



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO  
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS ANIMAIS  
CURSO DE ENGENHARIA DE PESCA

EDUARDO RODRIGUES DO NASCIMENTO

**IMPACTOS DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR E DO ÍNDICE DE  
ILUMINAÇÃO DA LUA NA DISTRIBUIÇÃO E ABUNDÂNCIA DA ALBACORA  
BANDOLIM, *Thunnus obesus* (LOWE 1839) EM ÁGUAS DO ATLÂNTICO  
OCIDENTAL EQUATORIAL**

EDUARDO RODRIGUES DO NASCIMENTO

**IMPACTOS DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR E DO ÍNDICE DE  
ILUMINAÇÃO DA LUA NA DISTRIBUIÇÃO E ABUNDÂNCIA DA ALBACORA  
BANDOLIM, *Thunnus obesus* (LOWE 1839) EM ÁGUAS DO ATLÂNTICO  
OCIDENTAL EQUATORIAL**

Monografia apresentada a Universidade Federal  
Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção  
do título de Bacharel em Engenharia de Pesca.

Orientador: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria do Socorro Ribeiro  
Freire Cacho.

Co-orientador: Prof. Dr. Humberto Gomes Hazin

MOSSORÓ

2024

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

N244 Nascimento, Eduardo Rodrigues do .  
i Impactos da temperatura da superfície do mar e do índice de iluminação da lua na distribuição e abundância da Albacora Bandolim, *Thunnus Obesus* (Lowe 1839) em águas do Atlântico Ocidental Equatorial / Eduardo Rodrigues do Nascimento. - 2024.  
27 f. : il.

Orientador: Maria do Socorro Ribeiro Freire Cacho.  
Coorientador: Humberto Gomes Hazin.  
Monografia (graduação) - Universidade Federal Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia de Pesca, 2024.

1. Fatores oceanográficos. 2. Dinâmica populacional. 3. Atividade pesqueira. 4. CPUE. 5. Conservação marinha. I. Cacho, Maria do Socorro Ribeiro Freire , orient. II. Hazin, Humberto Gomes , co-orient. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).  
Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência  
Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva  
CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

EDUARDO RODRIGUES DO NASCIMENTO

**IMPACTOS DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE DO MAR E DO ÍNDICE  
DE ILUMINAÇÃO DA LUA NA DISTRIBUIÇÃO E ABUNDÂNCIA DA  
ALBACORA BANDOLIM, *Thunnus obesus* (LOWE 1839) EM ÁGUAS DO  
ATLÂNTICO OCIDENTAL EQUATORIAL**

Monografia apresentada a  
Universidade Federal Rural do  
Semi-Árido como requisito para  
obtenção do título de Bacharel em  
Engenharia de Pesca.

Defendida em: 25/10/2024

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Maria do Socorro Ribeiro Freire Cacho  
(UFERSA) Presidente

---

Prof. Dr Humberto Gomes Hazin  
(UFERSA) Membro Examinador

---

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Ítala Alves de Oliveira  
(UFERSA) Membro Examinador

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de expressar a minha mais profunda gratidão a Deus, fonte infinita de amor e bondade, por ter iluminado minha jornada nos últimos cinco anos. Sua divina providência me concedeu a força e a determinação necessárias para superar os desafios impostos pela pandemia de COVID-19 e pela greve dos servidores que se configuraram como obstáculos inesperados e significativos, impactando profundamente o andamento das atividades acadêmicas e que poderiam ter me desviado do caminho tão sonhado.

Agradeço à minha família, em especial à minha mãe “Nildinha”, cujo amor incondicional e apoio incansável foram fundamentais para que eu alcançasse essa conquista. Sua fé em mim me impulsionou a seguir em frente, mesmo nos momentos mais difíceis.

A realização deste sonho carrega consigo um significado ainda mais profundo, pois me permite honrar a memória da minha avó materna Maria Alice, carinhosamente “Dona Bela” e do meu pai, Isac. Tenho a certeza de que, onde quer que estejam, sentem um imenso orgulho por mim. As palavras de incentivo que ambos me dedicaram ao longo da vida, enfatizando a importância da educação como um legado inestimável, ecoam em meu coração até hoje. Agradeço a Deus por ter me permitido realizar este desejo tão caro a eles, e lhes dedico esta conquista (in memoriam).

Agradeço à minha tão querida orientadora, Profa. Socorro Cacho. A sua orientação e os seus conselhos foram fundamentais para minha formação e me marcaram profundamente. Não existem palavras para expressar a gratidão que sinto por cada gesto de carinho e de apoio recebidos. Sou muito grato a ela e ao meu amigo e "pai adotivo" Jezualdo que me acolheram de braços abertos. Obrigado pela acolhida calorosa e pelo lar que me ofereceram longe de casa.

Agradeço imensamente ao meu amigo e coorientador, Prof. Humberto Hazin pela parceria e pela amizade sincera. Suas contribuições para este trabalho foram inestimáveis, e as conversas em sua sala me inspiraram a cada dia.

Aos meus colegas da casa 13, em especial ao Jefferson, agradeço pela amizade e pelo companheirismo. Os momentos que compartilhamos nesta universidade serão inesquecíveis.

Agradeço à minha companheira de vida, Renata Angelino, por seu carinho e compreensão durante todo este processo. Agradeço também aos meus amigos do Colégio Marista de Aracati, Lucas Cláudio, Felipe Klaiver, Thiago Lima, Gabriel Almeida, Elijúnior Souza, Tertuliano Petter, Lucas Romério, Wilker Guido e Vitor Pette Kovet, por sempre estarem presentes, torcendo por mim

e me proporcionando momentos de alegria e descontração.

Ao meu amigo e irmão, Vitor Pette Kovet, agradeço imensamente por sua amizade, apoio e incentivo. Sua ajuda nas disciplinas iniciais foi fundamental para o meu alicerce acadêmico. Compartilharmos um teto, durante a graduação que foi uma experiência inesquecível.

Por fim, agradeço a todos os professores que se dedicam à nossa formação, em especial aos que sempre se esforçaram para aprimorar o nosso curso.

Com a conclusão desta graduação, sinto-me motivado a me preparar para enfrentar os desafios do mercado de trabalho e contribuir para o desenvolvimento da Engenharia de Pesca.

Muito obrigado, a todos que fizeram parte dessa jornada e espero poder utilizar os conhecimentos adquiridos para fazer a diferença no mundo.

