

UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA - UDESC
CENTRO DE EDUCAÇÃO SUPERIOR DA REGIÃO SUL - CERES
ENGENHARIA DE PESCA

FERNANDO BORGES SILVA

**EVIDÊNCIAS DO EFEITO DO AQUECIMENTO GLOBAL SOBRE A
DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DO TUBARÃO-SARDO (*Lamna nasus*) NO
OCEANO ATLÂNTICO NORTE**

Laguna, SC

2020

FERNANDO BORGES SILVA

**EVIDÊNCIAS DO EFEITO DO AQUECIMENTO GLOBAL SOBRE A
DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DO TUBARÃO-SARDO (*Lamna nasus*) NO
OCEANO ATLÂNTICO NORTE**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia de
Pesca do Centro de Educação Superior da
Região Sul, da Universidade do Estado de
Santa Catarina, como requisito parcial para
a obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia de Pesca.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Guilherme
Gentil de Farias.

Laguna, SC

2020

FERNANDO BORGES SILVA

**EVIDÊNCIAS DO EFEITO DO AQUECIMENTO GLOBAL SOBRE A
DISTRIBUIÇÃO ESPAÇO-TEMPORAL DO TUBARÃO-SARDO (*Lamna nasus*) NO
OCEANO ATLÂNTICO NORTE**

Trabalho de Conclusão apresentado ao Curso de Engenharia de Pesca do Centro de Educação Superior da Região Sul, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia de Pesca.

Banca examinadora:

Orientador:

Prof. Dr. Eduardo Guilherme Gentil de Farias
Universidade do Estado de Santa Catarina

Membro:

Prof. Dr. David Valença Dantas
Universidade do Estado de Santa Catarina

Membro:

Profa. Dra. Natália Carneiro Lacerda dos Santos
Universidade do Estado de Santa Catarina

Laguna/SC, 03 de setembro de 2020

AGRADECIMENTOS

Inicialmente gostaria de agradecer ao meu pai Matheus, minha mãe Glória e meus irmãos Mauricio e Alice por todos os momentos juntos, desde as discussões infundáveis até as risadas pelos motivos mais absurdos durante os almoços de domingo.

À Renata pela parceria e principalmente por me aguentar durante toda a elaboração desta monografia.

Agradeço ao meu orientador Eduardo por todo apoio e conhecimento dividido, além de apresentar os diferentes caminhos e possibilidades pertinentes ao engenheiro de pesca.

Ao projeto “Dança é Vida” por proporcionar momentos tão incríveis através da dança, tendo durante minha graduação o privilégio de ser tanto aluno como professor.

À UDESC, instituição que me forneceu ampla formação, a todo o corpo docente e servidores que de alguma forma contribuíram ou auxiliaram no decorrer destes anos.

Por fim, saliento que este trabalho é parte do projeto “Clima Pesca: Impacto das mudanças climáticas sobre a pesca” (NPP2015010003428).

RESUMO

O aquecimento anômalo da temperatura da superfície do mar (TSM) das últimas décadas, têm se notabilizado como uma das principais consequências advindas das mudanças climáticas globais. Neste sentido, o incremento da TSM pode influenciar o comportamento e distribuição das espécies marinhas, devido à perda ou redução das regiões propícias para alimentação, reprodução e desova, podendo assim, afetar a manutenção da atividade pesqueira. Face à esta problemática, o presente estudo teve como objetivo avaliar as mudanças nos sítios de ocorrência do tubarão-sardo (*Lamna nasus*) para a região NW do oceano Atlântico norte para um período de três décadas. Para tanto, foram processados produtos de TSM oriundos de diferentes missões orbitais (*Optimum Interpolation Sea Surface Temperature*), sendo estes dados comparados com os índices climáticos *Atlantic Multi-decadal Oscillation* (AMO) e *North Atlantic Oscillation* (NAO). Salienta-se que os índices climáticos foram incorporados ao documento, por estes serem as variáveis explicativas do processo de aquecimento da região de estudo. Os dados de captura utilizados são oriundos de campanhas de marcação de tubarões realizados pela *Cooperative Shark Tagging Program* (CSTP) e da *International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas* (ICCAT). As identificações dos centros de ocorrência/ano do tubarão-sardo foram feitas com o método k-means e as associações entre índices climáticos vs anomalia da TSM, foram quantificadas através de correlação cruzada + filtro Hodrick-Prescott (HP). Os resultados demonstram uma expressiva correlação entre o gradativo deslocamento setentrional do tubarão-sardo (quadrante NNE) e a fase positiva do AMO associado à fase positiva persistente do NAO para uma parcela expressiva do período estudado. Notadamente, o consórcio destes fenômenos culminou na anomalia positiva da TSM da região, afetando a distribuição espaço-temporal do tubarão-sardo. Não foi possível verificar se o deslocamento setentrional do tubarão-sardo foi decorrente da busca por conforto térmico ou se este predador de topo migrou acompanhando o deslocamento das suas presas. Notadamente, quantificar os efeitos do aquecimento global sobre os recursos marinhos renováveis é um desafio para pesquisadores e gestores. Deste modo, esperamos que o presente trabalho possa contribuir com novos esforços que contemplem à temática em questão.

Palavras-chave: Mudanças climáticas. Oceanografia pesqueira. Sensoriamento remoto dos oceanos. Recursos marinhos renováveis.

ABSTRACT

The sea surface temperature (SST) anomaly warming in the last decades, has been noted as one of main consequences from global climate changes. In this sense, the SST increase can influence the behavior and distribution of marine species, due the loss or reduction of regions for feeding, reproduction and spawning, affecting the maintenance of fishing activity. The present study aimed to assess changes in sites of occurrence of Porbeagle (*Lamna nasus*) for North Atlantic region over a period of three decades. This study adopted SST products from different orbital missions, were compared with the Atlantic Multi-decadal Oscillation (AMO) and North Atlantic Oscillation (NAO) climatic index. We assumed that climatic indexes are explanatory variables of heating process in the study region. The catch data used comes from shark tagging campaigns by Cooperative Shark Tagging Program (CSTP) and International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas (ICCAT). The clusters of shark occurrence/year are identified using k-means method. The association between climatic indexes vs SST anomaly were quantified through cross correlation + Hodrick-Prescott filter (HP). Results show a close correlation between the gradual northern displacement of the Porbeagle (NNE quadrant) and the positive AMO phase associated with persistent NAO+ phase for a significant portion of period studied. Notably, the consortium of both culminated in positive SST anomaly, affecting the spatio-temporal distribution of Porbeagle. This study did not evaluate if the anomaly displacement of Porbeagle was associated with feeding ecology and/or the sharks were looking for thermal comfort. Notably, to quantify the effects of global warming on renewable marine resources is a challenge for researchers and stakeholders. We hope that present work can to contribute with new efforts that contemplate this subject.

Keywords: Climate Change. Fisheries Oceanography. Satellite Oceanography. Renewable Marine Resources.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Tubarão-sardo (<i>Lamna nasus</i>).....	15
Figura 2 - Distribuição dos pontos de captura sobre os valores de temperatura da superfície do mar.....	24
Figura 3 - Distribuição dos pontos de captura sobre os valores de anomalia da temperatura da superfície do mar.....	24
Figura 4 - Diagrama Hovmoller das anomalias da temperatura da superfície do mar para a região compreendida entre as latitudes 38-43°N.....	25
Figura 5 - Índice respectivos à anomalia da TSM, <i>Atlantic Multi-decadal Oscillation</i> (AMO) e <i>North Atlantic Oscillation</i> (NAO).....	26
Figura 6 - Correlação cruzada entre anomalia da TSM vs <i>North Atlantic Oscillation</i> (NAO).....	27
Figura 7 - Correlação cruzada entre anomalia da TSM vs <i>Atlantic multi-decadal oscillation</i> (AMO).....	27
Figura 8 - Dispersão dos centroides sobre a série histórica analisada.....	28

LISTA DE ABREVIATURAS

AMO - *Atlantic Multidecadal Oscillation* (Oscilação Multidecadal do Atlântico)

N - Norte

NAO - *North Atlantic Oscillation* (Oscilação do Atlântico Norte)

NE - Nordeste

NW - Noroeste

SW - Sudoeste

TSM - Temperatura da Superfície do Mar

W - Oeste

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 PESCA E AQUECIMENTO GLOBAL.....	12
1.2 A CORRENTE DO GOLFO E A PESCA.....	13
1.3 TUBARÃO-SARDO (<i>Lamna nasus</i>).....	15
1.4 ÍNDICES CLIMÁTICOS.....	16
1.4.1 Índice de Oscilação Multidecadal do Atlântico (AMO).....	16
1.4.2 Índice de Oscilação do Atlântico Norte (NAO).....	17
2 OBJETIVOS	18
2.1 OBJETIVO GERAL	18
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
3 MATERIAS E MÉTODOS	19
3.1 DADOS DE TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR (TSM).....	19
3.2 ÍNDICES AMO (<i>Atlantic Multidecadal Oscillation</i>) e NAO (<i>North Atlantic Oscillation</i>).....	20
3.3 DADOS DE CAPTURA DO TUBARÃO-SARDO.....	20
3.4 ANÁLISE DE AGLOMERADOS (<i>Clusters</i>).....	21
3.5 CORRELAÇÃO CRUZADA.....	21
3.6 FILTRO HODRICK-PRESCOTT (HP).....	22
4 RESULTADOS	23
5 DISCUSSÃO.....	29

6 CONCLUSÃO	32
REFERÊNCIAS	33
APÊNDICES.....	39

1 INTRODUÇÃO

A temperatura média da superfície global aumentou 0,85°C entre 1880 e 2012, sendo o período correspondente entre 1983 a 2012, o intervalo de 30 anos mais quente dos últimos 800 anos no Hemisfério Norte (IPCC, 2013). Neste sentido, diversos autores vêm sugerindo que este comportamento anômalo poderá provocar expressivas alterações em todo o planeta, especialmente nas regiões oceânicas e zonas costeiras, promovendo o aumento do nível médio do mar, alterando a distribuição espaço-temporal de espécies com interesse comercial, aumentando a incidência de furacões e outros eventos meteorológicos extremos (BELKIN, 2009; IPCC, 2013; POLOCZANSKA et al, 2013. MARTINS; GUIVANT, 2017; BARANGE et al, 2018).

