



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-13595-TDI/1034

**ESTIMATIVA DE CAPTURA DO BONITO-LISTRADO
(Katsuwonus pelamis) NA COSTA SUDESTE DO BRASIL USANDO
UM MODELO ESTATÍSTICO E DADOS DE SENSORIAMENTO
REMOTO**

Fabício Sanguinetti Cruz de Oliveira

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto,
orientada pelos Drs. Douglas Francisco Marcolino Gherardi e José Luiz Stech, aprovada
em 28 de abril de 2005.

INPE
São José dos Campos
2006

Oliveira, F. S. C. de

Estimativa de Captura do Bonito-Listrado (*Katsuwonus pelamis*) na Costa Sudeste do Brasil usando um Modelo Estatístico e Dados de Sensoriamento Remoto / Fabrício Sanguinetti Cruz de Oliveira. – São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2005. 117 p. ; - (INPE-13595-TDI/1034)

1. Bonito Listrado. 2. Estatística Bayesiana. 3. Oceano Atlântico. 4. Parâmetros Oceanográficos. 5. Sensoriamento Remoto.

551.46.09:528.711.7

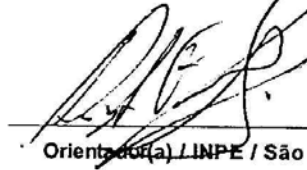
Aprovado (a) pela Banca Examinadora em cumprimento ao requisito exigido para obtenção do Título de Mestre em Sensoriamento Remoto

Dr. Camilo Daleles Rennó



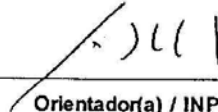
Presidente / INPE / São José dos Campos - SP

Dr. Douglas Francisco Marcolino Gherardi



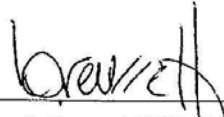
Orientador(a) / INPE / São José dos Campos - SP

Dr. José Luiz Stech



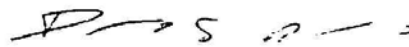
Orientador(a) / INPE / SJC Campos - SP

Dr. João Antonio Lorenzetti



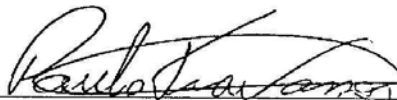
Membro da Banca / INPE / SJC Campos - SP

Dr. Paulo Simionato Polito



Convidado(a) / USP / São Paulo - SP

Dr. Paulo Eurico Pires Ferreira Travassos



Convidado(a) / UFRPE / Recife - PE

Aluno (a): Fabrício Sanguinetti Cruz de Oliveira

São José dos Campos, 28 de abril de 2005

*“Diz-se que, mesmo antes de um rio cair no oceano, ele treme de medo.
Olha para trás, para toda a jornada;
os cumes, as montanhas, o longo caminho sinuoso através das florestas,
através dos povoados, e vê à sua frente um oceano tão vasto que entrar nele
nada mais é do que desaparecer para sempre.
Mas, não há outra maneira.
O rio não pode voltar.
Ninguém pode voltar.
Voltar é impossível na existência.
Você pode apenas ir em frente.
O rio precisa se arriscar e entrar no oceano.
E somente quando ele entra no oceano é que o medo desaparece,
porque apenas então o rio saberá que não se trata de desaparecer no oceano.
Mas tornar-se oceano.
Por um lado é desaparecimento e por outro lado é renascimento.
Assim somos nós.
Voltar é impossível na existência.
Você pode ir em frente e se arriscar .
Coragem! Torne-se oceano”.*

OSHO

*Aos meus pais,
Acácio Francisco e
Maria de Fátima
e minha tia
Maria José
(in memorian).*

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, pela oportunidade de estudo e utilização de suas instalações juntamente à Fundação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pelo apoio financeiro concedido durante o curso.

Aos meus orientadores Dr. José Luiz Stech e Dr. Douglas Francisco Marcolino Gherardi, pelo conhecimento transmitido, e pela orientação e apoio na realização deste trabalho.

Aos coordenadores acadêmicos de curso, Dra. Evlyn e Dr. Lênio, pela ajudas financeiras na participação de eventos e congressos nacionais, assim como, conselhos ao longo do curso.

Aos professores do curso de Sensoriamento Remoto pelo conhecimento compartilhado.

A banca examinadora pela participação e predisposição em analisar e discutir o trabalho.

Ao Dr. Paulo Travassos, representante estatístico brasileiro junto à ICCAT, pela autorização e liberação de parte dos dados de pesca utilizados no presente trabalho.

Ao Dr. Paulo Pezzuto e M.Sc. Humber Andrade, da Universidade do Vale do Itajaí, pela liberação de parte dos dados de pesca utilizados no presente trabalho.

Ao Dr. W. Timothy Liu e Dra. Wenqing Tang do JPL/NASA por terem cedido os dados QuikSCAT utilizados no presente trabalho.

Ao Dr. Paulo Polito e Dra. Olga Sato, pela ajuda na obtenção de dados utilizados neste trabalho e no auxílio computacional para interpretar esses dados.

Ao Dr. Fábio Hazin e Dr. João Antônio Lorenzzetti, pelos conhecimentos transmitidos e pelos valiosos e experientes conselhos.

A Secretaria Especial de Aquicultura e Pesca, na pessoa do seu Ex-coordenador Geral da Pesca Industrial, Dr. Rodolfo Rangel, pela liberação de parte dos dados de pesca e em especial a amiga Cláudia Zagaglia, Assessora Técnica da Coordenação-Geral da Pesca Industrial, pela conselhos e sugestões dadas ao longo do trabalho.

Aos amigos Dr. João Carlos e Dr. Arcilan Assireu, pela ajuda na utilização e edição de programas computacionais e pelos esclarecimentos a respeito de alguns conceitos físicos e matemáticos.

Ao Dr. Camilo Rennó, pelos esclarecimentos estatísticos e disponibilidade em ajudar a qualquer momento.

Ao M.Sc. Paulo Eduardo, M.Sc. Egídio Arai e Felipe Cota, pelo suporte computacional.

Ao amigo Humberto Hazin, pelas sugestões, esclarecimentos e apoio na utilização de ferramentas estatísticas utilizadas no presente trabalho, além das conversas descontraídas nas horas certas.

Ao Dr. Milton Kampel, pela ajuda na utilização do software SeaDAS.

À M.Sc. Sydnéa Maluf, na aquisição de imagens de reconhecimento de campo.

Às secretárias Etel, Angelucci e Cris, pela presteza e competência em solucionar os problemas burocráticos ao longo do curso.

Aos meus grandes amigos “irmãos”, André (Grilo), Thiago (Monstro) e Camila, pela força e companheirismo em todas as ocasiões.

A turma de 2003 e os demais colegas de departamento, especialmente, à Beth, Carol, Ana, Eloy, Flávia, Paulina, Veraldo, Alexandre, Andréia, Rogério, Daniela, Marcelo, Rodrigo, Brummer, Brenner, Cíntia, Liana, Eduardo Negri, Ramon e Luciana Miura, pela companhia nos momentos sérios e de descontração.

Aos amigos Carlinho (Black), Gláuber (Carcará), Carlos Eduardo (Cabessauro), Paula (Paulinha), Jaraitan (Jara), Arley (Nego), Wagner (Baba), Mirna, Akira (Zé Culé), Antônio (Zé) e Otacílio (Zé), que apesar de distantes foram a todo instante solidários.

À Melissa, pela paciência, carinho e companheirismo nos momentos difíceis ao longo desse período.

Aos meus pais, por me guiarem e incentivarem a traçar o meu próprio caminho e ao meu irmão pela ajuda e conselhos dados.

A Deus, que sempre me deu forças para vencer os obstáculos.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram no desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

O bonito-listrado, *Katsuwonus pelamis*, é uma espécie pelágica cosmopolita pertencente a família dos atuns. Possui ampla distribuição em águas tropicais e subtropicais dos três oceanos, principalmente em regiões próximas a quebra de plataforma e profundidade próxima a 100m. Assim como os demais atuns, o bonito-listrado possui uma estreita relação entre a sua distribuição espacial e a temperatura da água do mar, ocorrendo em águas com temperaturas entre 14,7° e 30° C. Além disso, estão frequentemente associados a feições oceânicas de meso-escala, zonas de convergências, frentes oceânicas, ressurgências e outras. Por ser uma espécie associada a superfície do oceano, favorece o uso do sensoriamento remoto orbital em seu estudo. O presente trabalho investiga o desempenho de um modelo de estimativa de captura e a sua relação estatística com a temperatura da superfície do mar, concentração de clorofila- α na superfície, velocidade do vento e bombeamento de Ekman, derivadas a partir de sensores remotos orbitais. A área de estudo localiza-se próxima a quebra da plataforma continental sudeste, entre os paralelos de 23°S a 35°S. Os dados de captura correspondem ao período de 1996 a 2002 e foram divididos em série histórica (1996 a 2001) e o ano de 2002, isoladamente, para a validação do modelo de previsão. A captura do bonito-listrado apresentou uma visível sazonalidade, com valores mais elevados durante o verão e final do outono. As estimativas de captura apresentaram uma boa relação com as CPUEs, mostrando-se eficientes na sua atualização semanal. A temperatura de superfície foi a variável mais significativa em todos os modelos de regressão ajustados, apresentando uma relação positiva tanto com as CPUEs quanto com as suas estimativas. O uso combinado das variáveis ambientais, mais especificamente da TSM, com as estimativas de captura histórica se aproximou mais da captura real do que se utilizadas separadamente. Essa hipótese é reforçada pelo acréscimo do gradiente resultante da TSM na regressão entre a estimativa e a captura real de 2002.

SKIPJACK TUNA CATCH ESTIMATE IN THE SOUTHEAST COAST OF BRAZIL USING A STATISTICAL MODEL AND REMOTE SENSING DATA

ABSTRACT

The skipjack tuna, *Katsuwonus pelamis*, is a cosmopolitan pelagic species and appertain the tunas family. It possesses a wide distribution in tropical and subtropical waters, with concentrations found close to the shelf break. As with most tunas, it has a spatial distribution determined by the sea surface temperature field, occurring in surficial waters with temperatures between 14.7° and 30°C. Moreover, they are frequently associated to mesoscale ocean features such as convergence zones, ocean fronts, and upwelling regions. Occurrence patterns of the Skipjack tuna and its relation to environmental conditions can therefore be studied using orbital remote sensing data. The present work investigates the performance of a statistical model for the estimate of fish catch and its relation to sea surface temperature, surface chlorophyll- α concentration, wind speed and Ekman pumping, derived from orbital remote sensing data. The study area is situated next the Southeast Brazilian continental shelf, between 23°S and 35°S. The catch data corresponds to the period from 1996 to 2002 and has been divided into a historical series, from 1996 to 2001, and a model validation year of 2002. The skipjack catch presented a clear seasonal cycle with high values during the summer and late autumn. Historical catch estimates showed a good relation with actual CPUEs, and allowed a reliable tool for weekly update of these historical estimates. Sea surface temperature was the variable most significant in all the adjusted models of regression, presenting a positive relation with CPUEs how much with its estimates. The combined use of the ambiental variables, more specifically the SST, with the historical catch estimates more approximate of the real catch than used singly. This hypothesis is increased by addition of SST resultant gradient in the regression between the estimates and the real catches of 2002.

SUMÁRIO

Pag.

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	21
1.1 Objetivos.....	25
CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	27
2.1 Sensoriamento remoto	27
2.1.1 Sensores ópticos	27
2.1.1.1 SeaWiFS	27
2.1.1.2 MODIS	28
2.1.2 Sensores de microondas	30
2.1.2.1 QuikSCAT	30
2.1.3 Parâmetros oceânicos estimados por sensoriamento remoto.....	31
2.1.3.1 Temperatura da superfície do mar (TSM)	31
2.1.3.2 Concentração de clorofila- <i>a</i> na superfície do mar (CCS).....	32
2.1.3.3 Ventos.....	34
2.1.4 Sensoriamento aplicado à pesca	36
2.2 Modelagem pesqueira.....	38
2.2.1 Estatística bayesiana.....	38
2.3 Biologia e distribuição do bonito-listrado	41
CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS	45
3.1 Área de estudo	45
3.1.1 Plataforma continental sudeste-sul	46
3.1.2 Corrente do Brasil.....	47
3.1.3 Massas d'água	48
3.1.4 Temperatura da superfície do mar (TSM)	49
3.1.5 Ventos.....	50
3.1.6 Fenômenos oceânicos	52
3.1.6.1 Meandros e vórtices.....	52
3.1.6.2 Frentes térmicas.....	52
3.1.6.3 Ressurgência.....	53
3.2 Materiais	54
3.2.1 Dados de pesca	54
3.2.2 Dados de sensoriamento remoto.....	57
3.2.2.1 Temperatura de superfície do mar	57
3.2.2.2 Concentração de clorofila- <i>a</i> na superfície.....	60

3.2.2.3 Magnitude e direção do vento	61
3.3 Métodos	62
3.3.1 Estatística bayesiana	63
3.3.2 Análise estatística	66
CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	69
4.1 Características dos dados de captura	69
4.2 Processamento dos dados de sensoriamento remoto	73
4.2.1 Características dos dados	73
4.2.2 Pré-processamento dos dados	80
4.3 Modelagem Bayesiana	90
4.3.1 Pré-requisito do modelo	90
4.3.2 Aplicação do modelo	91
4.3.3 Relação entre as estimativas e as variáveis ambientais	96
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	105
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	109

LISTA DE FIGURAS

2.1	- Bonito-listrado, <i>Katsuwonus pelamis</i>	41
2.2	- Distribuição global do bonito-listrado.....	41
3.1	- Carta imagem MODIS, com a área de estudo delimitada pelo retângulo em branco e isóbata de 200m de profundidade.....	45
3.2	- Representação esquemática do Giro Subtropical e das correntes superficiais do Atlântico Sul.....	47
3.3	- Cobertura espacial dos dados de captura, espacializados em 1° de latitude por 1° de longitude com os quadrados de captura destacados em vermelho...	55
3.4	Esquema da operação de pesca com vara e isca-viva.....	56
3.5	- Temperatura global média da superfície do mar, em °C, da primeira semana de janeiro de 2002, obtida através do GSFC/NASA.....	58
3.6	- Concentração global média da clorofila- <i>a</i> na superfície do mar, em mg.m ⁻³ , da primeira semana de janeiro de 2002, obtida através do GSFC/NASA.....	60
3.7	- Diagrama representando as etapas dos cálculos do modelo bayesiano, desde as CPUEs até as estimativas de captura.....	66
4.1	- Captura total do bonito-listrado e esforço de pesca (n° de pescarias ao longo de um dia) na área de estudo, por ano, durante o período de 1996 a 2002.....	69
4.2	- Captura total do bonito-listrado por meio de vara e isca-viva ao longo da costa do Brasil, por ano, durante o período de 1996 a 2002.....	70
4.3	- Captura total do bonito-listrado e esforço de pesca (n° de pescarias ao longo de um dia) na área de estudo, por semana, durante o período de 1996 a 2002.....	71
4.4	- Captura total semanal do bonito-listrado na área de estudo, por ano, durante o período de 1996 a 2002.....	72
4.5	- Temperatura da superfície do mar, em °C, referentes a: (a) verão e (b) inverno de 2002.....	73
4.6	- Variação média da TSM, ao longo da área de estudo, para o ano de 2002.....	74
4.7	- Concentração de clorofila- <i>a</i> na superfície do mar, em mg.m ⁻³ , referentes a: (a) verão e (b) inverno de 2002.....	75
4.8	- Variação média da concentração de clorofila- <i>a</i> , ao longo da área de estudo, para o ano de 2002.....	76
4.9	- Relação entre a TSM e concentração de clorofila- <i>a</i> média, ao longo de 2002.....	77
4.10	- Componente zonal da velocidade do vento, em m.s ⁻¹ , referentes a: (a) verão e (b) inverno de 2002.....	78
4.11	- Componente meridional da velocidade do vento, em m.s ⁻¹ , referentes a: (a) verão e (b) inverno de 2002.....	78

4.12 - Componente zonal e meridional da velocidade média do vento, ao longo de 2002.....	79
4.13 - Comportamento das concentrações de clorofila- <i>a</i> , ao longo de 2002.....	80
4.14 - Gradiente zonal da temperatura de superfície do mar, em °C.km ⁻¹ , referentes a: (a) verão e (b) inverno de 2002.....	82
4.15 - Gradiente meridional da temperatura de superfície do mar, em °C.km ⁻¹ , referentes a: (a) verão e (b) inverno de 2002.....	82
4.16 - Gradiente resultante da temperatura de superfície do mar, em °C.km ⁻¹ , referentes a: (a) verão e (b) inverno de 2002.....	83
4.17 - Gradiente ortogonal da temperatura de superfície do mar, em °C.km ⁻¹ , referentes a: (a) verão e (b) inverno de 2002.....	83
4.18 - Gradiente paralelo da temperatura de superfície do mar, em °C.km ⁻¹ , referentes a: (a) oitava semana e (b) trigésima semana de 200.....	84
4.19 - Gradientes médios de temperatura da superfície do mar, ao longo de 2002.....	85
4.20 - Módulo da velocidade média do vento, em m.s ⁻¹ , referentes a: (a) verão (b) inverno de 2002.....	86
4.21 - Variação média da resultante da velocidade do vento, ao longo de 2002.....	87
4.22 - Bombeamento de Ekman, em cm.s ⁻¹ , referente a: (a) oitava semana e (b) trigésima semana de 2002.....	88
4.23 - Variação do bombeamento de Ekman, ao longo de 2002.....	89
4.24 - Ajuste dos dados da CPUE à distribuição gama.....	90
4.25 - Relação entre $\bar{\lambda}'_h$ vs. CPUE _h	93
4.26 - Relação entre $\bar{\lambda}'_{2002}$ vs. CPUE ₂₀₀₂	94
4.27 - Comportamento dos $\bar{\lambda}'_h$ e CPUE ₂₀₀₂	95
4.28 - Relação entre $\bar{\lambda}'_h$ vs. CPUE ₂₀₀₂	96
4.29 - Dendrograma da análise de agrupamento em função do tempo, semestres, para os dados de captura e variáveis ambientais.....	97
4.30 - Dendrograma da análise de agrupamento, em função das variáveis, para os dados de captura e variáveis ambientais.....	97
4.31 - Relações entre a CPUE _h e as variáveis ambientais.....	99
4.32 - Relações entre a CPUE ₂₀₀₂ e as variáveis ambientais.....	100
4.33 - Relações entre $\bar{\lambda}'_h$ e as variáveis ambientais.....	100
4.34 - Relações entre $\bar{\lambda}'_{2002}$ e as variáveis ambientais.....	101

LISTA DE TABELAS

2.1 - Bandas espectrais do sensor SeaWiFS.....	28
2.2 - Características gerais do sensor SeaWiFS.....	28
2.3 - Características gerais do sensor MODIS.....	29
2.4 - Bandas de aplicação oceanográfica do sensor MODIS.....	29
2.5 - Principais características do sensor SeaWinds.....	31
4.1 - Resumo da aplicação do modelo bayesiano com sua $CPUE_h$, $CPUE_{2002}$ e seus respectivos $\bar{\lambda}'_h$ e $\bar{\lambda}'_{2002}$ e σ'_h e σ'_{2002}	92
4.2 - Resumo dos resultados das análises de regressão múltipla entre as variáveis ambientais e os dados de captura.....	102
4.3 - Resumo dos resultados das análises de regressão múltipla com a interação das variáveis ambientais nas relações entre as estimativas de captura vs. CPUEs.....	103

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AC	- Água Costeira
ACAS	- Água Central do Atlântico Sul
ACS	- Água Circumpolar Superior
AIA	- Água Intermediária Antártica
APAN	- Água Profunda do Atlântico Norte
ASCII	- American Standard Code for Information Interchange
AT	- Água Tropical
CB	- Corrente do Brasil
CCS	- Concentração de Clorofila- <i>a</i> na Superfície
CM	- Corrente das Malvinas
CNB	- Corrente Norte do Brasil
CPUE	- Captura por Unidade de Esforço
CSE	- Corrente Sul Equatorial
CTTMar	- Centro de Educação de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar
CZCS	- Coastal Zone Color Scannet
ENVI	- The Environment for Visualizing Images
EOS	- Earth Observing System
FAD	- Fish Aggregating Device
FAO	- Food and Agriculture Organization of United Nations
FTP	- File Transfer Protocol
GAM	- Generalized Additive Models
GSFC	- Goddard Space Flight Center
HDF	- Hierarchical Data Format

ICCAT	- International Comission for Conservation of Atlantic Tunas
IDL	- Interactive Data Language
JAXA	- Japan Aerospace Exploration Agency
JPL	- Jet Propulsion Laboratory
LEMAR	- Laboratório de Ecologia Marinha
MODIS	- Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
NASA	- National Aeronautics and Space Administration
NOAA	- National Oceanic and Atmospheric Administration
PCS	- Plataforma Continental Sul
PCSE	- Plataforma Continental Sudeste
QuikSCAT	- Quick Scatterometer
SDS	- Science Data Set
SeaDAS	- SeaWiFS Data Analysis System
SEAP	- Secretaria Especial de Aquicultura e Pesca
SeaWiFS	- Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor
TSM	- Temperatura de Superfície do Mar
UFRPE	- Universidade Federal Rural de Pernambuco
UNIVALI	- Universidade do Vale do Itajaí

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Segundo estatísticas da FAO (1995), a produção pesqueira mundial cresceu continuamente entre 1950 e 1969, passando de 18 a 56 milhões de toneladas, respectivamente. Em 1970, verificou-se a primeira redução, de 1,7%, na produção, voltando a crescer nos anos seguintes, até atingir 110,3 milhões de toneladas. É importante observar que, no período entre 1970 e 1990, enquanto o esforço de pesca no mundo cresceu entre 200% e 300%, a produção de pescado se elevou em apenas 30%. O total capturado em 1998 atingiu 86 milhões de toneladas, um notável declínio em relação a 1996 e 1997 (ambos com 93 milhões de toneladas), embora as estatísticas estimassem uma considerável recuperação em 1999, com um total de 92 milhões de toneladas (FAO, 2000). Em 2000, foram capturadas 94,8 milhões de toneladas de pescado, registrando a maior captura dos últimos anos. Apesar disso, relatórios preliminares de captura para 2001 indicavam que esse ano poderia ser marco na queda da produção global da captura, com 92 milhões de toneladas (FAO, 2002).

A provável razão para este cenário no setor pesqueiro mundial pode estar associada ao fato de aparentemente ter-se alcançado o potencial máximo de captura, tendo a maioria dos seus estoques completamente explorados. Desta maneira torna-se difícil a obtenção de um crescimento substancial nas capturas totais, já que estas áreas podem não responder mais ao aumento do esforço de pesca (FAO, 2000). Em uma estimativa da FAO (2002), apenas 25% dos estoques de espécies no qual existem informações disponíveis encontram-se moderadamente explorados ou subexplorados, 47% estão próximas ao limite máximo sustentável e 18% encontram-se em estado de sobrepesca. Os outros 10% encontram-se totalmente esgotados ou em fase de recuperação, estando longe de ser re-introduzidos de imediato ao cenário das próximas pescarias.

Uma outra explicação para o colapso nos estoques deve-se ao crescimento da demanda mundial de pescado e uma capacidade de captura crescentemente mais rápida que o

volume de captura (FAO, 2003). Roughgarden e Smith (1996) sugerem a criação de um limite de captura baseada nos dados atuais do recurso, criando uma sobretaxa sobre aquelas espécies capturadas além deste limite pré-estabelecido. A medida sugerida pela FAO (1997) foi a exploração de espécies pelágicas de pequeno e grande porte, como os atuns e afins, reduzindo, assim, o esforço de pesca sobre a plataforma continental e a captura acidental de indivíduos pelágicos juvenis.

Eliminando-se os impactos causados pelo aumento do esforço à pesca e, dando ênfase as condições ambientais globais, entre 1997 e 1998 ocorreu o mais intenso El-Niño do qual se tem registro. Esse fenômeno provocou uma considerável redução nas capturas de pescado em virtude do aquecimento das águas ao longo do Pacífico Tropical. Em contra-partida entre 1999 e 2000 ocorreu o fenômeno contrário ao El-Niño, La Niña, com “blooms” consideráveis de fitoplâncton no Pacífico Equatorial, elevando as capturas mundiais, uma vez que o Chile, o Peru e os Estados Unidos são grandes contribuintes do total de pescado capturado no mundo.

As capturas de espécies oceânicas tiveram um constante incremento nas décadas recentes, indicando um crescimento na atividade pesqueira nos três grandes oceanos. Em 2000, o retorno das condições climáticas favoráveis após o recente El Niño, levou a produção de anchoveta a ser a maior dentre as espécies capturadas. No mesmo período, as capturas de atuns foram estáveis se comparadas com 1998, após um pico de cerca de 6 milhões de toneladas em 1999, sendo a albacora bandolim, albacora laje e o bonito listrado as espécies mais capturadas em termos de valores (FAO, 2002).

Aproximadamente 4 milhões de toneladas das principais espécies comerciais de atum (bonito-listrado, albacora-laje, albacora-bandolim, albacora-branca, e albacora-azul) são capturadas anualmente. O Oceano Pacífico participa com aproximadamente 65%, o Oceano Índico aproximadamente 21%, e o Oceano Atlântico aproximadamente 14% destas capturas. Dentre estas principais espécies comerciais, o bonito-listrado é a mais capturada em todos os oceanos, representando cerca de 50 % da produção mundial de atuns (FAO, 2003).

A primeira pescaria do bonito-listrado no Atlântico Oeste ocorreu na década de 50, por meio de vara e isca-viva, com as pescarias de rede de cerco logo após, nos anos 60. A pesca mais importante, desta espécie, nesta porção do Atlântico é a realizada com vara e isca-viva pela frota brasileira, onde a espécie alvo é unicamente o bonito-listrado. Ao fim dos anos 70, as capturas totalizaram 7.000 t (toneladas) de pescado capturado com isca-viva. Em 1997, 84% das 32.000 t de pescado capturado utilizaram a vara e isca-viva como petrecho de pesca (ICCAT, 2003b). Nos anos mais recentes, essa captura, na porção oriental do Atlântico, vem apresentando algumas oscilações. Em 2002, foram capturadas 21.374 t, representando um decréscimo de 32% em relação a 2001 (31.362 t) (ICCAT, 2003a), seguido de uma pequena recuperação em 2003, com 24.000 t de pescado capturado (ICCAT, 2004).

O Brasil encontra-se estrategicamente localizado em relação às rotas migratórias das principais espécies de atuns capturadas ao longo do Atlântico Sul (Travassos, 1999), o que demonstra a importância desse recurso para o setor pesqueiro do país.

Em 2003, as capturas da frota brasileira de atuns e afins foram de 48.828,4 t, representando uma diminuição de aproximadamente 3,4% em relação a 2002 (50.575,5 t). A maioria das capturas foi feita pela frota de isca-viva, aproximadamente 50%, onde o bonito-listrado foi a espécie mais abundante (20.416,1 t) (ICCAT, 2004).

Grande parte das capturas de pescado é voltada ao setor industrial da pesca, principalmente espécies pelágicas de grande porte como os atuns e afins. As regiões Sudeste e Sul do Brasil respondem a maior parte deste setor no país, com 70 e 80% das capturas regionais, respectivamente, voltadas ao setor industrial (SEAP, 2003).

Nestas duas regiões, está concentrada a grande maioria das capturas brasileiras por meio de vara e isca-viva, sendo novamente o bonito-listrado a espécie mais capturada. A CPUE dos barcos com isca-viva encontra-se em torno de 3 a 6 toneladas por barco por dia (Matsuura e Andrade, 2000). Com relação ao esforço aplicado nesta técnica, houve um decréscimo de 50% entre 1985 e 1996, enquanto que foi observado um incremento entre 1997 e 1998, mantendo-se estável até 2001 (ICCAT, 2003a).

Segundo Andrade (1996), existem três pontos principais de pesca do bonito-listrado ao longo da costa sudeste-sul do Brasil, sendo eles: (1) em torno de 26°S; (2) entre 28° e 29°S, ao sul do Cabo de Santa Marta; e (3) entre 33° e 34°S, ao sul do Cone do Rio Grande, todos próximos a quebra de plataforma. A maior frequência das capturas ocorre entre 17° e 30°S, estando mais concentradas na faixa de 21,9° a 25,5°C (Andrade e Garcia, 1999).

Um melhor aproveitamento do esforço de pesca e um aumento na produção de pescado, a níveis sustentáveis, é o que buscam os órgãos que regulamentam a atividade pesqueira mundial e as nações que exploram estes recursos. Por tratar-se de uma atividade de elevado custo operacional, torna-se cada vez mais importante o uso de informações complementares que possam contribuir na detecção destes estoques pesqueiros. A utilização de medidas de parâmetros oceanográficos em conjunto com informações sobre as populações de peixes pode melhorar o gerenciamento das capturas e reduzir os custos da exploração do recurso.

Visando contribuir na redução de custos e de tempo gastos em operações oceanográficas, o uso de sensores remotos orbitais para estimar parâmetros oceanográficos e, conseqüentemente, auxiliar na pesca torna-se bastante pertinente.

Exemplos de estudos utilizando dados de sensores remotos orbitais em apoio à pesca podem ser encontrados em Andrade (2003), que utilizou dados orbitais para relacionar o esforço de pesca com fenômenos de meso-escala no Atlântico Sudoeste e Zagaglia (2003), que utilizou técnicas de sensoriamento remoto aplicadas à pesca de atuns no Atlântico Oeste Equatorial.

Uma outra importante ferramenta utilizada em estudos pesqueiros é a modelagem pesqueira. Através dela é possível otimizar o esforço pesqueiro a partir da integração dos dados derivados da captura e as variáveis ambientais de interesse, podendo determinar novos padrões de distribuição desses estoques. De uma maneira geral, pode-se afirmar que a modelagem pesqueira está concentrada na estimativa da produção de pescado.

Em razão das incertezas envolvidas em estudos de avaliação dos estoques pesqueiros, a comunidade científica passou a utilizar métodos estatísticos que incorporassem essas incertezas. Para isso foi inserida uma noção de distribuições de probabilidade aos modelos, através de estatística bayesiana. Algumas das vantagens da estatística bayesiana, em estudos de avaliação de estoques, podem ser vistas em Hammond e O'Brien (2001).

1.1 Objetivos

De acordo com o que foi exposto, o objetivo do presente trabalho consiste na busca de uma relação estatística entre a variabilidade da captura do bonito-listrado ao longo da região Sudeste do Brasil e variáveis ambientais, obtidas a partir de sensores remotos orbitais, utilizando uma metodologia baseada em informações históricas da captura. De maneira específica os objetivos são:

- Calcular as estimativas bayesianas da CPUE ($\bar{\lambda}'$) do bonito-listrado com base em dados históricos de captura;
- Aplicar a técnica de regressão múltipla das variáveis ambientais e de $\bar{\lambda}'$ vs. CPUE, e regressões simples, par a par, entre os mesmos parâmetros, a fim de identificar as relações funcionais entre os dados de captura e as variáveis ambientais;
- Testar a utilidade e eficácia do uso combinado de dados de vários sensores remotos e análise estatística, no prognóstico da pesca do bonito-listrado.

A dissertação aqui apresentada está organizada da seguinte forma:

CAPÍTULO 2 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA: neste capítulo serão apresentadas a espécie alvo do trabalho, sua interação com as variáveis ambientais, os conceitos básicos da modelagem bayesiana para previsão de captura de pescado e a utilização do sensoriamento remoto orbital como fonte de dados ambientais.

CAPÍTULO 3 – MATERIAIS E MÉTODOS: serão apresentadas a área onde foi desenvolvido o estudo, as técnicas de obtenção das estatísticas de captura e os procedimentos computacionais para a recuperação dos dados ambientais a partir das imagens de satélite.

CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO: serão apresentadas as relações funcionais identificadas entre os dados de captura de pescado e as variáveis ambientais assim como o desempenho da estimativa de captura.

CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES: com base nas conclusões alcançadas serão indicadas ações para a melhoria do registro de desembarque do pescado e sugeridos temas de trabalhos futuros para a elucidação de aspectos indefinidos.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Sensoriamento remoto

2.1.1 Sensores ópticos

São aqueles que operam na região óptica do espectro eletromagnético, isto é, entre o ultravioleta ao infravermelho. A principal característica destes sistemas sensores é utilizar a radiação eletromagnética emitida pelo Sol para obter informações sobre alvos na superfície da Terra. Essa região do espectro, em particular, é de grande interesse a comunidade científica, razão pela qual concentra a maior parte dos sensores remotos atualmente em órbita.

Dentre os vários sensores orbitais ópticos, os sensores relacionados à detecção da cor dos oceanos e os sensores que atuam na determinação da temperatura superficial do mar, estão entre os mais importantes para os estudos oceanográficos e/ou pesqueiros.

2.1.1.1 SeaWiFS

O sensor SeaWiFS (Sea-viewing Wide Field-of-view Sensor), localizado à bordo do satélite SeaStar, foi lançado em agosto de 1997 com o objetivo de dar continuidade aos trabalhos de monitoramento dos oceanos, iniciados pelo CZCS (Coastal Zone Color Scanner), e descontinuados por vários anos.

O Projeto SeaWiFS tem o objetivo de obter dados exatos da cor do oceano ao longo do mundo por um período mínimo de 5 anos, processar estes dados, assim como gerar subprodutos dos parâmetros biológicos significativos e disponibilizar em seguida para a comunidade científica (GSFC, 2004a). Nas Tabelas 2.1 e 2.2, estão resumidas as bandas espectrais de atuação e a características gerais do sensor SeaWiFS, respectivamente.

TABELA 2.1 – Bandas espectrais do sensor SeaWiFS.

Bandas	Comprimentos de onda (nm)	Uso
1	402 - 422	Detecção de substância amarela (Gelbstoffe)
2	433 - 453	Concentração de clorofila
3	480 - 500	Concentração de clorofila (caso II)
4	500 - 520	Concentração de clorofila
5	545 - 565	Detecção de substância amarela (Gelbstoffe)
6	660 - 680	Concentração de clorofila
7	745 - 785	Correção atmosférica
8	845 - 885	Correção atmosférica

FONTE: Jensen (2000).

TABELA 2.2 – Características gerais do sensor SeaWiFS.

Órbita	Descendente, heliossíncrona, quase-polar, circular
Altitude	705 km
Hora de Passagem (Equador)	12:00 p.m.
Bandas	8
Resolução espacial no nadir	1,1 km
Resolução temporal	1 dia
Resolução radiométrica	10 bits
Largura da faixa imageada	2800 km

FONTE: GSFC (2004a).

2.1.1.2 MODIS

O sensor MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) é o principal instrumento a bordo dos satélites EOS-Terra e EOS-Aqua do Programa EOS (Earth Observing System). Os satélites EOS-Terra e EOS-Aqua foram lançados em dezembro de 1999 e maio de 2002, respectivamente. Com a vantagem de estar presente simultaneamente em dois satélites, este sensor é capaz de realizar observações de toda a superfície terrestre duas vezes ao dia.

Apesar de seu lançamento ter ocorrido em 1999, só no ano de 2000 o sensor passou a trabalhar na coleta de dados. Desde então, vem atraindo cada vez mais o interesse da comunidade científica, devido a uma série de características inovadoras e desejáveis em um sistema sensor, muitas delas inéditas em sistemas anteriores, ajudando a melhorar nossa compreensão da dinâmica global e os processos que ocorrem em terra, nos oceanos e na atmosfera.

Os dados são obtidos em 36 bandas espectrais que se situam entre 0,4 e 14,4 μm com resoluções espaciais variando de 250, 500 e 1000 metros e resolução radiométrica quantizada em 12 bits (Tabela 2.3).

Esta resolução radiométrica é uma das principais vantagens apresentadas pelo MODIS em relação a outros sensores, para estudos oceanográficos. Com esse aprimoramento, o MODIS é capaz de detectar variações mínimas nos valores dos parâmetros oceanográficos até então não detectados por outros sensores. Uma outra vantagem deste sensor é a geração simultânea dos chamados produtos oceânicos. Essa simultaneidade na aquisição dos dados minimiza os erros de estimação dos parâmetros, evitando a utilização de diferentes algoritmos de correção atmosférica, o que fortalece a confiabilidade das estimativas e facilita a análise dos resultados. A seguir são apresentadas as principais bandas aplicadas em estudos oceânicos (Tabela 2.4).

TABELA 2.3 – Características gerais do sensor MODIS.

Órbita	Descendente (Terra), ascendente (Aqua), heliossíncrona, quase-polar, circular
Altitude	705 km
Horário de passagem (Equador)	10:30 (Terra) / 13:30 (Aqua)
Bandas	36
Resolução espacial no nadir	250m / 500m / 1000m
Resolução temporal	1 ou 2 vezes ao dia
Resolução radiométrica	Quantização em 12 bits
Largura da faixa imageada	2330km (cross track)

FONTE: GSFC (2004b).

TABELA 2.4 – Bandas de aplicação oceanográfica do sensor MODIS.

Utilidades	Bandas	Comprimentos de onda (nm)
Cor do Oceano; Biogeoquímica; Fitoplâncton	8	405 - 420
	9	438 - 448
	10	483 - 493
	11	526 - 536
	12	546 - 556
	13	662 - 672
	14	673 - 683
	15	743 - 753
Temperatura de Superfície/Nuvens	16	862 - 877
	31	10.780 - 11.280
	32	11.770 - 12.270

FONTE: GSFC (2004b).

2.1.2 Sensores de microondas

Em razão da região das microondas ser uma região espectral onde os comprimentos de onda são mais longos, variando entre 1 mm a 1 m, o efeito da atmosfera sobre o sinal emitido é minimizado.

Uma característica interessante nestes sistemas é a diferenciação da polarização da radiação de microondas, que pode ser horizontal (H) ou vertical (V), já que eles emitem e recebem energia polarizada. O sensor envia um pulso com uma determinada polarização, e de acordo com as interações com o terreno, vários tipos de radiação polarizada retroespalhada podem ser recebidos, sendo elas: HH, VV, HV ou VH. Esses pares correspondem aos sinais de transmissão e recepção, respectivamente. As configurações, HH e VV são chamadas de polarizações diretas enquanto as HV e VH são as polarizações cruzadas (Jensen, 2000).

Os altímetros e escaterômetros destacam-se entre os sensores radar mais utilizados em estudos oceânicos. Os altímetros emitem ondas de radar na vertical, sendo utilizados em medida da altura da superfície do mar, permitindo inferir a velocidade das correntes geostróficas, a quantidade de calor armazenado na coluna d'água e variações na profundidade da termoclina. Além de seu objetivo básico, o altímetro também mede a altura significativa da onda e a magnitude do vento. Os escaterômetros emitem ondas de radar para baixo, numa direção oblíqua em relação à vertical. São utilizados na aquisição de dados de vento, baseados na rugosidade da superfície do mar, bem mais precisos que os altímetros. A partir das informações de rugosidade são utilizados modelos empíricos que relacionam a velocidade e direção do vento ao coeficiente de retroespalhamento medido pelo escaterômetro (Polito e Sato, 2004).

2.1.2.1 QuikSCAT

O sensor SeaWinds a bordo do satélite Quick Scatterometer (QuikSCAT), pertencente ao consórcio entre a NASA e a Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA), foi lançado em junho de 1999 pela Força Aérea Americana. O QuikSCAT foi lançado com a missão de preencher a lacuna criada pela perda dos dados do NASA Scatterometer

(NSCAT), satélite perdido em junho 1997, após apenas 9 meses de operação. O Quik vem de “quick”, visto a necessidade da NASA substituir rapidamente o satélite perdido. O propósito de sua construção é adquirir medidas de alta resolução dos ventos sobre a superfície global dos oceanos a 10 m de altitude, altitude padrão.

Para isso, o sistema conta com uma antena giratória, de um metro de diâmetro, que produz 2 feixes que fazem uma varredura em um padrão circular. A antena irradia pulsos de microondas na frequência de 13,4 GHz em direção a regiões da superfície terrestre. O SeaWinds possui uma faixa de imageamento de 1800 km durante cada órbita, fazendo aproximadamente 400.000 medidas e fornecendo aproximadamente 90% da cobertura total dos oceanos a cada dia. O instrumento pode medir ventos de 3 a 20 m.s⁻¹, com uma acurácia de 2 m.s⁻¹ em intensidade e de 20° em direção, com uma resolução espacial de 25 km (JPL, 2004) (Tabela 2.5).

TABELA 2.5 – Principais características do sensor SeaWinds.

Órbita	Ascendente e descendente, heliossíncrona, inclinação de 98,6°
Altitude	803 km
Banda	K _u
Frequência	13,4 GHz
Resolução espacial	25 km
Resolução temporal	1 dia
Largura da faixa imageada	1800 km

FONTE: JPL (2004).

2.1.3 Parâmetros oceânicos estimados por sensoriamento remoto

2.1.3.1 Temperatura da superfície do mar (TSM)

A estimativa da TSM através sensores orbitais é uma das mais úteis aplicações do sensoriamento remoto em estudos oceanográficos e pesqueiros, sendo importante na determinação da distribuição de espécies que vivem em águas próximas a superfície. Através da TSM é possível fazer inferências a respeito da temperatura de sub-superfície.

As informações sobre a TSM são obtidas através de sensores remotos atuando na região do infravermelho termal. Segundo Oliveira (2003), a água tem alta emissividade no infravermelho termal e a radiação de comprimento de onda longo é emitida do topo do oceano a alguns micrometros de espessura. Por isso a TSM obtida pelos sensores orbitais, proveniente da radiação emitida pela camada mais superficial da coluna d'água, é chamada de temperatura de pele.

Segundo Robinson (1985), a superfície do mar pode ser considerada como um corpo negro na faixa do infravermelho termal, com emissividade em torno de 0,98. Em razão do seu comportamento lambertiano, espalhando igualmente a energia radiante em todas as direções, a radiância que é detectada por um determinado sensor, ao se descontar a interferência da atmosfera, representa uma estimativa fiel da verdadeira temperatura de superfície.

Dentre os principais problemas encontrados na obtenção de dados de TSM estimados por sensores remotos orbitais estão a formação de nuvens acima da região estudo e a absorção da radiação eletromagnética nos comprimentos do infravermelho pelo vapor d'água, causando um deslocamento no histograma dos valores de radiância captados pelo sensor. Conseqüentemente, a acurácia dessas medidas vai depender do grau de informação utilizada pelo algoritmo de correção atmosférica. De acordo com Kidwell (1993), dados de TSM obtidos a partir de radiômetros termais a bordo de satélites possuem uma acurácia de 0,5°C.

2.1.3.2 Concentração de clorofila-*a* na superfície do mar (CCS)

A determinação da cor da água está relacionada com a presença, ausência e concentração de componentes opticamente ativos na água. A alta transmitância da água na faixa do visível, a interferência da atmosfera e a reflectância do fundo em águas rasas estão entre os principais fatores que tornam a interpretação da variação da cor da água ainda complexa, não se sabendo exatamente a que profundidade da coluna d'água pertence a resposta espectral que chega ao sensor (Novo, 2001). Estima-se que 90% da energia detectada sobre um corpo d'água por um sensor orbital está atribuída à interferência atmosférica (Kirk, 1994).

O fitoplâncton é a base produtiva de grande parte dos ambientes aquáticos, encontrando-se no nível mais baixo de toda a cadeia trófica. Por serem organismos fotossintéticos, eles encontram-se distribuídos nas regiões mais superficiais da coluna d'água, desde a superfície até a zona que corresponde à profundidade de extinção da luz onde a irradiância equivale a 1% de toda a radiação que atinge a superfície do mar.

Segundo Stewart (1985), a absorção da luz pelos pigmentos fotossintéticos é o principal mecanismo de modificação da cor do oceano em áreas afastadas da costa. Já nas zonas costeiras, pode haver a presença de grandes concentrações de sedimentos e matéria orgânica, de origem antrópica, que também influenciam na cor do mar.

De acordo com a teoria radiativa do espectro solar refletido, a cor da água do domínio oceânico pode ser determinada pela distribuição espacial e espectral da reflectância da água. As águas são divididas em:

- Tipo I - corresponde a todas aquelas águas que oceânicas ou costeiras tem sua cor determinada pelo fitoplâncton presente na mesma; e
- Tipo II - corresponde a todas as demais águas que não possuem as características acima.

Clarke *et al.*, 1970 (citado por Stewart, 1985) observaram que a curva espectral de reflectância de águas oceânicas é função da concentração da clorofila, para água do tipo I. Na medida em que a concentração do pigmento aumenta, há uma redução da reflectância em 0,45 μm e um aumento próximo a 0,56 μm .

A clorofila-*a* é o principal pigmento envolvido nos processos fotossintéticos das células vegetais. Sua concentração funciona como um estimador da biomassa fitoplanctônica e da produtividade primária dos oceanos.

Platt *et al.* (1991) estimou a produção primária ao longo da coluna d'água através da interpretação da concentração de pigmentos clorofilados na superfície do oceano, baseando-se numa representação não-linear da curva de fotossíntese-luminosidade.

A determinação da concentração de clorofila- α está fundamentada no comportamento espectral deste pigmento, o qual apresenta uma maior absorção no comprimento de 435 nm e uma menor absorção em 675 nm (Novo, 2001), onde através de algoritmos bio-ópticos atuando nesses comprimentos de onda é estimada a concentração de clorofila- α .

Em se tratando do sensor SeaWiFS, este sensor utiliza o algoritmo bio-óptico empírico denominado Ocean Color versão 4 (OC4v4), desenvolvido por O'Reilly et al. (2000), e calculado por:

$$C_a = 10^{0,366-3,067R+1,930R^2+0,649R^3-1,532R^4} \quad (2.1)$$

$$\text{onde, } R = \log_{10} \left(\frac{R_{rs\ 443} > R_{rs\ 490} > R_{rs\ 510}}{R_{rs\ 555}} \right)$$

onde R_{rs443} , R_{rs490} , R_{rs510} e R_{rs555} são as reflectâncias de superfície do oceano.

2.1.3.3 Ventos

A circulação oceânica está diretamente ligada com a atmosfera, seja através de trocas de calor ou pela transferência de *momentum* provocado pelo atrito do vento na superfície oceânica (Kundu, 1990).

O vento, de uma maneira geral, tem um papel importante na distribuição das espécies pelágicas na camada superficial dos oceanos, contribuindo desde a dispersão das larvas até o transporte e concentração de nutrientes e do fitoplâncton. Segundo Hazin (1993), a direção e velocidade dos ventos podem vir a determinar o comportamento migratório de algumas espécies de peixe, sendo assim importante para estudos pesqueiros.

Os ventos são a fonte mais direta de introdução de energia cinética no oceano. Esta energia é transmitida através da interface atmosfera-oceano por atrito. A este atrito dá-se o nome de tensão de cisalhamento do vento ($\bar{\tau}$). A tensão de cisalhamento do vento é uma medida de transmissão de *momentum* devido ao movimento relativo entre a atmosfera e o oceano. Para o cálculo desse parâmetro utiliza-se a equação empírica descrita abaixo (Pond e Pickard, 1983), comumente chamada de “bulk formula”:

$$\vec{\tau} = \rho_{ar} C_D U_{10}^2 \text{ [N.m}^{-2}\text{]} \quad (2.2)$$

onde ρ_{ar} é a densidade do ar ($1,0235 \text{ kg.m}^{-3}$), C_D é o coeficiente de arrasto e U_{10} [m.s^{-1}] é a velocidade do vento medida a 10 m de altura. O C_D utilizado foi o proposto por Wang e Connors (1975) a partir dos seus experimentos, dado por:

$$C_D = (1,1 + 0,0536 U_{10})10^{-3} \quad (2.3)$$

Um outro fator importante no deslocamento das águas da camada superficial dos oceanos, que não pode ser desprezado, é a atuação da força de Coriolis. Essa força aparente é provocada pelo movimento de rotação da Terra, sendo proporcional em magnitude à velocidade do fluxo. A força de Coriolis causa um deslocamento resultante da água perpendicular a direção do vento e atua para a direita no hemisfério norte e para esquerda no hemisfério sul. A influência desta força é expressa pelo parâmetro de Coriolis conforme a expressão abaixo.

$$f = 2\Omega \text{ sen } \phi \quad (2.4)$$

onde ϕ é a latitude geográfica e Ω a magnitude da velocidade angular da Terra expressa por:

$$\Omega = \frac{2\pi}{T} \quad (2.5)$$

onde T é o período de rotação da Terra que equivale a 86.164,2 s.

A transferência de *momentum* do campo de vento para a camada superficial do oceano por meio do atrito causa movimento da massa d'água. Este movimento vai sendo transmitido para as camadas inferiores até atingir a profundidade onde a velocidade é muito menor que a da superfície. A essa camada da coluna d'água onde o vento exerce influência sobre a direção do transporte das águas dá-se o nome de camada ou espiral de Ekman.

2.1.4 Sensoriamento aplicado à pesca

As atuais técnicas de sensoriamento remoto apresentam grande potencialidade no auxílio à exploração pesqueira de diversos recursos em todo o mundo, principalmente de espécies pelágicas, podendo ainda ser utilizadas no gerenciamento e conservação à níveis sustentáveis destes recursos. Isto se deve à possibilidade de obter informações sinópticas em meso e grande escalas em alta taxa de repetitividade no tempo. Esse recobrimento espacial e a repetitividade temporal são características importantes para o acompanhamento da evolução espaço-temporal de parâmetros oceanográficos que possam vir a influenciar a biologia populacional e a distribuição das espécies de interesse a pesca (Zagaglia, 2003).

Apesar dos bons resultados obtidos em pesquisas científicas que utilizam informações derivadas de satélites em auxílio à atividade pesqueira, são poucas as instituições ligadas a pesca que reconhecem ou aplicam este potencial no setor pesqueiro. A própria indústria pesqueira não demonstrou grande interesse em investir recursos na utilização destas informações, embora já comprovada a grande economia e eficácia gerada (Santos, 2000). Demonstrando a real eficácia da utilização do sensoriamento remoto em auxílio as capturas e no gerenciamento ambiental e financeiro da pesca, Andrade (1999a), a partir de informações de temperatura da superfície do mar e concentração de clorofila- α sugeriu mudanças para uma melhor distribuição do esforço pesqueiro empregado na pesca do bonito-listrado na costa sudeste do Brasil.

Campbell *et al.* (2000) afirmam que, apesar dos algoritmos aplicados aos dados obtidos a partir de sensores a bordo de satélites apresentem uma pequena incerteza quando comparados com os dados obtidos *in situ*, sua cobertura no espaço e a rapidez na obtenção dos dados fazem deles uma ferramenta importante à pesquisa.

Segundo Dizon *et al.* (1978), a temperatura do mar está dentre os parâmetros ambientais de maior relevância na determinação do comportamento dos organismos aquáticos. Pelo fato do bonito-listrado ser uma espécie associada à superfície, extrapola-se a idéia de que possa existir uma relação entre a distribuição e captura da espécie e a temperatura de superfície do mar.

A idéia de que a distribuição espacial do bonito-listrado poderia ser inferida através da temperatura superficial do mar (TSM) como indicador ambiental é antiga (Nakamura, 1969). Por ser de fácil mensuração e estar relacionada muitas vezes com a temperatura de sub-superfície, a TSM tem sido, portanto, a variável ambiental mais utilizada na tentativa de se definir os limites de habitat do bonito-listrado. Dizon *et al.* (1978), sugerem a temperatura de 15°C como limitante ao desenvolvimento e habitat do bonito-listrado, embora no geral esteja esse restrito a águas com temperaturas maiores ou iguais a 18°C.

Alguns trabalhos demonstraram a existência de uma correlação significativa entre a distribuição de atuns e a temperatura de superfície do mar (TSM) (Evans *et al.*, 1980; Sund *et al.*, 1981). Apesar desta relação já ter sido documentada por alguns autores, estudos contestam a existência de uma relação entre a CPUE e a TSM (Power e May, 1991; Andrade e Garcia, 1999), a não ser pela entrada de frentes térmicas marcadas por fortes gradientes de temperatura (Maul *et al.*, 1984). Laurs *et al.* (1984) afirmam que a CPUE pode estar relacionada não com a TSM local, mas com feições de meso-escala, como frentes térmicas e ressalta a importância da utilização de um sensor de cor do oceano na detecção de tais feições. Niwa (1998) diz que, em função dos ambientes de nascimento estarem sempre mudando e do constante movimento dos animais em busca da regulação da sua temperatura corporal, os gradientes térmicos podem ser usados pelos peixes como um estímulo de orientação em suas futuras migrações.

A presença destas frentes térmicas causa uma intensificação do gradiente quase-horizontal de uma ou mais propriedades físicas. Embora separem massas de água com origens e propriedades diferentes, elas não devem funcionar como barreiras naturais à interação entre massas de água, podendo ocorrer intensos processos de mistura (Castro, 1996). Esses processos podem contribuir para o afloramento de águas mais profundas ricas em nutrientes, favorecendo a produção primária e, por conseguinte, as espécies pelágicas de pequeno porte que são o alimento do bonito-listrado.

2.2 Modelagem pesqueira

Os modelos de estimativa da produção de pescado representam um dos principais objetivos dos trabalhos científicos realizados nesta área (Carr, 2002).

O grau de complexidade dos modelos pesqueiros pode variar de simples sistemas de equações diferenciais a modelos de interação entre tamanho, idade, maturidade sexual, entre outros.

A produção primária é uma variável freqüentemente utilizada no desenvolvimento de algoritmos para estimar a produção de pescado. Carr (2002) utilizou um modelo proposto por Pauly e Christensen (1995) que relaciona a produção de pescado com a produção primária, a eficiência na transferência de energia e o número médio de elos tróficos, para espécies pelágicas de pequeno porte em regiões de ressurgência.

Um outro exemplo é dado por Yáñez *et al.* (2001), que utilizaram informações sobre a magnitude e direção dos ventos e TSM para estimar índices de ressurgência e turbulência e índice da TSM oscilação sul (influenciado pelo El Niño), associando-os a dados de pesca (CPUE) para modelagem da produção de anchovas e sardinhas ao norte do Chile.

Apesar dos esforços para utilização da modelagem na pesca, os pesquisadores ainda enfrentam problemas sérios como a escassez e/ou precariedade na coleta dos dados. No Brasil, a coleta dos dados de desembarques ainda hoje é feita de maneira precária, o que torna difícil a composição destes modelos.

2.2.1 Estatística bayesiana

Até pouco tempo atrás, a maioria dos estudos de avaliação de estoques era baseada em um único ponto para estimar quantidades biológicas. As incertezas na avaliação dos estoques pesqueiros além do tamanho dos estoques, produtividade e potencial biológico e as conseqüências econômicas de políticas de gerenciamento pesqueiro alternativo raramente foram estudadas seriamente (McAllister e Kirkwood, 1998).

O impacto causado pela incerteza nos resultados de modelos (por exemplo, elevado risco do colapso do recurso ou sua subutilização), levou ao desenvolvimento de uma variedade de aproximações para contabilizar estas incertezas na avaliação dos estoques pesqueiros (Walters e Ludwig, 1994). Essas incertezas podem ser conhecidas usando distribuições de probabilidade *a posteriori*, estimadas a partir dos dados da captura atual para a população de interesse e distribuições de probabilidade *a priori* para os parâmetros do modelo de previsão (McAllister e Kirkwood, 1998).

A aproximação mais comum para incorporar informações *a priori* em estimações é a aproximação estatística bayesiana (Gelman *et al.*, 1995). Os métodos bayesianos têm sido desenvolvidos recentemente para incorporar rigorosamente informações resultantes da experiência e combinados a inferências por métodos convencionais de avaliação de estoque pesqueiros, visando fornecer uma aproximação simples e conceitual da avaliação dos estoques pesqueiros (McAllister e Kirkwood, 1998).

A teoria bayesiana é fundada sob os conceitos da teoria de probabilidade, aditiva e condicional, e fornece uma estrutura robusta para calcular a probabilidade de ocorrência de um valor (de uma variável) a partir das informações já conhecidas, isto, é os dados observados. O teorema de Bayes é descrito por:

$$\Pr(h | k) = \frac{\Pr(k | h) \Pr(h)}{\Pr(k)} \quad (2.6)$$

onde $\Pr(h)$ é a probabilidade *a priori* e inclui a informação prévia relevante sobre a hipótese h antes que sejam analisados os dados atuais k , $\Pr(k|h)$ é a verossimilhança do processo estatístico fundamental que pode ser uniforme, gaussiano, Poisson etc, $\Pr(k)$ é a distribuição de probabilidade marginal (referente às variáveis) e $\Pr(h|k)$ é a probabilidade *a posteriori* (Brierley *et al.*, 2003).

Dentro da área ambiental e de gerenciamento de recursos, as aplicações da análise bayesiana foram largamente dominadas pela inferência bayesiana clássica, estimação de parâmetros, em que a análise bayesiana é restringida ao espaço do parâmetro (Varis, 1997). Brierley *et al.* (2003) utilizaram o método da máxima-entropia (MaxEnt) para

inferir a densidade de estoque e mapear a distribuição do estoque de krill antártico a partir de dados acústicos de transecto linear. Esse método busca reconstruir uma distribuição da densidade utilizando a aproximação bayesiana.

Convencionalmente, um dos gargalos às aplicações práticas de aproximações bayesianas foi à quantidade elevada de computação requerida. As técnicas numéricas poderosas não estiveram disponíveis até meados dos anos 80 (Varis, 1997). De acordo com Shafer e Pearl (1990), os desenvolvimentos recentes na análise da decisão foram ligados com os avanços em matemática computacional relacionada e ao avanço na velocidade dos processamentos e capacidade de armazenamento.

Exemplos numerosos da aplicação de técnicas bayesianas à análise de dados ecológicos, incluindo a avaliação de estoque pesqueiro, mostrando as vantagens da aproximação bayesiana sobre as análises estatísticas convencionais são mostrados em Hilborn e Mangel (1997). Segundo McAllister e Ianelli (1997), a avaliação de estoques pesqueiros concentrou-se tradicionalmente em métodos e em algoritmos numéricos para estimar parâmetros de interesse ao gerenciamento da pesca utilizando modelos da dinâmica da população. Há agora uma grande variedade de métodos de estimação que incorporam a incerteza dos dados em parâmetros do modelo.

Os métodos bayesianos possuem algumas vantagens em relação aos métodos tradicionais, que o fazem de grande utilidade no fornecimento do conselho de gerenciamento da pesca, pois permitem a análise formal da decisão e facilitam a incorporação da incerteza modelo (Hammond e O'Brien, 2001).

Geralmente existe pouca informação sobre determinados parâmetros chaves de entrada nos modelos da dinâmica da população, como por exemplo, dados de recrutamento. Na estatística convencional, as incertezas em tais parâmetros são freqüentemente ignoradas. Já a avaliação de estoque bayesiana poderia incorporar estes dados na forma de distribuições da probabilidade *a priori* (Gelman *et al.*, 1995). O mesmo ocorre em aspectos-chave da biologia da população e da pesca, onde dados como a estrutura do estoque e a captura acidental “bycatch” em outras pescarias são freqüentemente perdidos. Através de modelos convencionais, são feitas suposições sobre os dados

perdidos e as incertezas geradas por eles, sendo esses dados normalmente ignorados (Goodyear, 1995). Na aproximação bayesiana, estas incertezas podem ser incorporadas como hipóteses alternativas que podem gerar valores alternativos para esses parâmetros-chave (Punt, 1993b).

2.3 Biologia e distribuição do bonito-listrado

O bonito-listrado, *Katsuwonus pelamis*, (Figura 2.1), é uma espécie cosmopolita pertencente a família dos atuns, que forma cardumes nas águas tropicais e subtropicais dos três oceanos (Figura 2.2) (ICCAT, 2004). É encontrado em quantidades comerciais entre 45°N e 40°S na camada de mistura superior dos oceanos (FAO, 2003).

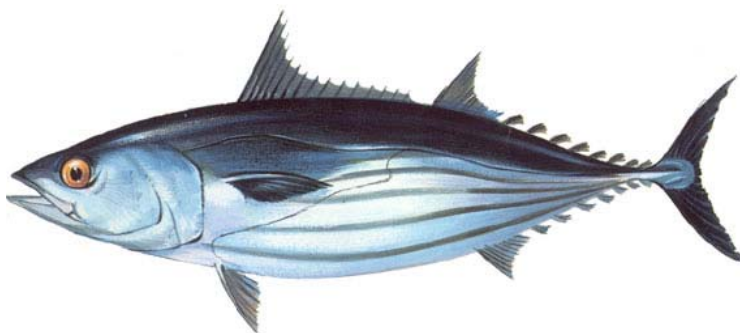


FIGURA 2.1 – Bonito-listrado, *Katsuwonus pelamis*.
FONTE: FAO (2005a).

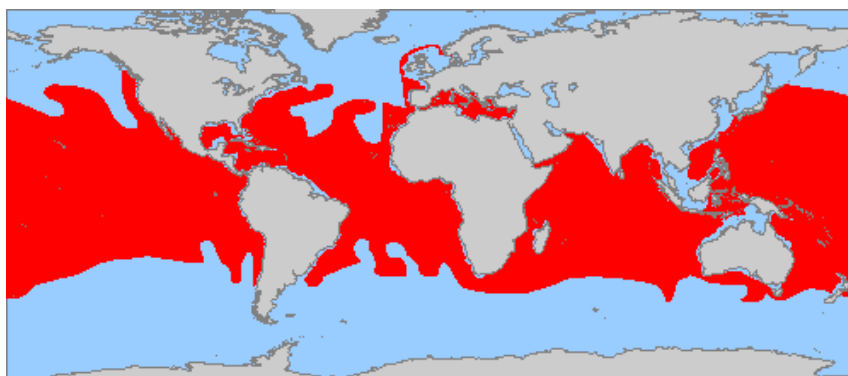


FIGURA 2.2 – Distribuição global do bonito-listrado.
FONTE: FAO (2005b).

Na costa sudeste-sul do Brasil os adultos encontram-se principalmente próximos a isoterma de 15°C, com ocorrência entre 14,7° e 30°C, enquanto que as larvas restringem-se a águas com temperatura de superfície não inferior a 25°C (Vilela, 1990).

Andrade (1996) observou uma diferença neste intervalo de temperatura de superfície diferente, com temperaturas variando entre 17 e 30°C. O autor ainda observou que as concentrações do bonito-listrado se dão, preferencialmente, em regiões cujas profundidades variam de 100 m até o talude continental superior, correspondendo estas às áreas de maior probabilidade de captura.

O bonito-listrado é uma espécie de vida curta, com elevadas taxas de mortalidade natural e de repovoamento da população. Estas características, junto com sua ampla distribuição, resultam em uma elevada biomassa de indivíduos, e em níveis elevados da produção potencial (FAO, 2003). Sua desova é do tipo oportunista, ocorrendo durante todo o ano em vastas áreas do Oceano Atlântico, em águas mornas acima de 25°C. No Atlântico equatorial, a desova ocorre em uma área grande em ambos os lados do equador, incluindo o golfo de Guiné e a 20° ou 30°W. As desovas ocorrem durante todo o ano com um máximo de novembro a março. Já no Atlântico tropical nordeste, ela é feita em locais em volta das ilhas de Cabo Verde, de julho a setembro. O tamanho na primeira maturidade é aproximadamente 45 cm para machos e aproximadamente 42 cm para fêmeas no Atlântico leste, enquanto que no Atlântico oeste a maturidade sexual é alcançada em torno de 51 cm para fêmeas e em 52 cm para machos. O crescimento do bonito-listrado é sazonal, com diferenças substanciais de acordo com a latitude (ICCAT, 2003b).

No Brasil, a desova ocorre todo o ano, principalmente no primeiro semestre, durante os meses de verão no hemisfério sul. Foi observado que os indivíduos capturados no Brasil crescem apenas cerca de 8 cm/ano, diferente dos capturados na África e na costa da Venezuela que podem crescer de 9 até 19 cm/ano e cerca de 16 cm/ano, respectivamente. Observou-se também que a mortalidade natural dos indivíduos juvenis pode ser muito mais elevada do que o valor estimado por parte da comunidade científica (ICCAT, 2003b). Como critério de comparação, o tamanho de primeira maturidade obtido para a população do Pacífico foi estimado em 55 cm, para ambos os sexos (Orange, 1961).