*“Somos quem podemos ser;  
sonhos que podemos ter.”*

*Engenheiros do Hawaii*

## RESUMO

A pesca de atum se encontra entre as principais fontes de crescimento econômico e no Atlântico Equatorial, a captura de espécies, como albacora bandolim tem sido impulsionada pela crescente demanda global por produtos pesqueiros de alto valor agregado. Esta pesquisa teve como objetivo analisar os impactos da temperatura da superfície do mar (TSM) e o índice de iluminação da lua (IL) sobre a distribuição e abundância relativa da albacora bandolim (*Thunnus obesus*). Especificamente, analisar a influência desses fatores ambientais (temperatura da superfície do mar e índice de iluminação da lua) sobre sua distribuição e abundância; identificar áreas de maior abundância e padronizar as CPUEs, com aplicação para a referida espécie. A análise dos impactos relacionados com (TSM) e com índice de iluminação da lua, sobre a distribuição e abundância relativa da albacora bandolim foi baseada em dados de captura e esforço de pesca, da frota espinheleira brasileira entre 10°N - 10°S e 25° - 40°W, na Porção Ocidental do Oceano Atlântico. Os dados de lançamentos, área de pesca, esforço e captura foram obtidos dos mapas de bordo das embarcações sediadas no Brasil, com capturas destinadas aos atuns. Como índice de abundância relativa foi utilizada a CPUE, em número de indivíduos, por 1000 anzóis. As variáveis oceanográficas foram coletadas por sensores de satélite, utilizando séries temporais. Foram utilizadas quatro variáveis. As variáveis relacionadas ao esforço de pesca, referentes ao número de anzóis utilizados por lançamento, bem como aquelas relacionadas com o espaço e o tempo, como latitude – LAT, longitude – LON, ano e mês foram obtidas dos Diários de Bordo das Embarcações, em quadrados de 1°x1°, por dia, mês, trimestre e ano. A (TSM), foi obtida através do “Physical Oceanography Distributed Active Archive Center” do “Jet Propulsion Laboratory”/NASA, “Geophysical Fluid Dynamics Lab/ocean data from the IRI/ARCS/Ocean assimilation” e “Centre ERS d’Archivage et de Traitement (CERSAT)” do (IFREMER). O índice de iluminação da lua – ILL, foi obtido do pacote R LUNAR. Para analisar a relação entre fatores ambientais e operacionais sobre as capturas (CPUE), foram utilizados Modelos Aditivos Generalizados (GAMMs) e foram desenvolvidos quatro modelos. Dentre eles, o menor valor da RMSE (6,51) foi observado no modelo com estruturação espaço-tempo. Em relação ao efeito da (TSM) sobre a CPUE da albacora bandolim, os resultados mostraram que a espécie tende a ser capturada, mais frequentemente entre 26 e 27 °C, decrescendo o número de indivíduos, a partir de 27°C e retornando aos índices anteriores de captura, a partir de 28,5°C. Com referência ao efeito do índice de iluminação lunar (IL) sobre a CPUE, os resultados demonstraram que as maiores CPUEs ocorreram, na fase de lua nova e na fase crescente da lua, entre 0.5 a 0.8, decrescendo-se os valores de CPUEs à medida que a lua cheia se aproximou (1,0). Em se tratando da distribuição, os resultados indicaram que as áreas de maior abundância da espécie encontravam-se, na região do Oeste Equatorial do Oceano Atlântico, durante os 12 meses do ano, sendo a maioria das áreas localizada entre 5°S-10°N/25°W-40°W, entre os meses de Janeiro (01) a Maio (05). As áreas de abundância, decresceram de forma contínua entre 5°S- 10°N/25°W-35°W a partir do mês de Junho (06) a Dezembro (12). Tais áreas, se concentraram entre 0°-10N/35°W-45°W, durante esses meses. Pode-se concluir que a temperatura da superfície do mar e o índice de iluminação da lua, exercem papel fundamental na distribuição e abundância da albacora bandolim, no Atlântico Equatorial Ocidental; As áreas com temperaturas mais adequadas (entre 26 e 27 °C), concentram maior quantidade de indivíduos, aumentando a sua abundância local; A iluminação da lua influencia o comportamento noturno desses peixes, com as maiores CPUEs ocorrendo, durante a fase de lua nova e na fase crescente da lua; As áreas de maior concentração de albacora bandolim correspondem à região Oeste Equatorial do Oceano Atlântico, durante os 12 meses do ano, sendo a maioria delas localizada entre 5°S-10°N/25°W-40°W, nos meses de Janeiro a Maio (05), onde a espécie é mais frequentemente encontrada.

**Palavras-Chave:** Fatores Oceanográficos, Dinâmica Populacional, Atividade pesqueira, CPUE, Conservação Marinha.

## ABSTRACT

Tuna fishing is among the main sources of economic growth and in the Equatorial Atlantic, the capture of species such as yellowfin tuna has been driven by the growing global demand for high value-added fisheries products. This research aimed to analyze the impacts of sea surface temperature (SST) and moonlight index (MI) on the distribution and relative abundance of bigeye tuna (*Thunnus obesus*). Specifically, to analyze the influence of these environmental factors (sea surface temperature and moonlight index) on its distribution and abundance; to identify areas of greater abundance and to standardize CPUEs, with application to the referred species. The analysis of the impacts related to (SST) and moonlight index on the distribution and relative abundance of yellowfin tuna was based on catch and fishing effort data from the Brazilian longline fleet between 10°N - 10°S and 25° - 40°W, in the Western Portion of the Atlantic Ocean. Data on releases, fishing area, effort and catch were obtained from the onboard maps of vessels based in Brazil, with catches intended for tuna. The CPUE was used as an index of relative abundance, in number of individuals, per 1000 years. The oceanographic variables were collected by satellite sensors, using time series. Four variables were used. The variables related to fishing effort, referring to the number of years used per release, as well as those related to space and time, such as latitude - LAT, longitude - LON, year and month were obtained from the Vessels' Logbooks, in 1°x1° squares, by day, month, quarter and year. The (TSM) was obtained from the "Physical Oceanography Distributed Active Archive Center" of the "Jet Propulsion Laboratory"/NASA, "Geophysical Fluid Dynamics Lab/ocean data from the IRI/ARCS/Ocean assimilation" and "Centre ERS d'Archivage et de Traitement (CERSAT)" of (IFREMER). The lunar illumination index - ILL, was obtained from the R package LUNAR. To analyze the relationship between environmental and operational factors on catches (CPUE), Generalized Additive Models (GAMMs) were used and four models were developed. Among them, the lowest RMSE value (6.51) was observed in the model with space-time structuring. Regarding the effect of SST on the CPUE of yellowfin tuna, the results showed that the species tends to be captured more frequently between 26 and 27 °C, with the number of individuals decreasing from 27 °C and returning to previous capture rates from 28.5 °C. Regarding the effect of the lunar illumination index (LI) on the CPUE, the results obtained showed that the highest CPUEs occurred in the new moon phase and in the crescent phase of the moon, between 0.5 and 0.8, with the CPUE values decreasing as the full moon moved (1.0). Regarding distribution, the results indicated that the areas of greatest abundance of the species were located in the West Equatorial region of the Atlantic Ocean, during the 12 months of the year, with most areas located between 5°S-10°N/25°W-40°W, between the months of January (01) to May (05). The abundance areas decreased continuously between 5°S-10°N/25°W-35°W from June (06) to December (12). These areas were concentrated between 0°-10°N/35°W-45°W during these months. It can be concluded that the sea surface temperature and the moonlight index play a fundamental role in the distribution and abundance of yellowfin tuna in the Western Equatorial Atlantic; Areas with more suitable temperatures (between 26 and 27 °C) concentrate a greater number of individuals, increasing their local abundance; Moonlight influences the nocturnal behavior of these fish, with the highest CPUEs occurring during the new moon phase and the waxing moon phase; The areas with the highest concentration of yellowfin tuna occur in the Western Equatorial region of the Atlantic Ocean, during the 12 months of the year, with the majority of them located between 5°S-10°N/25°W-40°W, in the months of January to May (05), where the species is most frequently found.