Dentre as possíveis causas relacionadas a estes eventos anômalos, as principais linhas acadêmicas relacionam este incremento da temperatura global à intensificação das emissões de gases de efeito estufa oriundos das diferentes atividades antropogênicas vigentes pós revolução industrial (IPCC, 2007).

Notadamente, os reflexos deste aquecimento são mais facilmente detectáveis nos oceanos, uma vez que, este meio possui maior capacidade calorífica quando comparado aos ambientes terrestres (BARANGE et al, 2018). Neste sentido, o Oceano Atlântico norte foi a bacia oceânica que apresentou as maiores taxas de aquecimento, estando este possivelmente relacionado ao fenômeno de aquecimento global (BINDOFF et al, 2007). Considerando que os peixes são animais pecilotérmicos, possíveis alterações da temperatura do mar podem afetar a distribuição espaço-temporal destes indivíduos, promovendo um deslocamento dos sítios de captura e, em casos extremos, contribuindo para a redução de estoques comercialmente exploráveis (GILMAN et al, 2016).

O Oceano Atlântico norte apresenta histórica importância para a pesca oceânica, sendo as capturas de grandes pelágicos nesta região monitoradas há décadas pela ICCAT (*International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas*) (SISSENWINE; PEARCE, 2017). Deste modo, é notável a relevância da captura de atuns e afins para a economia regional, sendo estes responsáveis por movimentar 10 bilhões de dólares em todo o mundo (FAO, 2014).

Dentre os grandes pelágicos monitorados pela ICCAT para esta região, o tubarão-sardo (*Lamna nasus*) merece especial destaque por ser um predador ativo de outras espécies de pescado de pequeno e médio porte com interesse comercial, tais como a cavala (*Acanthocybium solandri*), a sardinha (*Sardina pilchardus*) e o arenque (*Clupea harengus*) (CURTIS et al, 2016).

O tubarão-sardo é uma espécie que habita o oceano aberto, as plataformas continentais e, em menor quantidade, também são encontrados próximos da costa (CURTIS et al, 2016). Estes indivíduos são capturados por uma ampla variedade de artes de pesca, incluindo espinhéis de superfície, redes de arrasto e emalhes, tendo a sua exploração registrada desde o início do século XIX por pescadores escandinavos (BIAIS et al, 2017).

Por apresentarem preferência por águas frias ($<19^{\circ}\text{C}$) e regiões marinhas superficiais ($>-200\text{m}$), possíveis migrações de espécies com características similares ao tubarão-sardo (ou ele próprio) podem ser adotadas como bioindicadores da ocorrência de um fenômeno de aquecimento num dado sítio de captura (ERAUSKIN-EXTRAMIANA et al, 2019).

Perante o acima exposto, o presente trabalho buscou avaliar possíveis alterações espaço-temporais da ocorrência do tubarão-sardo em relação às oscilações da temperatura da superfície do mar através de processamento digital de imagens de sensoriamento remoto para um extenso intervalo temporal (três décadas). Espera-se que o presente esforço possa contribuir para um melhor entendimento acerca das interações ambiente-ictiofauna num possível cenário de mudanças climáticas. Visando facilitar o entendimento a respeito desta temática, serão discorridos de maneira genérica os principais conceitos necessários à compreensão geral desta problemática e como esta poderá impactar de sobremaneira a distribuição espaço-temporal de estoques que apresentam elevado valor de mercado.

1.1 PESCA E AQUECIMENTO GLOBAL

Globalmente, estima-se que aproximadamente 200 milhões de pessoas estejam empregadas, direta e indiretamente na pesca e na aquicultura, sendo estas atividades garantidoras da geração de renda, bem como, responsáveis pela

manutenção da segurança alimentar de uma parcela expressiva de comunidades ao redor do mundo (BARANGE et al, 2018).

No tocante à pesca, dado a interconexão que os diferentes estoques apresentam com variáveis ambientais diversas, possíveis alterações na composição físico-química do ambiente aquático, podem desencadear impactos negativos na dinâmica do ciclo de vida (ex: recrutamento, crescimento, migração, etc) das espécies com interesse comercial (KNIGHTS, 2003). Neste sentido, a possibilidade do aquecimento anômalo da temperatura da superfície do mar (TSM) têm sido alvo de constante análise acadêmica (ARNASON, 2012; DIOP et al, 2018; CHEN et al, 2019), visto que, alterações advindas de um possível incremento desta variável, poderão modificar de sobremaneira a distribuição espaço-temporal de diversas espécies, podendo comprometer a manutenção de espécies endêmicas, dado que as regiões por estas habitadas podem ser ocupadas por espécies invasoras que buscam temperaturas mais adequadas à manutenção das suas atividades metabólicas (LAST et al, 2011).

Paralelamente, eventuais alterações espaço-temporais dos estoques poderão acarretar em disputas econômicas entre países, uma vez que, estes recursos pesqueiros poderão migrar para além das fronteiras políticas e de gestão de um determinado país, prejudicando acordos de compartilhamento formais e informais existentes entre entidades reguladoras (ARNASON, 2012). Assim, a compreensão entre “pesca vs aquecimento global”, possui estreita correlação com futuras estratégias de gestão. A redistribuição de espécies devido à variação da TSM foi descrita por Nye et al. (2009) que afirmou que alterações latitudinais e aumento da profundidade de ocorrência serão os principais impactos do aquecimento global sobre espécies de interesse comercial.

1.2 A CORRENTE DO GOLFO E A PESCA

A corrente do Golfo constitui-se como um sistema de correntes de contorno oeste localizada na região do Atlântico norte, sendo esta uma das responsáveis pela distribuição de temperatura e salinidade dos trópicos para as regiões de medias e altas latitudes (NIGAM; RUIZ-BARRADAS, 2018). É impulsionada pelos ventos alísios e sofre alterações impostas pela rotação da Terra + presença dos continentes, bem

como, pela variabilidade subtropical e subpolar do giro oceânico (TANK; KÖNNEN, 1997).

Em latitudes paralelas ao estado da Flórida (EUA), a corrente do Golfo transporta em média 30 sverdrup (Sv) de massa d'água ($1 \text{ Sv} = 10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), aumentando para 85 Sv na porção adjacente ao estado da Carolina do Norte (Cabo Hatteras) (AUER, 1987). Ao atingir a porção latitudinal dos Grandes Bancos da Terra Nova (48° N) a corrente do Golfo chega aos 110 Sv e tende a se bifurcar, sendo parte direcionada para a corrente Norte-Atlântica e parte defletida à direita devido efeito Coriolis, retornando para a corrente do Açores (AUER, 1987). Durante todo o percurso, devido ao grande número de meandros, a corrente do Golfo tende a formar anéis de núcleo quente e frio que possuem expressiva importância ecológica (AUER, 1987).

Historicamente a região é caracterizada por grandes pescas industriais, sendo o foco inicial a captura de espécies demersais e pelágicas, tais como: o linguado (*Paralichthys patagonicus*), arenque (*Clupea harengus*), lulas (*Illex argentinus*) e espécies diversas de atuns e afins (*Thunnus spp.*) (BARANGE et al, 2018). No entanto, nos últimos anos a dimensão das frotas de pesca na região tem diminuído (a frota nos Estados Unidos diminuiu de 1000 embarcações em meados da década de 1990 para 400 embarcações em 2012) (BARANGE et al, 2018). Adicionalmente, a região vem experimentando uma redução expressiva de embarcações de pequeno porte (<10 metros) e um incremento da presença de embarcações de grande porte (>23 metros) (BARANGE et al, 2018). As diversas artes de pesca adotadas têm se mantido praticamente as mesmas nas últimas décadas (rede de arrasto, rede de emalhar e anzol) (BARANGE et al, 2018). Segundo Chen et al. (2019), esta importante região pesqueira deverá ser fortemente impactada pelos efeitos das mudanças climáticas já nos próximos anos. Os autores sugerem uma tendência de enfraquecimento desta corrente de contorno oeste num futuro próximo e, consequente mudança em todo cenário de pesca da região, uma vez que, os sucessos das pescarias regionais desta localidade dependem da interação entre as massas d'água quente da corrente do Golfo com as massas d'água frias provenientes da corrente de Labrador.

1.3 TUBARÃO-SARDO (*Lamna nasus*)

O tubarão-sardo (*Lamna nasus*) (Figura 1) é um elasmobrânquio lamniforme da família Lamnidae, que habita regiões de águas frias subtropicais e temperadas de todos os oceanos, dada a sua capacidade de manter sua temperatura corporal acima do ambiente circundante. No Atlântico é possível encontrá-lo a leste e a oeste do Atlântico norte. Além disso, há registros desta espécie no Atlântico Sul, principalmente entre o litoral sudeste do Brasil até a Argentina (CURTIS et al, 2016).

No Atlântico noroeste, os tamanhos máximos relatados para machos e fêmeas denotam 262 e 317 cm de comprimento furcal (CF), respectivamente (Curtis, 2016). Na margem leste do oceano Atlântico norte, as fêmeas atingem um tamanho máximo de 278 cm e os machos 253 cm, enquanto no Atlântico Sul, os tamanhos relatados foram de 214 cm para fêmeas e 204 cm para os machos (CURTIS et al, 2016).

Figura 1: Tubarão-sardo (*Lamna nasus*).



Fonte: <https://shark-references.com/species/view/Lamna-nasus>

Sabidamente, o tubarão-sardo é um predador oportunista que se alimenta de peixes teleósteos e lulas, tendo sua distribuição espacial associada a abundância de presas, podendo se deslocar para áreas mais vantajosas e com menos chance de competição (CURTIS et al, 2016). Embora o tubarão-sardo seja uma espécie epipelágica com ampla faixa de adaptação devido a sua expressiva capacidade de termorregulação, a espécie é comumente registrada em ambientes com temperaturas

mais amenas ($< 19^{\circ}\text{C}$), podendo eventuais anomalias positivas de temperatura afetar a sua distribuição espaço-temporal.

