquer relação entre a profundidade do espinhel e a PCM. Esse resultado apresentado é de extrema importância visto que o impacto do espinhel de superfície pela frota brasileira é minimamente prejudicial ao estoque.

As alterações na TSM afetam as condições do meio, que por sua vez impactam os organismos marinhos e ecossistemas, com consequência direta na pesca (JURADO-MOLINA e LIVINGSTON, 2002). Uma vez que a maioria dos peixes apresentam uma faixa ótima de temperatura, a expansão ou redução nos limites de distribuição das espécies normalmente coincide com mudanças de longo prazo na temperatura do oceano (OTTERSEN et al., 2006). No Atlântico Norte, Vaudo et al., (2016) destacaram em seus estudos uma forte associação entre o uso de habitat do tubarão mako e o aumento da temperatura do oceano pode afetar os comportamentos de tubarões mako. O mesmo autor cita que, o aumento da TSM, pode ocorrer uma expansão da espécie para profundidades maiores, ficando fora da área de atuação do espinhel, gastando menos tempo na superfície e podendo sofrer alterações nos padrões de migrações e sazonalidade.

## 5- Considerações finais

Os resultados apresentados mostram um decréscimo significativo nas taxas de captura do mako à medida que a TSM aumenta e um claro deslocamento a região sul ficando restrito as latitudes entre 20°S e 30°S e nulo acima de 20°S ( $TSM \geq 2^{\circ}C$ ). Em todos os cenários à medida que a temperatura aumenta, observa um estreitamento temporal das capturas para os meses mais frios, ou seja, em épocas normais a abundância ocorreria no primeiro e quarto trimestres do ano. Já em condições simuladas de aumento de TSM indica uma antecipação espaço-temporal da abundância no terceiro trimestre do ano. Apesar do mako não ser alvo da pescaria compartilha o mesmo ambiente com outras espécies de importância comercial e a perda do acesso aos recursos será mais impactante na região equatorial, como mostra o presente trabalho, trazendo consequências econômicas e sociais sem precedentes. Ainda que a magnitude e a velocidade dessas mudanças não sejam comparáveis, é razoável supor que as alterações previstas na distribuição das espécies possam ter consequências semelhantes.

## 6- Referências

ABASCAL, F.J.; QUINTANS, M.; RAMOS-CARTELLE A.; MEJUTO, J.; Movements and environmental preferences of the shortfin mako, *Isurus oxyrinchus*, in the southeastern Pacific Ocean. **Marine Biology** 158: 1175–1184, 2011.

AUGUSTIN, N.H.; MUSIO, M.; VON WILPERT, K.; KUBLIN, E.; WOOD, S.N.; SCHUMACHER, M.; Modelling spatio-temporal forest health monitoring data. **Journal of the American Statistical Association** 104(487): 899–911, 2009.

AUGUSTIN, N.H.; TRENKEL, V.M.; WOOD, S.N.; LORANCE, P. Space–time modelling of blue ling for fisheries stock management. **Environmetrics**, 24: 109–119, 2013.

BADJECK M.; ALLISON E.; HALLS A.; DULVY N. Impacts of climate variability and change on fishery-based livelihoods. **Mar. Policy** 34, 375–383, 2010.

BOLKER B.M.; BROOKS M.E.; CLARK C.J.; GEANGE S.W.; POULSEN J.R.; STEVENS M.H.H.; WHITE J.S.S. Generalized linear mixed models: a practical guide for ecology and evolution. **Trends Ecol. Evol.** 24(3):127-135, 2008.

BRILL, R.; M.; LUTCAVAGE. 2001. Understanding environmental influences on movements and depth distribution of tunas and billfish can significantly improve stock assessments. Pages 179-198. In: G. R. Sedberry, editor. **Island in the Stream: Oceanography and Fisheries of the Charleston Bump**. American Fisheries Society Symposium 25, Bethesda, MD.

CAMPANA, S.E.; MARKS, L.; JOYCE, W.; KOHLER, N.E. Catch, by-catch and indices of population status of blue shark (*Prionace glauca*) in the Canadian Atlantic. **Collective Volume of Scientifics Papers ICCAT**, 58 (3): 891-934, 2005.

CLARKE. “Shark Product Trade in Hong Kong and Mainland China and Implementation of the CITES Shark Listings,” **TRAFFIC East Asia, Hong Kong**, pp 8859-8861, 2004.

COCHRANE, K.; DE YOUNG, C.; SOTO, D.; BAHRI, T. eds. 2009. **Climate change implicationsfor fisheries and aquaculture: overview of current scientific**

**knowledge. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper** No. 530. Rome, FAO. 212 pp. (disponível [www.fao.org/docrep/012/i0994e/i0994e.pdf](http://www.fao.org/docrep/012/i0994e/i0994e.pdf) acesso em 15/02/2016).

DUNN, P. K.; SMYTH, G. K. Series evaluation of Tweedie exponential dispersion models densities. **Statistics and Computing**, 15: 267–280, 2005.

EBERT D.A.; STEHMANN, M.F.W. Sharks, batoids, and chimaeras of the North Atlantic **FAO Species Catalogue for Fishery Purposes. No. 7**. Rome, FAO. 523 pp, 2013.