**Key words:** Oceanographic Factors, Population Dynamics, Fishing Activity, CPUE, Marine Conservation.

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 - Distribuição do esforço de pesca da frota brasileira.....                                                   | 16 |
| Figura 2 - Distribuição dos resíduos referente ao modelo aplicado .....                                                | 20 |
| Figura 3 - (A) Efeito da Temperatura da Superfície da água do Mar (TSM) e (B) do Índice de Iluminação Lunar (IL) ..... | 22 |
| Figura 4 - Variação da CPUE da pesca da albacora bandolim Equatorial Ocidental durante os meses.....                   | 23 |

## **LISTA DE TABELAS**

|                                                     |    |
|-----------------------------------------------------|----|
| Tabela 1 - Sumário dos resultados dos modelos ..... | 19 |
|-----------------------------------------------------|----|

## SUMÁRIO

|                                                                                                      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. INTRODUÇÃO.....                                                                                   | 13 |
| 2. OBJETIVOS.....                                                                                    | 15 |
| 3. MATERIAIS E MÉTODOS .....                                                                         | 16 |
| 3.1 Área de Estudo. ....                                                                             | 16 |
| 3.2 Aquisição dos dados e procedimentos metodológicos .....                                          | 17 |
| 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....                                                                      | 23 |
| 4.1 Análise de dados.....                                                                            | 19 |
| 4.2 Efeitos de variáveis ambientais sobre a CPUE.....<br>da albacora bandolim, <i>Thunnus obesus</i> | 20 |
| 4.3 Efeito de variáveis espaciais na CPUE da albacora bandolim, <i>Thunnus obesus</i> .....          | 22 |
| 5. CONCLUSÕES .....                                                                                  | 24 |
| 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS .....                                                                  | 25 |

## 1. INTRODUÇÃO

A pesca de atum é uma das atividades econômicas mais relevantes no mundo e tem sido impulsionada pela crescente demanda por produtos pesqueiros de alto valor agregado, especialmente nos mercados asiáticos (FAO, 2024). No Atlântico Equatorial, essa atividade se concentra em espécies altamente migratórias, como a albacora bandolim (*Thunnus obesus*) e a albacora-laje (*Thunnus albacares*) (FAO, 2024).

Essa área é de grande interesse para a pesca, não apenas pela localização estratégica, que facilita a migração dos cardumes, mas também pelas condições ambientais favoráveis, como ressurgências próximas ao Equador, alta temperatura da superfície do mar e intensa radiação solar, fatores que promovem elevada produtividade primária e atraem grandes cardumes de atuns (TODOROVIC et al., 2019).

Desde a década de 1950, com a introdução da pesca comercial no Atlântico utilizando espinheis, a atividade pesqueira passou a contar com avanços tecnológicos que aumentaram a eficiência da captura e permitiram maior alcance, com o uso o espinhel profundo introduzido pelos japoneses, projetado especificamente para capturar a albacora bandolim (FERNANDEZ-CARVALHO et al., 2015).

Esse modelo permitiu o aumento das capturas em camadas mais profundas do oceano e impulsionou a pesca de atum na região, especialmente pelo valor elevado da carne desta espécie, que apresenta grande demanda, tanto no mercado interno quanto internacional. A posição geográfica do Brasil, com extenso litoral e proximidade das rotas migratórias, oferece uma vantagem competitiva em relação aos países como Japão, Taiwan e Coreia, cujas embarcações percorrem grandes distâncias para acessar os mesmos estoques de atum (HAZIN et al., 2007).

Dada a crescente pressão sobre os recursos pesqueiros e os desafios ambientais, a comunidade internacional tem buscado implementar medidas de gestão mais eficientes, voltadas para a sustentabilidade dos estoques pesqueiros. As Organizações Regionais de Gestão da Pesca do Atum (ORGP) desempenham um papel crucial nessa tarefa, promovendo regulamentações que incluem o monitoramento de capturas e o controle do esforço pesqueiro em cada bacia oceânica (ALLEN, 2010).

Para a gestão adequada desses recursos, é essencial entender a dinâmica das pescarias de peixes pelágicos, como o atum, que estão sujeitas a influências ambientais e fatores relacionados à atividade pesqueira. Ferramentas de monitoramento, como o sensoriamento remoto e a análise da Captura por Unidade de Esforço (CPUE), são fundamentais para acompanhar as mudanças na abundância das espécies e prever o impacto da pressão pesqueira (MAUNDER et al., 2006).

A CPUE, calculada pela razão entre a quantidade capturada e a intensidade do esforço de pesca, é usada para monitorar a abundância relativa dos estoques, identificar tendências de longo prazo e detectar sinais de sobrepesca. Esse índice é amplamente utilizado na gestão pesqueira para avaliar a eficácia das estratégias de manejo e ajustar medidas regulatórias conforme necessário (ZELLER et al., 2021).

As variáveis ambientais desempenham um papel decisivo na distribuição e abundância das espécies pelágicas. A temperatura da superfície do mar, por exemplo, afeta diretamente a solubilidade do oxigênio, a taxa metabólica dos peixes e a distribuição das presas. Mudanças na temperatura podem modificar as taxas de alimentação, crescimento e a estrutura das populações de espécies, como a albacora bandolim, concentrando-as em áreas ricas em nutrientes e com alta produtividade pesqueira (YANG et al., 2015; CAI et al., 2020).

Outro fator relevante é a iluminação lunar, que pode influenciar o comportamento de diversas espécies marinhas, afetando atividades como a predação e a migração vertical. No caso dos atuns, a fase lunar parece influenciar as CPUEs, sendo o efeito da luminosidade nas taxas de captura, um elemento a se considerar nas análises de distribuição dessas espécies pelágicas (LIRA, 2016).

A compreensão das relações entre a distribuição e a abundância de espécies pelágicas com as variáveis oceanográficas é de importância crucial para a sustentabilidade da pesca, permitindo otimizar as operações pesqueiras e desenvolver estratégias que garantam a sustentabilidade dos estoques naturais. Esta pesquisa busca aprofundar o entendimento desses processos, analisando dados pesqueiros e oceanográficos, a fim de identificar as variáveis ambientais que mais influenciam a distribuição e a abundância da albacora bandolim e contribuem para a gestão sustentável desse recurso (LAN et al., 2011; CHIARINI et al., 2022).

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo geral

Este trabalho teve como objetivo analisar os impactos da temperatura da superfície do mar (TSM) e o índice de iluminação da lua (IL) sobre a distribuição e abundância relativa da albacora bandolim (*Thunnus obesus*), capturada no Atlântico Ocidental Equatorial e como essas mudanças influenciam a eficiência da sua pesca.

### 2.2 Objetivos específicos

- ✓ Analisar a influência das variáveis ambientais (temperatura da superfície do mar e o índice de iluminação da lua) sobre a distribuição e abundância da albacora bandolim (*Thunnus obesus*).
- ✓ Identificar as áreas de maior abundância da espécie albacora bandolim, no Atlântico Ocidental Equatorial utilizando dados de captura de pesca comercial;
- ✓ Padronizar as CPUEs com aplicação para a albacora bandolim, capturada na pesca de atuns e afins no Atlântico Ocidental Equatorial.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 Área de Estudo

A análise dos impactos relacionados com a temperatura da superfície do mar (TSM) e com o índice de iluminação da lua, sobre a distribuição e abundância relativa da albacora bandolim (*Thunnus obesus*), capturada no Atlântico Ocidental Equatorial e como as mudanças resultantes desses impactos influenciaram a eficiência da pesca dessa espécie, foi realizada com base em dados de captura e esforço de pesca, provenientes da frota espinheleira brasileira entre 10°N - 10°S e -25°W - 40°W, na Porção Ocidental do Oceano Atlântico, no período compreendido entre 2014 a 2016 (Figura 1).