Sobre a captura, o tubarão-sardo foi fortemente explorado durante o século XX, tanto como *bycatch* em pescarias de espinhel, como em atividades voltadas para sua captura, ocorrendo principalmente no Canadá, França, Noruega, Ilhas Faroé e Uruguai. A captura mundial atingiu seu pico em meados da década de 1960, com mais de 9.500 toneladas, seguido de um declínio da atividade devido a sobrepesca. No entanto, nos últimos anos, melhorias significativas foram feitas na conservação e gerenciamento referente a pesca deste recurso, interrompendo a ameaça existente sobre a espécie (CURTIS et al, 2016).

1.4 ÍNDICES CLIMÁTICOS

Índices são empregados por serem um método simples de diagnóstico e caracterização de um sistema geofísico que normalmente utilizam como *input* apenas uma única variável (ex: pressão ao nível do mar, anomalias de TSM e precipitação) (NCAR, 2019).

1.4.1 Índice de Oscilação Multidecadal do Atlântico (AMO)

Alterações cíclicas (positivas e negativas) na temperatura superficial do mar (TSM) para a região do oceano Atlântico norte compreendida entre o Golfo do México e Islândia ocorrem em intervalos decadais e esta sazonalidade pode ser mensurada através de um índice proposto por Enfield (2001) que considera como *input* as anomalias padronizadas da TSM da região norte do Atlântico a partir da climatologia destes dados interpolados para uma grade de $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ graus de 1856 até o presente. Por ser um índice elaborado através da reconstrução de dados de TSM, é razoável assumirmos que estes possam assinalar sobre esta variável física, o conjunto das variações naturais + impactos antropogênicos. Tal afirmativa encontra aderência na literatura, visto que, a utilização do AMO é amplamente encontrada em bibliografias que tratam sobre os efeitos do aquecimento global sobre o oceano Atlântico norte (NYE et al, 2014).

A fase positiva do AMO geralmente indica um período de temperaturas mais quentes, com efeitos oceânicos (anomalias positivas da TSM) e atmosféricos. Durante a fase negativa do AMO, temos o efeito inverso, isto é, anomalias negativas da TSM.

Notadamente, alterações na temperatura oceânica exercem grande influência no crescimento, consumo, metabolismo, migração e reprodução de diversas espécies. Adicionalmente, tendem a impactar o crescimento dos níveis tróficos basais (fitoplâncton e zooplâncton), alterando assim, toda a cadeia alimentar de um ecossistema (NYE et al, 2014).

1.4.2 Índice de Oscilação do Atlântico Norte (NAO)

O NAO é um índice obtido a partir das diferenças de pressão entre uma região de alta pressão (neste caso, próximo ao Arquipélago dos Açores) com uma de baixa pressão (próximo a Islândia), com períodos positivos onde ambas apresentam níveis acima no normal e negativos onde há um enfraquecimento deste dipolo latitudinal. Entre início de 1940 até 1970, o índice NAO exibiu uma tendência de queda com valores negativos recorrentes, ocorrendo desde 1980 uma reversão acentuada onde o NAO permaneceu em uma fase altamente positiva, sendo 1983, 1989 e 1990 marcados pelos maiores valores positivos do desde 1864 (HURRELL; VAN LOON, 1997). Esse fenômeno atmosférico exerce grande influência sobre o oceano, desde a intensificação do transporte de Ekman, controle sobre a profundidade da camada de mistura, ressurgência na costa oeste da Europa e alteração de habitats (DRINKWATER et al, 2003).

Durante a fase positiva do NAO ocorre uma intensificação dos ventos sobre o oceano Atlântico em direção à costa oeste da Europa. Nestes casos, o clima desta região tende a permanecer mais quente e ameno, resultando em *blooms* de fitoplâncton, enquanto nas fases negativas, devido ao aumento dos ventos oriundos do quadrante norte, ocorre uma supressão desta produção primária em virtude do aprofundamento da camada de mistura (ABRANTES et al, 2011). A literatura aponta uma estreita relação entre o NAO e espécies de interesse comercial, dada a influência da pressão sobre a expansão ou diminuição dos sítios de ocorrência de alguns estoques (OTTERSON et al, 2011).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar possíveis alterações espaço-temporais dos sítios de ocorrência do tubarão-sardo no oceano Atlântico norte em virtude do fenômeno do aquecimento global.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Monitorar as anomalias de TSM no quadrante NW do oceano Atlântico norte, verificando as possíveis causas meteorológicas deste fenômeno;
- Correlacionar as eventuais anomalias de TSM com a dinâmica espaço-temporal do tubarões-sardo na região.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 DADOS DE TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR (TSM)

O presente estudo fez uso dos dados de TSM advindos de um produto gerado pela *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) denominado “interpolação ótima da temperatura da superfície do mar” (OI-SST) (Reynolds et al., 2007). Foram utilizadas três décadas (01 de janeiro de 1987 até 31 de dezembro de 2017) de *outputs* com resolução temporal diária do OI-SST para a região correspondente ao Atlântico noroeste.

Os dados do OI-SST são derivados da combinação de diferentes plataformas orbitais de observação da Terra, tendo por objetivo, a obtenção de valores de temperatura em grade contínua, sem que haja lacunas espaciais. Para tanto, são utilizados satélites que possuem sensores específicos para medição da TSM, com destaque para o *Advanced Very-High-Resolution Radiometer* (AVHRR) e o *Advanced Microwave Scanning Radiometer* (AMSR).

Os arquivos de TSM para o período estudado foram obtidos em formato netCDF-4 com resolução espacial global de 0.25° x 0.25°. Os dados foram recortados para a área de estudo contemplada e, posteriormente, as matrizes foram ordenadas em formato multidimensional visando facilitar a implementação analítica pertinente. Maiores informações sobre o OI-SST podem ser acessadas em: <https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.noaa.oisst.v2.highres.html#detail>.

Visando avaliar se as informações de TSM para a região estariam sofrendo um incremento de temperatura ao longo dos anos, foi realizado o cálculo de anomalia da TSM a partir do método Z-escore (HODGE; AUSTIN, 2004), no qual se mapeia um dado qualquer em uma distribuição cuja média é definida como 0 e o desvio padrão 1. Esse método remove os efeitos da localização e escala, permitindo a comparação direta entre diferentes bases de dados. Sendo expressa pela equação 1:

$$Z = \frac{T - \bar{T}}{\sigma} \quad (\text{Equação 1})$$

onde T representa o valor de temperatura em cada período, \bar{T} representa a temperatura média de todo conjunto amostral e σ o desvio padrão da média.

3.2 ÍNDICES AMO (*Atlantic Multidecadal Oscillation*) e NAO (*North Atlantic Oscillation*)

As planilhas com os dados anuais referentes aos índices AMO e NAO foram obtidos no site da *National Oceanic and Atmospheric Administration* (www.psl.noaa.gov). O período de tempo escolhido coincide com aqueles adotados para os dados OI-SST, isto é, entre 01 de janeiro de 1987 até 31 de dezembro de 2017.

Maiores detalhes acerca dos índices utilizados no presente trabalho podem ser obtidos em <https://psl.noaa.gov/data/correlation/amon.us.data> e https://psl.noaa.gov/gcos_wgsp/Timeseries/Data/nao.long.data.

3.3 DADOS DE CAPTURA DO TUBARÃO-SARDO

O banco de dados disponibilizado pela ICCAT (*International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas*) é proveniente do CSTP (*Cooperative Shark Tagging Program*) que, desde sua criação em 1962, realiza o trabalho de marcação de tubarões em toda a bacia do Atlântico. Os métodos de marcação utilizados pela CSTP permaneceram essencialmente inalterados nos últimos anos: marcas do tipo “rototag” inseridas na base da primeira nadadeira dorsal e marcador tipo “M”, implantada na musculatura das costas, perto da base da primeira nadadeira dorsal (KOHLE et al, 2012).

As informações tratadas neste estudo foram: a localização de captura e recaptura, peso, comprimento, data e gênero. Adicionalmente, o período escolhido compreendeu o intervalo entre os anos de 1987 à 2017. A escolha deste intervalo de tempo foi motivada pelo maior volume de dados de captura do tubarão-sardo entre estes anos.

3.4 ANÁLISE DE AGLOMERADOS (*Clusters*)

De posse dos dados de captura, estes foram espacializados (longitude e latitude) e ordenados por ano (maiores detalhes nos Apêndices A e B). Posteriormente foi implementado o algoritmo k-means com o objetivo de identificar o centroide da distribuição dos pontos de captura/ano analisado. Esta etapa buscou verificar se a localização espacial predominante das capturas estaria sofrendo alterações ao longo dos anos.

O algoritmo k-means funciona a partir de n iterações, isto é, considerando o posicionamento ótimo do centroide a partir de um processo iterativo que recalcula diversas vezes o posicionamento deste até que não haja mais alterações nas médias ou que um número predeterminado de iterações aconteça, encerrando-se o processo. A equação 2 explica em detalhes o algoritmo utilizado (GUIDINI et al, 2008).

$$E = \sum_{k=1}^K \sum_{x_i \in C_k} d(x_i, x_{0k}) \quad (\text{Equação 2})$$

onde x_{0k} é o centroide do *cluster* C_k e $d(x_i, x_{0k})$ é a distância entre os pontos x_i e x_{0k} . O centroide pode ser a média ou a mediana de um grupo de pontos.

3.5 CORRELAÇÃO CRUZADA

A relação pareada entre as variáveis analisadas (índices climáticos e anomalia da TSM) foi feita através da função de correlação cruzada, que define o grau de associação linear entre dois sinais, onde uma serie temporal estacionaria é mantida fixa, enquanto a outra se desloca pelo tempo, sendo assim possível mensurar a relação entre ambas em cada atraso (*lag*) (KOHN, 2006). Uma correlação positiva indica que naquele ponto, as séries temporais eram diretamente proporcionais. Já os valores negativos representam uma relação de proporcionalidade inversa. Sendo sua função apresentada pela equação 3:

$$R_{xy}(k) = \sum [x(n+k) \cdot y(n)], k = 0, \pm 1, \pm 2 \dots \quad (\text{Equação 3})$$

onde x e y são as respectivas series temporais analisadas, n é o instante medido em cada serie e k é o tempo de atraso entre os sinais.