O bonito-listrado é uma espécie freqüentemente associada com objetos flutuantes, sejam eles naturais ou artificiais, os “fish aggregating devices” (FAD’s), usados desde os anos 90 por embarcações de cerco e isca-viva (durante o período de 1991 a 2003, aproximadamente 55 % das capturas de bonito-listrado utilizaram FAD’s). O crescente uso dos FAD’s pode ter mudado o comportamento dos cardumes e as migrações desta espécie, já que foi detectada uma diminuição dos cardumes livres de espécies mistas após a sua introdução. Estas possíveis mudanças comportamentais podem conduzir a mudanças nos parâmetros biológicos desta espécie em consequência das mudanças na disponibilidade de alimento, predação e mortalidade pela pesca (ICCAT, 2004).

Além disso, os cardumes desta espécie tendem a se associar a feições oceânicas de meso-escala, zonas de convergência, frentes oceânicas, ressurgências e outras. Essas feições geralmente intensificam a produtividade oceânica da região, disponibilizando um aumento na forragem para os pequenos pelágicos (Vilela, 1990).

Em razão de adaptações morfológicas e fisiológicas favoráveis a grandes migrações, existe uma grande demanda energética por parte dos mesmos. Sendo assim, há necessidade da procura de temperaturas mais altas para manter uma temperatura corporal adequada (Kitchell *et al.*, 1978) e, conseqüentemente, na manutenção de temperaturas corporais relativamente altas. A manutenção de uma temperatura corporal adequada é derivada basicamente de uma procura ativa por ambientes com temperaturas altas e de mecanismos circulatórios de contra-corrente com troca de calor. Apesar dessa adaptação fisiológica, que implica em temperaturas musculares superiores às ambientais, o bonito-listrado não pode sobreviver por longos períodos em águas relativamente frias, com temperaturas inferiores a 15°C (Lowe *et. al.*, 1998).

Segundo Matsuura (1982), existe uma variação quanto a termorregulação do bonito-listrado, de acordo com o peso corporal dos indivíduos. Espécimes de até 4 kg, por exemplo, podem se distribuir em água acima de 26°C, já espécimes de maior peso preferem temperaturas inferiores, devido sua maior taxa metabólica. Para espécies maiores que 9 kg, o máximo tolerável é de 22°C, isto é, a distribuição dos maiores espécimes limita-se a temperaturas entre 18° e 22°C.

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Área de estudo

A área de estudo foi selecionada a partir da espacialização dos dados de captura do bonito-listrado, localizando-se na região sub-tropical do Atlântico Sul, incluindo a Plataforma Continental Sudeste (PCSE), desde a latitude de 23° a 28° S, até a região da quebra de plataforma e início do talude continental (Figura 3.1).

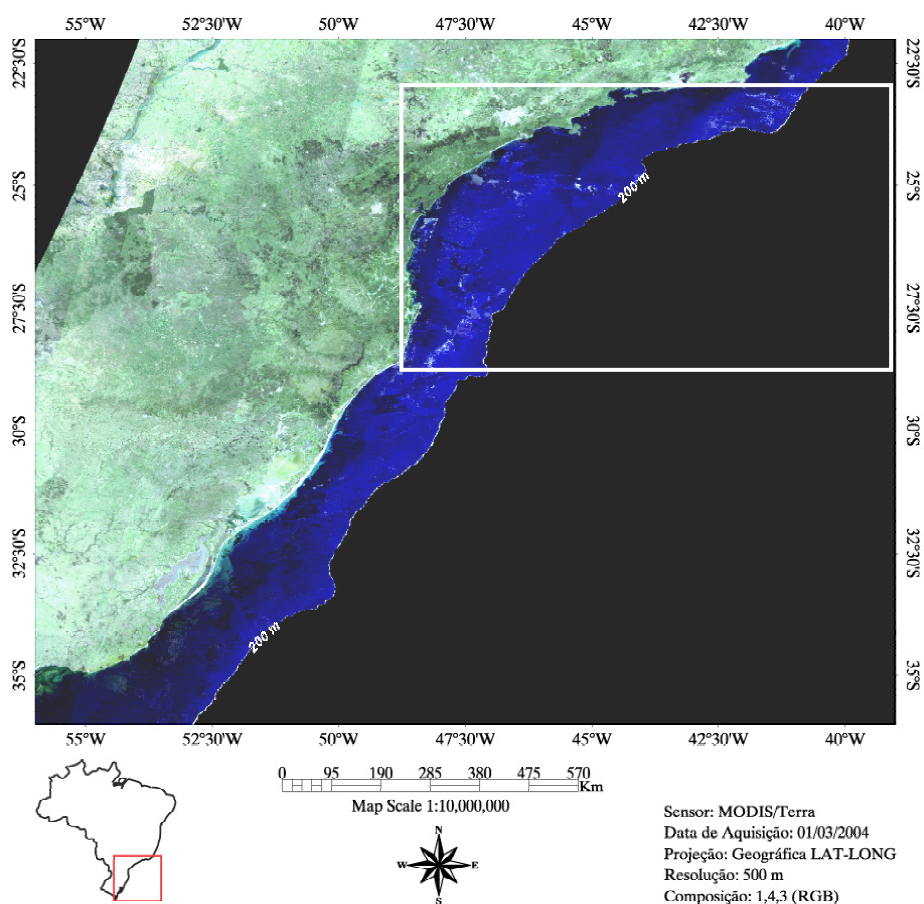


FIGURA 3.1 – Carta imagem MODIS, com a área de estudo delimitada pelo retângulo em branco e isóbata de 200m de profundidade.

Trata-se de uma área com grande dinâmica oceânica, além de concentrar importantes recursos pesqueiros, grandes portos marítimos e as principais bacias petrolíferas do

Brasil (Assireu, 2003). A seguir serão apresentados alguns aspectos e fenômenos oceanográficos ocorrentes na área.

3.1.1 Plataforma continental sudeste-sul

A PCSE se estende desde Cabo Frio (23°S), no Rio de Janeiro, até o Cabo de Santa Marta (28°40'S), em Santa Catarina (Castro, 1996) e a PCS se estende desde o Cabo de Santa Marta até o extremo sul do Brasil (Figura 3.1). A porção mais larga, com 230 km, está localizada em frente a Santos, e as porções mais estreitas nas proximidades de Cabo Frio, com 50 km e Cabo de Santa Marta, com 70 km. Seu comprimento é de aproximadamente 1100 km, com uma topografia suave e isóbatas paralelas à costa, com exceção de algumas grandes ilhas, geralmente situadas nas proximidades da costa, como Ilha Grande, Ilha de São Sebastião, Ilha de São Francisco e Ilha de Santa Catarina. A profundidade de quebra de plataforma da PCSE varia de 120 a 180 m com uma área total de 150.000 km² (Zembruski, 1979). Considerando uma profundidade média de 70 m pode-se estimar, em primeira aproximação, o volume total da PCSE como cerca de 10.000 km³. As mesmas características de declividade, topografia e largura da plataforma, podem ser aplicadas para a PCS. Com um comprimento aproximado de 750 km, e uma largura aproximada de 120 km, e usando-se uma profundidade média de 60 m, estima-se um volume aproximado de 5.500 km³, pouco mais da metade da PCSE (Castro, 1996).

A região da borda da plataforma continental, por se tratar de uma área de transição, vem recebendo uma atenção especial nos estudos oceanográficos. A escala de comprimento topográfico e a alta inclinação estão associadas a movimentos peculiares da região da borda de plataforma e início do talude. Ao longo da borda da plataforma e início do talude ocorrem alguns dos principais processos oceânicos, como: ondas aprisionadas à costa e correntes de talude, meandros, vórtices, instabilidades e circulações secundárias associadas a correntes de contorno oeste, transporte de Ekman, ressurgências e subsidências, marés e correntes inerciais e frente e ondas internas (Huthnance, 1981).

A seguir serão apresentados alguns aspectos relevantes na dinâmica da plataforma continental sudeste-sul brasileira.

3.1.2 Corrente do Brasil

A corrente do Brasil (CB) é a corrente de contorno oeste associada ao Giro Subtropical do Atlântico Sul (Figura 3.2). Origina-se ao sul de 10°S, a partir da bifurcação do ramo mais setentrional da Corrente Sul Equatorial (CSE) formando também a Corrente Norte do Brasil (CNB) (Silveira *et al.*, 1994), que segue em direção às Guianas. O transporte de massa da CB é relativamente pequeno, inicialmente cerca de 4 Sv (1 Sv = 10⁶ m³.s⁻¹) (Peterson e Stramma, 1991), quando comparada com outras correntes de contorno oeste. O eixo principal da corrente flui para sudoeste acompanhando a orientação da plataforma continental como uma corrente superficial rasa (Castro, 1996), onde cerca de metade do seu transporte ocorre sobre a plataforma em profundidades menores que 200m (Tomczak e Godfrey 2001). Segundo Stramma *et al.* (1990), ao sul de 15°S isso pode ser observado devido ao alargamento da plataforma. Evans e Signorini (1985), através de medições acústicas próximas a Cabo Frio, obtiveram evidências de que cerca da metade do transporte de 11 Sv ocorre na parte externa da plataforma continental, a oeste da isóbata de 200 m.

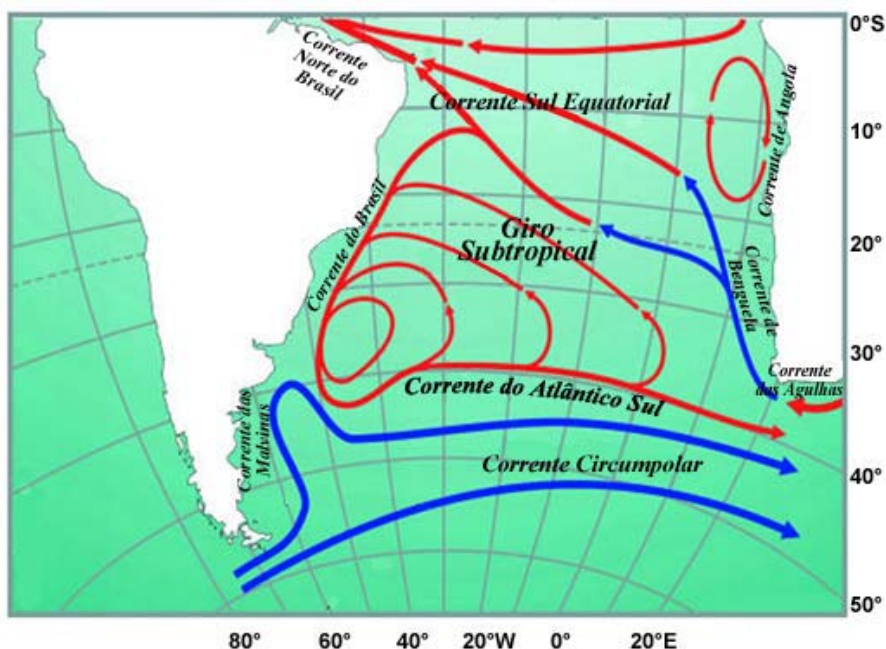


FIGURA 3.2 – Representação esquemática do Giro Subtropical e das correntes superficiais do Atlântico Sul.

FONTE: Adaptada de Peterson e Stramma (1991).

Com a mudança abrupta da orientação da linha de costa de NE-SW para E-W, imediatamente ao sul de Cabo Frio, a CB passa a girar ciclonicamente para oeste, aproximando-se novamente da quebra da plataforma nas proximidades do paralelo de 24°S, em decorrência da conservação da vorticidade potencial. Ao penetrar na plataforma continental, cruzando as isóbatas quase perpendicularmente, a CB gira anticiclonicamente para sudoeste, meandrando ao longo da margem interna do talude continental (Castro, 1996).

Influenciada pelo sistema de ventos e pela rotação da Terra, a CB começa a defletir para leste, acentuando-se à medida que segue para o sul (Tchernia, 1980). Ao alcançar a região da Convergência Subtropical entre 35 e 38°S, a CB encontra-se com a Corrente das Malvinas se separando da costa em direção a leste.

A CB está diretamente ligada a dinâmica de superfície do mar ao longo da costa brasileira, principalmente nas regiões sudeste e sul. Ao se deslocar para sudoeste, a CB começa a apresentar meandros e vórtices ciclônicos e anticiclônicos. No verão a influência da CB é maior sobre a costa sul e águas relativamente quentes dominam superficialmente a plataforma e talude continental no sul. No inverno a CB tem menor influência sobre a PCS, restringindo essas águas mais quentes a PCSE (Andrade, 1996).

3.1.3 Massas d'água

Na área de influência da CB existe uma sobreposição das massas de água características do Atlântico Sul. Nos primeiros três quilômetros da coluna d'água encontram-se a Água Tropical (AT), Água Central do Atlântico Sul (ACAS), Água Intermediária Antártica (AIA), Água Circumpolar Superior (ACS) e Água profunda do Atlântico Norte (APAN), respectivamente (Silveira *et al.*, 2000). O mesmo pode se estender para a PCS.

Segundo Emilsson (1961), em geral as massas de água presentes na PCSE são resultado da mistura entre a AT, ACAS e Água Costeira (AC). As características destas massas d'água são as seguintes:

AT - quente e salina ($T > 20^{\circ}\text{C}$ e $S > 36,40$ ups; Castro e Miranda, 1998) transportada para o sul-sudoeste na camada superficial (0-200 m) da CB, sobre o talude continental, nas proximidades da quebra da plataforma;

ACAS - relativamente fria ($T < 20^{\circ}\text{C}$ e $S < 36,40$ ups; Castro e Miranda, 1998), transportada também para o sul-sudoeste ao longo do talude continental na camada inferior da CB (200-500 m), próximo à quebra da plataforma continental; e

AC - com elevadas temperaturas e salinidade baixa, resultante da mistura da descarga continental de água doce com as águas da plataforma continental, tendo a menor salinidade das águas da PCSE devido, principalmente, ao efeito combinado dos muitos pequenos e médios rios existentes na região.

As águas menos densas são observadas nas proximidades da costa sob a influência da AT e ACAS. Abaixo da AT observa-se a presença de uma pycnoclina sazonal, onde flui a ACAS (Castro *et al.*, 1987). De acordo com Sverdrup (1942), a ACAS é formada pelo afundamento das águas na região da Convergência Subtropical e subsequente espalhada ao longo da superfície de densidade adequada a seu ajuste hidrostático.

3.1.4 Temperatura da superfície do mar (TSM)

De acordo com Andrade (1996), a temperatura ao longo das regiões sudeste sul é regida pela variabilidade sazonal da Convergência Subtropical. Durante o verão a convergência tende a ocorrer mais ao sul, influenciando as águas da CB situadas mais ao sul, elevando a temperatura das águas ao longo da PCSE e PCS. Segundo Castro (1996), nessa estação a maior parte das temperaturas superficiais está entre 25° e 27°C . Ao longo da PCSE as variações horizontais de temperatura são maiores ao longo de toda a plataforma continental brasileira, tendo orientação aproximadamente normal à costa. Isso está associado aos frequentes eventos de ressurgência costeira de águas frias nas proximidades de Cabo Frio. Nesta região de Cabo Frio, ao contrário das demais áreas da PCSE, as temperaturas decrescem em direção à costa, tendo como exemplo a isoterma de 21°C situada entre a costa e a isóbata de 50 m.

No outono, a Convergência Subtropical começa a se deslocar para norte, até que no inverno a PCS é dominada por águas mais frias advindas do sul sob a influência da Corrente das Malvinas (CM) (Andrade, 1996; Silva Jr. *et al.*, 1996). Inicialmente, em razão da menor influência das águas da CB na região sul, foi detectado o avanço destas águas sobre as regiões mais ao sul da PCSE (Andrade, 1996). Em um estudo posterior, Stevenson *et al.* (1998) observaram que estas águas provenientes de altas latitudes chegam a alcançar a baía de Sepetiba. Os autores sugerem que este avanço das águas esteja associado à presença de frentes frias na região.

No inverno, os maiores gradientes horizontais de temperatura são decorrentes da penetração de águas com temperaturas inferiores a 18°C oriundas do sul, entre as isóbatas de 50 e 100 m. Seus valores na parte central e norte ficam entre 20 e 23°C, sendo mais homogêneas do que durante o verão devido ao desaparecimento do núcleo com baixas temperaturas situado nas proximidades de Cabo Frio (Castro, 1996). Além disso, é importante destacar que no inverno ocorre uma maior influência das águas frias de origem continental, provenientes do estuário do Rio da Prata e Lagoa dos Patos – Mirim (Piola *et al.*, 2000).

3.1.5 Ventos

No hemisfério sul existe mais variabilidade no campo de vento nas altas latitudes principalmente no período de inverno austral, devido a translação dos sistemas de baixa pressão (Peterson e Stramma, 1991). O campo de vento no Atlântico sul é caracterizado pela presença do giro subtropical anticiclônico que ocorre nas médias latitudes (Alta Subtropical). Normalmente esse giro leva os ventos provenientes de SE-NE para a costa entre 15° e 25°S e os de SW-NW para o largo entre 35° e 40°S. Em função das oscilações sazonais na posição da Alta Subtropical, a intensidade e direção da tensão de cisalhamento do vento sobre a plataforma continental sofrem variações (Castro, 1996).

Durante o verão, próximo à costa do Brasil, entre as latitudes 20° S e 30° S é possível observar um padrão de vento predominantemente de NE. Abaixo desta região as direções do vento são muito variáveis, dependendo principalmente da distância do centro de alta subtropical. Na região central do oceano Atlântico, próximo a 15° W, é

possível observar uma mudança na orientação do vento, que vai passando de Norte para Noroeste à medida que se afasta do centro semi-permanente de alta pressão em direção ao sul. No inverno, são observadas algumas mudanças no campo de vento da área de estudo. Próximo a Cabo Frio (23° S), o vento, que em outras épocas do ano é de NE torna-se quase de E (Baptista, 2003). Esta variação, segundo Peterson e Stramma (1991), se deve ao deslocamento, nesta época do ano, do centro de alta-pressão subtropical do Atlântico Sul que atinge sua posição mais ao norte e mais a oeste.

Ainda segundo Baptista (2003), é possível observar uma variação na direção do vento próximo à costa sul do Brasil até aproximadamente 30° S, passando de nordeste (verão) para oeste (inverno). Outra característica importante é a zona de divergência dos ventos de superfície próximo à costa Nordeste. No verão esta zona encontra-se próxima a latitude de 15° S, e no inverno muda para cerca de 20° S.

Os ventos estão diretamente ligados ao deslocamento das frentes frias ao longo do planeta. De acordo com Kousky (1979), estas frentes representam a mais importante perturbação meteorológica em escala sinóptica sobre a PCSE. O autor também afirma que na maior parte do tempo esses sistemas tem sua origem associada as ondas baroclínicas presentes nos ventos predominantes de oeste que ocorrem no Oceano Pacífico entre 50 e 60°S. A partir daí as perturbações deslocam-se para leste, alcançando os Andes e interagindo com a circulação atmosférica existente sobre a América do Sul. No Brasil as frentes são geralmente observadas ao longo da costa entre 40° e 20°S, podendo atingir menores latitudes, principalmente no inverno. Castro (1996) afirma que entre 20 e 34°S a ocorrência de frentes frias varia ao longo do ano entre 3 a 6 vezes por mês com tendência de aumento no inverno. Baseado no modelo conceitual para as frentes frias na PCSE criado por Stech e Lorenzetti (1992), a velocidade média de deslocamento destas frentes é de aproximadamente 500 km/dia.

3.1.6 Fenômenos oceânicos

3.1.6.1 Meandros e vórtices

Mascarenhas *et al.* (1971) descreveram a presença de vórtices ciclônicos e anticiclônicos na região ao largo de Cabo Frio e sugeriram que a topografia da região favoreceria o meandramento e a geração de vórtices pela CB. Em um estudo mais aprofundado, Campos (1995) atribui a ocorrência de meandros e vórtices a mudança de orientação da costa e ao gradiente da topografia de fundo.

Na bacia de Santos ocorre a formação de pares vorticais ciclônicos e anticiclônicos, em lados opostos ao eixo da corrente. Essas estruturas são menores em tamanho que as de Cabo Frio, e aparentemente não se desprendem do eixo principal da CB (Campos *et al.*, 1995).

Os ciclones da CB induzem ressurgências de quebra de plataforma, trazendo a ACAS para regiões da plataforma da Bacia de Santos. Com isso, ocorreria o enriquecimento das águas sobre a plataforma (Campos *et al.*, 1995). Segundo Campos *et al.* (2000), o meandro ciclônico tem núcleo de água fria e se propaga para sudoeste junto à CB. Com a circulação ciclônica a água contida no seu núcleo é bombeada em direção à costa. Por se tratar de uma água constantemente renovada, devido a ressurgência na parte dianteira e subsidência na parte traseira, a água profunda rica em nutrientes chega as regiões mais rasas, contribuindo para o aumento da produção primária local.

3.1.6.2 Frentes térmicas

Uma feição de meso-escala de destacada importância é o gradiente térmico mais pronunciado e freqüente que ocorre de outono a meados da primavera, formado nas proximidades da quebra da plataforma entre as águas tropicais mais quentes da CB e as águas mais frias advindas da PCSE e PCS. No final da primavera e durante o verão a formação de um gradiente térmico associado à quebra da PCS é bem menos freqüente, sendo o campo de temperatura superficial mais homogêneo ao largo da costa sudeste-sul do Brasil do que em outras estações do ano (Andrade, 1996).

Garfield (1990) demonstra que a frente térmica da Corrente do Brasil está associada a quebra da plataforma e pode ter sua posição média indicada pela isóbata de 200 m. Contudo, é provável que o extremo sul, no final da primavera e verão, frequentemente não apresente frentes térmicas na quebra da plataforma. Os resultados encontrados pelo autor acima indicam que o verão é a estação em que as frentes térmicas são encontradas em uma menor percentual, e que ao norte de 31° S, estas são mais frequentes e melhor definidas.

3.1.6.3 Ressurgência

Um fenômeno muito conhecido ao longo da costa sudeste-sul é a ressurgência costeira em Cabo Frio, cujo núcleo principal tem sido observado a oeste dessa localidade. Essa ressurgência, entretanto, possui uma característica sazonal, ocorrendo em maior frequência no verão, onde a ACAS aflora nas proximidades da costa. Emilsson (1956) foi o primeiro a estudar o fenômeno, atribuindo sua causa as características termohalinas da região. Mascarenhas *et al.*, (1971) ao analisarem detalhadamente o mecanismo da ressurgência em Cabo Frio, concluíram que o fenômeno era causado pela interação de vários fatores, tais como, vento predominante, oscilação da CB, força da corrente costeira e topografia do fundo. Matsuura (1986), ao realizar cruzeiros na área, detectou a presença da ressurgência costeira apenas no final da primavera e durante o verão. Isso não significa que o fenômeno ocorra unicamente na época de temperaturas mais elevadas, já que estudos anteriores, como Mascarenhas *et al.*, (1971), confirmam a presença durante o inverno. Segundo Miranda (1982), mesmo no verão, nem sempre a ressurgência se torna presente nesta região, dependendo da flutuação dos ventos predominantemente NE e ENE.

Outro fenômeno observado na costa sudeste-sul é a presença de uma massa de água fria na região costeira ao sul da Ilha de Santa Catarina (SC). A distribuição vertical da temperatura mostra que esta massa de água fria vem de fora da plataforma continental (200-300 m), junto ao talude continental. Pelo que foi observado, tudo indica que seja uma área de ressurgência (Matsuura, 1986).

3.2 Materiais

3.2.1 Dados de pesca

Os dados utilizados neste trabalho correspondem aos registros de capturas realizadas pela frota pesqueira brasileira que atua na pesca do bonito-listrado com vara e isca-viva nas regiões sudeste e sul do Brasil. Os dados foram obtidos através dos diários de bordo cedidos pela Secretaria Especial de Aqüicultura e Pesca (SEAP) junto ao Centro de Educação de Ciências Tecnológicas da Terra e do Mar (CTTMar) da Universidade do Vale do Itajaí (UNIVALI) e pelo Laboratório de Ecologia Marinha (LEMAR) da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE). Nestes diários estão contidas informações sobre os locais de pesca, período total da viagem, atividades realizadas, captura diária ou por viagem, dias de pesca e número de pescadores por viagem. As capturas foram espacializadas em quadrados de 1° de latitude por 1° de longitude (Figura 3.3) e corresponderam ao período entre 1996 e 2002, com exceção do ano 1999 e 2000 por apresentar pouco e nenhum dado de pesca, respectivamente.

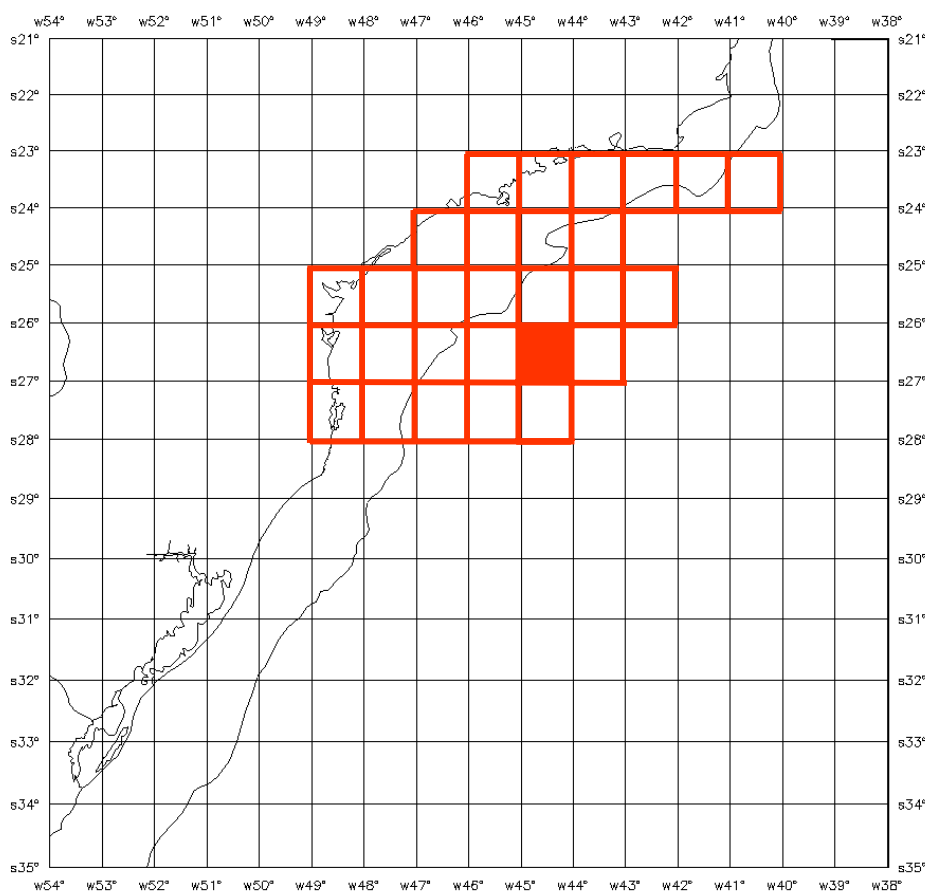


FIGURA 3.3 – Cobertura espacial dos dados de captura, espacializados em 1° de latitude por 1° de longitude com os quadrados de captura destacados em vermelho. O quadrado com preenchimento não apresenta dados.

A técnica de vara e isca-viva é composta de uma vara rígida de 2 a 3 m e de uma linha curta extremamente resistente com um anzol preso na outra extremidade. Aproximadamente 10 a 20 pescadores pescam simultaneamente, em uma plataforma na parte traseira da embarcação. Pode ser operada manualmente ou mecanicamente, através de varas que se movimentam automaticamente (FAO, 2005c). A operação de pesca consiste inicialmente na localização do cardume na superfície. O próximo passo é a aproximação do cardume, lançando as iscas para atrair os indivíduos. Se o bonito listrado for atraído pela isca, inicia-se a pescaria, contabilizando-se assim um dia de pesca (Andrade, 2003). Na Figura 3.4, podemos ver um esquema da operação de pesca com vara e isca-viva.

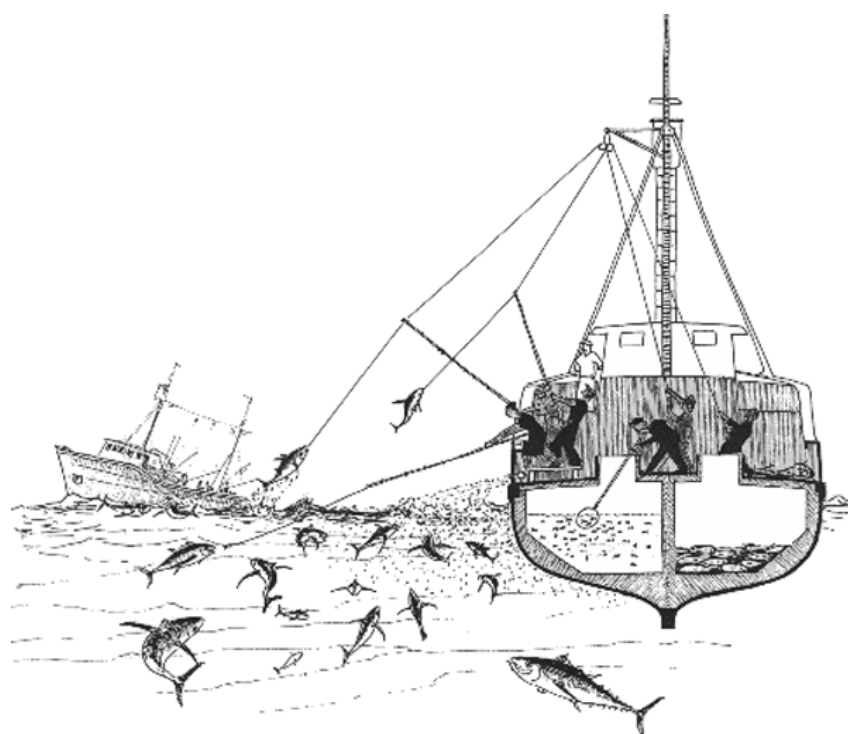


FIGURA 3.4 – Esquema da operação de pesca com vara e isca-viva.
FONTE: FAO (2005c).

Em razão da similaridade entre as embarcações em tamanho e potência e no número de pescadores em cada embarcação, os dados de captura não passaram por nenhum processo de normalização. Para o cálculo da abundância relativa foi utilizada a CPUE, captura por unidade de esforço, em termos do peso total de indivíduos capturados em toneladas por dia de pesca (Andrade, 2003).

O esforço de pesca representa a ação predatória sobre as populações aquáticas, através do aparelho de pesca, causando certa mortalidade proporcional à intensidade do seu uso. Ao mesmo tempo, o número ou peso dos indivíduos retirados por uma unidade de esforço de pesca é uma medida relativa da abundância aparente do estoque, sob determinadas condições de equilíbrio (Fonteles Filho, 1989).

Em função da captura do bonito listrado ser limitada pela profundidade em que se encontra o cardume e pela sua predisposição em se alimentar no momento de lançamento das iscas, alguns autores consideram a CPUE apenas como um índice de

eficácia do petrecho de pesca, no caso a vara e isca-viva, e não exatamente um índice de abundância relativa (Andrade e Garcia, 1999; Andrade, 2003).

3.2.2 Dados de sensoriamento remoto

3.2.2.1 Temperatura de superfície do mar

Foram obtidas imagens de temperatura de superfície do mar, correspondentes ao produto MO04MWD1 e seus respectivos arquivos de qualidade MO04QWD1, obtidos pelo sensor MODIS a bordo do satélite EOS-Terra.