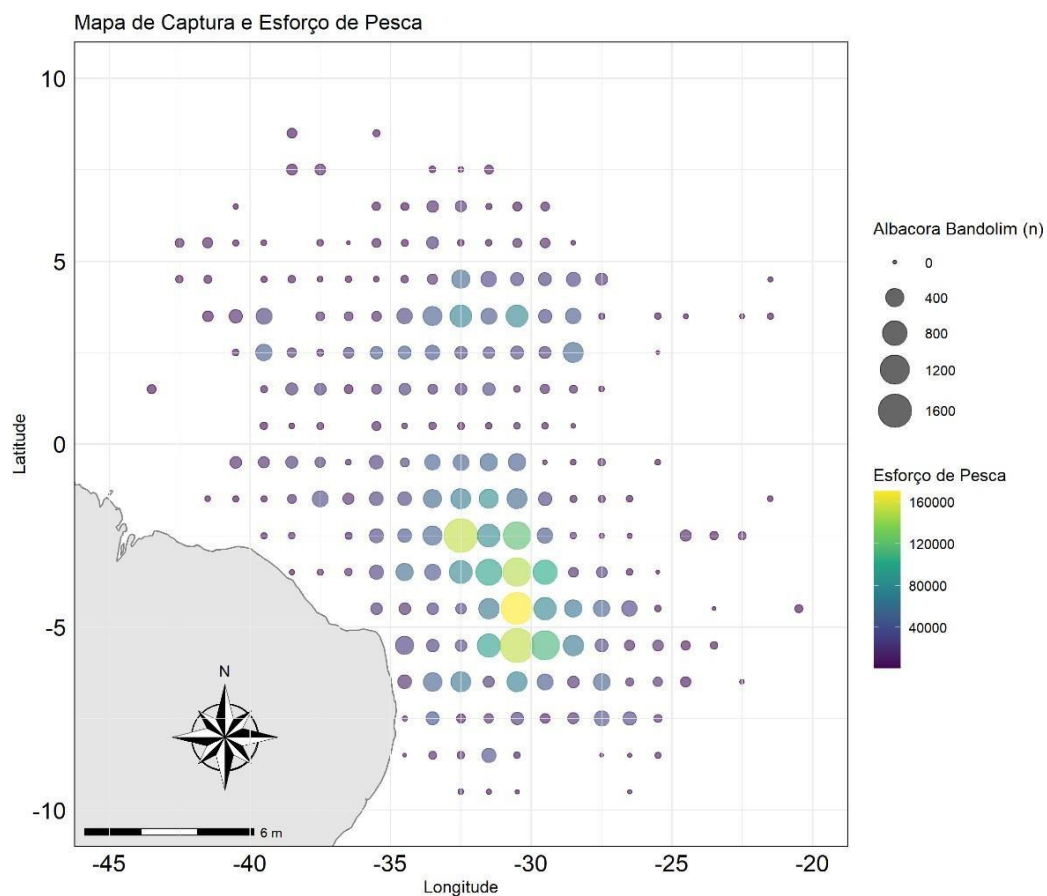


Figura 1- Distribuição do esforço de pesca da frota brasileira

Fonte: Dados da pesquisa.

### 3.2 Aquisição dos dados e procedimentos metodológicos

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 2014 a 2016, cujas capturas foram destinadas aos atuns (albacora laje, albacora branca e albacora bandolim). Como índice de abundância relativa foi utilizada a CPUE, em número de indivíduos, por 1000 anzóis.

As variáveis oceanográficas foram coletadas por meio de sensores de satélite, utilizando séries temporais que estão armazenadas em bancos de dados acessíveis online. Foram utilizadas um total de sete variáveis, sendo elas: esforço de pesca, ano, mês, latitude, longitude, temperatura da superfície do mar e índice de iluminação lunar. As variáveis relacionadas ao esforço de pesca, referentes ao número de anzóis utilizados por lançamento, bem como aquelas relacionadas com o espaço e o tempo, como latitude (LAT), longitude (LON), ano e mês foram obtidas através dos Diários de Bordo das Embarcações, em quadrados de  $1^\circ \times 1^\circ$ , por dia, mês, trimestre e ano.

A temperatura da superfície da água do mar (TSM), foi obtida através do “*Physical Oceanography Distributed Active Archive Center*” do “*Jet Propulsion Laboratory*”/NASA, “*Geophysical Fluid Dynamics Lab/ocean data from the IRI/ARCS/Ocean assimilation*” e “*Centre ERS d’Archivage et de Traitement (CERSAT)*” do (IFREMER).

Os dados, cuja resolução original é de  $0,5^\circ \times 0,5^\circ$ , foram agregados para constituir uma base com resolução de  $1^\circ \times 1^\circ$ , por dia, ano, mês latitude e longitude, sendo seguidamente incorporados no banco de dados de pesca. O índice de iluminação da lua – ILL, foi obtido através do pacote R LUNAR, no qual os valores variam entre 0 (Lua Nova) e 1 (Lua Cheia).

Para analisar a relação entre os fatores ambientais e operacionais sobre as capturas (CPUE) da albacora bandolim foram utilizados os Modelos Aditivos Generalizados (GAMMs). Nos GAMMs, podem ser consideradas duas categorias de variáveis: os efeitos fixos e os efeitos aleatórios. Estes geralmente incluem blocos ou observações que são replicados de forma espacial ou temporal, além de considerar variações entre indivíduos, espécies e regiões.

Na seleção das covariáveis para o modelo final, foi empregado o método da dupla penalidade (*double penalty approach*) sugerido por Marra e Wood (2011). Esse método determina que todas as covariáveis cuja função de suavização final resulte em uma linha com valor zero, devem ser excluídas do modelo. Para o cálculo das funções de suavização, foi adotado o método de REML.

Foram desenvolvidos quatro modelos, nos quais foram avaliadas diferentes configurações, com e sem a adição de uma estrutura espaço-temporal. A formulação final do GAMM utilizado pode ser descrita da seguinte maneira:

*Modelos com estruturação espaço-tempo:*

*gam(bet~ s(latitude, longitude), bs="gp", k=50, by=m) + Ano + m(mês)+ s(tsm) +s(il)+  
offset(log(esforço))*

*Modelos com estruturação espacial:*

*gam(bet~ s(latitude, longitude), bs="re", k=50) + s(lat1(latitude)) + s(lng1(longitude)) + Ano +  
mês + s(tsm,by=m)+s(il,by=m) + offset(log(esforço))*

*Modelos sem estrutura espaço-tempo:*

*gam(bet~ s(latitude) + s(longitude) + Ano + mês+ s(tsm, by=m)+ s(il) + offset(log(esforço))*

*Modelos com estrutura espacial com efeito aleatório:*

*gam(bet~ s(latitude, longitude), bs="re", k=50) + Ano + mês+ s(tsm) +s(il) +offset(log(esforço))*

A opção pela escolha da distribuição Tweedie se deu, em função da sua capacidade de lidar com dados contínuos, contendo grandes quantidades de zeros (35,0%) (TWEEDIE, 1984). A variável Ano, representa o fator “ano” e “bs” são funções suavizadoras das covariáveis, incluindo Latitude, Longitude, Mês, Temperatura da Superfície da Água do Mar e Índice de iluminação da Lua. O tensor suavizador tridimensional utilizado para espaço, relativo a Latitude, longitude e mês foi modelado utilizando um suavizador isotrópico (Gaussian process e thin plate regression splines). As demais variáveis foram modeladas, com um suavizador cubic regression spline (WOOD et al, 2008).