3.6 FILTRO HODRICK-PRESCOTT (HP)

O filtro HP foi aplicado sobre os índices e valores de correlação com o intuito de separar os sinais de alta e baixa frequência. Esta função remove flutuações consideradas estocásticas, mas com variações suaves ao longo do tempo e não correlacionadas com o ciclo, gerando duas series novas: baixas frequências (tendência) e altas frequências (cíclica/aleatória) (ANGELIS, 2004). Sua equação é definida como

$$L = \{\sum_{t=1}^T (y_t - \tau_t)^2 + \lambda \sum_{t=2}^{T-1} [(\tau_{t+1} - \tau_t) - (\tau_t - \tau_{t-1})]^2\} \text{ (Equação 4)}$$

onde $(y_t - \tau_t)$ representa a variância da componente cíclica à qual deve ser somada a variância da diferença entre as primeiras variações posteriores e anteriores da componente de tendência e λ é o parâmetro de suavização, que controla as variações da taxa de crescimento do componente tendência e deve assumir valores positivos.

4 RESULTADOS

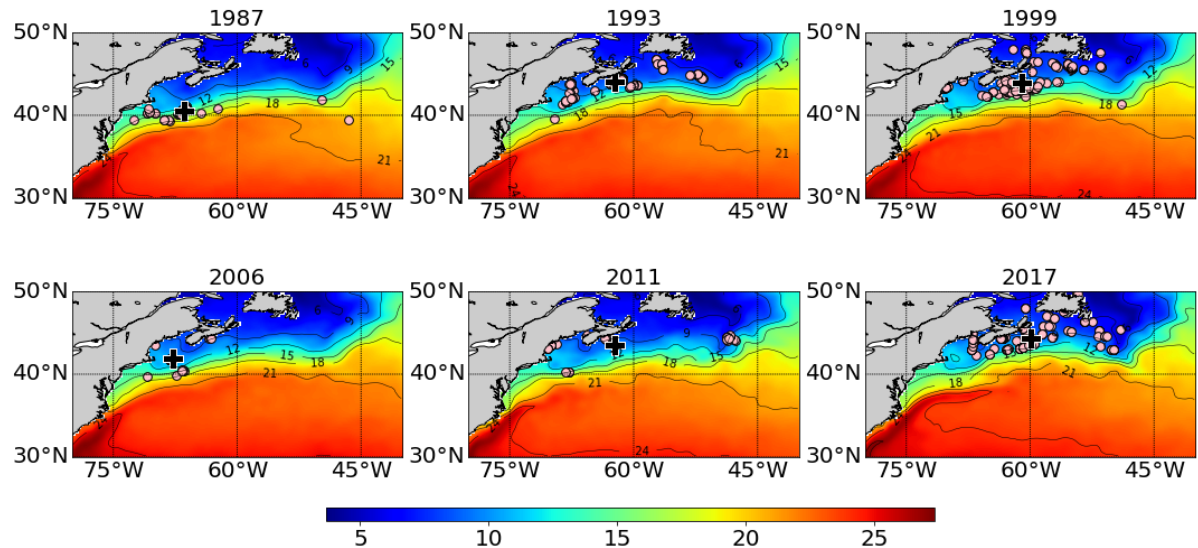
Durante o período analisado foram marcados 1795 indivíduos sendo os anos de 1994, 1999 e 2017 os que apresentaram as maiores incidências de capturas (171, 177 e 149, respectivamente). Em contrapartida, os menores quantitativos de captura ocorreram nos anos de 1989, 1990 e 2001 (5, 1 e 5, respectivamente). Entre os anos de 2012 e 2015 não foram realizadas quaisquer capturas de tubarões-sardo.

O posicionamento latitudinal dos centroides ao longo dos anos demonstra uma migração para porções mais ao norte da área de estudo. Tal afirmativa é ratificada pelo fato que no ano de 1989 a posição do centroide se encontrava em 39,76°N, enquanto no ano de 2010 este assumia a coordenada 44,74°N, o que evidencia um deslocamento de aproximadamente 500 km das posições latitudinais encontradas para o final da década de 1980. Cabe salientar que após o ano de 2010 as posições latitudinais ficaram oscilando em torno da latitude 44,6°N.

As longitudes dos centroides também apresentaram variações ainda mais expressivas, uma vez que, no início da série (1987) foi observado que a localização média se encontrava na longitude -66,48° enquanto que no ano 2017 podemos observar que este se encontrava na longitude -59,89°, denotando uma migração de aproximadamente $\pm 730\text{km}$ para leste.

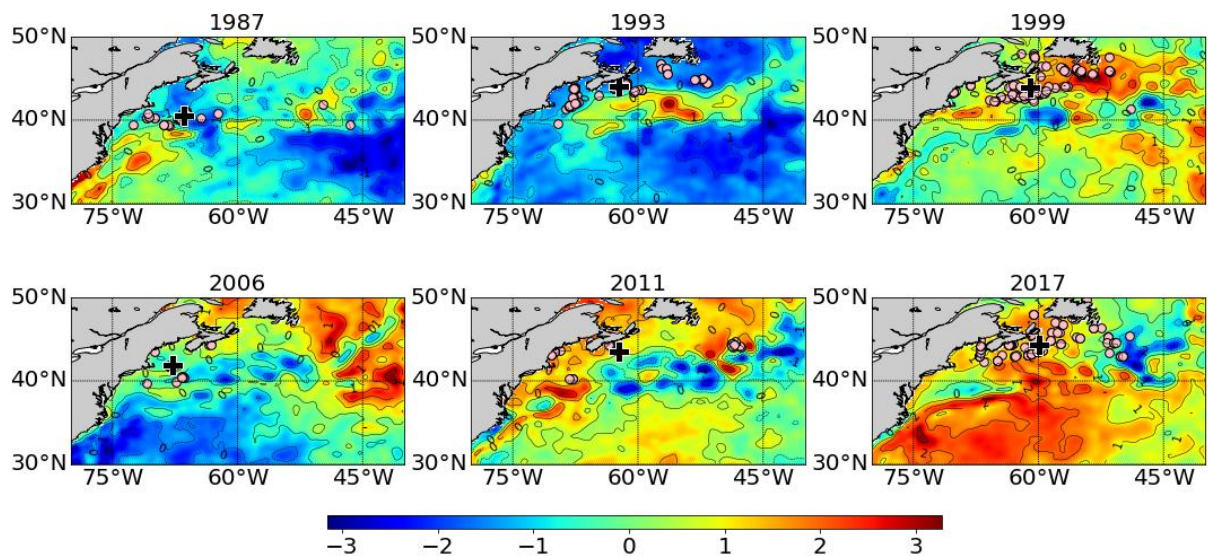
A distribuição da temperatura da superfície do mar na região apresenta expressiva amplitude, uma vez que foram identificados valores mínimos de 3,65°C e máximos de 27,33°C (Figuras 2 e 3). A presença de anomalias positivas expressivas é de fácil observação a partir do ano 2010 (vide os Apêndices A e B) onde o quadrante SW do mapa apresenta uma área com anomalias positivas pronunciadas que culminam num deslocamento massivo dos pontos de captura para as porções localizadas mais ao norte (Figuras 2 e 3). É interessante perceber na figura 3 que no ano de 1987 as oscilações de anomalia eram muito inferiores e a distribuição dos pontos de captura se apresenta de forma mais espalhada na área de estudo. Notadamente, as maiores anomalias positivas de temperatura ($> 1.5^\circ\text{C}$) ocorreram após o ano de 2010 (Figura 4), sugerindo que a região tem experimentado um acréscimo expressivo de TSM na última década.

Figura 2 – Distribuição dos pontos de captura (em rosa) sobre os valores de temperatura da superfície do mar (em graus Celsius) obtidos a partir do produto OI-SST. Os centroides obtidos a partir da implementação do k-means estão representando pelas cruzes em cor preta.



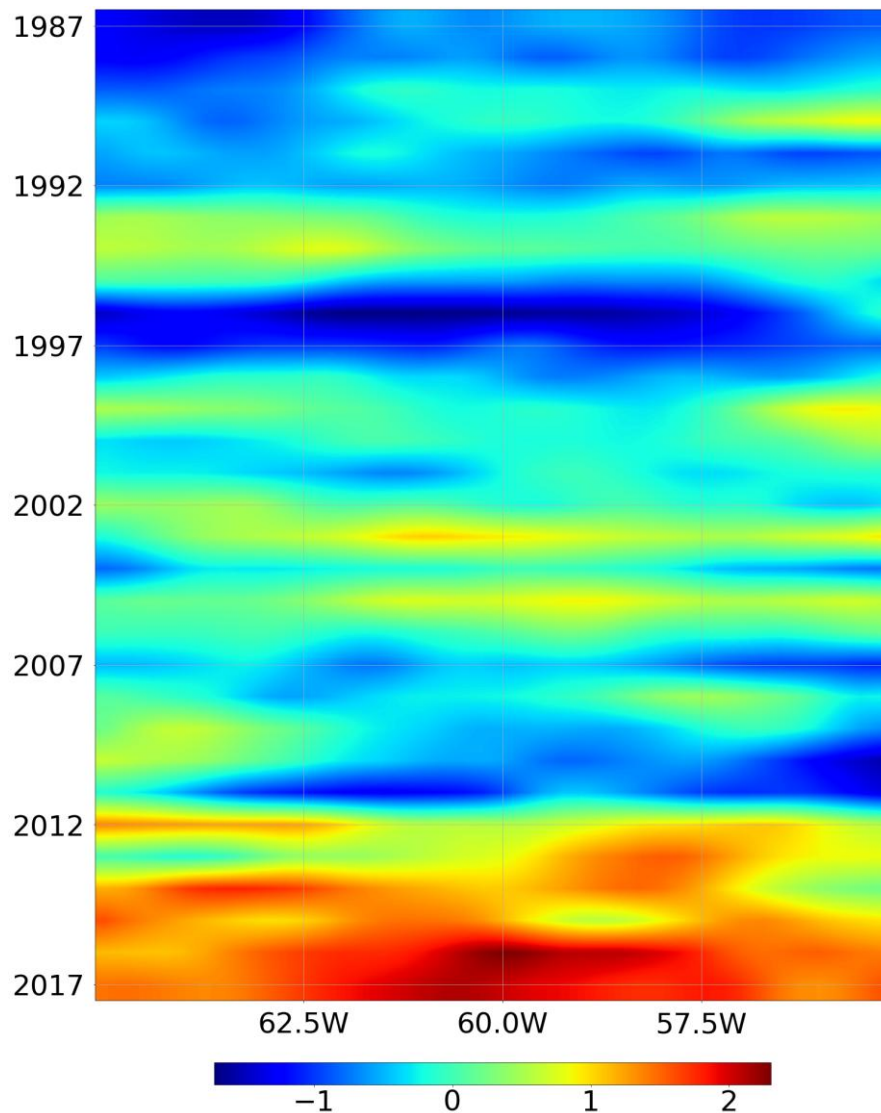
Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Figura 3 – Distribuição dos pontos de captura (em rosa) sobre os valores de anomalia da temperatura da superfície do mar (em graus Celsius) obtidos a partir do produto OI-SST. Os centroides obtidos a partir da implementação do k-means estão representando pelas cruzes em cor preta.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Figura 4 – Diagrama Hovmoller das anomalias da temperatura da superfície do mar para a região compreendida entre as latitudes 38-43°N (valor médio). No eixo X encontram-se os diferentes valores de longitude da região estudada enquanto o eixo Y apresenta todos os anos da série histórica que foram analisados. É possível evidenciar um incremento expressivo da temperatura a partir do ano 2010.