Os produtos oceânicos do MODIS foram projetados para atender a necessidade de diferentes usuários que, geralmente, está dividida entre alta qualidade dos dados e melhor cobertura espacial. Para isso, foram criados os arquivos de qualidade contendo filtros em quatro níveis, que variam de 0 a 3, onde o 0 corresponde ao dado de boa qualidade e o 3 ao de má qualidade. Os “quality level” funcionam fazendo uma varredura ao longo de todos os pixels de uma imagem, testando através de probabilidade e testes de limiar a integridade de cada valor de pixel, excluindo aqueles que possuam algum tipo de contaminação. Como consequência dos dados considerados abaixo do nível de qualidade pré-definido serem desprezados, quanto mais alto for o nível de qualidade menor será a cobertura espacial dos dados, e vice-versa.

As imagens foram baixadas via FTP através do portal EOS Data Gateway pertencente ao Goddard Space Flight Center (GSFC) da NASA através do endereço eletrônico:

<http://edcimswww.cr.usgs.gov/pub/imswelcome/>

Os dados adquiridos encontravam-se no formato Hierarchical Data Format (HDF) em escala global, na projeção Cilíndrica Equidistante e nível 3 de processamento. As resoluções espacial e temporal são de 4,88 km por 4,88 km e 8 dias, respectivamente, totalizando 90 arquivos, 45 imagens e 45 arquivos de qualidade. A imagem da décima primeira semana não estava disponível (Figura 3.5).

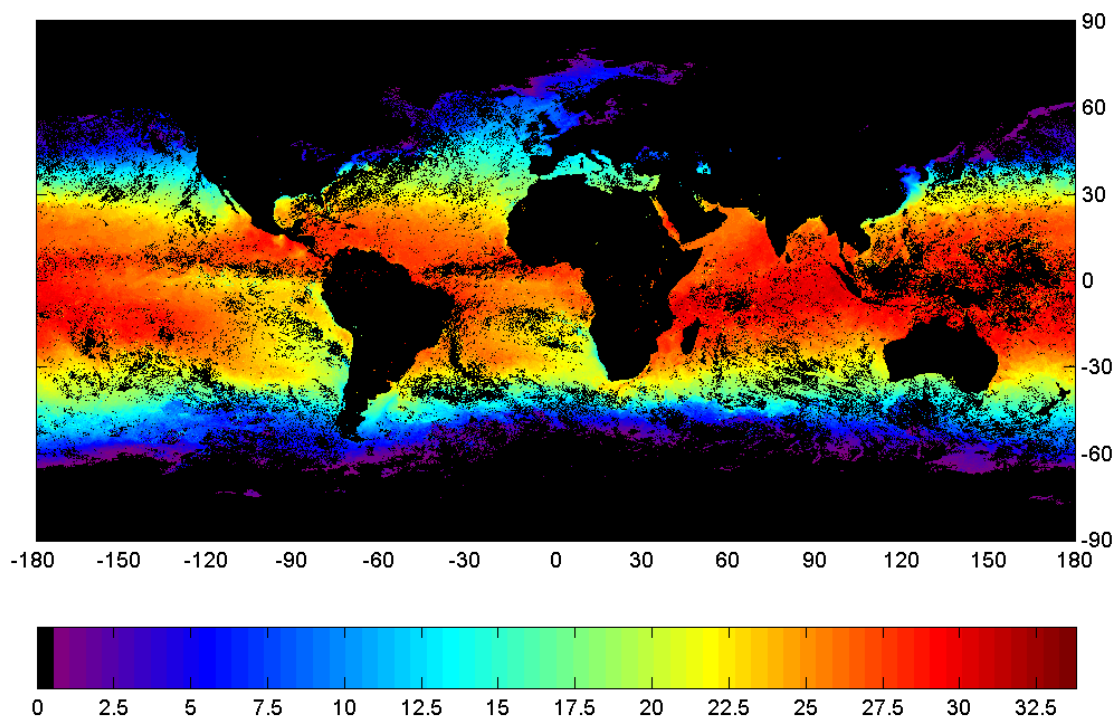


FIGURA 3.5 – Temperatura global média da superfície do mar, em °C, da primeira semana de janeiro de 2002, obtida através do GSFC/NASA.

Os arquivos HDF armazenam os dados em si e várias informações (meta-dados) a respeito destes dados, de forma a otimizar o espaço ocupado pelo arquivo. É portanto, necessário um pré-processamento para extrair os dados de interesse, neste caso os Science Data Set (SDS), números inteiros escalados, que necessitam ser convertidos em números reais (valores de temperatura de superfície do mar).

Primeiramente, foram extraídos os valores de SDS dos arquivos HDF e transformados em valores reais de TSM associando estes valores a uma matriz georreferenciada e aos seus respectivos arquivos de qualidade, gerando novas matrizes, em formato binário, com informações geográficas e os valores reais de TSM. Neste caso foi utilizado o nível de qualidade 0. A leitura, transformação dos SDS em valores reais e a inserção das informações geográficas foram feitas através da rotina em Interactive Data Language (IDL), `read_modisL3mapped`, desenvolvida pelo JPL/Caltech/NASA e distribuída pelo GSFC. A rotina encontra-se disponível no endereço eletrônico:

<http://modis-ocean.gsfc.nasa.gov/tools.html>

Em seguida, as imagens foram georreferenciadas, a área de estudo foi recortada e foi efetuado o cálculo dos gradientes de TSM (∇TSM) nas direções x e y , zonal e meridional, na mesma resolução da imagem original, sendo que:

$$\nabla TSM = \frac{\Delta TSM}{\Delta x} \hat{i} + \frac{\Delta TSM}{\Delta y} \hat{j} \quad (3.1)$$

onde $\Delta TSM/\Delta x$ e $\Delta TSM/\Delta y$ são as diferenças calculadas nas direções x e y , respectivamente. Também foi calculado o gradiente resultante (∇TSM_{res}):

$$\nabla TSM_{res} = \sqrt{\left(\frac{\Delta TSM}{\Delta x}\right)^2 + \left(\frac{\Delta TSM}{\Delta y}\right)^2} \quad (3.2)$$

A análise de gradiente foi refinada para que se levasse em conta, de maneira explícita, o fato da linha de costa da região sudeste-sul possuir uma orientação NE-SW. Foram então calculados os gradientes ortogonal e paralelo à costa a partir da rotação dos valores de TSM, através da técnica demonstrada em Assireu (2003), considerando-se que a linha de costa possui uma inclinação de 45° . Para isso foi aplicada a seguinte matriz de rotação sobre as séries de posição:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & \text{sen } \theta \\ -\text{sen } \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (3.3)$$

onde x' e y' são os valores dos gradientes de TSM de posição ortogonais à costa e paralelos à costa, respectivamente, θ o ângulo de inclinação da costa (45°) e x e y os valores originais da matriz.

Por fim, foram extraídos os valores máximos de gradiente dentro de quadrados de 1° por 1° por ser esta a máxima resolução que se pode obter dos dados de captura.

3.2.2.2 Concentração de clorofila-*a* na superfície

Foram obtidas imagens de concentração de clorofila-*a*, obtidas pelo sensor SeaWiFS. As imagens foram baixadas via FTP através do portal Ocean Color WEB pertencente ao Goddard Space Flight Center (GSFC) da NASA através do endereço eletrônico:

<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/cgi/level3.pl>

Os dados adquiridos encontravam-se no formato HDF em escala global, na projeção Cilíndrica Equidistante e nível 3 de processamento. As resoluções espacial e temporal foram de 9 km por 9 km e 8 dias, respectivamente, totalizando 46 arquivos (Figura 3.6).

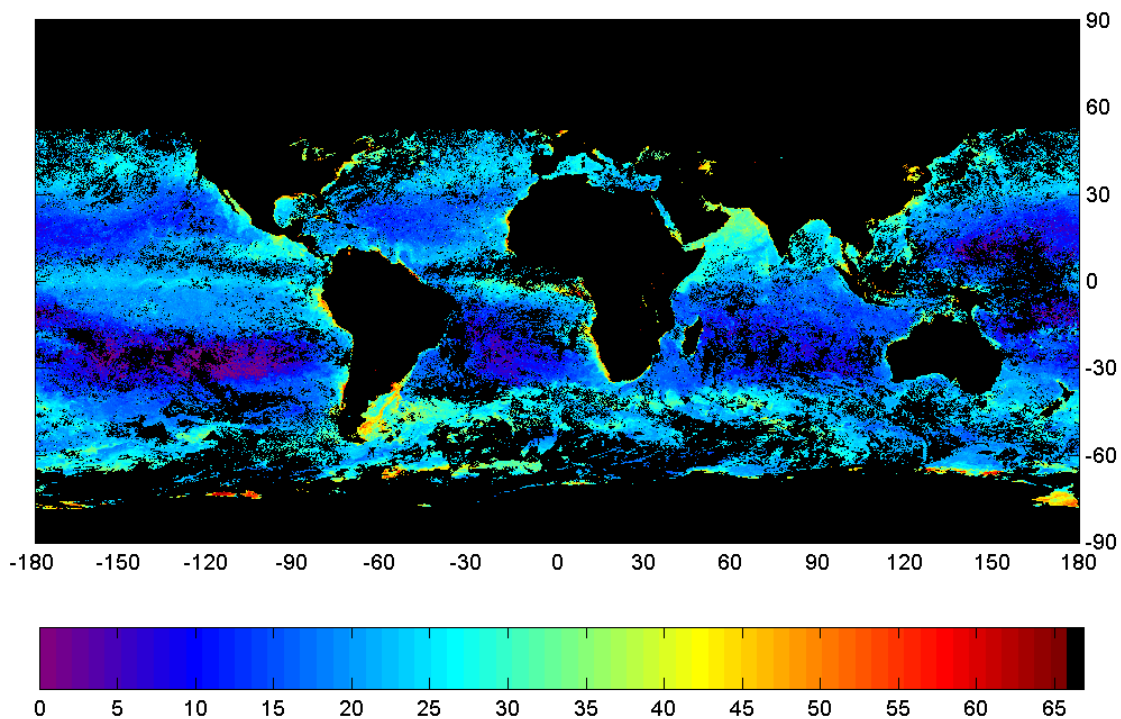


FIGURA 3.6 – Concentração global média da clorofila-*a* na superfície do mar, em mg.m⁻³, da primeira semana de janeiro de 2002, obtida através do GSFC/NASA.

Utilizando o software SeaDAS (versão 4.6), desenvolvido pela GSFC/NASA, foi recortada a área de estudo a partir das imagens globais já com seus respectivos valores de concentração de clorofila-*a*. Em seguida foram extraídos os valores médios, mínimos

e máximos de clorofila dos pixels correspondentes aos quadrados de 1° por 1° para cada imagem.

3.2.2.3 Magnitude e direção do vento

Foram obtidos dados das componentes zonal (u) e meridional (v) da velocidade do vento, obtidos pelo sensor SeaWinds, que correspondem às componentes nas direções x e y , respectivamente. Os dados foram adquiridos a partir do sistema de dados do projeto SEAFLUX financiado pela NASA/NOAA por cortesia de W. Timothy Liu e Wenqing Tang do JPL/NASA.

Os dados adquiridos encontravam-se no formato HDF em escala global, na resolução espacial de $0,5^\circ$ por $0,5^\circ$, resolução temporal de 1 dia e nas órbitas ascendentes e descendentes, totalizando 363 arquivos.

Como os dados encontravam-se em uma resolução diária, foram feitas médias simples de 8 dias para as componentes zonal (u) e meridional (v) do vento, para ambas as órbitas. Em seguida, utilizando o mesmo procedimento dos dados de TSM e concentração de clorofila- a , foram extraídas as médias da intensidade do vento dos pixels que correspondiam à grade de captura, obtendo-se um valor em u e v para cada imagem.

Além das componentes zonal e meridional da velocidade do vento, foram calculados ainda o módulo da velocidade do vento e o bombeamento de Ekman.

As velocidades verticais no oceano são, em geral, 3 a 4 ordens de magnitude menores que as horizontais. Desta forma torna-se difícil a chegada de águas profundas ricas em nutrientes à zona fótica. Através da ação dos ventos em conjunto com o efeito da força de Coriolis, por meio do mecanismo conhecido como bombeamento de Ekman, são produzidas velocidades verticais mais elevadas, tornando-se possível o soerguimento de águas profundas ricas em nutrientes (Pond e Pickard, 1978). Esta é a razão para a importância do bombeamento de Ekman nos estudos dos organismos marinhos. O cálculo do bombeamento de Ekman (w), é dado pela expressão:

$$w = \frac{\nabla_k \times \tau}{\rho_{\text{água}} f} \quad (3.4)$$

onde ∇_k representa a componente k ou vertical do operador rotacional, $\bar{\tau}$ é a tensão de cisalhamento do vento, $\rho_{\text{água}}$ é a densidade da água do mar ($1,028 \text{ kg.m}^{-3}$) e f é o parâmetro de Coriolis. Ainda pode-se dizer que:

$$\nabla_k \times \tau = \frac{\partial \tau_y}{\partial x} - \frac{\partial \tau_x}{\partial y} \quad (3.5)$$

onde τ_x e τ_y são as componentes da tensão de cisalhamento do vento na superfície, nas direções x e y , respectivamente.

3.3 Métodos

Parte dos dados de captura não apresentava a localização geográfica da pescaria e nem a discriminação das capturas por espécie e dia de pesca, sendo esses diários de bordo descartados da base de dados. A ausência de informações de captura também foi observada em alguns anos, causando uma redução no volume de dados disponíveis para o trabalho. Assim, a área de estudo foi limitada entre os paralelos de 23° e 28°S e os valores de captura agrupados para essa área. Foram feitos estudos preliminares com análises detalhadas em quadrados de 1° de latitude por 1° de longitude, para se avaliar a reposta do modelo aplicado a uma área menor. Entretanto, a melhora na resolução espacial acarretou uma diminuição da resolução temporal e os resultados apresentaram coeficientes de determinação não informativos.

A CPUE foi calculada em termos do peso total de pescado capturado, em toneladas, por uma semana de pesca. Foram consideradas semanas como sendo de 8 dias, de forma a se ajustar aos dados de sensoriamento remoto, totalizando 46 semanas/ano. Estes mesmos dados foram divididos em uma base histórica (1996-2001) e mais o ano de 2002, $CPUE_h$ e $CPUE_{2002}$, respectivamente. Como visto no item 3.2 os anos de 1999 e 2000 não fazem parte da chamada base histórica. A $CPUE_h$ corresponde a uma média ao

longo de cada semana, entre os anos. Essa média foi ponderada pelo número de quadrados de 1° X 1° onde foram registradas capturas, como descrito abaixo.

$$CPUE_h = \frac{\sum_{i=1}^n CPUE_i}{\sum_{i=1}^n Q_i} \quad (3.6)$$

onde, $CPUE_i$ representa a CPUE semanal para cada ano i , Q_i o número de quadrados semanal para cada ano i e n é o número de anos da série histórica.

Por fim foi aplicado um filtro de média móvel 3x1 à série da $CPUE_h$ com o objetivo de suavizar as variações abruptas nos seus valores ao longo das semanas, causados pelo agrupamento dos dados em uma única área.

A partir daí, utilizou-se um modelo bayesiano de probabilidade *a priori* (Clark, 1990), descrito a seguir, para obter as estimativas de captura futuras, utilizando a base histórica para extrair os parâmetros do modelo e o cálculo das estimativas e o ano de 2002 apenas para obter as estimativas.

3.3.1 Estatística bayesiana

A estatística de interesse é a estimativa de captura média *a posteriori* em uma determinada área i de pesca. Esta estimativa é obtida na forma de um par conjugado, formado pelas funções de densidade de probabilidade Gama e Poisson. Parte-se então de:

$$\hat{\lambda}_i = CPUE = \frac{n_i}{t} \quad (3.7)$$

onde $\hat{\lambda}_i$ é a estimativa inocente de captura baseada na média histórica, n_i é o volume de pescado capturado em peso (toneladas) em um tempo t gasto na pesca.

A fim de quantificar o uso da informação *a priori*, Clark (1990) introduziu a noção de uma função de densidade de probabilidade *a priori* $f(\lambda)$ para a média da taxa de captura

do estoque atual λ em uma determinada área, sendo essa densidade estimada através do registro histórico da taxa de captura nesta área.

De maneira a validar a premissa proposta por Clark (1990), de que os dados de captura se distribuem em função de gama, foi aplicado um teste de aderência aos dados utilizando como ferramenta estatística o teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S), considerado um teste eficaz devido a sua robustez, que confirmou a distribuição gama aos dados. Por ser uma prova de aderência, o teste K-S diz respeito ao grau de concordância entre a distribuição de um conjunto de valores amostrais (observados) e determinada distribuição teórica específica, isto é, o teste procura especificar a distribuição de frequência acumulada que ocorreria sob a distribuição teórica, e compará-la com a distribuição de frequência acumulada observada (Siegel, 1975).

Assume-se então que $f(\lambda)$ é dada pela seguinte distribuição gama:

$$f(\lambda) = \gamma(\lambda; \nu, \alpha) = \frac{\alpha^\nu}{\Gamma(\nu)} \lambda^{\nu-1} e^{-\alpha\lambda}, \quad \lambda \geq 0 \quad (3.8)$$

onde α e ν são parâmetros positivos e $\Gamma(\nu)$ a função gama.

Através do cálculo da média e variância das CPUEs obtida por um conjunto de dados históricos, os parâmetros α e ν são estimados por:

$$\alpha = \frac{\bar{\lambda}}{\sigma^2}, \quad \nu = \frac{\bar{\lambda}^2}{\sigma^2} \quad (3.9)$$

A partir da estimativa dos parâmetros α e ν , a taxa de captura *a priori* é $\bar{\lambda}_i = \nu_i / \alpha_i$. Acrescentando-se o tempo t gasto na pesca e volume de pescado capturado em peso n_i , pode-se usar essas informações atuais para modificar ou atualizar a probabilidade *a priori* por meio do teorema de Bayes:

$$\Pr(\lambda_i = \lambda | n_i) = \frac{\Pr(n_i | \lambda_i = \lambda) \Pr(\lambda_i = \lambda)}{\int_0^\infty \Pr(n_i | \lambda_i = \mu) \Pr(\lambda_i = \mu) d\mu} \quad (3.10)$$

onde $\Pr(\lambda_i = \lambda) = \gamma(\lambda; \nu_i, \alpha_i)$ é a probabilidade *a priori*. A probabilidade $\Pr(n_i | \lambda_i = \lambda)$ deve ser derivada de algum modelo da chance de encontrar peixes ao longo do tempo, sendo comum adotar um modelo de Poisson, com parâmetro λt :

$$\Pr(n_i | \lambda_i = \lambda) = \frac{(\lambda t)^{n_i}}{n_i!} e^{-\lambda t} \quad (3.11)$$

Resultando em uma captura esperada $\bar{C} = \lambda t$ em um período de tempo t , que depende do valor de λ . Por inferência matemática ao substituir as expressões (3.8) e (3.11) pelas probabilidades no numerador da equação (3.10), tem-se:

$$\Pr(\lambda_i = \lambda | n_i) = \text{constante} \times \lambda^{(n_i) + \nu_i - 1} e^{(-\alpha_i + t)\lambda} \quad (3.12)$$

Como toda densidade condicional é uma densidade de probabilidade, conclui-se que a expressão acima é uma densidade gama, ou seja,

$$\Pr(\lambda_i = \lambda | n_i) = \gamma(\lambda; (n_i) + \nu_i, \alpha_i + t) \quad (3.13)$$

Essa é a densidade *a posteriori* para λ_i , dada ambas a informação *a priori* e o fato que n_i toneladas de pescado tenham sido capturadas em um período de amostra de comprimento t . A média e variância da estimativa *a posteriori* para λ_i são dadas por:

$$\bar{\lambda}_i' = \frac{\nu_i + n_i}{\alpha_i + t}, \quad \sigma_i' = \frac{\nu_i + n_i}{(\alpha_i + t)^2} \quad (3.14)$$

Se $n_i > \nu_i t / \alpha_i$ (a captura esperada *a priori*), então $\bar{\lambda}_i' > \bar{\lambda}_i = \nu_i / \alpha_i$, e vice-versa.

Através da Equação 3.14 foram calculadas as estimativas de captura para a base histórica $\bar{\lambda}_h'$, assim como para o ano de 2002 $\bar{\lambda}_{2002}'$, visando observar o comportamento do modelo em diferentes situações (uma base histórica mais robusta e um ano isolado).

Na Figura 3.7 é apresentado um resumo das etapas, passo-a-passo, dos cálculos dos dados de captura, desde a CPUEs até as estimativas de captura. Como demonstrado na Equação 3.7, a estimativa inocente a priori é de que um determinado valor de CPUE se repita, isto é, $\hat{\lambda}_i = CPUE$. Os parâmetros da função gama (α e ν) foram calculados apenas a partir da $CPUE_h$, sendo usado no cálculo de ambas estimativas de captura. Dessa forma os cálculos destes parâmetros estiveram mais próximos da realidade das capturas, já que a proposta da utilização do modelo bayesiano é aprender com o passado, dados históricos.

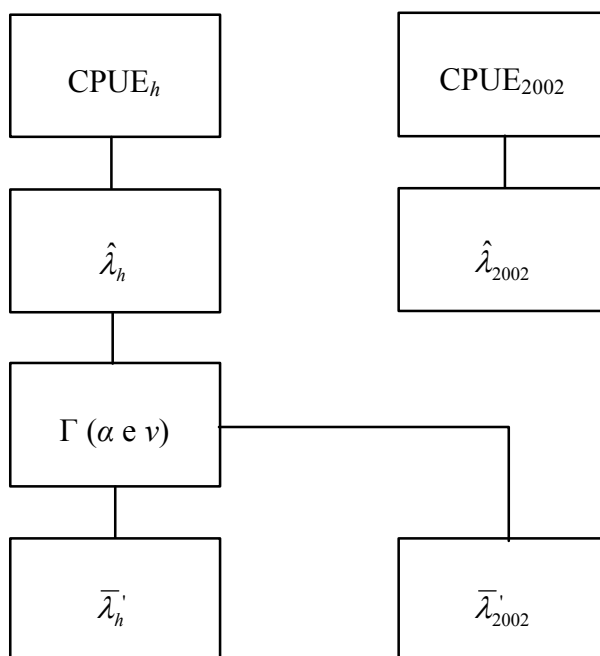


FIGURA 3.7 – Diagrama representando as etapas dos cálculos do modelo bayesiano, desde as CPUEs até as estimativas de captura.

3.3.2 Análise estatística

Foi realizada uma análise não-paramétrica de agrupamento hierárquico baseado em uma matriz de similaridade gerada pelo índice de Bray-Curtis (B-C), cujo resultado é apresentado na forma de dendrograma. O objetivo desta análise foi apresentar de forma resumida as interações existentes entre os dados de captura e as variáveis ambientais ao longo da série de tempo. A técnica foi também usada para se tentar agrupar as semanas da série de tempo de acordo com o padrão de variabilidade das variáveis ambientais. As

análises multivariadas foram executadas no software PRIMER v. 5.0 (Plymouth Routines in Multivariate Ecological Research).

Inicialmente os dados foram organizados no formato de matriz onde as colunas corresponderam as semana e as linhas às variáveis, sendo realizada também a análise para a matriz transposta. Em seguida as variáveis ambientais foram padronizadas para evitar as diferentes unidades de medida empregadas para representar as variáveis prejudiquem o desempenho do algoritmo de similaridade. A padronização utilizada foi:

$$D_p = \frac{D_i}{\sum_{i=1}^p D_i} \quad (3.15)$$

onde, D_p é o dado padronizado e D_i o dado original na i -ésima semana/variável.

Por fim, foi aplicado o coeficiente de similaridade de Bray-Curtis (Bray e Curtis, 1957), definido pela equação:

$$S_{jk} = 100 \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^p |y_{ij} - y_{ik}|}{\sum_{i=1}^p (y_{ij} + y_{ik})} \right] \quad (3.16)$$

onde, y_{ij} representa a entrada na i -ésima linha e j -ésima coluna da matriz. Da mesma forma y_{ik} é a entrada para i -ésima linha na k -ésima amostra.

Para relacionar os dados de sensoriamento remoto aos dados de captura, foi utilizada a análise de regressão linear simples, par a par, para avaliar quanto que o comportamento das variáveis dependentes, CPUEs e suas referidas estimativas, pode ser explicado pela variáveis independentes, variáveis ambientais obtidas por sensoriamento remoto, e em seguida a regressão múltipla, a fim de gerar modelos que expliquem a interação entre essas variáveis.

As análises múltiplas foram realizadas no sentido inverso da análise “stepwise”, onde inicialmente foram testadas todas as 13 variáveis independentes X_p (variáveis

ambientais) vs. as variáveis dependentes Y ($CPUE_h$, $CPUE_{2002}$, $\bar{\lambda}'_h$, $\bar{\lambda}'_{2002}$), sendo essas últimas testadas individualmente. Em seguida, foram retiradas do modelo aquelas variáveis independentes consideradas não-significantes a 5%. Por fim restaram apenas as variáveis consideradas significantes, ajustando assim o modelo final.

Modelos de regressão múltipla são modelos em que a variável dependente Y é explicada através de duas ou mais variáveis independentes (X_1, X_2, \dots, X_p). O modelo geral de regressão é dado por:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_p X_p + \varepsilon \quad (3.17)$$

onde, $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p$ são os parâmetros do modelo estimados pelo método dos mínimos quadrados, X_1, X_2, \dots, X_p são constantes conhecidas e ε são os erros normalmente distribuídos (Neter *et al.*, 1989).

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Características dos dados de captura

Durante o período de 1996 a 2002, a captura anual na área de estudo oscilou entre 2.405 e 2.996 t, mostrando um incremento de cerca de 24,5% nas capturas, embora o aumento do esforço tenha sido da ordem de 50%. No ano de 2000, não foi possível obter informações sobre a captura do bonito-listrado e, portanto este ano está excluído da análise (Figura 4.1).

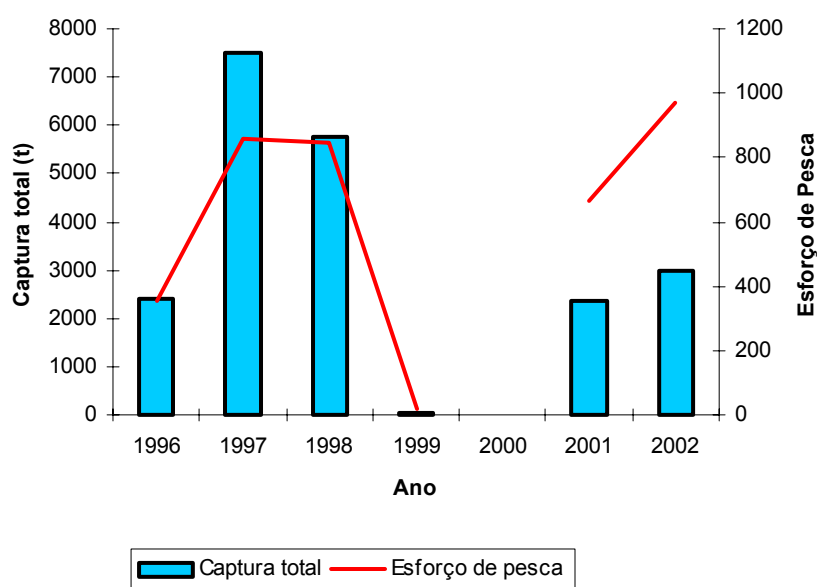


FIGURA 4.1 – Captura total do bonito-listrado e esforço de pesca (nº de pescarias ao longo de um dia) na área de estudo, por ano, durante o período de 1996 a 2002.

Os dados de captura apresentados acima são referentes às capturas totais do bonito-listrado por meio de vara e isca-viva contidas apenas nos diários de bordo. A princípio essas capturas deveriam se aproximar das capturas apresentadas pela ICCAT, embora isso não tenha ocorrido. Na Figura 4.2 são apresentadas as capturas totais do bonito-listrado por meio de vara e isca-viva para todo o Brasil de acordo com a ICCAT. Apesar

dos dados acima serem referentes apenas a região sudeste do Brasil, a discrepância entre os valores totais chega a ultrapassar o percentual de 100%, evidenciando a falha na cobertura dos desembarques, a má qualidade e a falta de preenchimento dos diários de bordo.

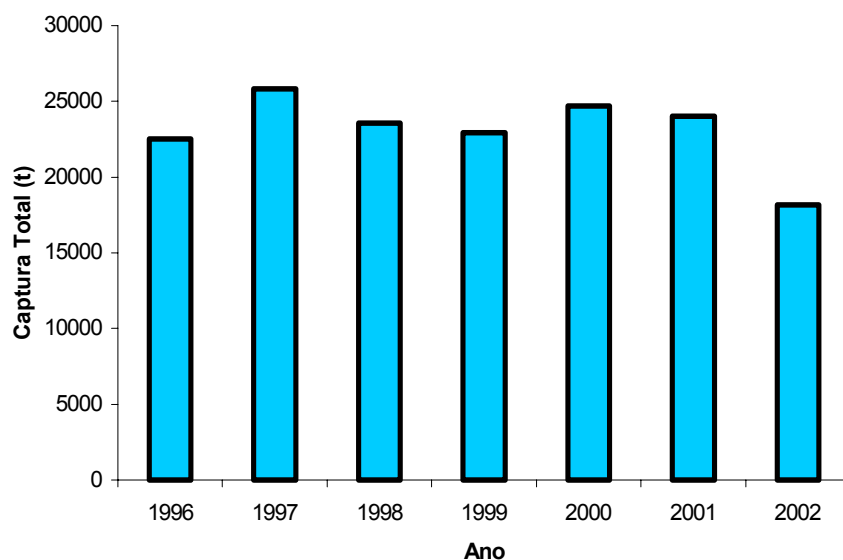


Figura 4.2 – Captura total do bonito-listrado por meio de vara e isca-viva ao longo da costa do Brasil, por ano, durante o período de 1996 a 2002.

FONTE: ICCAT (2004).

Analisando a captura semana a semana, observou-se que as maiores capturas ocorreram durante o final do verão e início do outono, embora se mantendo acima das 100 toneladas/semana durante todo o ano (Figura 4.3). Essas informações vêm corroborar estudos realizados anteriormente que citam a grande variabilidade sazonal da espécie alvo nesta região (Andrade, 1996; Andrade, 2003).

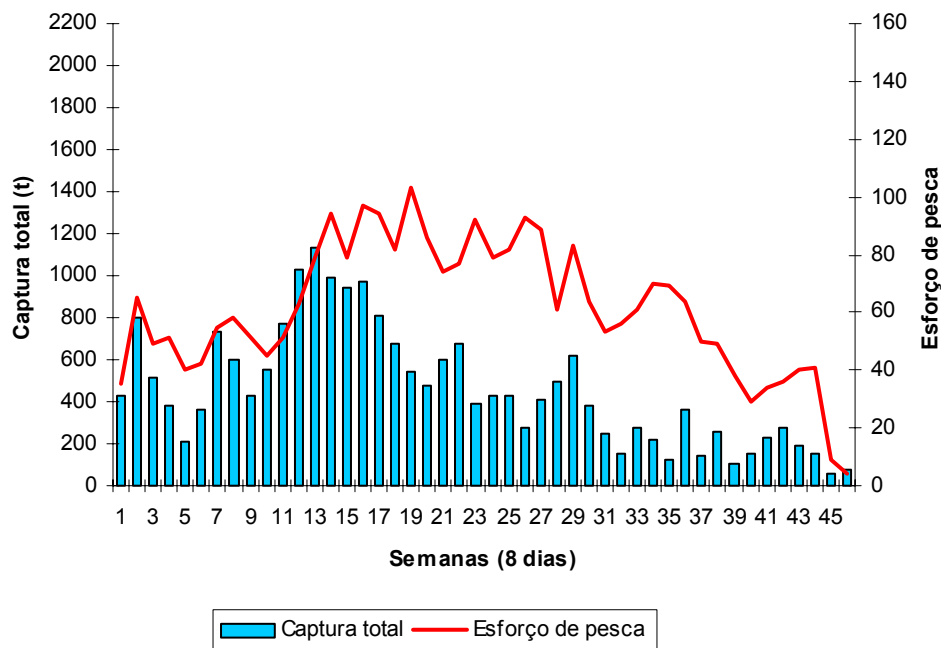


FIGURA 4.3 – Captura total do bonito-listrado e esforço de pesca (nº de pescarias ao longo de um dia) na área de estudo, por semana, durante o período de 1996 a 2002.