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Análises de dados

Para realização desta pesquisa foram testados quatro modelos, desenvolvidos no software R Studio. Dentre os modelos testados, o menor valor da RMSE (raiz quadrada do erro médio de previsão) (6,51) foi observado no modelo com estruturação espaço-tempo (Tabela 1), que explica 80% de performance. Este modelo portanto, foi o mais adequado à pesquisa realizada.

Tabela 1 – Sumário dos resultados dos modelos utilizados para analisar a relação entre os fatores ambientais sobre as capturas (CPUE) da albacora bandolim, no Atlântico Equatorial Ocidental, no período de 2014 a 2016.

| Estrutura                     | Modelo                                                                                                                                                        | R2    | RMSE  | Sigma | AIC_wt | BIC_wt | Performance |
|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|--------|--------|-------------|
| Espaço-Tempo                  | $gam(bet \sim s(latitude, longitude), bs="gp", k=50, by=m) + Ano + m(mês) + s(tsm) + s(il) + offset(log(esforço))$                                            | 0,237 | 6,515 | 1,508 | 1      | 0      | 80%         |
| Espacial                      | $gam(bet \sim s(latitude, longitude), bs="re", k=50) + s(lat1(latitude)) + s(ln1(longitude)) + Ano + mês + s(tsm, by=m) + s(il, by=m) + offset(log(esforço))$ | 0,227 | 6,575 | 1,514 | 0      | 0      | 45%         |
| Sem Estrutura Espaço-Tempo    | $gam(bet \sim s(latitude) + s(longitude) + Ano + mês + s(tsm, by=m) + s(il) + offset(log(esforço))$                                                           | 0,227 | 6,575 | 1,514 | 0      | 0      | 45%         |
| Espacial com Efeito Aleatório | $gam(bet \sim s(latitude, longitude), bs="re", k=50) + Ano + mês + s(tsm) + s(il) + offset(log(esforço))$                                                     | 0,194 | 6,747 | 1,531 | 0      | 1      | 20%         |

Em relação as análises de resíduos do modelo Tweddle, foram observados que os valores se distribuíram de maneira homogênea, na maioria em torno do zero, indicando que o modelo ajustado não apresenta viés. Entretanto, observou-se que o modelo apresenta pequenas discrepâncias, entre os quantis residuais e o quantis residuais normalizados, com valores extremos aparecendo somente na extremidade positiva (Figura 2), o que indica que os pressupostos assumidos para a distribuição da variável resposta (erro) e a função de ligação foram aceitáveis.

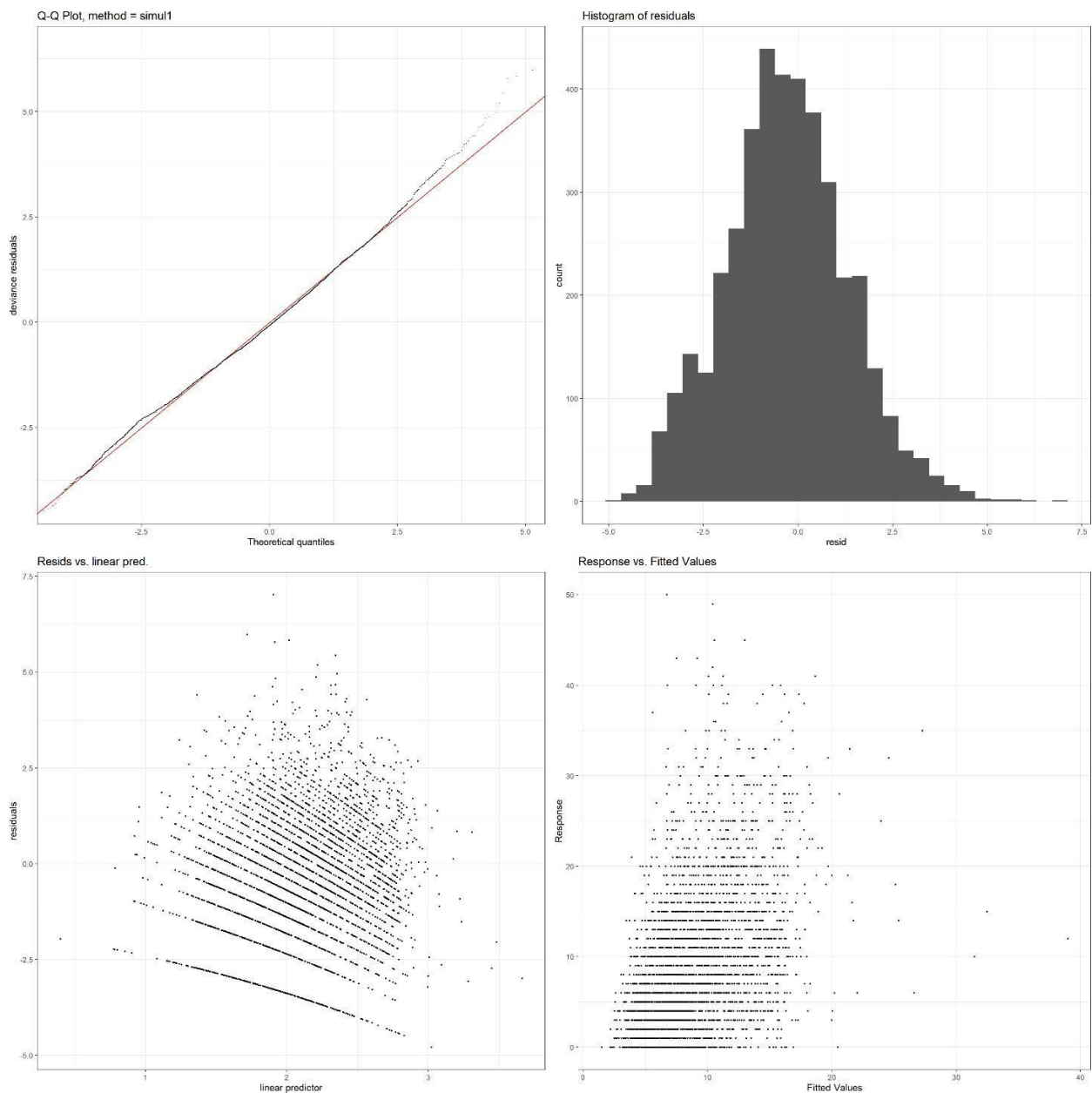


Figura 2 - Distribuição dos resíduos e QQ plot do modelo final ajustado aos dados de CPUE da albacora bandolim, capturada pela frota brasileira no Oceano Atlântico Oeste, durante os anos de 2014 a 2016, utilizando a distribuição Tweedie.