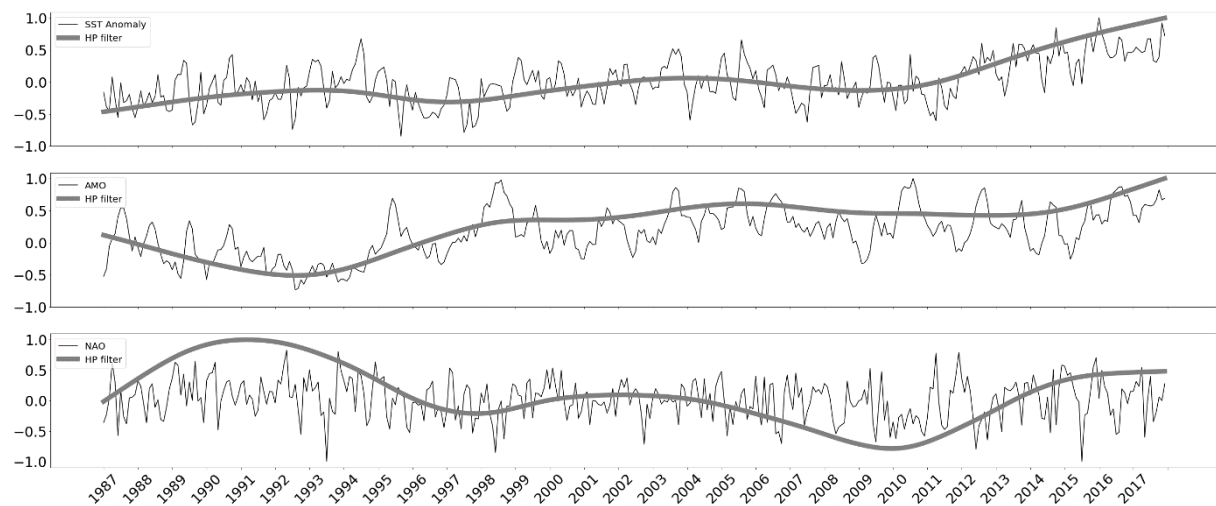


Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

A figura 5 apresenta os valores observados para a anomalia da temperatura da superfície do mar (topo), *Atlantic Multi-decadal Oscillation* (AMO) (centro) e *North Atlantic Oscillation* (NAO) (porção inferior). Visando facilitar uma melhor compreensão acerca das variações destes índices ao longo da série temporal contemplada, foi inserido em conjunto com cada *plot*, as linhas de tendência obtidas a partir do filtro HP

(representado pelas linhas cinzas com maior espessura). O índice AMO apresentou valores negativos durante o início da década de 1990 (Figura 5). Contudo, a partir do ano de 1994 ocorre uma inversão gradativa, com valores majoritariamente positivos se estabelecendo até o final da série, com máxima em 2010. Em contrapartida, durante a primeira década da série analisada, o NAO foi marcado por uma fase positiva expressiva, mantendo valores menos contundentes até 2010/2011 (Figura 5). Por fim, a anomalia da temperatura da superfície do mar registrou valores homogêneos até 2010 com alguns anos positivos pontuais (1994, 2003 e 2005). Posteriormente, foi registrado um aumento abrupto da temperatura média entre os anos de 2011 e 2017, corroborando com o padrão observado no diagrama Hovmoller (Figura 4).

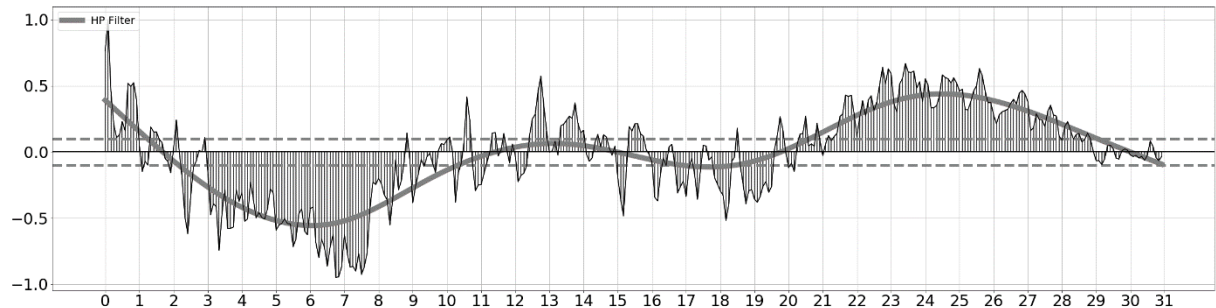
Figura 5– Índice respectivos à anomalia da TSM (topo), *Atlantic Multi-decadal Oscillation* (AMO) (centro) e *North Atlantic Oscillation* (NAO) (porção inferior). A linha cinza corresponde a tendência após aplicação do filtro HP.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

A correlação entre as series NAO e anomalia mensal da TSM (Figura 6) apresenta no primeiro terço valores majoritariamente negativos (mínimos observados entre $k=7$ e $k=8$) e positivos na porção final (máximos entre $k=22$ e $k=23$). A região intermediária é composta de valores intercalados com máxima em $k=12-13$ e mínima em $k = 18-19$.

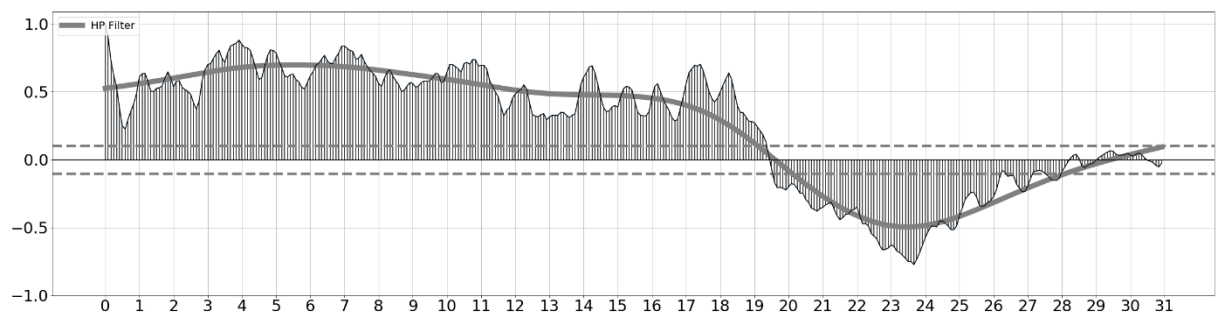
Figura 6– Correlação cruzada entre anomalia da TSM vs *North Atlantic Oscillation* (NAO) sobreposta pela linha de tendência após aplicação do filtro HP. Linha tracejada corresponde ao limite de significância 0,95.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Entre o AMO e anomalia mensal da TSM (Figura 7), os resultados sugerem uma correlação temporal positiva persistente e com nível de significância até o $k=18$. Posteriormente, observa-se uma inversão do sinal, com mínimos entre os valores $k=23$ e $k=24$, sugerindo uma correlação inversa entre as variáveis para o terço final da série analisada.

Figura 7– Correlação cruzada entre anomalia da TSM vs *Atlantic multi-decadal oscillation* (AMO) sobreposta pela linha de tendência após aplicação do filtro HP. Linha tracejada corresponde ao limite de significância 0,95.

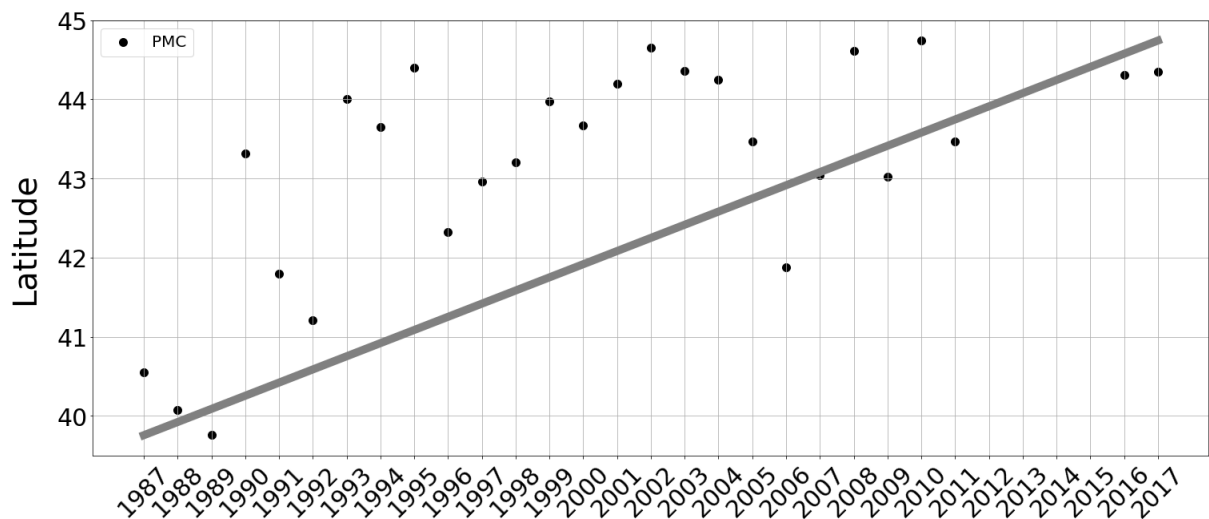


Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Por fim, foi possível ratificar a tendência de migração dos tubarões-sardo para o quadrante norte a partir da dispersão dos centroides durante todo o período

analisado, estando exposto na abscissa os anos e ordenada as latitudes (Figura 8). Os resultados obtidos demonstram uma migração de aproximadamente 500 km dos indivíduos para as latitudes mais elevadas. O melhor modelo de regressão polinomial ajustado para estes pontos foi de 3ª ordem, fornecendo um $R^2=0,62$ e distribuição homogênea na análise dos resíduos.