HINTON, M.G.; DERISO, R.B. Distribution and stock assessment of swordfish, *Xiphias gladius*, in the eastern Pacific Ocean from catch and effort data standardized on biological and environmental parameters. **U.S. Nat. Mar. Fish. Serv., NOAA Tech. Rep. NMFS** 142: 161-179, 1998.

HOLTS, D.B.; BEDFORD, D.W. Horizontal and vertical movements of the shortfin mako shark, *Isurus oxyrinchus*, in 174 the Southern California Bight. **Aust J Marine Freshwater Reseach** 44: 901–909 Hothorn T, Bretz, 1993.

ICCAT, 2015. Access to ICCAT statistical databases. Task I Excel, MS Excel pivot table to obtain nominal catches of Atlantic tunas and tuna-like fish (including sharks), by gear, region and flag, version 03/2015, 5 Mb(rar). <http://www.iccat.int/en/accesingdb.htm>, Acesso em 20/10/2015.

IPCC, Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas. Sumário do 5º Relatório de Avaliação do clima para os tomadores de decisão: Grupo de Trabalho Impactos, Avaliação e Vulnerabilidade. US: **IPCC**, 2014. 46 p.

JURADO-MOLINA, J.; LIVINGSTON, P.A. Climate forcing effects on trophically-linked groundfish populations: Implications for fisheries management. **Canadian Journal of Aquatic and Fishery Sciences** 59, 1941-1951, 2002.

MARRA, G.; WOOD, S. N., 2011. Practical variable selection for generalized additive models. **Computational Statistics & Data Analysis**, 55 (7), pp. 2372-2387, 2011.

OTTERSEN, G.; HJERMANN, D.; STENSETH, N.C. Changes in spawning stock structure strengthens the link between climate and recruitment in a heavily fished cod stock. **Fisheries Oceanography**. 15(3): 230–243, 2006

RICKER, W. E. Computation and Interpretation of Biological Statistics of Fish Populations. **Bulletin of the Fisheries Research Board of Canada**, No 119, 1975.

RUNCIE, R.; HOLTS, D.; WRAITH. J.,; YI XUC, RAMON. D.; RASMUSSEN, R.; KOHIN. S. A fishery-independent survey of juvenile shortfin mako (*Isurus oxyrinchus*) and blue (*Prionace glauca*) sharks in the Southern California Bight, 1994–2013, **Fisheries Research** 183 233–243. (2016)

RUNCIE, R.; HOLTS, D.; WRAITH. J.,; YI XUC, RAMON. D.; RASMUSSEN, R.; KOHIN. S. A fishery-independent survey of juvenile shortfin mako (*Isurus oxyrinchus*) and blue (*Prionace glauca*) sharks in the Southern California Bight, 1994–2013, **Fisheries Research** 183 233–243, 2016.

SCHICK, R.S.; GOLDSTEIN, J.; LUTCAVAGE, M. Bluefin tuna (*Thunnus thynnus*) distribution in relation to sea surface temperature fronts in the Gulf of Maine (1994–1996). **Fisheries Oceanography**, 13(4) 225–238, 2006.

SEPULVEDA, C.A.; KOHIN, S.; CHAN, C.; VETTER, R.; GRAHAM, J.B.; Movement patterns, depth preferences, and stomach temperatures of free-swimming juvenile mako sharks, *Isurus oxyrinchus*, in the Southern California Bight. **Marine Biology** 145: 191–199, 2004.

SHARP , G.D. (1978). **Behavioural and Physiological Properties of Tunas and their Effects on Vulnerability to Fishing Gear**. In 'Physiological Ecology of Tunas' (Ed. Sharp, G.D. and Dizon, A.E.)(Academic Press:New York).

STEVENS, J.D.. The Biology and Ecology of the Shortfin Mako Shark, *Isurus oxyrinchus*. In: *Sharks of the Open Ocean: Biology, Fisheries and Conservation*. Edited by CAHMI, M. D.; PIKITCH, E. K.; BABCOCK, E. A. **Blackwell Publishing Ltd**. Chapter 7. 87- 94, 2008.

TWEEDIE, M. C. K. An index which distinguishes between some important exponential families. *Statistics: Applications and New Directions*. **Proceedings of the**

**Indian Statistical Institute Golden Jubilee International Conference** (Eds. J. K. Ghosh and J. Roy), pp. 579–604, 1984.

VAUDO, J.J.; WETHERBEE, B.M.; WOOD, A.D.; WENG, K.; HOWEY-JORDAN, L.A.; HARVEY, G.M.; SHIVJI, M.S. Vertical movements of shortfin mako sharks *Isurus oxyrinchus* in the western North Atlantic Ocean are strongly influenced by temperature. **Marine Ecology Progress Series** 547:163-175, 2016.

WALTHER G.-R.; POST E.; CONVEY P.; MENZEL A.; PARMESAN C.; BEEBEE T. J. C.; FROMENTIN J.-M.; HOEGH-GULDBERG O.; BAIRLEIN F. 2002 Ecological responses to recent climate change. **Nature** 416, 389–395.

WOOD, S.N.; BRAVINGTON, M.V.; HEDLEY, S.L. Soap film smoothing. Journal of the Royal Statistical Society Series B, **Statistical Methodology** 70(5):931–955, 2008.