Fonte: Dados da pesquisa.

#### 4.2 Efeitos de variáveis ambientais sobre a CPUE da albacora bandolim, *Thunnusobesus*

Em relação ao efeito da temperatura da superfície do mar (TSM) sobre a CPUE da albacora bandolim, os resultados mostraram que esta espécie tende a ser capturada, com mais frequência entre 26 e 27 °C, decrescendo o número de indivíduos capturados, a partir de 27°C e retornando aos índices anteriores de captura, a partir de 28,5°C (Figura 3-A).

Lam et al. (2014) estudando a mesma espécie, observaram que os índices de abundância mais elevados, ocorreram na região mais próxima à linha do equador, durante os meses de janeiro a março,

com os menores índices sendo registrados a partir de maio e estendendo-se esses valores até outubro. Tais resultados foram similares aos encontrados nesta pesquisa. Do mesmo modo, Batista (2016), obteve resultados aproximados, o que demonstrou a frequência da albacora bandolim nas regiões, com temperaturas que variam entre 24 a 27°C, a temperatura da superfície do mar representa um fator ambiental determinante na regulação metabólica e nos processos reprodutivos de múltiplas espécies de tunídeos. Reforçando ainda mais os resultados obtidos nesta pesquisa, Artetxe-Arrate et al. (2021) e Figueiredo (2007), ao estudarem a biologia reprodutiva da albacora bandolim, afirmaram sua presença em áreas com temperaturas acima de 28,5°C, influenciadas pelas águas quentes da Corrente do Golfo da Guiné.

Com referência ao efeito do índice de iluminação lunar (IL) sobre a CPUE da albacora bandolim, os resultados demonstraram que as maiores CPUEs ocorreram, durante a fase de lua nova e na fase crescente da lua, especificamente entre 0.5 a 0.8, decrescendo-se os valores de CPUEs à medida que a lua cheia se aproximou (1,0) (Figura 3-B).

Estudando a interação do índice de iluminação lunar (IL) com as CPUEs da albacora bandolim, no leste do Oceano Índico, Jatmiko et al. (2016) destacaram que as maiores CPUEs ocorreram, durante as passagens de lua nova para quarto-crescente e de lua minguante para lua nova. O autor chamou a atenção para o decréscimo das CPUEs, com a proximidade da lua cheia. Lin et al. (2020), estudando o movimento vertical da espécie, no sudeste de Taiwan, observaram que a albacora bandolim ocupou profundidades médias noturnas mais profundas, durante a lua cheia e profundidades mais rasas, durante a lua nova.

Lira (2016), ao estudar a espécie, *Thunnus albacares* registrou a preferência desta espécie por fases mais claras da lua, com reflexos em elevadas capturas, durante as fases de lua nova e de lua cheia. Substanciando os resultados obtidos com esta pesquisa, Afonso et al. (2021), ao estudar a influência de diferentes cores no dispositivo atrator do espinhel pelágico, utilizado nas pescarias de atuns, sugeriram que a iluminação lunar afeta diretamente a captura dessas espécies, e que o uso de iscas com luzes específicas interagem com a iluminação lunar, influenciando as medidas de gestão das pescarias, de modo a torná-las mais sustentáveis.

Por outro lado, Sousa Neto (2009), relatou que tradicionalmente, os pescadores, por meio de seus conhecimentos empíricos, têm afirmado que as maiores capturas ocorreram em noites escuras, entre as fases de lua minguante à lua crescente.

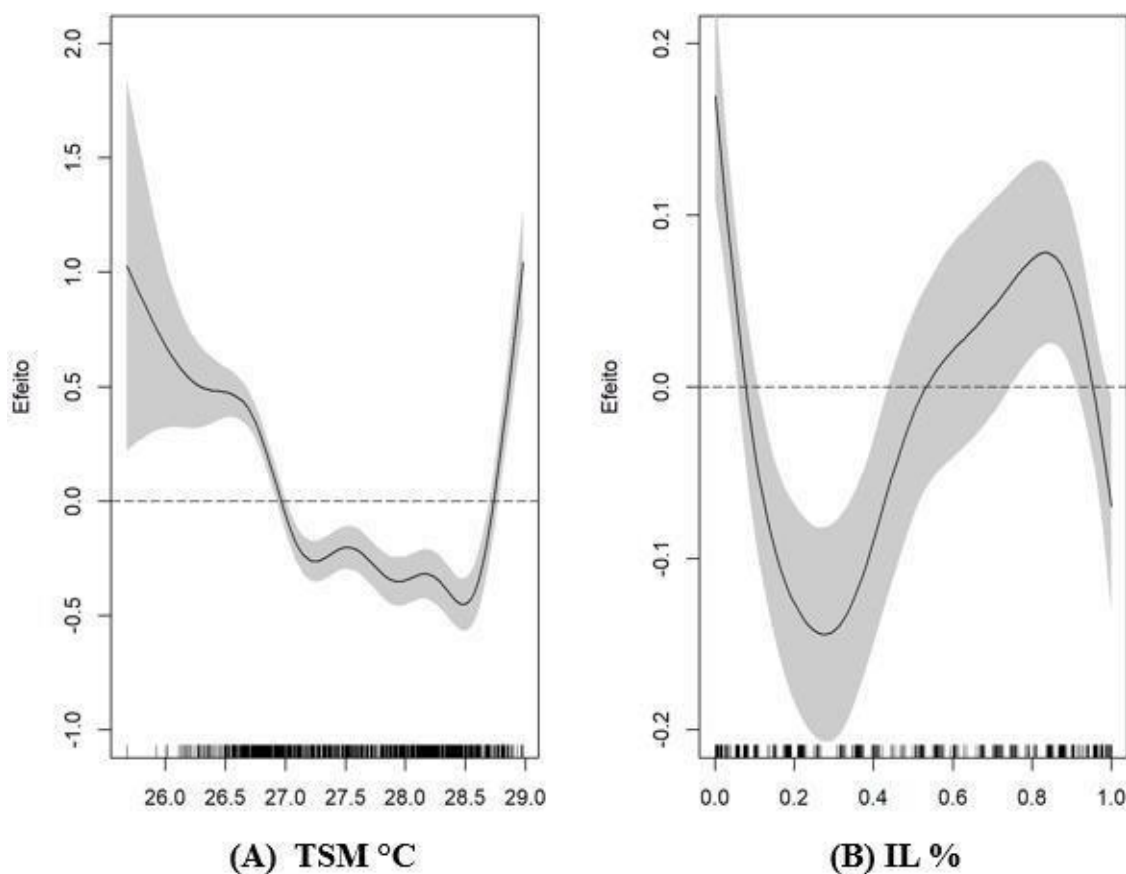


Figura 3 - (A) Efeito da Temperatura da Superfície da água do Mar (TSM) e (B) do Índice de Iluminação Lunar (IL) da albacora bandolim capturada pela frota brasileira, no Atlântico Ocidental Equatorial, no período de 2014 a 2016. Fonte: Dados da pesquisa.