Figura 8 – Dispersão dos centróides ao longo de toda a série histórica analisada. No eixo X estão os anos e no eixo Y as latitudes (em graus). A reta de 45° em cinza realça a tendência de migração para o norte observada.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

5 DISCUSSÃO

Os resultados obtidos demonstram uma clara tendência de deslocamento dos centroides para os quadrantes N-NE da área de estudo, isto é, para latitudes mais setentrionais (Figura 8). Comparando os deslocamentos entre os anos de 1989 e 2010 (sendo estes os anos que apresentaram a menor e a maior latitude, respectivamente) foi possível observar que os tubarões-sardo deslocaram-se $4,8^\circ$ (± 550 km) para o norte. Provavelmente, este padrão migratório reflete a busca por habitats com condições ambientais mais favoráveis ou com maior oferta de alimento (CURTIS et al, 2016). Segundo Campana e Joyce (2004), o tubarão-sardo apresenta preferência por regiões com temperaturas mais amenas ($<19^\circ\text{C}$). O autor relata que quando comparamos as regiões de ocorrência do tubarão-sardo com outras espécies da mesma família (ex: tubarão-branco e o tubarão-mako), fica evidente a maior predisposição a regiões frias que o tubarão-sardo apresenta em relação às oscilações de temperatura da água.

Bell (2014) e Gilman (2016), analisando os padrões migratórios de diferentes espécies de atuns e afins exploradas pela pesca comercial do Atlântico, atestam uma redução das espécies deste grupo em latitudes tropicais e sub-tropicais, havendo um incremento da concentração destes grupos em porções temperadas da bacia, fato provavelmente relacionado à busca por temperaturas mais frias para desova e/ou busca por alimento.

São perceptíveis as associações entre as anomalias positivas da temperatura da superfície do mar na região de estudo e o deslocamento dos centroides para os quadrantes N-NE. A intensificação das anomalias positivas de temperatura foi avaliada por Wang e Dong (2010), como resultado da influência do aquecimento global antropogênico somado a uma fase positiva da AMO, iniciada no início da década de 1990.

A intensificação da temperatura da superfície do mar a partir do ano de 2012 observada pelo diagrama Hovmoller (Figura 4) pode ser relacionada a eventos atmosféricos derivados da NAO que culminou num deslocamento mais para o norte das correntes de jato e um deslocamento anômalo da corrente do Golfo (CHEN et al, 2014). Segundo informações da *National Oceanic and Atmospheric Administration*

(NOAA), a TSM da plataforma continental nordeste dos EUA durante o primeiro semestre de 2012 foi a mais alta dos últimos 150 anos (CHEN, et al, 2014).

As correlações positivas entre AMO vs anomalia do TSM para os primeiros 18 anos de análise da série histórica (Figura 7) provavelmente estão relacionados a estrutura quase monopolar do Atlântico norte, no qual valores positivos são comumente encontrados em toda bacia durante o mesmo intervalo de tempo (IONITA et al, 2013). Anomalias decadais de TSM no Atlântico norte tendem a variar em consonância com o AMO, porém estas podem apresentar um *lag* temporal após o AMO apresentar uma mudança de fase positiva para negativa ou vice-versa (ALEXANDER; KILBOURNE; NYE, 2013) fato este que explicaria a correlação negativa observada após o décimo oitavo ano contemplado pela série temporal (Figura 7).

A corrente do Golfo é vigente na maioria das posições em que foram identificados os centroides. Segundo Andres (2016), entre os anos de 1993 e 2014 a corrente do Golfo passou a experimentar um alargamento da sua faixa de ocorrência devido a uma instabilidade do seu fluxo em sua porção, tendo este fenômeno provocado um enfraquecimento da intensidade das correntes marinhas no sentido SW-NE e, por conseguinte, desencadeado expressivas alterações no comportamento das espécies marinhas locais. Tal afirmativa foi ratificada por Nye et al, (2011), que identificou um deslocamento das regiões de ocorrência da pescada prateada (*Merluccius bilinearis*) para porções mais setentrionais, tal qual como aqui observamos para o tubarão-sardo. As causas destas alterações na estrutura da corrente do Golfo ainda são incertas mas acredita-se que fenômenos atmosféricos decorrentes do processo de aquecimento global e identificados a partir do NAO possam indicar uma das causas deste comportamento singular (ZHANG et al, 2019).

Entre os anos 1990 e 2015, o NAO apresentou predominância de valores positivos (Figura 6). Esta persistência de fases positivas pode ter influenciado a expansão da margem leste da corrente do Golfo em decorrência da intensificação dos ventos alísios oriundos da margem leste da bacia do Atlântico, bem como, fomentado a intrusão latitudinal da corrente de Labrador na área de estudo, fatores estes comumente observados em fases positivas do NAO (WATELET; BECKERS; BARTH, 2017).

Outra possível influência para um aumento de temperatura é a ocorrência de um período negativo expressivo do NAO entre 2010 e 2011. Durante a fase negativa, a circulação termohalina tende a enfraquecer, ocasionada por uma convecção reduzida no Mar de Labrador, devido à redução da perda de calor somado a uma diminuição das precipitações e intensidade dos ventos (MEDHAUG et al. 2012). Esse enfraquecimento da circulação resulta numa menor interação com a corrente do Golfo e a consequente instabilidade desta. McCarthy (2018), mostrou que entre 2005-2015, ocorreu um alargamento e perda de velocidade da corrente do Golfo entre 70°W e 59°W, devido ao descolamento de um ponto de desestabilização mais para oeste, resultando na invasão de massas d'água mais quentes sobre a região do Golfo de Maine.

Não foram encontrados registros na literatura que explorem alterações nas zonas de ocorrência do tubarão-sardo para a região do Atlântico norte como resultado do aquecimento global. Em princípio, dada a sua característica oportunista, os tubarões oceânicos seriam capazes de alterar o *hall* de espécies predadas sem necessariamente alterarem a sua zona de ocorrência (CURTIS et al, 2016). Contudo, a variação da posição dos centroides em consonância com as anomalias positivas da temperatura da superfície do mar, podem estar indicando uma influência direta ou indireta do clima sobre a distribuição da espécie na região, isto é, estes indivíduos estariam se deslocando para latitudes mais frias em busca por ambientes com temperaturas mais amenas ou acompanhando a migração das presas para porções mais setentrionais do Atlântico norte.

Segundo Curtis et al (2016), o tubarão-sardo vem experimentando uma abundância crescente no oceano Atlântico norte. No ano de 2005 estimou a presença de aproximadamente 195 mil destes indivíduos na região, enquanto no ano de 2012 este quantitativo já estaria na ordem de aproximadamente 206 mil exemplares. Contudo, a literatura carece de relatos que expliquem se este incremento estaria associado com oscilações no esforço de captura ou se estes estariam relacionados com o fenômeno do aquecimento global.

6 CONCLUSÃO

A migração anômala dos grandes pelágicos do Hemisfério Norte para latitudes mais altas como consequência do aquecimento global, constitui-se como uma temática de grande necessidade de exploração pela literatura científica, por representar um desafio sem precedentes na gestão pesqueira, uma vez que altera a ecologia de espécies que apresentam interesse comercial.

A intensificação das temperaturas superficiais do mar para o período estudado encontrou forte correlação com o AMO e NAO. Considerando que estes últimos são índices climáticos que refletem anomalias para a bacia do Atlântico norte como um todo, é razoável supor que o incremento das temperaturas da área de estudo são um reflexo de fenômenos de maior escala que, possivelmente podem estar atrelados ao aquecimento global.

Os resultados obtidos evidenciam o deslocamento do tubarão-sardo para latitudes mais altas do oceano Atlântico norte. Contudo, não é possível afirmar se esta migração dos centroides é o reflexo da busca destes indivíduos por temperaturas mais amenas e/ou se estes estariam acompanhando os novos sítios de ocorrência das suas presas. Neste sentido, novos estudos que contemplem a temática “ecologia alimentar e aquecimento global” devem ser incentivados. Assim, caso estejam (ou não) ocorrendo alterações na dieta destes tubarões, poderá fortalecer (ou refutar) as hipóteses que expliquem as causas para migração anômala observada.

Por fim, sabe-se que estudos de oceanografia pesqueira associados ao aquecimento global são em grande medida escassos pela falta de dados históricos de captura que subsidiem esta linha interpretativa. Considerando que as mudanças climáticas globais são um desafio para múltiplas áreas da economia (incluindo a pesca), o presente esforço revela em alguma medida que a avaliação dos impactos decorrentes deste fenômeno dependerá da elaboração de bancos de dados de captura robustos.