Andrade (1996) cita o intervalo de tempo entre o final da primavera e início do outono como período de safra na pesca do bonito-listrado. Por ser uma pesca marcada por elevado padrão sazonal, os pescadores passaram a distribuir melhor seus esforços de pesca, antes distribuídos de forma homogênea ao longo do ano. Desta forma, observou-se que apesar das capturas decaírem significativamente no inverno, esta queda no geral foi acompanhada pelo esforço de pesca que tende a cair à medida que se aproxima o inverno (Figura 4.3). Apesar das quedas nas capturas, normalmente, provocarem a queda do esforço de pesca, é possível que, neste caso, essa redução nos esforços funcione como uma medida preventiva. O objetivo desta medida é reduzir custos, evitando a realização de pescarias em épocas desfavoráveis, empregando melhor os recursos disponíveis em pescarias mais favoráveis.

Além das variações ambientais que geram a grande sazonalidade nas capturas do bonito-listrado, existem outros fatores que interferem na seleção de determinada área de pesca. Conhecimentos *a priori*, levam os pescadores a deslocar-se para áreas onde a abundância dos estoques é conhecida.

Outro fator determinante na seleção das áreas de pesca é a busca por locais onde as condições de mar são favoráveis, evitando áreas de instabilidade meteorológica. Segundo Kousky (1979), perturbações causadas pela entrada de frentes frias são constantemente observadas durante o inverno, entre 40° e 20°S. Castro (1996) afirma que entre 20 e 34°S a ocorrência dessas frentes varia entre 3 a 6 vezes por mês, ao longo do ano, podendo aumentar durante o inverno.

Na análise da captura semanal durante o ano, observou-se com maior clareza a grande variabilidade nos valores das capturas encontradas. O ano de 1997 foi responsável pelas maiores capturas, com um pico de aproximadamente 600 toneladas, seguido do ano 1998 (Figura 4.4), ambos com capturas mais elevadas no período do verão e início do outono. Os anos de 1997 e 1998 foram os mais completos em termos de quantidade de dados disponíveis de captura.

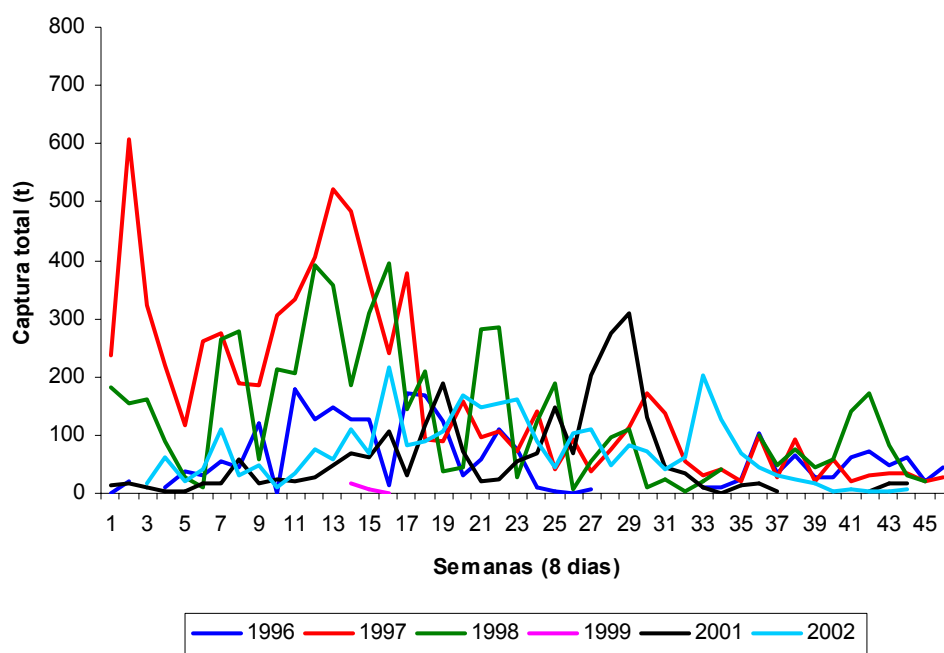


FIGURA 4.4 – Captura total semanal do bonito-listrado na área de estudo, por ano, durante o período de 1996 a 2002.

4.2 Processamento dos dados de sensoriamento remoto

4.2.1 Características dos dados

Com o objetivo de caracterizar a variabilidade sazonal das variáveis ambientais obtidas por sensoriamento remoto foram calculadas médias sazonais para as estações do verão e inverno.

A partir dos dados apresentados, é possível observar a influência das águas mais quentes e salinas advindas da CB durante o verão mantendo a temperatura da superfície acima dos 22°C ao longo de toda a plataforma continental. Ainda no verão é possível observar a ocorrência de águas mais frias na região de Cabo Frio, mostrando indícios de ressurgência na região. Já durante o inverno com enfraquecimento da CB há uma grande intrusão de águas frias advindas do sul, com temperaturas próximas a 18°C, chegando a influenciar águas ao sul da PCSE, próximas a Cananéia (Figura 4.5).

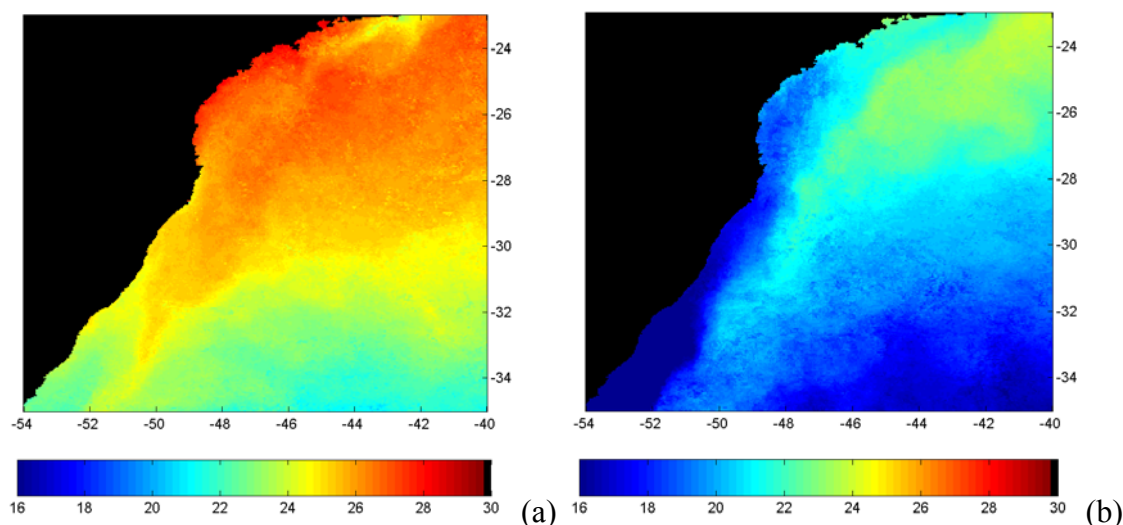


FIGURA 4.5 – Temperatura da superfície do mar, em °C, referentes a: (a) verão e (b) inverno de 2002.

Durante o ano de 2002, segundo as informações obtidas, a temperatura média da superfície do mar variou entre 18,8 a 27,6° C (Figura 4.6), com um ciclo sazonal típico, com maiores temperaturas registradas no verão, decaindo à medida que se aproximavam do inverno, e, voltando a aumentar com a chegada da primavera. Na décima primeira semana não foi obtido valor de TSM.

Esses resultados estão de acordo com Castro (1996) e Stevenson *et al.* (1998), que afirmam que durante o verão as águas quentes e salinas da corrente do Brasil influenciam águas situadas mais ao sul, elevando a TSM da região. No outono e inverno, a maior influência é por parte de águas frias oriundas das altas latitudes, gerando um resfriamento das águas sob a plataforma sudeste interna e sul do Brasil.

Castro (1996) observou que no verão a maior parte das temperaturas da superfície encontra-se entre 25 e 27°C, enquanto no inverno essas temperaturas estão entre 20° e 23°C na porção central interna da PCSE e temperaturas inferiores a 18°C mais ao sul.

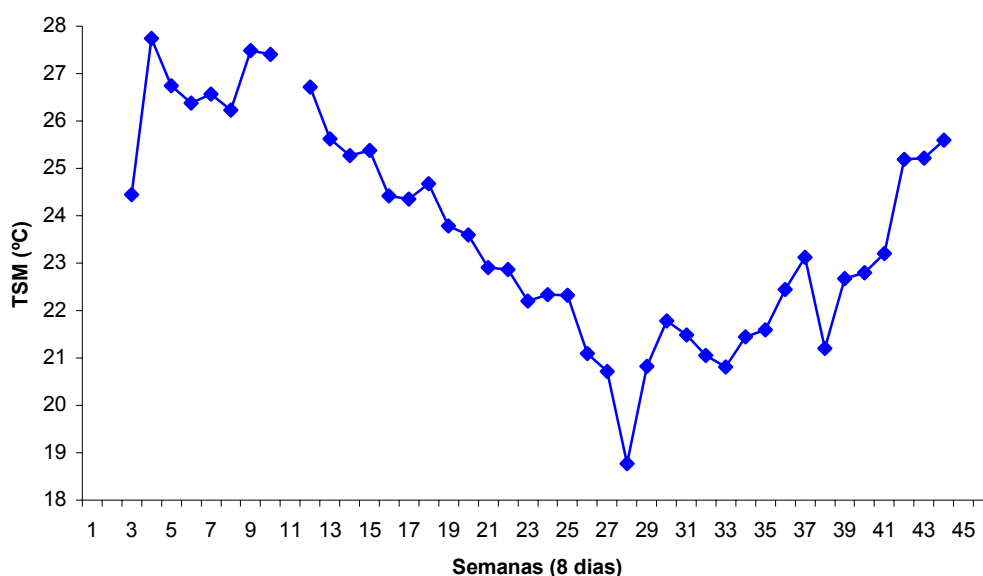


FIGURA 4.6 – Variação média da TSM, ao longo da área de estudo, para o ano de 2002.

A sazonalidade da concentração de clorofila-*a*, segundo os dados obtidos, também é bem marcante entre as duas estações do ano. No verão, os maiores valores observados estão concentrados próximos à desembocadura do Rio da Prata, entre os paralelos 34° e 35°S. Apesar disso, é possível validar a presença de ressurgência em Cabo Frio, como observado na imagem de TSM. Durante o inverno, é possível observar uma intensificação nos valores de clorofila-*a* ao longo de toda a costa, com as maiores concentrações distribuídas desde o Rio da Prata até as proximidades do paralelo 30°S. Essa intensificação da clorofila-*a* tem origem, a partir da influência da descarga de

sedimentos provenientes do estuário do Rio da Prata e da intrusão de águas frias, ricas em nutrientes, que deslocam-se ao longo da costa, rumo ao norte (Figura 4.7).

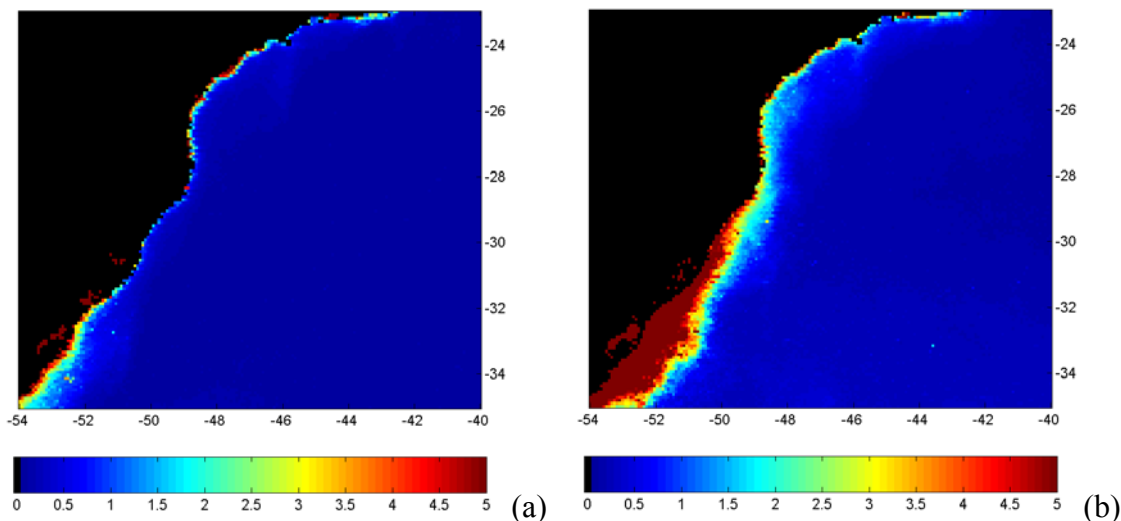


FIGURA 4.7 – Concentração de clorofila-*a* na superfície do mar, em mg.m^{-3} , referentes a: (a) verão e (b) inverno de 2002.

A concentração de clorofila-*a* média na superfície do mar, segundo as informações obtidas, variou de 0,1 a 0,7 mg.m^{-3} , mantendo um comportamento inverso ao da TSM, com valores mais baixos durante o verão, e valores mais altos em meados do outono e início de inverno. Esse comportamento ocorre em função da concentração de nutrientes na água ser inversamente proporcional a temperatura da água, conseqüentemente menor é a concentração de organismos fotossintetizantes produtores de clorofila-*a*. Na semana 38 não foi obtido valor de CCS (Figura 4.8).

Esses resultados encontram-se de acordo com Kampel (2003), que através do uso de imagens SeaWiFS do mesmo ano para a mesma área, observou as maiores concentrações de clorofila na superfície do mar durante o inverno, com valores maiores que 2,0 mg.m^{-3} e os valores mais baixos durante o verão, entre 0,5 e 2,0 mg.m^{-3} .

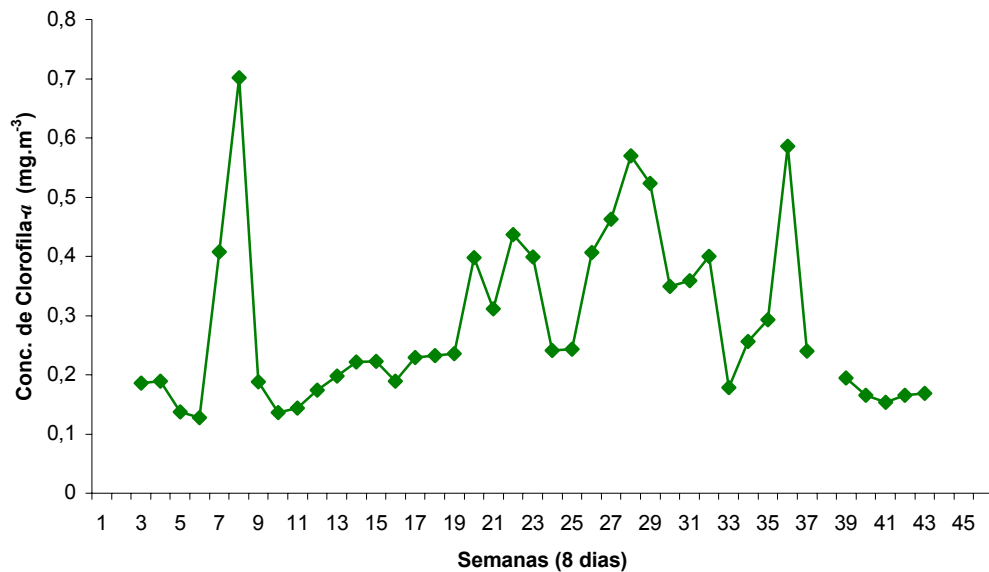


FIGURA 4.8 – Variação média da concentração de clorofila-*a*, ao longo da área de estudo, para o ano de 2002.

As semanas 7, 8 e 36 apresentaram valores de clorofila-*a* discrepantes do comportamento do restante da série, sugerindo a possível influência de fenômenos de ressurgências costeiras regionalizadas, principalmente durante o verão onde o pico foi mais alto. Apesar disso não foi observada uma redução da TSM nestas semanas, como mostrado na Figura 4.6.

As ressurgências costeiras são induzidas pelos ventos, causando um movimento da água de superfície para alto mar. O transporte das águas da camada de Ekman para o largo resulta em um movimento vertical que traz águas ricas em nutrientes à superfície, aumentando a produtividade primária.

É importante ressaltar que a região de Cabo Frio encontra-se inserida na área de estudo, e segundo Matsuura (1986) e Castro (1996), é durante o verão que as ressurgências costeiras se intensificam na região. O pico de clorofila-*a* registrado durante o inverno pode ter sido influenciado por elevadas concentrações de clorofila-*a* próximos à costa, oriundos das águas frias advindas do sul e da carga de nutrientes de origem continental. De acordo com Stevenson *et al.* (1998) e Piola *et al.* (2000), o inverno é o período de maior influência de águas frias oriundas do continente na região.

Na análise de regressão entre a TSM e a CCS, foi obtido um coeficiente de determinação $R^2=0,53$ com valor-p de 0,00 (Figura 4.9). Foram desconsideradas nesta análise as semanas 7, 8 e 36 por possivelmente representarem valores CCS próximos à costa. Apesar de a TSM explicar apenas cerca de 50% da variação da CCS, torna-se pertinente a afirmação de que a concentração de clorofila-*a*, na região de estudo, varia com o inverso da TSM.

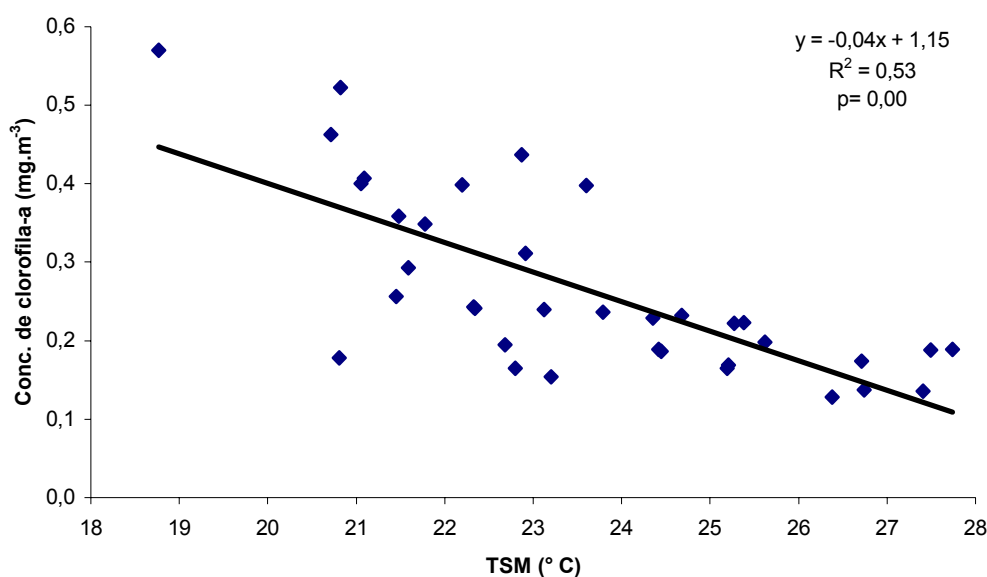


FIGURA 4.9 – Relação entre a TSM e concentração de clorofila-*a* média, ao longo de 2002.

A seguir são apresentados os valores das componentes zonal e meridional da velocidade do vento. Os valores positivos em *u* correspondem a ventos de W e os valores negativos a ventos de E. Nas componentes *v* os valores positivos correspondem a ventos de S e os valores negativos a ventos de N.

O comportamento da componente zonal da velocidade do vento mostra, durante o verão, ventos de E dominando toda a costa sudeste-sul brasileira, alcançando velocidades próximas a 4 m.s⁻¹. No inverno é possível observar uma migração dos maiores valores para NE, agora com velocidades variando entre 4 e 5 m.s⁻¹, embora estejam restritos apenas a parte da PSCE (Figura 4.10).

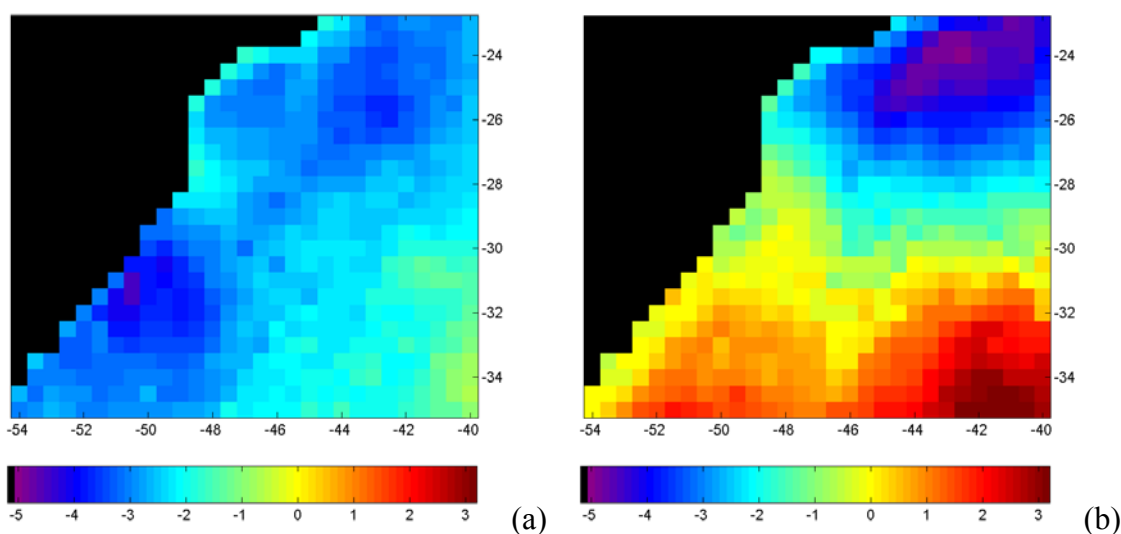


FIGURA 4.10 – Componente zonal da velocidade do vento, em m.s^{-1} , referentes a: (a) verão e (b) inverno de 2002.

A variação da velocidade do vento no eixo meridional apresenta valores negativos e próximos a zero, em sua maioria, em ambas as estações, variando apenas de intensidade ao longo da costa, isto é, ventos de norte, em sua maioria. Em ambas as estações, as maiores velocidades (3 a 4 m.s^{-1}) encontram-se afastados da costa, a NE da área de estudo enquanto que os velocidades médias estão centradas na região do Cabo de Santa Marta Grande (29°S), próximos da costa, com pouco mais de 2 m.s^{-1} (Figura 4.11).

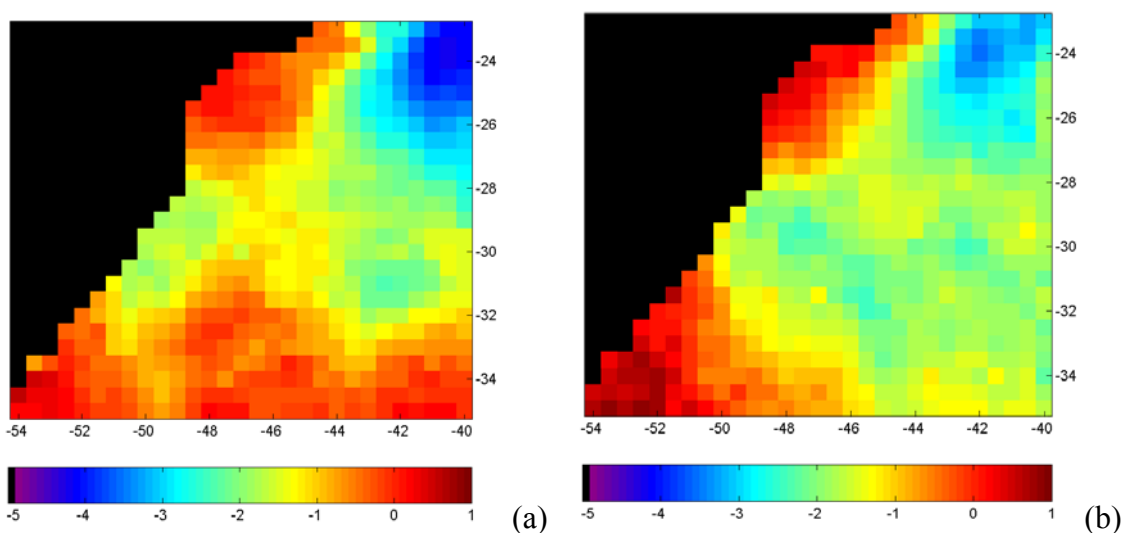


FIGURA 4.11 – Componente meridional da velocidade do vento, em m.s^{-1} , referentes a: (a) verão e (b) inverno de 2002.

Ambas as componentes apresentaram valores em sua grande maioria, negativos, com variação máxima de -5 a 1 m.s^{-1} e -5 a 5 m.s^{-1} nas componentes zonal e meridional, respectivamente (Figura 4.12).

Analisando as componentes em conjunto pode-se afirmar que a grande quantidade de valores negativa ditou um regime de ventos de NE que foi observado em grande parte do ano, principalmente no verão, com valores médios de $-2,5$ e $-0,9 \text{ m.s}^{-1}$, u e v , respectivamente. No inverno, os altos valores negativos em u e mais próximos a zero em v determinam uma variação no padrão dos ventos de NE para E, apesar dos valores médios de u e v terem sido bem semelhantes ao verão, $-2,6$ e -1 m.s^{-1} , respectivamente..

Esses resultados estão de acordo com Baptista (2003), que observou que os ventos no verão, entre as latitudes 20° e 30° S são predominantemente de NE, enquanto que no inverno os ventos tendem a mudar na direção leste. Baptista (2003) utilizou dados do sensor escaterômetro ERS-1/2 para construir os campos de vento.

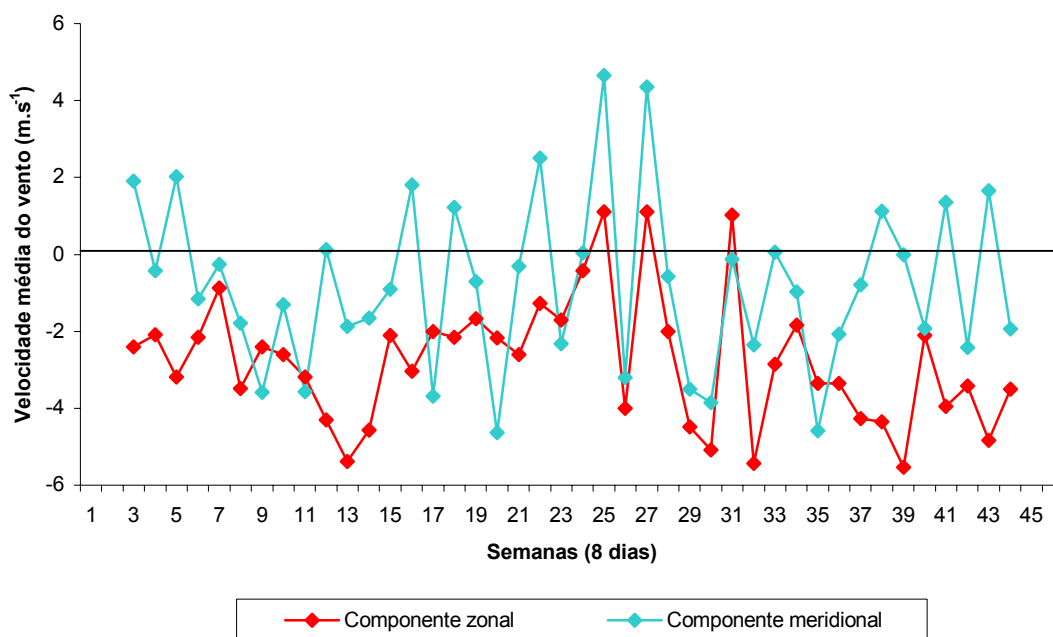


FIGURA 4.12 – Componente zonal e meridional da velocidade média do vento, ao longo de 2002.

4.2.2 Pré-processamento dos dados

Os dados de concentração de clorofila-*a* não sofreram pré-processamento, sendo apenas extraídos seus valores médios, máximos e mínimos a serem testados junto aos dados de captura. Na Figura 4.13 encontram-se descritos o comportamento dos três parâmetros derivados dos dados de clorofila-*a*.

Apesar de estar em amplitudes diferentes, o comportamento das três clorofilas foi relativamente parecido, com picos coincidentes na maioria das semanas. Os valores de clorofila-max apresentaram um off-set positivo como já era esperado, embora tenha havido um pico bastante elevado na vigésima semana, $8,4 \text{ mg.m}^{-3}$, bem acima dos demais valores do mesmo parâmetro. Como visto anteriormente, esse valor provavelmente é oriundo de elevadas concentrações de clorofila-*a* ocorridas próximo à costa naquela semana, originado por alguma ressurgência costeira ou carga de nutrientes continentais. O comportamento da clorofila-min foi o mais estável dentre os demais, apresentando certa uniformidade nas concentrações de clorofila-*a*, com valores bem próximos a zero.

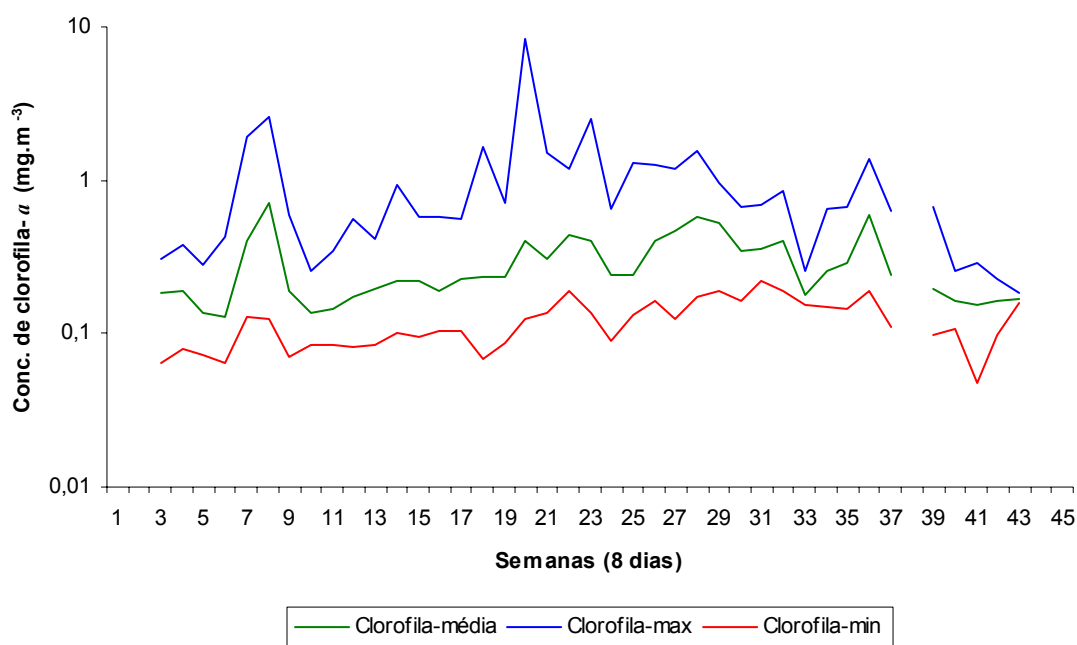


FIGURA 4.13 – Comportamento das concentrações de clorofila-*a*, ao longo de 2002.

Com o intuito de analisar a variabilidade das clorofilas máxima e mínima em relação a média foram feitas as seguintes correlações lineares: clorofila-média vs. clorofila-max e clorofila-média vs. clorofila-min. Os coeficientes de correlação obtidos foram $R=0,45$ ($p = 0,00$) e $R= 0,67$ ($p= 0,00$), respectivamente. Considerando o valor de clorofila-max de $8,4 \text{ mg.m}^{-3}$ como “outlier” o coeficiente de correlação entre a clorofila-média vs. clorofila-max foi de $0,77$ ($p=0,00$).