#### 4.3 Efeito de variáveis espaciais na CPUE da albacora bandolim, *Thunnus obesus*

Em se tratando da distribuição da albacora bandolim no Atlântico Equatorial Ocidental, os resultados indicaram que as áreas de maior abundância dessa espécie encontravam-se, na região do Oeste Equatorial do Oceano Atlântico, durante os 12 meses do ano, sendo a maioria das áreas localizada entre 5°S-10°N/25°W-40°W, entre os meses de Janeiro (01) a Maio (05). As áreas de abundância de albacora bandolim, decresceram de forma contínua entre 5°S-10°N/25°W-35°W a partir do mês de Junho (06) a Dezembro (12). Tais áreas, se concentraram de forma mais abundante entre 0°-10°N/35°W-45°W, durante esses meses (Figura 4). Zaggia (2003), estudando a CPUE, da mesma espécie, identificou que a maioria foi encontrada entre 0°-15°N/25°W-45°, com os picos de abundância entre os meses de Janeiro (01) a Março (03), decrescendo até o mês de Outubro (10), onde ocorre outro pico. A pesquisa de Yang et al. (2015) evidenciou um padrão sazonal na distribuição da espécie no Atlântico Tropical, com picos de captura nos primeiros meses do ano e em setembro, principalmente em áreas fora da faixa equatorial. Esses resultados são cruciais para a compreensão da dinâmica populacional da espécie e para o planejamento de atividades pesqueiras na região. Batista (2016), ao estudar a pesca e a ecologia da mesma espécie, destacou a importância da faixa latitudinal entre 5°N e 10°S para a pesca da albacora bandolim. A análise da interação latitude-longitude revelou que essa zona é a mais produtiva para a captura da espécie, evidenciando

sua relevância para a atividade pesqueira. Como reforço a estes resultados Fujioka et al. (2015), estudando outras espécies de atuns, mostraram que um padrão similar de distribuição foi observado na zona tropical do Oceano Pacífico, indicando que são zonas de alta concentração desses peixes.

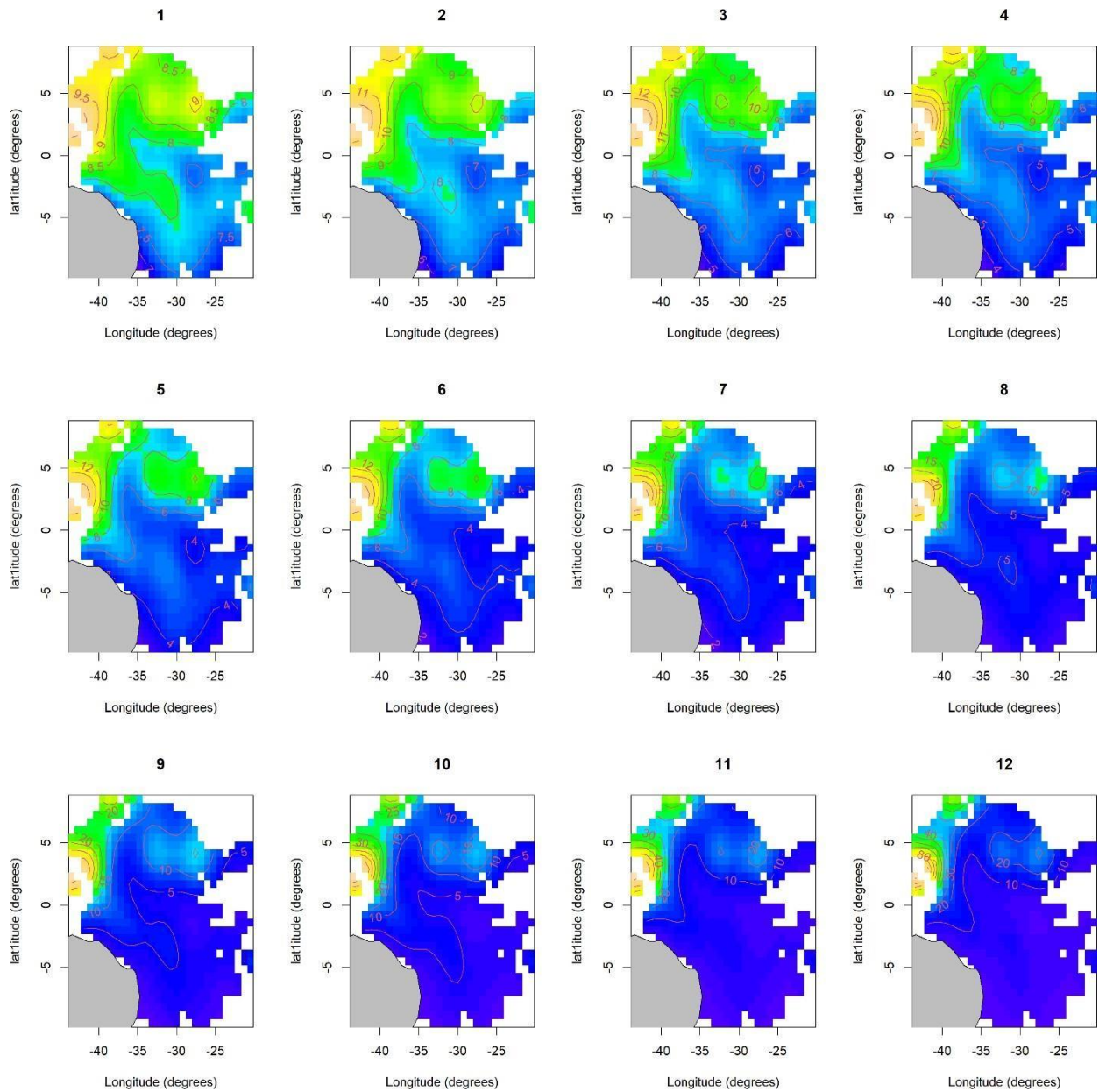


Figura 4 – Variação da CPUE da pesca da albacora bandolim, realizada pela frota brasileira, no Atlântico Equatorial Ocidental, durante os 12 meses nos anos de 2014 a 2016.

Fonte: Dados da pesquisa.