REFERENCIAL TEÓRICO

ABRANTES, Fatima et al. Climate of the last millennium at the southern pole of the North Atlantic Oscillation: an inner-shelf sediment record of flooding and upwelling. **Climate Research**, v. 48, p. 261–280, ago 2011. Disponível em: <<http://repositorio.ineg.pt/handle/10400.9/1374> >

ALEXANDER, Michael; KILBOURNE, Halimeda; NYE, Janet. Climate variability during warm and cold phases of the Atlantic Multidecadal Oscillation (AMO) 1871–2008. **Journal of Marine Systems**, v. 133, p. 14–26, ago 2014. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0924796313001693>>

ANDRES, Magdalena. On the recent destabilization of the Gulf Stream path downstream of Cape Hatteras. **Geophysical Research Letters**, v. 43, p. 9836–9842, set 2016. Disponível em: <<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/2016GL069966> >

ANGELIS, Cristiano Trindade. **UM ESTUDO SOBRE OS FILTROS HP E BK. 2004.** Dissertação (Mestrado em Economia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, fev 2004. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/88148>>

ARNASON, Ragnar. Global warming: new challenges for the common fisheries policy?. **Ocean & Coastal Management**, v. 70, p. 4-9, abr 2012. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0964569112000725>>

AUER, Stephen. J.. Five-year climatological survey of the Gulf Stream system and its associated rings. **Journal of Geophysical Research**, v. 92, p. 11 709–11 726, out 1987. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0964569112000725>>

BARANGE, Manuel et al. Impacts of climate change on fisheries and aquaculture: synthesis of current knowledge, adaptation and mitigation options. **Fisheries and Aquaculture FAO -Technical Paper** n°. 627, Rome, 2018. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/i9705en/i9705en.pdf> >

BELKIN, Igor M.. Rapid warming of Large Marine Ecosystems. **Progress in Oceanography**, v. 81 p. 207-213, abr 2009. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/i9705en/i9705en.pdf>>

BELL, Richard James et al. Disentangling the effects of climate, abundance, and size on the distribution of marine fish: an example based on four stocks from the Northeast US shelf. **ICES Journal of Marine Science**, dez 2014, Disponível em: <<https://academic.oup.com/icesjms/article/72/5/1311/760258>>

BIAIS, Gérard et al. Return migration patterns of porbeagle shark (*Lamna nasus*) in the Northeast Atlantic: implications for stock range and structure. **ICES Journal of Marine Science**, v. 74: p. 1268–1276, jan 2016. Disponível em: <<https://academic.oup.com/icesjms/article/72/5/1311/760258>>

BINDOFF, Nathanael L et al. Observations: Oceanic Climate Change and Sea Level. **Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**, Cambridge University Press, New York, p. 387-432, 2007. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4-wg1-chapter5-1.pdf>>

CAMPANA, Steven E.; JOYCE, Warren N. Temperature and depth associations of porbeagle sharks (*Lamna nasus*) in the northwest Atlantic. **Fisheries Oceanography**, v. 13, p. 52–64, jan 2004. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2419.2004.00236.x>>

CHEN, Ken et al. Diagnosing the warming of the Northeastern U.S. Coastal Ocean in 2012: A linkage between the atmospheric jet stream variability and ocean response. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 119, p. 218–227, jan 2014. Disponível em: <<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/2013JC009393>>

CHEN, Changlin et al. Why Does Global Warming Weaken the Gulf Stream but Intensify the Kuroshio?. **Journal of Climate**, v. 32, p. 7437-7451, nov 2019. Disponível em: <<https://journals.ametsoc.org/jcli/article/32/21/7437/344449/Why-Does-Global-Warming-Weaken-the-Gulf-Stream-but>>

CURTIS, Tobey H. et al. Status review report: Porbeagle Shark (*Lamna nasus*). **Final Report to National Marine Fisheries Service, Office of Protected Resources**, 56 pp, fevereiro 2016. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/305721219_Status_review_report_Porbeagle_Shark_Lamna_nasus>

DIOP, Bassirou et al. Maximum Economic Yield Fishery Management in the Face of Global Warming. **Ecological Economics**, v. 154, p. 52-61, jul 2018. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0921800918301113>>

DRINKWATER, Kenneth F. et al. The response of marine ecosystems to North Atlantic climate variability associated with the North Atlantic Oscillation. **Geophysical Monograph**, v. 134, p. 211-234, 2003. Disponível em: <<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/134GM10>>

ENFIELD, David B.; MESTAS-NUÑEZ, Alberto M.; TRIMBLE, Paul J. The Atlantic multidecadal oscillation and its relation to rainfall and river flows in the continental U.S. **Geophysical Research Letters**, v. 28, p. 2077– 2080, maio 2001. Disponível em: <<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1029/2000GL012745>>

ERAUSKIN-EXTRAMIANA, Maite et al. Large-scale distribution of tuna species in a warming ocean. **Global Change Biology**, v. 25, p. 2043–2060, mar 2019. Disponível em: <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/gcb.14630>>

FAO, 2014. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. The state of world fisheries and aquaculture: Opportunities and challenges, Rome, 223 pp. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-i3720e.pdf>>

GILMAN, Eric et al. Effects of Ocean Warming on Pelagic Tunas. **Explaining Ocean Warming: Causes, Scale, Effects and Consequences**, IUCN – International Union for the Conservation of Nature, p 254-270, 2016. Disponível em: <<https://repository.si.edu/handle/10088/30589>>

GUIDINI, Marilene Bertuol et al. Aplicação do K-means cluster para a classificação de estilos gerenciais. **Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, v. 28, Rio de Janeiro, dez 2008. Disponível em: <<http://periodicos.ufc.br/contextus/article/view/32097>>

HODGE, Victoria J.; AUSTIN, Jim. A survey of outlier detection methodologies. **Artificial Intelligence**, Rev. 22, p. 85-126, 2004. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s10462-004-4304-y>>

HURRELL, James W., VAN LOON, Harry. Decadal variations in climate associated with the North Atlantic Oscillation. **Climatic. Change**, v. 36, p. 301- 326, 1997. Disponível em: < <https://link.springer.com/article/10.1023/A:1005314315270> >

IONITA, Monica et al. Multidecadal variability of summer temperature over Romania and its relation with Atlantic Multidecadal Oscillation. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 113, p. 305–315, nov 2013. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s00704-012-0786-8>>

IPCC, 2007. **Intergovernmental Panel on Climate Change**. Climate Change 2007: Synthesis Report, Geneva, Switzerland, 104 pp. Disponível em: <<https://www.ipcc.ch/report/ar4/syr/>>

IPCC, 2013. **Intergovernmental Panel on Climate Change**. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate, Cambridge University Press,

Cambridge, United Kingdom e New York, NY, USA, 1535 pp. Disponível em: <
<https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/> >

KNIGHTS, Brian. A review of the possible impacts of long-term oceanic and climate changes and fishing mortality on recruitment of anguillid eels of the Northern Hemisphere. **Science of The Total Environment**, v. 310, p. 237–244, nov 2003. Disponível em:
 <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969702006447>>

KOHLER, Nancy E. et al. Tag and recapture data for three pelagic shark species: blue shark (*prionace glauca*), shortfin mako (*isurus xyrinchus*), and porbeagle (*lamna nasus*) in the north atlantic ocean. **Collective Volume of Scientific Papers ICCAT**, v. 54, p. 1231–1260, 2002. Disponível em:
 <<https://www.semanticscholar.org/paper/TAG-AND-RECAPTURE-DATA-FOR-THREE-PELAGIC-SHARK-BLUE-Kohler-Turner/41824d90440f41e6b91115aa0fac2517c23433ec>>

KOHN, André Fábio. Autocorrelation and Cross-Correlation Methods. **Wiley Encyclopedia of Biomedical Engineering**, Ed. Metin Akay, Hoboken: John Wiley & Sons, pp. 260-283, 2006. Disponível em:
 <http://www.leb.usp.br/andfkohn/EBME_2006_electronic_version.pdf>

LAST, Peter R. et al. Long-term shifts in abundance and distribution of a temperate fish fauna: a response to climate change and fishing practices. **Global Ecology and Biogeography**. v. 20, p. 58–72, 2010. Disponível em:
 <<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1466-8238.2010.00575.x>>

MARTINS, Andreza; GUIVANT, Julia Silvia. Mudanças Climáticas Marinhas e Pescarias Mundiais: o Silêncio das Ciências Sociais. **Sustentabilidade em Debate**, v. 8, n. 1, p. 28—39, mar 2017. Disponível em: <
<https://periodicos.unb.br/index.php/sust/article/view/16456> >

MCCARTHY, Gerard; JOYCE, Terrence Michael; JOSEY, Simon. Gulf Stream variability in the context of quasi-decadal and multidecadal Atlantic climate variability. **Geophysical Research Letters**, v. 45, p. 11,257–11,264, out 2018. Disponível em:
 < <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2018GL079336> >

MEDHAUG, Iselin. Mechanisms for decadal scale variability in a simulated Atlantic meridional overturning circulation. **Climate Dynamics**, v. 39, p. 77–93, jun 2011. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s00382-011-1124-z>>

NCAR, 2019. **National Center for Atmospheric Research**. The Climate Data Guide: Overview: Climate Indices. Disponível em:
 <<https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/overview-climate-indices>>

NIGAM, Sumant; RUIZ-BARRADAS, Alfredo. Gulf Stream excursions and sectional detachments generate the decadal pulses in the Atlantic multidecadal oscillation. **Journal of Climate**, v. 31, p. 2853–2870, abr 2018. Disponível em: <<https://journals.ametsoc.org/jcli/article/31/7/2853/89745/Gulf-Stream-Excursions-and-Sectional-Detachments>>

NYE, Janet A. et al. Changing spatial distribution of fish stocks in relation to climate and population size on the northeast United States continental shelf. **Marine Ecology Progress Series**, v. 393, p. 111–129, out 2009. Disponível em: <<https://www.int-res.com/abstracts/meps/v393/p111-129/>>

NYE, Janet A. et al. Silver hake tracks changes in Northwest Atlantic circulation. **Nature Communications**, v. 2, ago 2011. Disponível em: <<https://www.nature.com/articles/ncomms1420>>

NYE, Janet A. et al. Ecosystem effects of the Atlantic Multidecadal Oscillation. **Journal of Marine Systems**, v. 133, maio 2014. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/245535375_Ecosystem_effects_of_the_Atlantic_Multidecadal_Oscillation>

OTTERSON, Geir. et al. Ecological effects of the North Atlantic Oscillation. **Oecologia** v. 128, p. 1–14, mar 2001. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/201170003_Ecological_Effects_of_the_North_Atlantic_Oscillation>

POLOCZANSKA, Elvira S. Global imprint of climate change on marine life. **Nature Climate Change**, v. 3, p. 919-925, ago 2013. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/256426448_Global_imprint_of_climate_change_on_marine_life>