A partir das imagens de TSM já processadas foram calculados os módulos dos gradientes zonal, meridional, resultante, ortogonal e paralelo à costa. A direção dos gradientes não foi utilizada nas análises junto aos dados de captura, já que o objetivo é o de detectar regiões com maior variação horizontal de temperatura, isto é, onde os gradientes foram mais intensos. Foram utilizadas paletas de cores iguais, com $0,1^\circ\text{C.Km}^{-1}$, e aplicado um filtro de mediana 3×3 , com o objetivo de realçar os gradientes mais pronunciados, embora tenham sido observados gradientes de maior magnitude. A utilização do filtro de mediana contribuiu para a redução nos valores dos gradientes.

De uma forma geral observou-se que os gradientes zonal, ortogonal e resultante foram os mais pronunciados dentre todos. Durante o verão, baseado no que foi observado, é possível afirmar que a presença marcante das águas quentes da CB, ao longo da costa, causou uma redução do campo gradiente de TSM, principalmente nos sentidos meridional e paralelo à costa. Nesta estação as maiores variações horizontais de TSM são observadas sobre a plataforma continental na região de Cabo Frio, no encontro das mais frias originadas por fenômenos de ressurgência costeira na região e águas mais quente da CB, sendo praticamente homogêneas no restante da PCSE e PCS. No inverno ocorreram os maiores valores de gradiente, sendo estes mais visíveis localizados próximo à quebra de plataforma, principalmente na PCS. Em razão da invasão da PCS e sul da PCSE por águas frias advindas das altas latitudes é possível observar, no encontro das águas frias da CM e águas advindas da CB, a formação de gradientes marcantes no sentido N-S (Figuras 4.14 a 4.18).

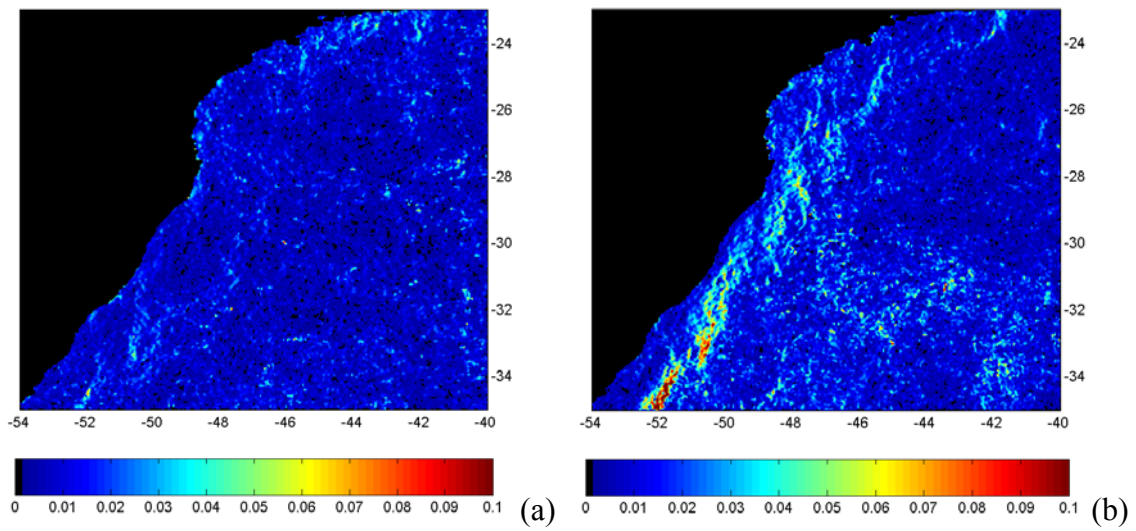


FIGURA 4.14 – Gradiente zonal da temperatura de superfície do mar, em $^{\circ}\text{C.km}^{-1}$, referentes a: (a) verão e (b) inverno de 2002.

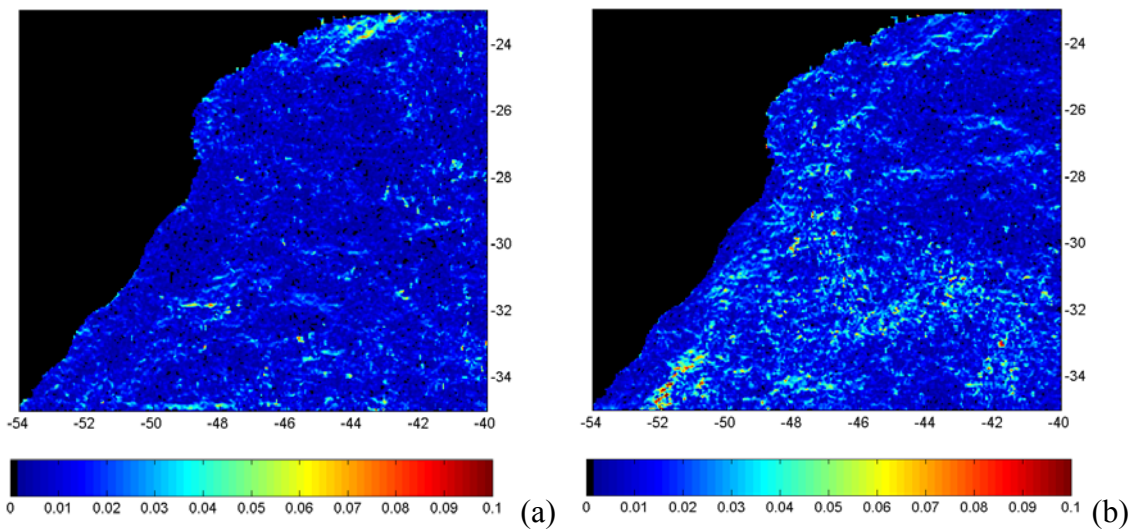


FIGURA 4.15 – Gradiente meridional da temperatura de superfície do mar, em $^{\circ}\text{C.km}^{-1}$, referentes a: (a) verão e (b) inverno de 2002.

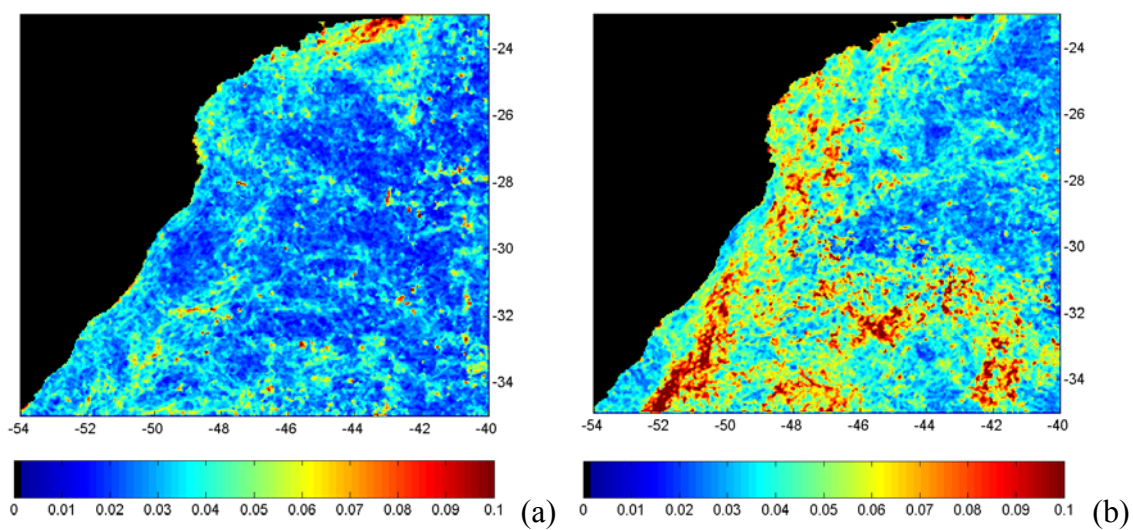


FIGURA 4.16 – Gradiente resultante da temperatura de superfície do mar, em $^{\circ}\text{C.km}^{-1}$, referentes a: (a) verão e (b) inverno de 2002.

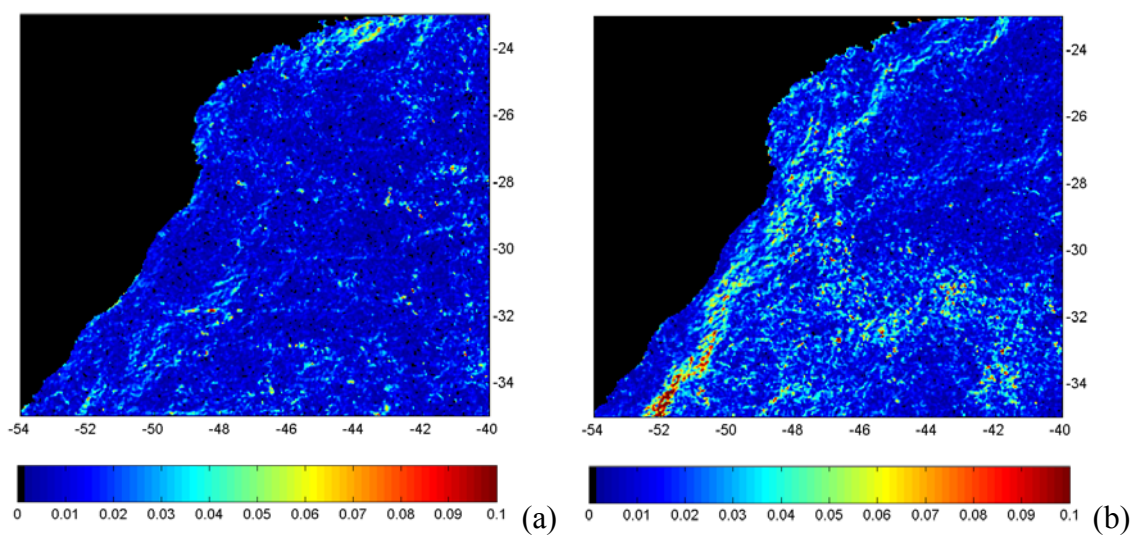


FIGURA 4.17 – Gradiente ortogonal da temperatura de superfície do mar, em $^{\circ}\text{C.km}^{-1}$, referentes a: (a) verão e (b) inverno de 2002.

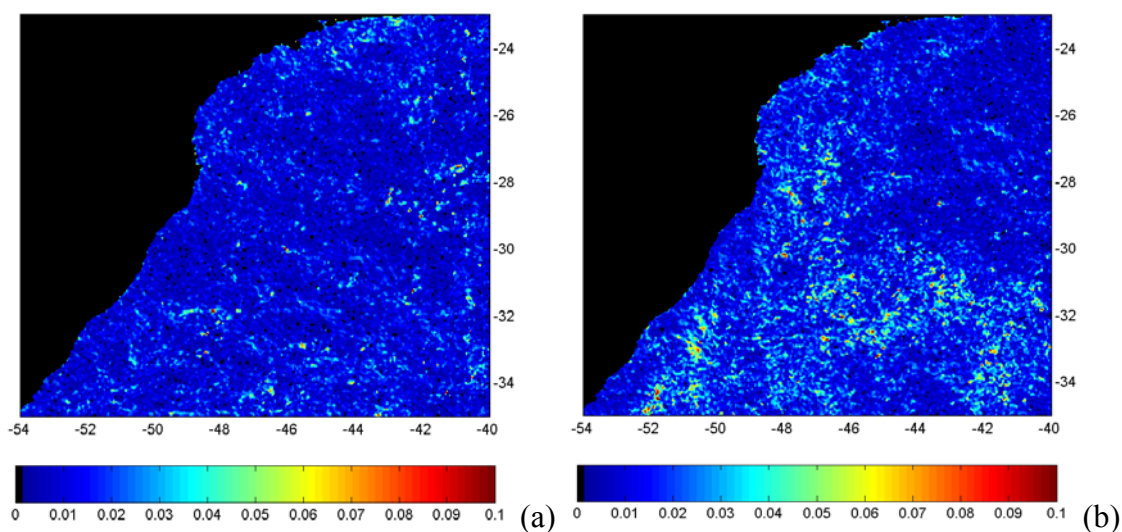


FIGURA 4.18 – Gradiente paralelo da temperatura de superfície do mar, em $^{\circ}\text{C.km}^{-1}$, referentes a: (a) oitava semana e (b) trigésima semana de 2002.

Na área de estudo, observou-se um padrão semelhante em todos os campos gradientes, com os menores valores ocorrendo no verão, aumentando à medida que se aproxima o inverno. Os gradientes zonal, resultante e ortogonal foram responsáveis pelos maiores valores em praticamente todo o ano, além de serem também os que mais variaram. Os picos máximos ocorreram no final do inverno, pouco antes do início da primavera, com valores de 0,8 e 0,7 $^{\circ}\text{C.km}^{-1}$, para o gradiente ortogonal e resultante, respectivamente (Figura 4.19).

Os resultados aqui encontrados estão de acordo com Castro (1996), que afirma que os maiores gradientes horizontais de temperatura ocorrem no inverno. No verão, o deslocamento da Convergência Subtropical para sul eleva a TSM ao longo da plataforma sudeste-sul do Brasil, gerando gradientes mínimos nesta estação (Andrade, 1996).

A partir do outono a convergência começa a migrar para norte, ocasionando a intrusão de águas sub-antárticas que influenciam a dinâmica da região ao encontrar-se com águas de origem tropical da Corrente do Brasil, gerando fortes gradientes de temperatura (Stevenson *et al.*, 1998).

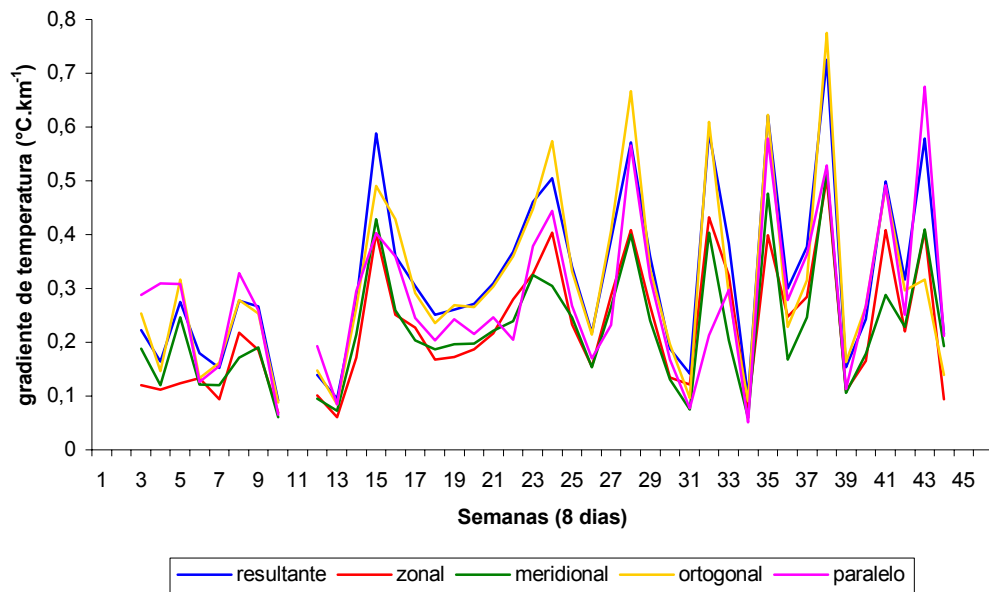


FIGURA 4.19 – Gradientes médios de temperatura da superfície do mar, ao longo de 2002.

No cálculo da resultante do vento, a sua direção não foi calculada. A razão para utilizar apenas o módulo do vento foi obter uma relação entre as capturas e a intensidade dos ventos sobre o oceano, já que o recurso estudado é capturado junto à superfície e a magnitude do vento é o fator preponderante nos processos turbulentos que ocorrem na camada superior (de mistura) dos oceano.

Durante o verão os ventos de maior intensidade foram observados na costa da região sul do Brasil, centrado no paralelo 31°S e meridiano 49°W e a NE da região de estudo, com velocidades acima dos 4 m.s⁻¹. Com a chegada do inverno esses ventos afastam-se um pouco da costa, embora ainda sejam observados sobre a região da quebra de plataforma e início do talude de toda a plataforma sudeste-sul brasileira. Os ventos de maior velocidade são observados ainda a NE da região de estudo, concentrando-se entre os registradas começaram a migrar para nordeste, com valores variando entre 6 e 7 m.s⁻¹ (Figura 4.20).

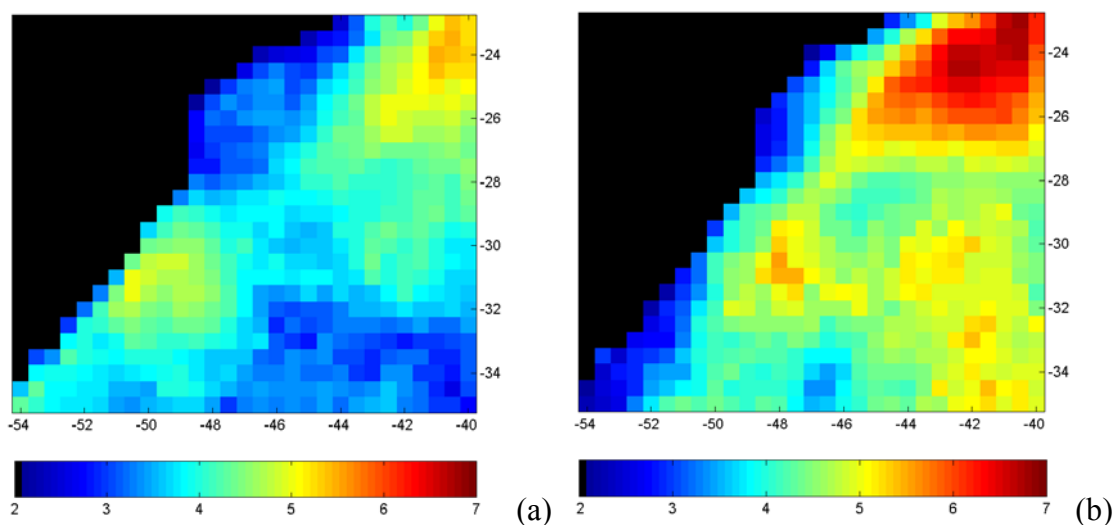


FIGURA 4.20 – Módulo da velocidade média do vento, em m.s^{-1} , referentes a: (a) verão (b) inverno de 2002.

A resultante da velocidade do vento mostrou um comportamento bastante variável durante o ano de 2002. O inverno teve a maior variação nos ventos, com velocidades de $1,1$ a $6,4 \text{ m.s}^{-1}$, enquanto que na primavera foram observadas as menores variações, indo de $2,9$ a $5,6 \text{ m.s}^{-1}$. O verão e o outono tiveram variações intermediárias de $1,4$ a $5,7 \text{ m.s}^{-1}$ e $1,2$ a $5,7 \text{ m.s}^{-1}$, respectivamente (Figura 4.21). Segundo Stech e Lorenzetti (1992), as entradas de frentes frias nessa região provocam uma grande variação na intensidade e direção dos ventos, sendo esta a possível razão para a ocorrência desses valores mais elevados.

Estes resultados estão de acordo com Baptista (2003), que a partir de imagens ERS-1/2 entre o período de dezembro/91 e novembro/98, registrou ventos resultantes mais fortes durante com inverno e mais fracos durante a primavera, embora, durante o verão e o outono foram registrados padrões divergentes.

Apesar do comportamento semelhante durante o período do inverno e primavera, Baptista (2003), observou uma amplitude nos valores de velocidade abaixo das que foram encontradas aqui, durante todo o ano, com intervalos de velocidades de $2,8$ a $4,2 \text{ m.s}^{-1}$ no verão, $1,4$ a $2,1 \text{ m.s}^{-1}$ no outono, $0,7$ a $2,8 \text{ m.s}^{-1}$ no inverno e $2,8$ a $3,5 \text{ m.s}^{-1}$ na primavera. Essa diferença de valores pode ter sido causada por possíveis anomalias

climáticas ocorrentes em ambas as épocas, por uma elevada diferença nas resoluções utilizadas, dentre outros aspectos.

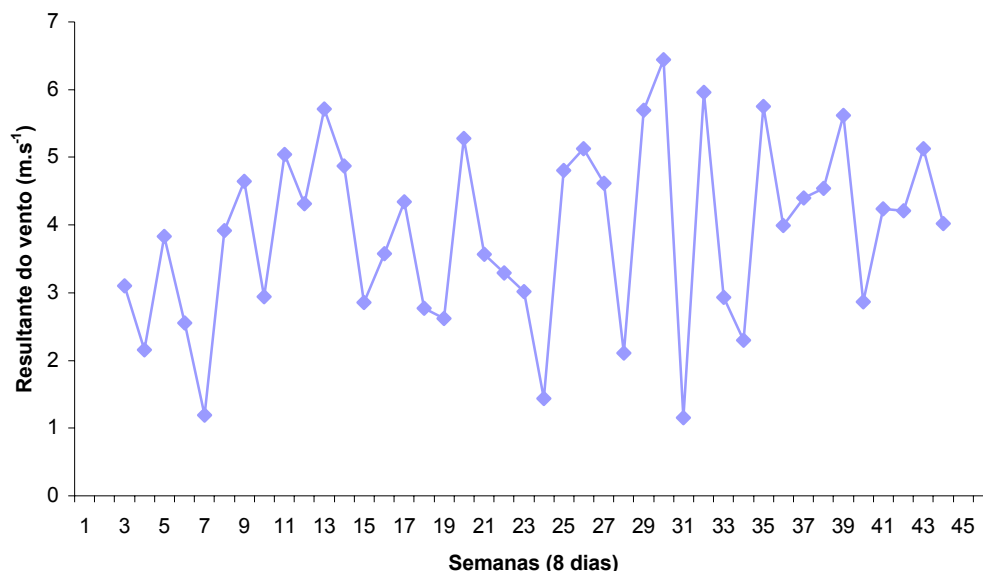


FIGURA 4.21 – Variação média da resultante da velocidade do vento, ao longo de 2002.

Além do cálculo da velocidade, as componentes da velocidade do vento também foram utilizadas para calcular a bombeamento de Ekman (Ekman pumping) na região.

No verão, com a presença marcante dos ventos de NE, foi possível observar locais com bombeamento positivo ao longo da costa. Fica clara a ocorrência de ressurgência nas proximidades de Cabo Frio (23°S) e Florianópolis (28°S). No inverno, apesar dos ventos estarem mais intensos, foram observados valores de bombeamento positivo apenas próximo a Cabo Frio. Em virtude das águas, em sua maioria, estarem mais frias durante essa estação torna-se difícil a observação das ressurgências. Embora a região próxima a Cabo Frio tenha apresentado indícios de ressurgência, é provável que esta não tenha sido causada unicamente pelo bombeamento de Ekman positivo, já que é comum a ocorrência de ressurgências costeiras nesta região (Figura 4.22).

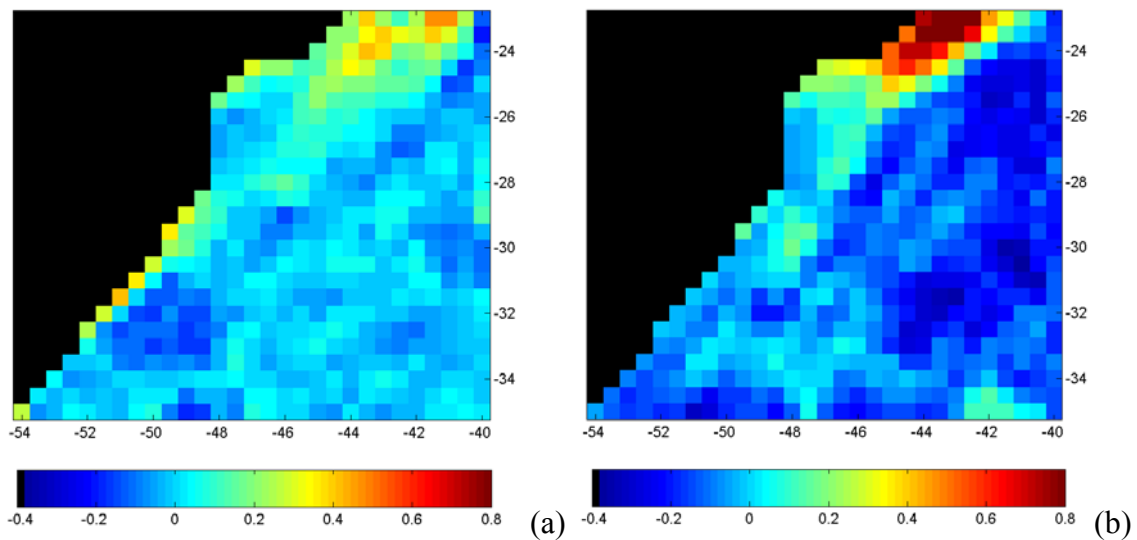


FIGURA 4.22 – Bombeamento de Ekman, em cm.s^{-1} , referente a: (a) oitava semana e (b) trigésima semana de 2002.

Na Figura 4.23, está representada o comportamento do bombeamento de Ekman para cada semana do ano de 2002. Considerando o eixo vertical (z) orientado à superfície, os valores positivos indicam uma ressurgência de águas profundas à superfície e os valores negativos indicam o afundamento da águas de superfície.

Analisando o padrão da série temporal do bombeamento, observou-se uma pequena variabilidade durante o verão que lentamente foi aumentando em direção as semanas relativas ao período do inverno. Em mais de 50% da série foi observado um bombeamento positivo, indicando o soerguimento de águas profundas, águas essas ricas em nutrientes importantes para a produção primária.

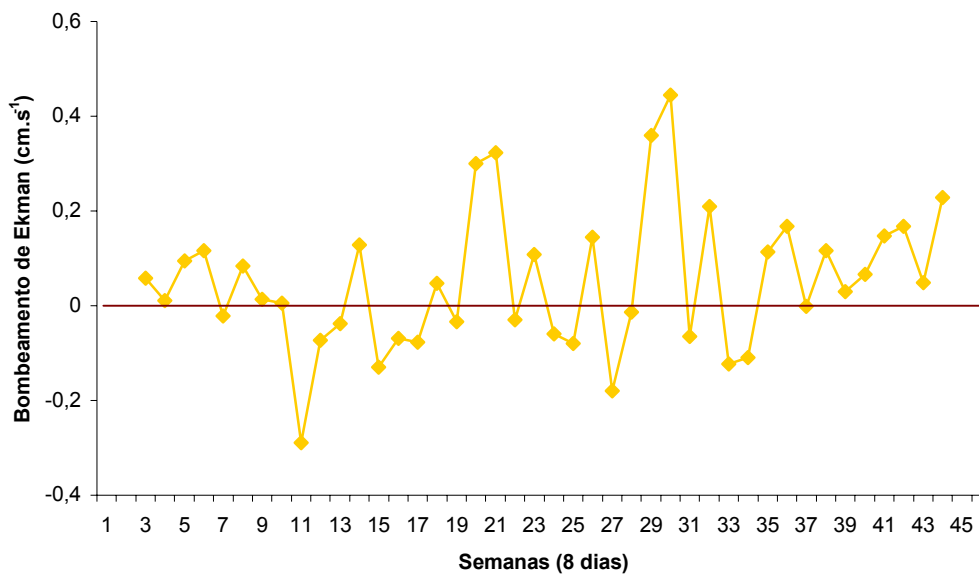


FIGURA 4.23 – Variação do bombeamento de Ekman, ao longo de 2002.

Com o intuito de avaliar a influência do bombeamento na produção primária, conseqüentemente na produção de pigmentos fotossintetizantes foi feita uma correlação entre o bombeamento de Ekman vs. concentração de clorofila máxima, obtendo um $R=0,32$ ($p=0,04$). O baixo valor do coeficiente de correlação pode ter sido causado em razão da baixa resolução espacial utilizada, de maneira que, ao se extrapolar o seu valor para toda a área de estudo, grande parte da informação foi perdida. Um outro fator preponderante é a ressurgência costeira que ocorre na área de estudo. Essa ressurgência causa o aumento da concentração de clorofila em regiões onde necessariamente não existe bombeamento positivo. A partir destes resultados pode-se concluir que o cálculo do bombeamento de Ekman funciona melhor em áreas oceânicas do que em áreas próximas à costa, além de ser mais apropriada a utilização de uma escala espacial maior no seu cálculo.

Ainda é possível atribuir ao baixo coeficiente de correlação encontrado, o fato do intervalo de tempo entre a ocorrência do evento, bombeamento de Ekman positivo, e a intensificação dos processos da produção primária. Isto é, existe um “lag” entre a disponibilidade dos nutrientes na zona fótica, a assimilação destes nutrientes pelo

fitoplâncton que irá produzir alimento para os seres forrageiros e os demais elos seguintes da rede trófica, chegando até o bonito-listrado.

4.3 Modelagem Bayesiana

4.3.1 Pré-requisito do modelo

Na realização do teste de aderência dos dados de captura à distribuição gama, foram selecionadas 50 amostras (quadrados de $1^\circ \times 1^\circ$) a fim de minimizar os problemas de autocorrelação espacial e temporal.

O teste de Kolmogorov-Smirnov (K-S) mostrou que o valor encontrado de $d = 0,142$ ($p =$ não-significativo) foi menor que o valor crítico tabelado ($d = 0,192$; $\alpha = 0,05$), ou seja, para um nível de significância de 5% pode-se afirmar que os dados de captura têm um comportamento de distribuição descrito pela função gama (Figuras 4.24).

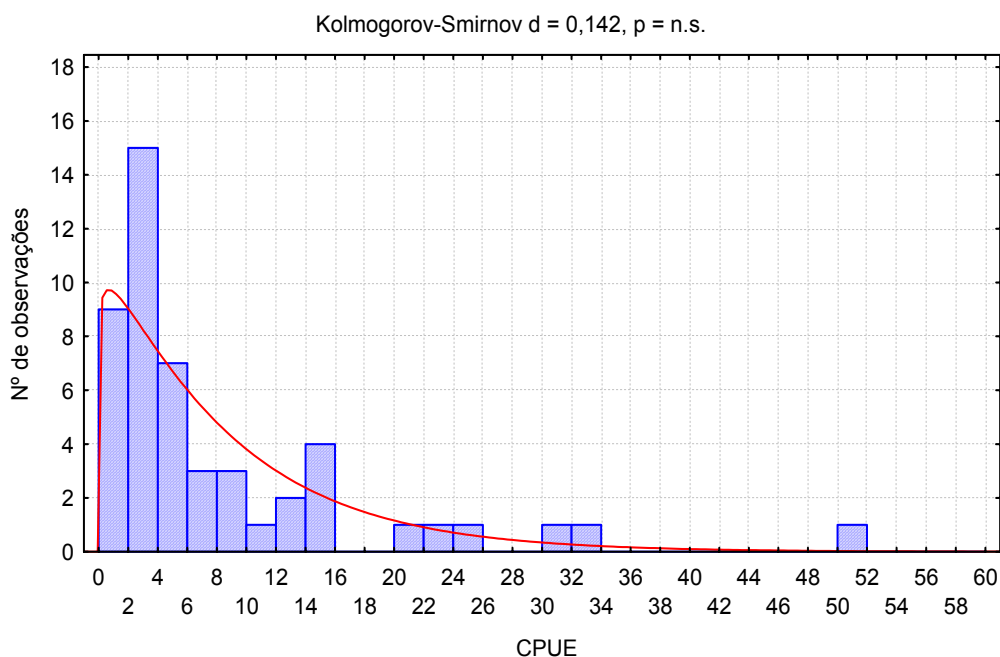


FIGURA 4.24 – Ajuste dos dados da CPUE à distribuição gama.

4.3.2 Aplicação do modelo

Os cálculos foram realizados a partir da CPUE histórica ($CPUE_h$) e isoladamente para a CPUE do ano de 2002 ($CPUE_{2002}$), obtendo uma estimativa de captura ($\bar{\lambda}'$) para cada série de dados, sendo elas $\bar{\lambda}'_h$ e $\bar{\lambda}'_{2002}$, respectivamente. Foram calculados também os respectivos desvios padrão das estimativas, σ'_h e σ'_{2002} . As estimativas de captura foram atualizadas semanalmente, a partir das informações *a priori* obtidas da $CPUE_h$ e $CPUE_{2002}$.