## 5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados apresentados pode-se concluir que:

- ✓ A temperatura da superfície do mar e o índice de iluminação da lua, exercem um papel fundamental na distribuição e abundância da albacora bandolim, no Atlântico Equatorial Ocidental. A compreensão dessas relações é crucial para a gestão sustentável desse recurso pesqueiro;
- ✓ As áreas com temperaturas mais adequadas (entre 26 e 27 °C), concentram maior quantidade de indivíduos da espécie, aumentando a sua abundância local;
- ✓ A iluminação da lua influencia o comportamento noturno desses peixes, com as maiores CPUEs ocorrendo, durante a fase de lua nova e na fase crescente da lua, afetando certamente os padrões de migração e alimentação;
- ✓ As áreas de maior concentração de albacora bandolim correspondem à região Oeste Equatorial do Oceano Atlântico, durante os 12 meses do ano, sendo a maioria delas localizada entre 5°S-10°N/25°W-40°W, nos meses de Janeiro (01) a Maio (05), onde a espécie é mais frequentemente encontrada;
- ✓ A albacora bandolim apresenta uma tendência uniforme na distribuição e abundância, durante todo o ano, porém durante os meses de Janeiro a Maio a espécie apresentou seu pico de maior abundância;
- ✓ O ajuste dos Modelos Aditivos Generalizados Mistos (GAMMs) aos dados de captura da albacora bandolim revelam-se como bons, evidenciando a relevância dos fatores ambientais considerados;
- ✓ Além da utilização de dados de satélite, para definir áreas de maior abundância da espécie, albacora bandolim sugere-se também o uso de novas tecnologias incluindo, Veículos Aéreos Não Tripulados (VANTs); Marcação Eletrônica (TAGs) e Sistemas com IA, para esta e outras finalidades de pesquisa.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AFONSO, André S. et al. The effect of light attractor color in pelagic longline fisheries. *Fisheries Research*, v. 235, p. 105822, 2021.
- ALLEN, Robin; JOSEPH, James; SQUIRES, Dale. Conservação e Gestão de Pescarias Transnacionais de Atum. 2010.
- ARTETXE-ARRATE, Iraide et al. A review of the fisheries, life history and stock structure of tropical tuna (skipjack *Katsuwonus pelamis*, yellowfin *Thunnus albacares* and bigeye *Thunnus obesus*) in the Indian Ocean. *Advances in Marine Biology*, v. 88, p. 39-89, 2021.
- BATISTA, Carlos Hudson de Oliveira et al. Pesca e ecologia da albacora bandolim (*Thunnus obesus*) no oceano atlântico tropical. 2016.
- CAI, L. et al. The effects of ocean temperature gradients on bigeye tuna (*Thunnus obesus*) distribution in the equatorial eastern Pacific Ocean. *Advances in Space Research*, v. 65, n. 12, p. 2749-2760, 2020.
- CHIARINI, M. et al. Accounting for environmental and fishery management factors when standardizing CPUE data from a scientific survey: A case study for *Nephrops norvegicus* in the Pomo Pits area (Central Adriatic Sea). *PLoS ONE*, v. 17, n. 7, e0270703, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0270703>.
- FAO. The State of World Fisheries and Aquaculture 2024 – Blue Transformation in action. Rome, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.4060/cd0683en>.
- FIGUEIREDO, Marina Bezerra. Biologia reprodutiva da albacora Bandolim (*Thunnus obesus*) no oceano Atlântico Oeste Tropical. 2007. 64 f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Recursos Pesqueiros e Aquicultura) - Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife.
- FROMENTIN, J.-M.; POWERS, J.E. Atlantic bluefin tuna: population dynamics, ecology, fisheries and management. *Fish and Fisheries*, v. 6, p. 281-306, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1467-2979.2005.00197.x>.
- FUJIOKA, Ko et al. Horizontal movements of Pacific bluefin tuna. *Biology and ecology of bluefin tuna*, p. 101-122, 2015.
- HAZIN, F. H. V. Fisheries-oceanographical study on tunas, billfishes and sharks in the Southwestern Equatorial Atlantic Ocean. Doctor's thesis, Tokyo University of Fisheries, 1993.
- HAZIN, F.; TRAVASSOS, P.E.P. A pesca oceânica no Brasil no século 21. *Revista Brasileira de Engenharia de Pesca*, São Luis, v. 2, n. 1, p. 60-75, 2007.
- HAZIN, H.G. et al. Standardization of swordfish CPUE series caught by Brazilian longliners in the Atlantic Ocean, by GLM, using the targeting strategy inferred by cluster analysis. *Collect Vol. Sci. Pap. ICCAT*, v. 60, n. 6, p. 2039-2047, 2007.
- JATMIKO, Irwan; SETYADJI, Bram; EKAWATY, Rani. The effect of moon phase on the catch of Bigeye Tuna (*Thunnus obesus*) in Eastern Indian Ocean. *Ilmu Kelautan*, v. 21, n. 3, p. 101-106, 2016.

LAM, Chi Hin; GALUARDI, Benjamin; LUTCAVAGE, Molly E. Movements and oceanographic associations of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in the Northwest Atlantic. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, v. 71, n. 10, p. 1529-1543, 2014.

LAN, Kuo-Wei et al. Ocean variations associated with fishing conditions for yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the equatorial Atlantic Ocean. *ICES Journal of Marine Science*, v. 68, n. 6, p. 1063-1071, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsr045>.

LIRA, Marcelo Gomes de. Pesca de atuns e afins no Oceano Atlântico: interações oceanográficas, implicações socioeconômicas e tecnológicas. 2016. 76 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2016.

LIN, H. et al. Evaluating the impacts of environmental and fishery variability on the distribution of bigeye tuna in the Pacific Ocean. *ICES Journal of Marine Science*, v. 80, n. 10, p. 2642-2656, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsad163>.

LIN, S.-J. et al. Vertical and horizontal movements of bigeye tuna (*Thunnus obesus*) in southeastern Taiwan. *Marine and Freshwater Behaviour and Physiology*, 1–21, 2020. doi:10.1080/10236244.2020.1852878.

MAUNDER, Mark N. A general framework for integrating the standardization of catch per unit of effort into stock assessment models. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, v. 58, n. 4, p. 795-803, 2001.

MARRA, G.; WOOD, S. N. Practical Variable Selection for Generalized Additive Models. *Computational Statistics & Data Analysis*, v. 55, p. 2372–2387, 2011.

NIMIT, K. et al. Oceanographic preferences of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in warm stratified oceans: A remote sensing approach. *International Journal of Remote Sensing*, v. 41, n. 15, p. 5785-5805, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/01431161.2019.1707903>.

PEREIRA, J. A. G. A pesca do atum nos Açores e o atum patudo (*Thunnus obesus*, Lowe 1839) do Atlântico. *Department of Oceanography and Fisheries, University of the Azores*, Horta, Azores, Arquivos do DOP, Série Estudos 1/95, 1995.

SOUSA NETO, Aprigio Marques de et al. A influência da temperatura da superfície do mar sobre a distribuição e abundância relativa da albacora bandolim (*Thunnus obesus*, Lowe 1839) no Atlântico Oeste Tropical. 2009.

TODOROVIĆ, Sara et al. Pelagic ecoregions: Operationalizing an ecosystem approach to fisheries management in the Atlantic Ocean. *Marine Policy*, v. 109, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2019.103700>.

TWEEDIE, M. C. K. An index which distinguishes between some important exponential families. In: Ghosh, J.K.; Roy, J. (Eds.), *Statistics: Applications and New Directions*. Proceedings of the Indian Statistical Institute Golden Jubilee International Conference. Indian Statistical Institute, Calcutta. p. 579–604, 1984.

WOOD, S. N. Fast stable direct fitting and smoothness selection for generalized additive models. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Statistical Methodology)*, v. 70, p. 495–518, 2008.

XIE, J. et al. Effects of whey protein films on the quality of thawed bigeye tuna (*Thunnus obesus*) chunks under modified atmosphere packaging and vacuum packaging conditions. *Food Science and Biotechnology*, v. 26, n. 4, p. 937-945, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10068-017->

0125-z.

YANG, Shenglong et al. Relação entre distribuição temporal-espacial de áreas de pesca de atum patudo (*Thunnus obesus*) e características de termoclina no Oceano Atlântico. *Acta Ecologica Sinica*, v. 35, n. 3, p. 1-9, 2015.

ZAGAGLIA, Cláudia Ramos. Técnicas de sensoriamento remoto aplicadas à pesca de atuns no Atlântico Oeste Equatorial. INPE, SJC, São Paulo, p. 183, 2003.