REYNOLDS, Richard W. et al. Daily high-resolution-blended analyses for sea surface temperature. **Journal of Climate**, v. 20, p. 5473–5496, nov 2007. Disponível em: <<https://journals.ametsoc.org/jcli/article/20/22/5473/31078/Daily-High-Resolution-Blended-Analyses-for-Sea>>

SISSENWINE, Michael; PEARCE John. Second review of the ICCAT Atlantic-wide research programme on bluefin tuna (ICCAT GBYP PHASE 6-2016). **Collective Volume of Scientific Papers ICCAT**, v. 73, p. 2340–423, 2017. Disponível em: <<https://mrag.co.uk/experience/second-review-iccat-atlantic-wide-research-programme-bluefin-tuna-iccat-gbyp-phase-6-2016>>

KLEIN TANK, Albert; KONNEN, Gunther. Simple temperature scenario for a Gulf stream induced climate change. **Climatic Change**, v. 37, p. 505-512, novembro 1997. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1023/A:1005341324954>>

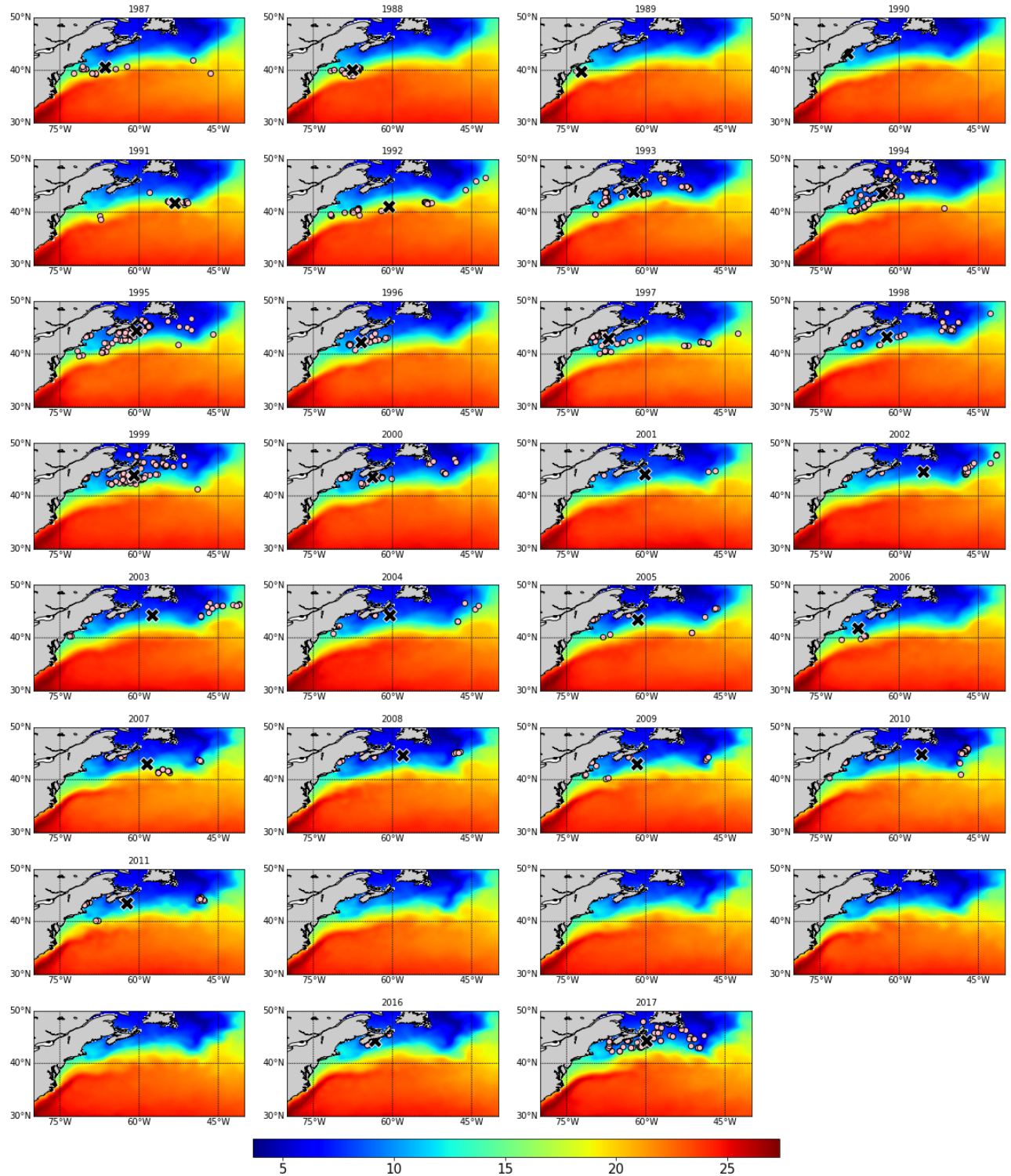
WANG, Chunzai; DONG, Shenfu. Is the basin-wide warming in the North Atlantic Ocean related to atmospheric carbon dioxide and global warming? **Geophysical Research Letters**, v. 37(8), abr 2010. Disponível em: <
<https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2010GL042743>>

WATELET, Sylvain; BECKERS, Jean-Marie; BARTH, Alexander. Reconstruction of the Gulf Stream from 1940 to the present and correlation with the North Atlantic Oscillation. **Journal of Physical Oceanography**, v. 47, p. 2741–2754, nov 2017. Disponível em: <
<https://journals.ametsoc.org/jpo/article/47/11/2741/44780/Reconstruction-of-the-Gulf-Stream-from-1940-to-the> >

ZHANG, Wen-Zhou et al. Remote sensing linear trends of the Gulf Stream from 1993 to 2016. **Ocean Dynamics**, v. 70, p. 701–712, fev 2020. Disponível em: <
https://www.researchgate.net/publication/339725499_Remote_sensing_linear_trends_of_the_Gulf_Stream_from_1993_to_2016>

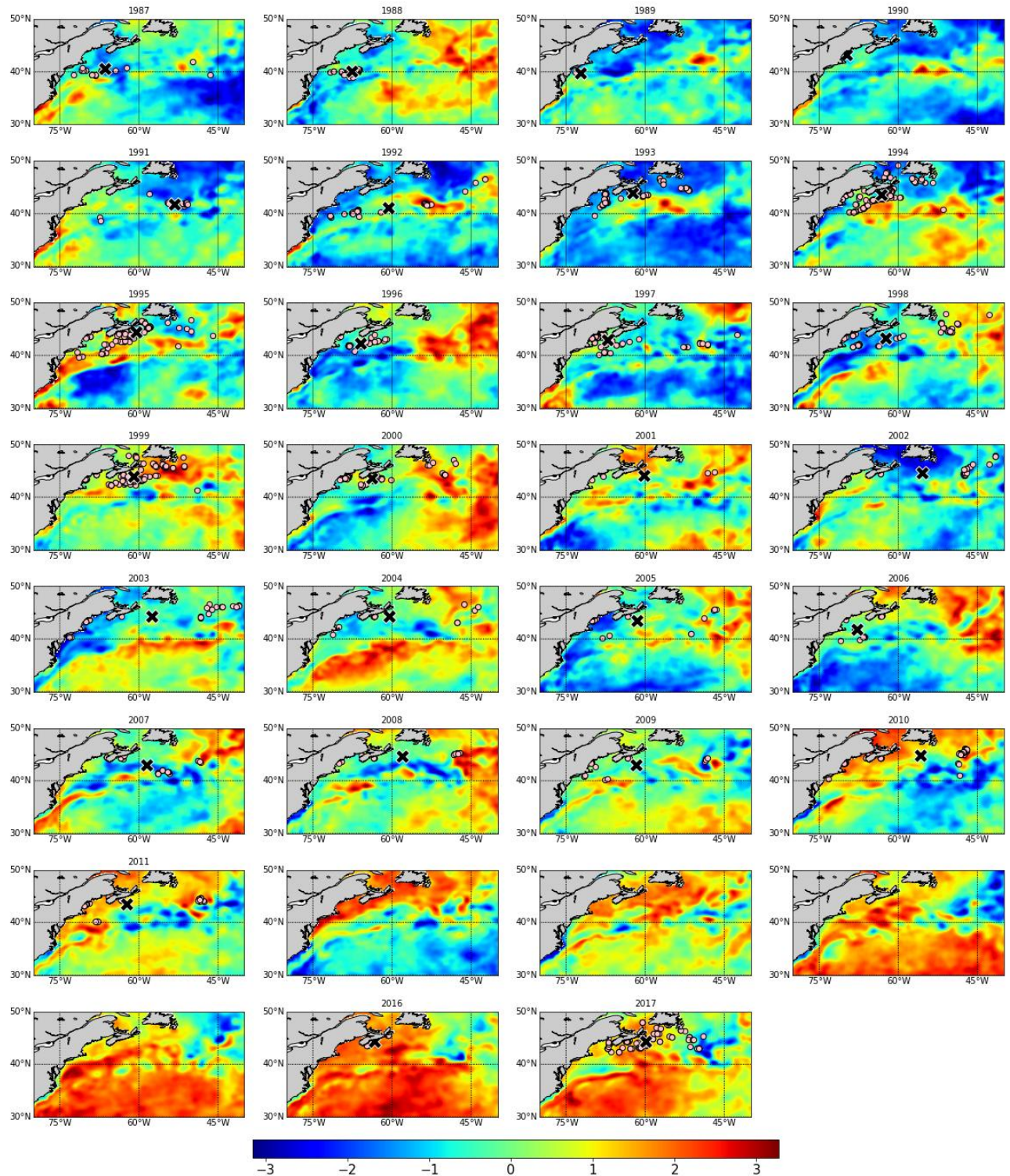
APÊNDICES

APÊNDICE A – Valores médios anuais da temperatura da superfície do mar (TSM) para a região de estudo (em graus Celsius). Os pontos em tons de rosa representam os pontos de captura de tubarões-sardo, enquanto o “x” em preto a posição do centróide.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

APÊNDICE B – Anomalia anual da temperatura da superfície do mar (TSM) para a região de estudo (em graus Celsius). Os pontos em tons de rosa representam os pontos de captura de tubarões-sardo, enquanto o “x” em preto a posição do centróide.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.