A Tabela 4.1, apresenta o resumo da aplicação do modelo, com a $CPUE_h$, $CPUE_{2002}$, $\bar{\lambda}'_h$, $\bar{\lambda}'_{2002}$, σ'_h e σ'_{2002} , onde os valores de ambas as CPUEs da semana 1 são utilizados para o cálculo da estimativa da semana 2 e assim sucessivamente, razão pela qual o primeiro valor das estimativas é perdido.

TABELA 4.1 – Resumo da aplicação do modelo bayesiano com sua $CPUE_h$, $CPUE_{2002}$ e seus respectivos $\bar{\lambda}'_h$ e $\bar{\lambda}'_{2002}$ e σ'_h e σ'_{2002} .

Semana	$CPUE_h$	$\bar{\lambda}'_h$	σ'_h	$CPUE_{2002}$	$\bar{\lambda}'_{2002}$	σ'_{2002}
1	12,32					
2	12,23	12,18	3,39			
3	11,19	12,09	3,38	2,00		
4	9,15	11,11	3,24	3,88	2,45	1,52
5	8,57	9,18	2,94	2,13	4,22	1,99
6	11,25	8,64	2,85	3,59	2,57	1,56
7	12,94	11,16	3,24	5,71	3,95	1,93
8	12,93	12,76	3,47	4,38	5,94	2,37
9	11,62	12,75	3,47	3,41	4,69	2,10
10	13,60	11,52	3,29	2,61	3,78	1,89
11	16,51	13,38	3,55	4,19	3,03	1,69
12	17,33	16,13	3,90	5,70	4,51	2,06
13	15,68	16,89	3,99	5,44	5,93	2,36
14	13,68	15,34	3,80	4,95	5,69	2,32
15	12,85	13,45	3,56	5,82	5,23	2,22
16	12,27	12,67	3,46	5,38	6,04	2,39
17	11,23	12,12	3,38	3,28	5,63	2,30
18	9,05	11,15	3,24	3,92	3,65	1,85
19	7,81	9,09	2,93	2,84	4,25	2,00
20	8,02	7,92	2,73	4,17	3,24	1,75
21	9,26	8,12	2,77	4,82	4,49	2,06
22	8,50	9,29	2,96	5,76	5,10	2,19
23	7,37	8,58	2,84	3,90	5,99	2,38
24	6,42	7,51	2,66	2,85	4,23	2,00
25	6,07	6,61	2,50	1,41	3,25	1,75
26	5,45	6,28	2,43	2,40	1,89	1,34
27	6,86	5,70	2,32	3,41	2,82	1,63
28	9,21	7,02	2,57	2,12	3,78	1,89
29	10,09	9,24	2,95	2,55	2,56	1,55
30	9,28	10,08	3,08	2,91	2,97	1,67
31	7,51	9,31	2,96	1,28	3,30	1,76
32	6,02	7,64	2,68	1,66	1,77	1,29
33	4,22	6,24	2,42	5,04	2,12	1,41
34	3,47	4,54	2,07	2,69	5,31	2,24
35	5,33	3,83	1,90	1,39	3,10	1,71
36	5,53	5,59	2,29	1,58	1,87	1,33
37	7,53	5,77	2,33	1,24	2,05	1,39
38	5,80	7,66	2,69	1,02	1,73	1,28
39	6,10	6,03	2,38	1,18	1,53	1,20
40	6,08	6,31	2,44	1,44	1,67	1,26
41	8,07	6,29	2,43	0,75	1,92	1,34
42	8,00	8,17	2,77	0,23	1,27	1,09
43	6,52	8,10	2,76	0,38	0,78	0,86
44	5,48	6,70	2,51	1,00	0,92	0,93
45	9,89	5,73	2,32			
46	12,64	9,88	3,05			

A análise de regressão simples entre $\bar{\lambda}'_h$ vs. $CPUE_h$ mostrou uma boa relação ($R^2 = 0,83$; $p = 0,00$), indicando que há boa coerência entre a saída do modelo descrito e a base de dados históricos (Figura 4.25).

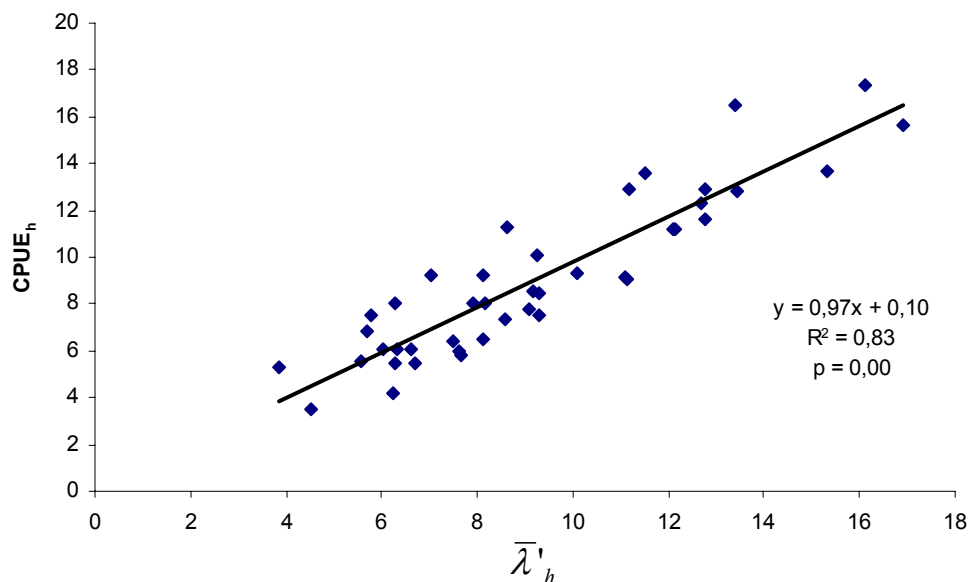


FIGURA 4.25 – Relação entre $\bar{\lambda}'_h$ vs. $CPUE_h$.

Analisando-se agora a regressão entre $\bar{\lambda}'_{2002}$ vs. $CPUE_{2002}$ (Figura 4.26) observou-se uma queda no coeficiente de determinação em comparação a relação obtida na Figura 4.25. Ainda assim, foi obtido um $R^2 = 0,62$ e $p = 0,00$. O objetivo dessa análise foi mostrar o comportamento do estimador em uma série de dados atual, sem acréscimo das informações da série histórica, conseqüentemente sem sofrer qualquer tipo de suavização nos dados, assim como ocorreu com a estimativa para a $CPUE_h$.

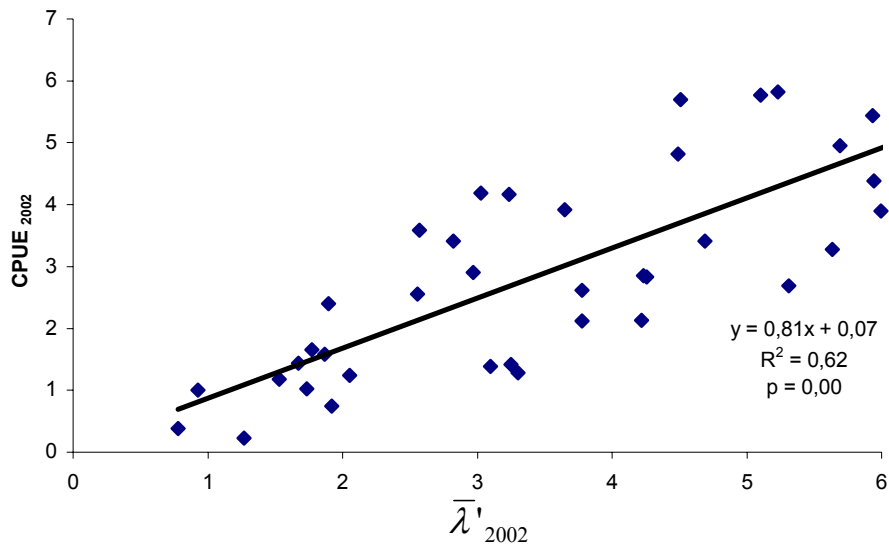


FIGURA 4.26 – Relação entre $\bar{\lambda}'_{2002}$ vs. CPUE₂₀₀₂.

Vale ressaltar que os valores das estimativas de $\bar{\lambda}'_h$ e da captura de 2002 apresentam tendências divergentes a partir da semana 35. Portanto, a atualização das estimativas com dados de captura do ano de interesse é fundamental para a confiabilidade da interpretação dos resultados do modelo (Figura 4.27). A vantagem de se utilizar o máximo de informação *a priori* é o aumento na confiança das estimativas, além disso, pôde-se observar que capturas anuais com uma elevada variabilidade podem diminuir a eficácia do modelo, chegando a comprometer o seu uso por completo.

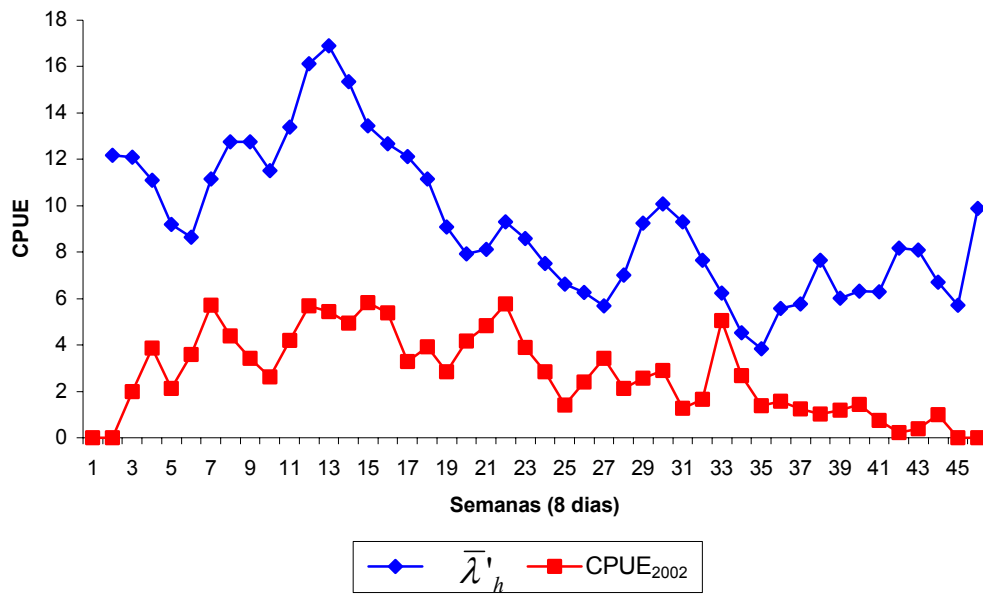


FIGURA 4.27 – Comportamento dos $\bar{\lambda}'_h$ e CPUE₂₀₀₂.

Ao analisar a $\bar{\lambda}'_h$ vs. CPUE₂₀₀₂, observou-se uma diminuição significativa no desempenho do modelo. A regressão que explica essa relação apresentou um $R^2 = 0,40$ ($p=0,00$), além de um ganho nos valores de $\bar{\lambda}'_h$ da ordem de 3 unidades, aproximadamente (Figura 4.28). Apesar do R^2 ter sido baixo, o valor-p mostrou que a relação foi significativa, indicando que o modelo além de funcionar como um atualizador da captura semana a semana, também pode ser usado na previsão de captura entre uma base histórica e anos futuros. Ainda é possível observar que tanto a diminuição no desempenho do modelo quanto o ganho observado entre as variáveis podem ser explicados pelo fato do ano de 2002 apresentar incoerências nos valores de captura discriminados nos diários de bordo ou simplesmente tratar-se de um ano atípico, causando um comportamento diferenciado da CPUE₂₀₀₂ em comparação a CPUE_h (Figura 4.27).

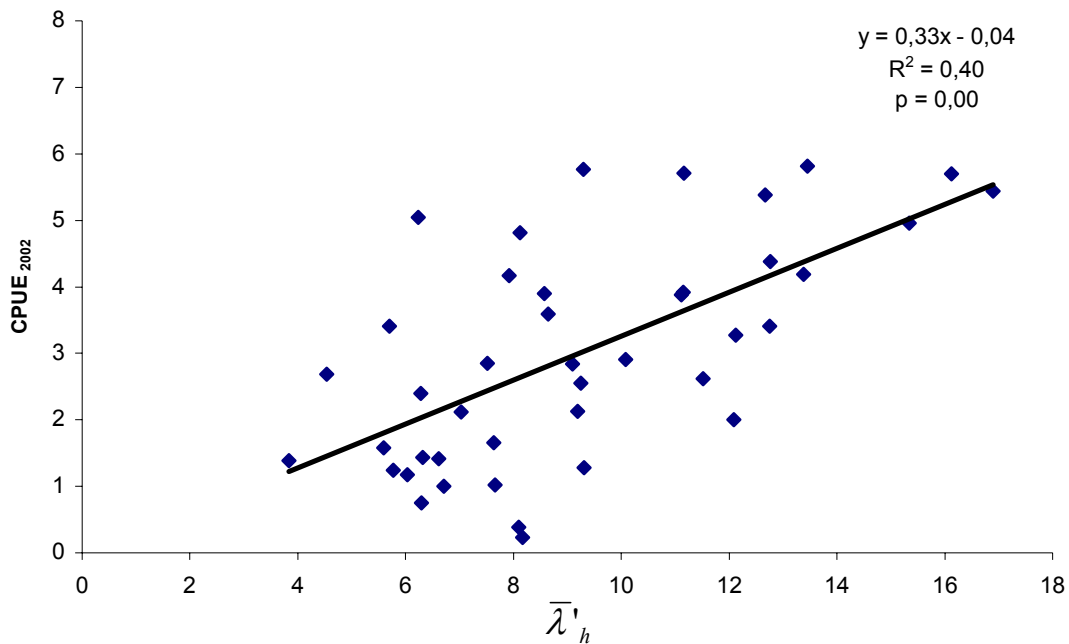


FIGURA 4.28 – Relação entre $\bar{\lambda}'_h$ vs. CPUE₂₀₀₂.

4.3.3 Relação entre as estimativas e as variáveis ambientais

As análises de agrupamento entre os dados de captura e as variáveis ambientais em função dos semestres, apresentando nitidamente a formação de dois agrupamentos distintos, onde os números 1 e 2 no eixo x indicam o primeiro e o segundo semestre. O agrupamento desses dois números, separadamente, evidencia uma variabilidade sazonal por semestre dos dados de captura e das variáveis ambientais variáveis, ao longo do ano de 2002. O coeficiente de similaridade esteve acima dos 80% em ambos os grupos (Figura 4.29).

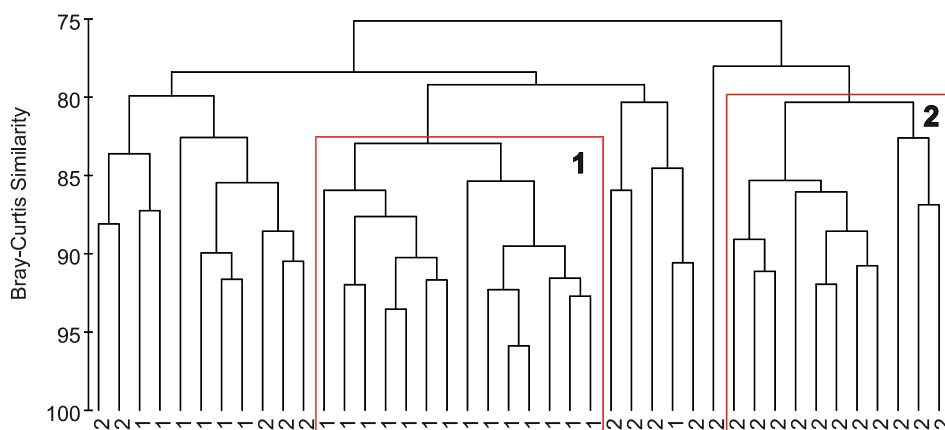


FIGURA 4.29 – Dendrograma da análise de agrupamento em função do tempo, semestres, para os dados de captura e variáveis ambientais.

Utilizando o mesmo algoritmo de similaridade na análise em função das variáveis, dados de captura e as variáveis ambientais, também foi observada a formação de dois grupos distintos de dados, grupo 1 e 2. O primeiro foi formado pelas concentrações de clorofila média e mínima e por todos os gradientes de TSM, enquanto que o segundo é formado pelas dados de captura, com exceção das CPUEs de 1996 e 2001, e pela TSM. Apesar da distinção, os grupos 1 e 2 possuem uma similaridade de cerca de 70% entre si. O ano de 1999 e as componentes u e v da velocidade do vento não foram consideradas nesta análise (Figura 4.30).

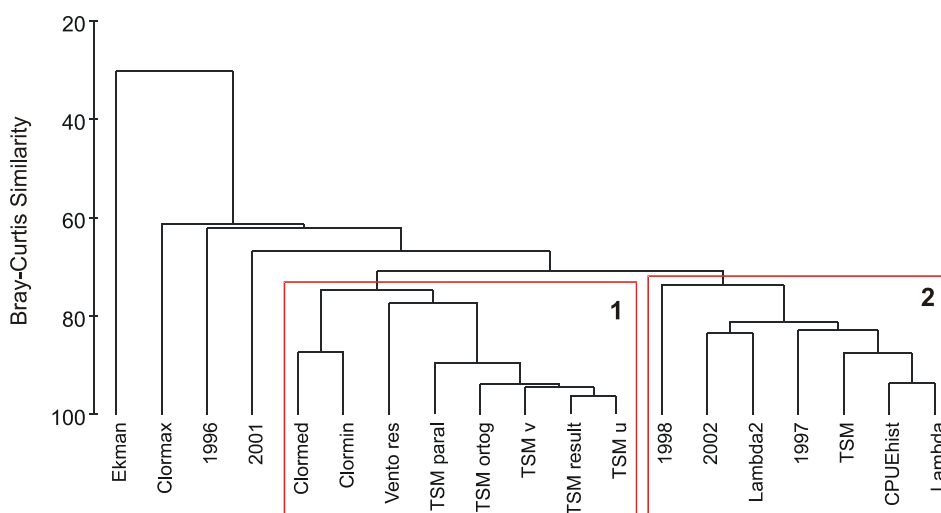


FIGURA 4.30 – Dendrograma da análise de agrupamento, em função das variáveis, para os dados de captura e variáveis ambientais.

Mesmo agregando um maior número de variáveis, o grupo 1 foi menos informativo, já que não teve uma similaridade com os dados de captura. Ao contrário do grupo 1, o grupo 2 mostrou que $\bar{\lambda}'_h$ e $\bar{\lambda}'_{2002}$ responderam bem as atualizações semanais, com índices de similaridade maiores que 80%. O ano de 1997 demonstrou uma boa similaridade com a média histórica, seguido pelo ano de 1998, com 85% e 70% de similaridade, respectivamente. Esse melhor relacionamento dos anos de 1997 e 1998, provavelmente está associado ao fato destes mesmos anos serem os mais representativos em termos de quantidade de informação, isto é, foram os que mais contribuíram com a média histórica.

As CPUEs dos anos de 1996 e 2001 apresentaram grande discrepância em relação ao restante das capturas, reafirmando a grande dissimilaridade entre os anos de captura, que sugere uma alta flutuabilidade do estoque e/ou deficiências na coleta dos dados.

O bombeamento de Ekman e a concentração de clorofila máxima foram as variáveis ambientais menos semelhantes às capturas com uma similaridade de apenas 30% entre si. É possível que a baixa similaridade entre o bombeamento de Ekman e as demais variáveis seja resultado da baixa resolução espacial dos dados, já que está bem clara a sua fraca relação com a concentração de clorofila máxima. Vinayachandran e Mathew (2003) associam regiões de aparecimento de bloom de algas, isto é, altas concentrações de clorofila-*a*, a ventos fortes e valores positivos de bombeamento de Ekman na região da Baía de Bengala. Apesar disso, não se pode deixar de considerar as variáveis acima nas análises posteriores, já que a baixa similaridade indica que as variáveis possuem um comportamento diferenciado das demais, podendo essa variância conter informações importantes, isto é, informações não redundantes.

A TSM, seguida dos seus gradientes foram as variáveis ambientais que melhor se relacionaram aos dados de captura. Como já era esperado, a TSM mostrou ainda ser o parâmetro oceanográfico que melhor contribui com a ocorrência ou não de espécies pelágicas, evidenciando a sua importância em estudos de previsões de captura e avaliação de estoques. Segundo Dizon *et al.* (1978), a temperatura do mar está dentre os

parâmetros ambientais de maior relevância na determinação do comportamento dos organismos aquáticos.

As análises de regressão linear simples entre os dados de captura e as variáveis ambientais reforçaram o que foi observado nos dendrogramas. A TSM foi o parâmetro que melhor se relacionou aos dados de captura, seguida pelos seus gradientes resultantes, zonal e ortogonal. Os maiores coeficientes de determinação obtidos entre a TSM e os dados de captura foram de 0,57 e 0,53, para $CPUE_h$ e $\bar{\lambda}'_h$, respectivamente. A $CPUE_{2002}$ e $\bar{\lambda}'_{2002}$ tiveram coeficientes mais modestos de 0,24 e 0,21, respectivamente. As demais variáveis não foram informativas, apresentando coeficientes de determinação abaixo de 0,28 (Figuras 4.31 a 4.34). Essas regressões também foram utilizadas, para analisar a necessidade de linearizar as variáveis ambientais, embora de acordo com as distribuições dos valores das variáveis nas relações com os dados de pesca mostraram um comportamento linear ou sem forma definida.

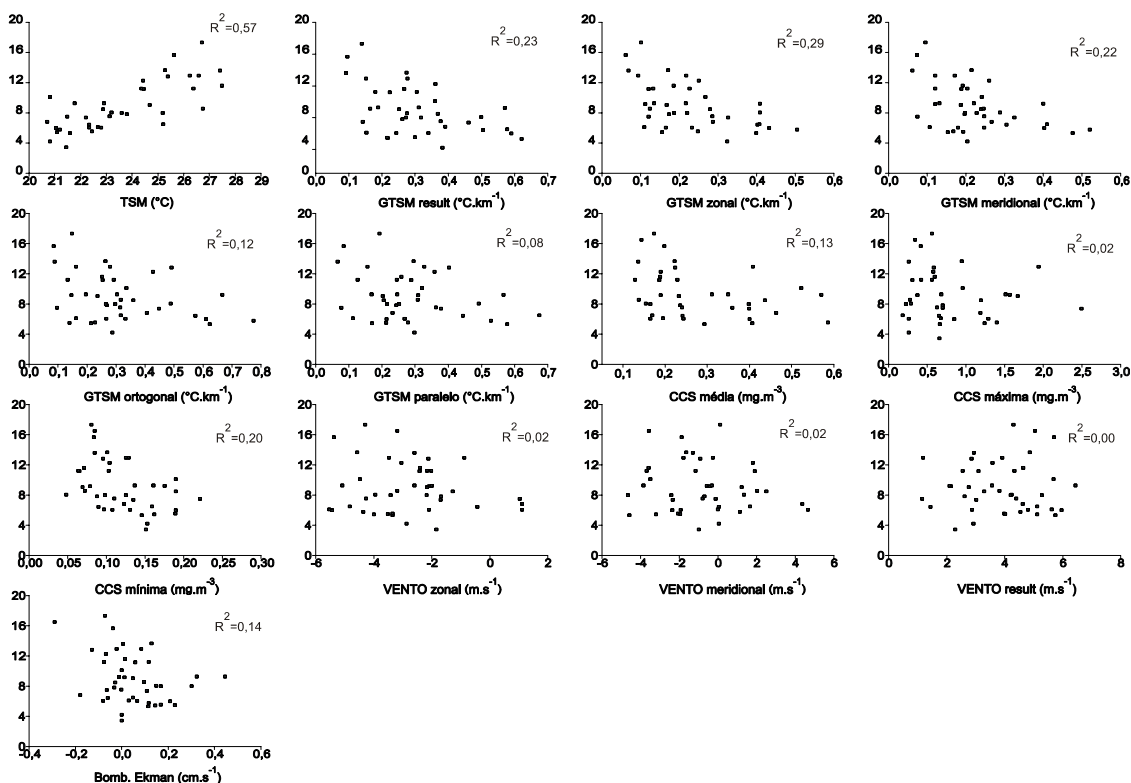


FIGURA 4.31 – Relações entre a $CPUE_h$ e as variáveis ambientais.

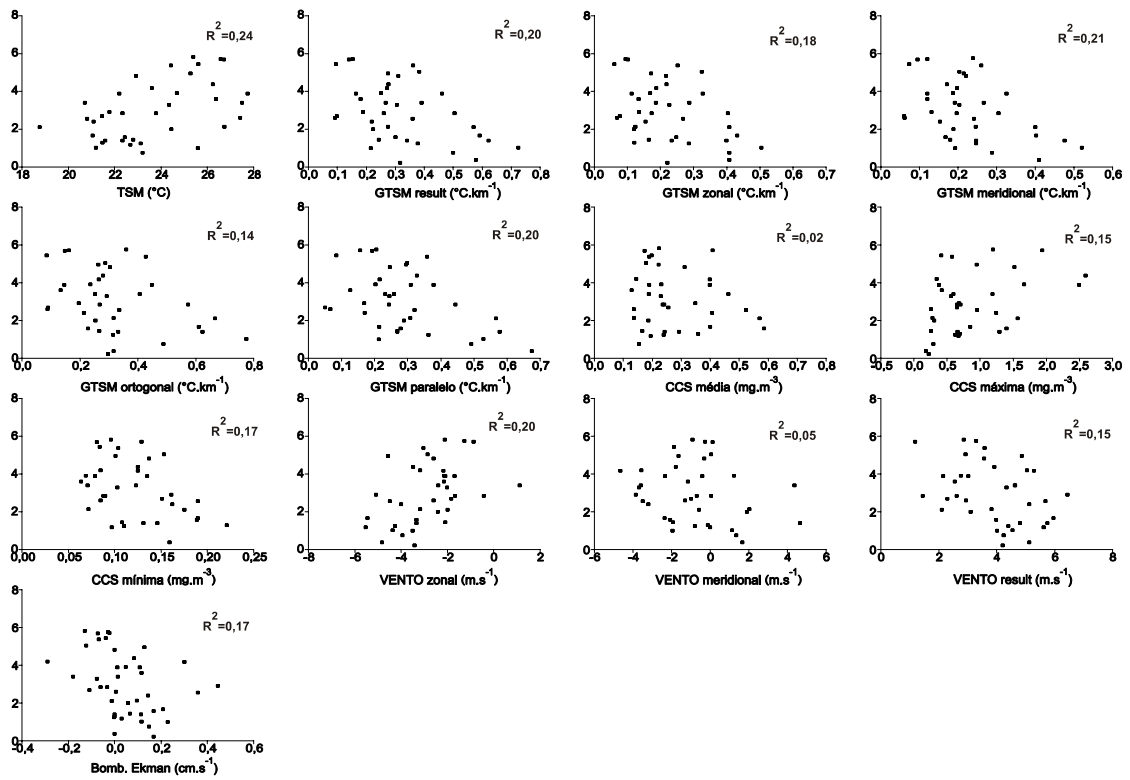


FIGURA 4.32 – Relações entre a CPUE₂₀₀₂ e as variáveis ambientais.

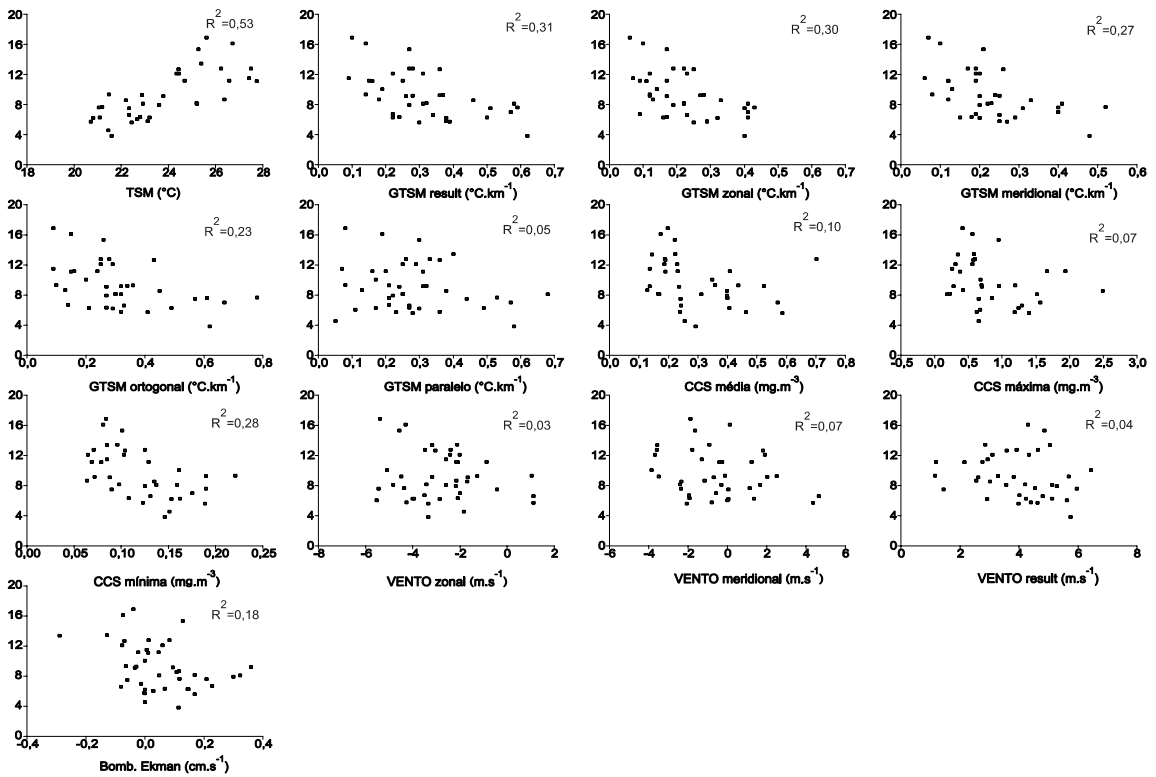


FIGURA 4.33 – Relações entre $\bar{\lambda}'_h$ e as variáveis ambientais.

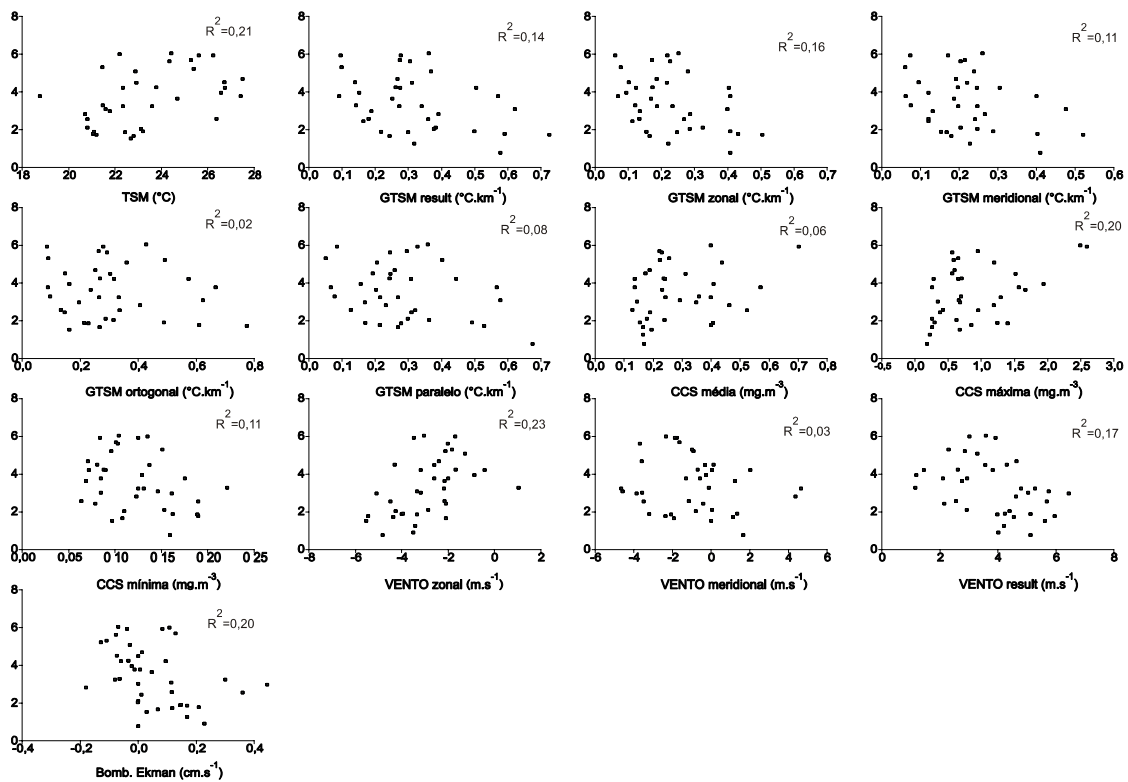


FIGURA 4.34 – Relações entre $\bar{\lambda}'_{2002}$ e as variáveis ambientais.

As análises de regressão múltipla resumiram os resultados das regressões simples ajustando modelos entre os dados de captura e as variáveis ambientais. De modo geral, os modelos finais foram ajustados com poucas variáveis significativas.

Os dados de captura referentes a base histórica foram os que apresentaram os melhores resultados com $R^2=0,61$ e $0,64$ para a $CPUE_h$ e $\bar{\lambda}'_h$, respectivamente. Os coeficientes de determinação mais altos podem estar indicando que a informação contida na base histórica deve ter alguma relação com as condições ambientais médias da região. Para os dados de captura de 2002 ($CPUE_{2002}$ e $\bar{\lambda}'_{2002}$), foram observadas relações com as variáveis ambientais com $R^2=0,42$ e $0,45$, respectivamente. Estas relações podem ser consideradas boas, tendo em vista a baixa qualidade dos dados e da resolução espacial utilizada. As estimativas ($\bar{\lambda}'_h$ e $\bar{\lambda}'_{2002}$) apresentaram um R^2 mais alto que as CPUEs ($CPUE_h$ e $CPUE_{2002}$) em ambas as séries de dados. Esse resultado sugere que o cálculo das estimativas é uma medida razoável da CPUE real obtida (Tabela 4.2).

TABELA 4.2 – Resumo dos resultados das análises de regressão múltipla entre as variáveis ambientais e os dados de captura.

Variáveis Dependentes	n	Intercepto	Variáveis independentes	Coefficiente	Erro Padrão	Valor-p	R ²
CPUE _h	36	-12,657	TSM	0,985	0,184	0,000	0,61
			GTSM res.	-7,536	3,593	0,044	
$\bar{\lambda}'_h$	30	-	TSM	0,461	0,039	0,000	0,64
			GTSM zon.	-12,418	3,409	0,001	
			VENTO zon.	-0,675	0,264	0,017	
			B. Ekman	-10,263	3,858	0,013	
CPUE ₂₀₀₂	30	-5,843	TSM	0,333	0,086	0,001	0,42
			CCS max.	0,998	0,324	0,004	
$\bar{\lambda}'_{2002}$	29	-	TSM	0,169	0,022	0,000	0,45
			CCS max.	0,759	0,312	0,022	
			VENTO zon.	0,387	0,131	0,006	

A TSM foi a única variável que esteve presente em todos os modelos, mostrando a importância da variável no estudo. Nas análises entre a captura e as variáveis ambientais os gradientes de TSM não foram muito eficientes, estando presentes apenas em um dos modelos (Tabela 4.3). Esses resultados corroboram com Evans *et al.* (1980) e Sund *et al.* (1981) que confirmam a existência de uma relação entre a TSM e os dados de captura (CPUE) do bonito-listrado.

A afirmação que as variáveis que apresentaram uma baixa similaridade entre as demais (Figura 4.30) contribuiriam nos modelos com informações importantes podem ser observadas, no caso do bombeamento de Ekman e a concentração de clorofila máxima. Segundo Vilela (1990), cardumes de bonito-listrado frequentemente associam-se a feições oceânicas de meso-escala, zonas de convergência, frentes oceânicas, ressurgências e outras. Essas feições geralmente intensificam a produtividade oceânica, conseqüentemente a concentração de clorofila-*a* na região. A fraca contribuição dessas variáveis pode ser resultado da baixa resolução espacial utilizada no trabalho, em especial o agrupamento numa única medida, representativa da média, interferindo na verdadeira relação entre elas e os dados de captura. Como já comentado anteriormente, o intervalo de tempo entre a disponibilidade de nutrientes e o aparecimento da espécie alvo também é fator preponderante para o fraco desempenho dessas variáveis.

A componente u do vento esteve presente nos modelos das estimativas. Isso sugere que a variação de ventos no sentido perpendicular à costa seja mais relevante a distribuição da espécie e que realmente os ventos são variáveis que interferem na distribuição de espécies pelágica, como o bonito-listrado. Essa presença da componente u também pode apontar para a ressurgência costeira, induzida por ventos de NE nesta região. Desta forma fica comprovada a importância de se utilizar dados de ventos em estudos pesqueiros, podendo estes dados, segundo Hazin (1993), determinar o comportamento migratório de algumas espécies de peixe.

O acréscimo da TSM, na regressão de $\bar{\lambda}'_h$ com a $CPUE_h$ apresentou um maior poder de explicação da variabilidade com o aumento do coeficiente de determinação de $R^2=0,83$ para 0,88. Apesar de os dados da base histórica não serem referentes ao mesmo período das variáveis ambientais, é possível que haja uma relação entre o comportamento médio das capturas do bonito-listrado e a TSM na região. Na interação das variáveis ambientais com $\bar{\lambda}'_{2002}$ e a $CPUE_{2002}$ o aumento do R^2 de 0,62 para 0,68 foi causado pela inclusão do gradiente resultante da TSM (GTSMres) no modelo. Este resultado reforça a hipótese sugerida no presente trabalho de que o gradiente de TSM possa ter maior poder de explicação da variância observada na CPUE do bonito-listrado (Tabela 4.3). Segundo Maul *et al.* (1984) e Laurs *et al.* (1984) a captura de atuns está fortemente relacionada à regiões com ocorrência freqüente de feições oceânicas de meso-escala, como entradas de frente térmicas marcadas por gradientes de temperatura.

TABELA 4.3 – Resumo dos resultados das análises de regressão múltipla com a interação das variáveis ambientais nas relações entre as estimativas de captura vs. CPUEs.

Variáveis Dependentes	n	Intercepto	Variáveis independentes	Coefficiente	Erro Padrão	Valor-p	R ²
CPUE _h	36	-8,003	$\bar{\lambda}'_h$	0,743	0,090	0,000	0,88
			TSM	0,422	0,142	0,005	
CPUE ₂₀₀₂	33	1,154	$\bar{\lambda}'_{2002}$	0,680	0,103	0,000	0,68
			GTSM zon.	-2,232	1,036	0,039	

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

- A utilização do modelo bayesiano em conjunto com as variáveis ambientais obtidas por sensoriamento remoto demonstrou aplicabilidade na estimativa de captura do bonito-listrado na área de estudo. Apesar de a estatística bayesiana ser uma ferramenta recente em estudos pesqueiros foram observados indícios no presente trabalho, que indicam a sua eficácia em estudos desta natureza.
- As capturas do bonito-listrado por meio de vara e isca-viva, segundo os dados obtidos, oscilaram entre 2.305 e 2.996 toneladas, estando bem abaixo das capturas registradas pela ICCAT. Apesar de abranger os dados de toda à costa brasileira, os dados da ICCAT mostraram capturas oscilando entre 22,5 e 20,5 mil toneladas, para o mesmo período. Esse resultado evidencia a falha na cobertura dos desembarques, a má qualidade dos dados declarados nos diários de bordo e a falta de preenchimento destes diários.
- O cálculo das estimativas de captura ($\bar{\lambda}'_h$ e $\bar{\lambda}'_{2002}$) apresentou coeficientes de determinação de 0,83 e 0,62 com suas referidas CPUEs ($CPUE_h$ e $CPUE_{2002}$), mostrando coerência no cálculo das estimativas, além de ser mais eficientes na atualização semana-a-semana das capturas do que ano-a-ano. Este resultado sugere que o modelo de estimativa possa ser usado como alternativa no gerenciamento do esforço de captura do bonito-listrado.
- Dentre as variáveis ambientais, a temperatura de superfície do mar apresentou uma melhor relação com a CPUE e as estimativas de captura do bonito-listrado, evidenciando a estreita relação entres estes parâmetros. As maiores CPUEs ocorreram durante o verão, com a TSM variando entre 24,5° e 28,0 °C. A baixa resolução espacial utilizada para os dados de captura não foi compatível com o

padrão localizado dos gradientes de TSM, dificultando a identificação de sua relação com as estimativas de captura geradas.

- É possível que a fraca relação entre as variáveis ligadas indiretamente a distribuição do bonito-listrado, a concentração de clorofila- α e o bombeamento de ekman, tenha ocorrido em função da necessidade de se utilizar um “lag” nessas variáveis ao se relacionar com as capturas, já que existe um intervalo de tempo entre a ocorrência destes processos, a intensificação da produção primária e a disponibilidade do bonito listrado à captura.
- O uso combinado das variáveis ambientais, mais especificamente, da TSM, com as estimativas de captura histórica ($\bar{\lambda}'_h$) se aproximou mais da captura real (CPUE_h) do que se utilizadas separadamente, com um R² de 0,88. Essa hipótese é reforçada pelo acréscimo do gradiente resultante da TSM na regressão de $\bar{\lambda}'_{2002}$ com a CPUE₂₀₀₂, contribuindo para um aumento no coeficiente de determinação de 0,62 para 0,68 e reafirmando a importância dos gradientes de TSM em melhor explicar a variância da CPUE do bonito-listrado.

Tendo em vista que a modelagem bayesiana é uma ferramenta recente em estudos pesqueiros, alguns detalhes na sua utilização precisam ser revistos. Através dos resultados obtidos e dos problemas enfrentados durante o presente trabalho, foi possível detectar alguns aspectos a ser reforçados e fazer sugestões para um trabalho futuro. Essas sugestões são:

- Há a necessidade de uma reformulação dos diários de bordo e uma intensificação na cobrança do preenchimento dos mesmos de forma adequada. Informações como captura diária, ao invés de apenas a captura total por viagem e a correta localização geográfica das pescarias são essenciais para a realização de estudos de distribuição e abundância assim como de previsão de captura da espécie em questão.

- A CPUE e as variáveis oceanográficas/ambientais devem ser compatibilizadas no tempo e no espaço, ou seja, deve-se utilizar a mesma série temporal de dados para a CPUE e as variáveis oceanográficas/ambientais. Além disso, a utilização de séries temporais mais longas é absolutamente necessária para a obtenção de resultados mais confiáveis.
- Se possível, as análises estatísticas devem ser feitas ponto-a-ponto comparando-se as séries temporais das variáveis com a CPUE, de outra forma, utilizar médias espaciais desde que as unidades de área tenham uma resolução espacial razoável. Propõe-se a utilização de uma resolução de 1° de latitude por 1° de longitude.
- A utilização de resultados de um modelo regional de circulação oceânica com dados de bombeamento de Ekman e dados de ventos realísticos podem ser testados ao invés das componentes u e v do vento ou rotacional do vento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andrade, H. A. The relationship between the skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) and seasonal temperature variability in the south-western Atlantic. **Fisheries Oceanography**, v. 12, n. 1, p. 10-18, 2003.

Andrade, H. A.; Garcia, C. A. E. Skipjack tuna fishery in relation to sea surface temperature off the southern Brazilian coast. **Fisheries Oceanography**, v. 8, n. 4, p. 245-254, 1999.

Andrade, H. A. A possibilidade da melhoria da estratégia de distribuição do esforço pesqueiro e de aumento da rentabilidade em função do conhecimento das relações existentes entre o recurso explorado e as variações ambientais: o caso da pescaria superficial de atuns na costa sul-sudeste do Brasil. **Prêmio Jovem Cientista**, p. 13-52, 1999. Publicação Resumida dos Trabalhos Vencedores.

Andrade, H. A. **Distribuição, abundância relativa e migração do *Katsuwonus pelamis* (Scombridae) em relação à temperatura da superfície do mar e à dinâmica oceanográfica na costa sudeste-sul do Brasil**. Rio Grande, 148p. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Biológica) - Fundação Universidade do Rio Grande, 1996.

Assireu, A. T. **Estudo das Características Cinemáticas e Dinâmicas das Águas de Superfície do Atlântico Sul Ocidental a partir de Derivadores Rastreados por Satélite**. São Paulo, 174. Tese (Doutorado em Oceanografia Física) – Universidade de São Paulo, 2003.

Baptista, M. C. **Uma análise do campo de vento de superfície sobre o Oceano Atlântico Tropical e Sul usando dados do escaterômetro do ERS**. São José dos Campos, 129p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2003. INPE-9607-TDI/840.

Bray, J. R.; Curtis, J. T. An ordination of the upland forest communities of Southern Wisconsin. **Ecological Monographs**, v.27, p. 325-349, 1957.

Brierley, A. S.; Gull, S. F.; Wafy M. H. A Bayesian maximum entropy reconstruction of stock distribution and inference of stock density from line-transect acoustic-survey data. **ICES Journal of Marine Science**, v.60, p. 446-452, 2003.

Campbell, J.; Antoine, D.; Armstrong, R.; Arrigo, K.; Balch, W.; Barber, R.; Beherenfeld, M.; Bidigare, R.; Bishop, J.; Carr, M-E.; Esaias, W.; Falkowski, P.; Hoepffner, N.; Iverson, R.; Kiefer, D.; Lohrenz, S.; Marra, J.; Morel, A.; Ryan, J.; Vedernikov, V.; Waters, K. Yentsch, C.; Yoder, J. Comparison of algorithms for estimating ocean primary production from surface chlorophyll, temperature, and irradiance. **Global Biogeochemical Cycles**. v.16, n.3, art.1035, 2000.

Campos, E. D. J. **Estudos da circulação oceânica no Atlântico tropical e na região oeste do Atlântico subtropical sul**. São Paulo, 114p. Tese (Livre Docência) - Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, 1995.

Campos, E. D. J.; Gonçalves, J. E.; Ikeda, Y. Water mass characteristics and geostrophic circulation in the South Brazil Bight - summer of 1991. **Journal of Geophysical Research**, v.100, n.6, p. 18537-18550, 1995.

Campos, E. D. J.; Velhote, D.; Silveira, I. C. A. Shelf break upwelling driven by Brazil Current cyclonic meanders. **Geophysical Research Letters**, v.27, n.6, p. 751-754, 2000.

Carr, M-E. Estimation of potential productivity in eastern boundary currents using remote sensing. **Deep-Sea Research II**, v.49, p.58-80, 2002.

Castro, B. M. **Correntes e massas de água da plataforma continental norte de São Paulo**. São Paulo, 248p. Tese (Livre Docência) - Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, 1996.

Castro, B. M.; Miranda, L. B. Physical oceanography of the Western Atlantic Continental Shelf located between 4 °N and 34 °S, coastal segment (4,W). In: Robinson, A. R.; Brink, K. H. (Eds). **The Sea**. New York: John Wiley and Sons, 1998. v. 11, p. 209-251.

Castro, B. M.; Miranda, L. B.; Miyao, S. Y. Condições oceanográficas na plataforma continental ao largo de Ubatuba: variações sazonais e em média escala. **Boletim do Instituto Oceanográfico**, São Paulo, v. 35, n. 2, p. 135-152, 1987.

Clark, C. W. **Mathematical bioeconomics: The optimal management of renewable resources**, 2 ed. New York: John Wiley and Sons, 1990. 400p.

Dizon, A. E.; Brill, R. W.; Yen, H. S. H. Correlations between environment, physiology and activity and effects on thermoregulation in skipjack tuna. In: Sharp, G. D.; Dizon, A. E. (Ed.). **The physiological ecology of tunas**. New York: Academic Press, 1978. p. 233-259.

Emilsson, I. Relatório e resultados físico-químicos de três cruzeiros oceanográficos em 1956. **Contribuições Avulsas do Instituto Oceanográfico**, São Paulo, v. 1, p. 1-70, 1956.

Emilsson, I. The shelf and coastal waters off Southern Brazil. **Boletim do Instituto Oceanográfico**, São Paulo, v.17, n.2, p.101-112, 1961.

Evans, D. L.; Signorini, S. R. Vertical structure of the Brazil Current. **Nature**, v.315, p.48-50, 1985.

Evans, R.H., Mclain, D.R.; Bauer, R.A. Atlantic skipjack tuna: influences of the environment on their vulnerability to surface gear. **Collective Volume of Scientific Papers ICCAT**. SCRS/79/80. n. 9, p. 264-274, 1980.

Fonteles Filho, A. A. **Recursos pesqueiros: biologia e dinâmica populacional**. Fortaleza, Ceará: Imprensa Oficial do Ceará, 1989. 296 p.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). **The state of world fisheries and aquaculture 2002**. Roma, 2002.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). **The state of world fisheries and aquaculture 2000**. Roma, 2000.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). **The Rome Consensus on World Fisheries**. Roma, 1995.

Food and Agriculture Organization of United Nations (FAO). **Fishing technique fact sheet**. [online] Disponível em: <www.fao.org/figis/servlet/fishtech?fid=30>. Acesso em 05 de janeiro de 2005c.

Food and Agriculture Organization of United Nations (FAO). Managing Fishing Capacity of the World Tuna Fleet. **FAO Fisheries Circular**, n.982, 67p. Roma, 2003.

Food and Agriculture Organization of United Nations (FAO). Review of the state of world fishery resources: marine fisheries. **FAO Fisheries Circular**, n.920, 173p. Roma, 1997.

Food and Agriculture Organization of United Nations (FAO). **Species fact sheet**. [online] Disponível em: <www.fao.org/figis/servlet/species?fid=2494>. Acesso em 05 de janeiro de 2005a.

Food and Agriculture Organization of United Nations (FAO). **Species distribution maps**. [online] Disponível em: <www.fao.org/figis/servlet/static?dom=root&xml=maps/index.xml>. Acesso em 05 de janeiro de 2005b.

Garfield, N. **The Brazil Current at subropical latitudes**. Kingston, 122p. Thesis - University of Rhode Island, 1990.

Gelman, A.; Carlin, J.; Stern, H.; Rubin, D. **Bayesian data analysis**. London: Chapman and Hall, 1995. 552p.

Goddard Space Flight Center (GSFC). **About MODIS**. [online] Disponível em: <modis.gsfc.nasa.gov/about/index.html>. Acesso em 15 de janeiro de 2004b.

Goddard Space Flight Center (GSFC). **An Overview of SeaWiFS and the SeaStar Spacecraft**. [online] Disponível em:

<seawifs.gsfc.nasa.gov/SEAWIFS/SEASTAR/SPACECRAFT.html>. Acesso em 15 de janeiro de 2004a.

Goodyear, C. P. Red snapper in U.S. waters of the Gulf of Mexico. **MIA-95/96-05. Southeast Fisheries Science Center**. Miami. 1995, 171p.

Hammond, T. R.; O'Brien, C. M. An application of the Bayesian approach to stock assessment model uncertainty. **ICES Journal of Marine Science**, v.58, p. 648-656, 2001.

Hazin, F. H. V. **Fisheries oceanographical studies on tunas, billfishes and sharks in the southwestern equatorial Atlantic Ocean**. Tóquio. 286p. Tese (Doutorado) – Universidade de Pesca de Tóquio, 1993.

Hilborn, R.; Mangel, M. **The Ecological Detective**. New Jersey: Princeton University, 1997. 552p.

Huthnance, J. M. Waves and currents near the continental shelf edge. **Progress in Oceanography**, v.10, p.193-226, 1981.

International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas (ICCAT). **Report of the 2004 meeting of the standing committee on research & statistics (SCRS)** [online]. Disponível em: <www.iccat.es>. Acesso em dezembro de 2004.

International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas (ICCAT). Executive Summary SKJ. **ICCAT Report 2002-03 (II)** [online]. Disponível em: <www.iccat.es>. Acesso em dezembro de 2003a.

International Commission for the Conservation of Atlantic Tunas (ICCAT). **Report of the ICCAT SCRS skipjack: Stock assessment session** [online]. Disponível em: <www.iccat.es>. Acesso em dezembro de 2003b.

Jensen, J. R. **Remote sensing of the environment: an earth resource perspective**. New Jerser: Prentice-Hall, 2000. 544 p.

Jet Propulsion Laboratory (JPL). **Missions - SeaWinds on QuikSCAT**. [online] Disponível em: <winds.jpl.nasa.gov/missions/quikscat/index.cfm>. Acesso em janeiro de 2004.

Kampel, M. **Estimativa da produção primária e biomassa fitoplanctônica através de sensoriamento remoto da cor do oceano e dados *in situ* na Costa Sudeste Brasileira**. São Paulo, 279p. Tese (Doutorado em Oceanografia Biológica) - Universidade de São Paulo, 2003.

Kidwell, K. B. **NOAA polar orbiter data (TIROS-N, NOAA-6, NOAA-7, NOAA-8, NOAA-9, NOAA-10, NOAA11 and NOAA-12): user guide**. (National Oceanic and Atmospheric Administration, Washington, 1993. Technical report.

Kirk, J. T. O. **Light and photosynthesis in aquatic ecosystems**. 2.ed. New York: Cambridge University, 1994. 509p.

Kitchell, J. F.; Neill, W. H.; Dizon, A. E.; Magnuson, J. J. Bioenergetic spectra of skipjack and yellowfin tunas. In: Sharp, G. D.; Dizon, A. E. (Ed.). **The physiological ecology of tunas**. New York: Academic, 1978. 357-368p.

Kousky, V. E. Frontal influences on northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, v. 107, n. 9, p. 1140-1153, 1979.

Kundu, P. K. **Fluid Mechanics**. San Diego: Academic, 1990. 637p.

Laur, R.M., Fiedler, P.C.; Montgomery, D.R. Albacore tuna catch distributions relative to environmental features observed from satellites. **Deep-Sea Research**. v. 31, p. 1085-1099, 1984.

Lowe, T.E; Brill, R. W.; Cousins, K. L. Responses of the red blood cells from two high energy-demand teleosts, yellow tuna (*Thunnus albacares*) and skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*), to catecholamines. **Journal of Comparative Physiology B**, v. 168, n. 6, p. 405-418, Mar. 1998.

Mascarenhas Jr., A. Miranda, L. B.; Rock, N. J. A study of oceanographic conditions in the region of Cabo Frio. In: Costlow, J. D. Ed. **Fertility of the sea**, New York: Gordon and Breach, 1971. v.1, p.285-308.

Matsuura, Y. Contribuição ao estudo da estrutura oceanográfica da região sudeste entre Cabo Frio (RJ) e Cabo de Santa Marta (SC). **Ciência e Cultura**, v.38, n.8, p.1439-1450, 1986.

Matsuura, Y. Perspectiva da pesca de bonitos e atuns no Brasil. **Ciência e Cultura**, v.34, n.3, p.333-339, 1982.

Matsuura, Y.; Andrade, H. A. Synopsis of biology of skipjack tuna population and related environmental conditions in Brazilian waters. **Collective Volume of Scientific Papers ICCAT ICCAT**. SCRS/99/66. p.395-401, 2000.

Maul, G.A., Willians, F., Roffer, M. and Sousa, F.M. Remotely sensed oceanographic patterns and variability of bluefin tuna catch in the Gulf of Mexico. **Ocean Acta**. v. 7, p. 469-479, 1984.

McAllister, M. K.; Ianelli, J. N. Bayesian stock assessment using catch-age data and the sampling importance resampling algorithm. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science**, v.54, p. 284-300, 1997.

McAllister, M. K.; Kirkwood, G. P. Using Bayesian decision analysis to help achieve a precautionary approach for managing developing fisheries. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science**, v.55, p. 2642-2661, 1998.

Miranda, L. B. **Análise de massa de água de plataforma continental e da região oceânica adjacente: Cabo de São Tomé (RJ) à Ilha de São Sebastião (SP)**. São Paulo, 194p. Tese (Livre Docência) - Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, 1982.

Nakamura, E. L. **Tuna distribution and migration**. London: Fishing News Books, 1969. 76p.

Neter, J.; Wasserman, W.; Kutnr, M. H. **Applied linear regression models**. USA: IRWIN, 1989. 667 p.

Niwa, H-S. Migration dynamics of fish schools in heterothermal environments. **Journal of Theoretical Biology**. v. 193, p. 215-231, 1998.

Novo, E. M. L. M. Comportamento espectral da água. In: Meneses, P. R.; Netto, J. S. M. (Eds.), **Sensoriamento remoto: reflectância dos alvos naturais**. Brasília: Universidade de Brasília, 2001. p. 203-222.

Oliveira, E. N. **Estimativas de correntes oceânicas superficiais pelo método da máxima correlação cruzada**. São José dos Campos, 102p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2003. INPE-9583-TDI/839.

O'Reilly, J. E. et al. Ocean color chlorophyll algorithms for SeaWiFS, OC2 and OC4 version 4. **SeaWiFS Postlaunch Technical Report Series**, v. 11, p. 9-23, 2000.

Orange, C. J. Spawning of yellowfin tuna and skipjack in the eastern tropical Pacific as inferred from studies of ganad development. **Bulletin of Inter-American Tropical Tuna Commission**. v. 5, p. 457-526, 1961

Paiva, M. P. **Recursos pesqueiros estuarinos e marinhos do Brasil**. Fortaleza: EUFC. 1997. 287p

Peterson, R. G.; Stramma, L. Upper level circulation in the South Atlantic Ocean. **Progress in Oceanography**, v.26, p.1-73, 1991.

Piola, A. R.; Campos, E. J. D.; Möller, O. O.; Charo, M.; Martinez, M. The subtropical shelf front off eastern South América. **Journal of Geophysical Research**, v.105, n.3, p.6565-6578, 2000.

Platt, T.; Caverhill, C.; Sathyendranath, S. Basin-scale estimates of oceanic primary production by remote sensing: the North Atlantic. **Journal of Geophysical Research**, v.96, n.C8, p.15.147-15.159, 1991.

Polito, P. S.; Sato, O. T. **Oceanografia por satélites**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2004. 51p. Apostila.

- Pond, S.; Pickard, G. L. **Descriptive Physical Oceanography: an introduction**. Great Britain: Pergamon, 1978. 241p.
- Pond, S.; Pickard, G. L. **Introductory dynamical oceanography**. Trowbridge, Inglaterra: Pergamon Textbook Inspection Copy Service, 1983. 329p.
- Power, J.H.; May, L.N. Jr. Satellite observed seasurface temperatures and yellowfin tuna catch and effort in the Gulf of Mexico. **Fishery Bulletin**. v. 89, p. 429-439, 1991.
- Punt, A. E. The implications of some multiple stock hypotheses for Chatham Rise orange roughy. **NZ Fisheries Assessment Research Document 93/16**. 1993.
- Robinson, I. S. **Satellite oceanography - an introduction for oceanographers and remote-sensing scientists**. Inglaterra: Ellis Horwood, 1985. 455 p.
- Roughgarden, J.; Smith, F. Why fisheries collapse and what to do about it. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v 93, p. 5078-5083, 1996.
- Santos, A. M. P. Fisheries oceanography using satellite and airborne remote sensing methods: a review. **Fisheries Oceanography**, v. 49, p. 1-20, 2000.
- Secretaria Especial de Aquicultura e Pesca (SEAP). **Profrota pesqueira: Um Programa Estratégico para o Brasil**. Brasília, 2003. 56 p.
- Shafer, G., Pearl, J. **Readings in Uncertain Reasoning**. California: Morgan Kaufmann. 1990. 768p.
- Siegel, S. **Estatística não-paramétrica: Para as ciências do comportamento**. São Paulo: McGraww-Hill. 1975. 350p.
- Silva Júnior, C. L.; Kampel, M.; Salles de Araújo, C. E.; Stech, J. L. Observação da penetração do ramo costeiro da Corrente das Malvinas na costa sul-sudeste do Brasil a partir de imagens AVHRR. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 8, Salvador, 1996. **Anais...** São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2006.
- Silveira, I. C. A. da; Miranda, L. B.; Brown, W. S. On the origins of the North Brazil Current. **Journal of Geophysical Research**, v99, n.11, p.22501-22512, 1994.
- Silveira, I. C. A. da; Schmidt, A. C. K.; Campos, E. J. D.; Godoi, S. S.; Ikeda, Y. A Corrente do Brasil ao largo da Costa leste Brasileira. **Revista Brasileira de Oceanografia**, v.48, n.2, p.171-183, 2000.
- Stech, J. L.; Lorenzetti, J. A. The response of the South Brazil Blight to the passage of wintertime cold fronts. **Journal of Geophysical Research**, v. 97, n. C6, p. 9507-9520, 1992.

Stevenson, M. A.; Dias-Brito, D.; Stech, J. L.; Kampel, M. How do cold water biota arrive in a tropical bay near Rio de Janeiro, Brazil? **Continental Shelf Research**, v.18, p.1595-1612, 1998.

Stewart, R. H. **Methods of satellite oceanography**. San Diego, EUA: Scripps Institution of Oceanography, 1985. 360 p.

Stramma, L.; Ikeda, Y.; Peterson, R. G. Geostrophic transport in the Brazil Current region north of 20°S. **Deep Sea Research**, v.37, p.1875-1886, 1990.

Sund, P.N., Blackburn, M.; William, F. Tunas and their environment in the Pacific Ocean: a review. **Oceanography and Marine Biology**, v. 19, p. 443-512, 1981.

Sverdrup, H. U.; Johnson, M. W.; Fleming, R. H. **The Oceans: their physics, chemistry and general biology**. Englewood Cliffs: Prentice-Hall. 1942. 1087p.

Tchernia, P. **Descriptive regional oceanography**. Oxford: Pergamon. 1980. 253p.

Tomczak, M.; Godfrey, J. S. **Regional Oceanography: an introduction**, Dec, 2001. [online]. Disponível em : <www.lei.furg.br/ocfis/mattom/regoc/pdfversion.html> Acesso em 20 dezembro de 2003.

Travassos, P.; Hazin, F. H. V.; Zagaglia, J. R.; Advíncula, R.; Schober, J. Thermohaline structure around seamounts and islands off North-Eastern Brazil. **Archieve of Fishery and Marine Research**, v.47, n.2-3, p.211-222, 1999.

Varis, O. Bayesian decision analysis for environmental and resource management. **Environmental Modelling & Software**, v.12, n.2-3, p.177-185, 1997.

Vilela, M. J. A. **Idade, crescimento, alimentação e avaliação do estoque de bonito listrado, *Katsuwonus pelamis* (Scombridae: Thunnini), explorado na região sudeste-sul do Brasil**. Rio Grande, 81p. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) - Fundação Universidade do Rio Grande, 1990.

Vinayachandran, P. N.; Mathew, S. Phytoplankton bloom in the Bay of Bengal during the northeast monsoon and its intensification by cyclones. **Geophysical Research Letters**, v.30, n.11, p. 1572, 2003.

Walters, C. J.; Ludwig, D. Calculation of Bayes posterior probability distributions for key population parameters: a simplified approach. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, v.51, p. 713-722, 1994.

Wang, J. D.; Connors, J. J. **Mathematical modeling of near coastal circulation**. Cambridge: Massachussets Institute of Technology, 1975. (Technical Report 200).

Yáñez, E.; Barbieri, M. A.; Silva, C.; Nieto, K.; Espíndola, F. Climate variability and pelagic fisheries in northern Chile. **Progress in Oceanography**, v.49, p.581–596, 2001.

Zagaglia, C. R. **Técnicas de sensoriamento remoto aplicadas à pesca de atuns no atlântico oeste equatorial**. São José dos Campos, 180p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2003. INPE-9862-TDI/869.

Zembruski, S. G. Geomorfologia da margem continental sul brasileira e das bacias oceânicas adjacentes. In: Hernani A. F. Chaves, (Eds.) **Geomorfologia da margem continental brasileira e das áreas oceânicas adjacentes**. (Relatório Final). Rio de Janeiro: PETROBRÁS, CENPES, DINTEP, 1979. p.129-177.