MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21c/2018/07.19.21.04-TDI

DETERMINAÇÃO DA CONECTIVIDADE ECOLÓGICA ENTRE AS ILHAS OCEÂNICAS BRASILEIRAS E A PLATAFORMA CONTINENTAL NORTE E LESTE DO BRASIL

Clarissa Akemi Kajiya Endo

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, orientada pelos Drs. Douglas Francisco Marcolino Gherardi, e Luciano Ponzi Pezzi, aprovada em 09 de agosto de 2018.

URL do documento original:
<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34R/3RFQJBS>

INPE
São José dos Campos
2018

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Gabinete do Diretor (GBDIR)
Serviço de Informação e Documentação (SESID)
CEP 12.227-010
São José dos Campos - SP - Brasil
Tel.:(012) 3208-6923/7348
E-mail: pubtc@inpe.br

COMISSÃO DO CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELECTUAL DO INPE (DE/DIR-544):

Presidente:

Dr. Marley Cavalcante de Lima Moscati - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CGCPT)

Membros:

Dra. Carina Barros Mello - Coordenação de Laboratórios Associados (COCTE)

Dr. Alisson Dal Lago - Coordenação-Geral de Ciências Espaciais e Atmosféricas (CGCEA)

Dr. Evandro Albiach Branco - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (COCST)

Dr. Evandro Marconi Rocco - Coordenação-Geral de Engenharia e Tecnologia Espacial (CGETE)

Dr. Hermann Johann Heinrich Kux - Coordenação-Geral de Observação da Terra (CGOBT)

Dra. Ieda Del Arco Sanches - Conselho de Pós-Graduação - (CPG)

Silvia Castro Marcelino - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

BIBLIOTECA DIGITAL:

Dr. Gerald Jean Francis Banon

Clayton Martins Pereira - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

Simone Angélica Del Ducca Barbedo - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

André Luis Dias Fernandes - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Marcelo de Castro Pazos - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

Murilo Luiz Silva Gino - Serviço de Informação e Documentação (SESID)

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

sid.inpe.br/mtc-m21c/2018/07.19.21.04-TDI

DETERMINAÇÃO DA CONECTIVIDADE ECOLÓGICA ENTRE AS ILHAS OCEÂNICAS BRASILEIRAS E A PLATAFORMA CONTINENTAL NORTE E LESTE DO BRASIL

Clarissa Akemi Kajiya Endo

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, orientada pelos Drs. Douglas Francisco Marcolino Gherardi, e Luciano Ponzi Pezzi, aprovada em 09 de agosto de 2018.

URL do documento original:
<http://urlib.net/8JMKD3MGP3W34R/3RFQJBS>

INPE
São José dos Campos
2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Endo, Clarissa Akemi Kajiya.

En25d Determinação da conectividade ecológica entre as ilhas oceânicas brasileiras e a plataforma continental norte e leste do Brasil / Clarissa Akemi Kajiya Endo. – São José dos Campos : INPE, 2018.

xxii + 97 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m21c/2018/07.19.21.04-TDI)

Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2018.

Orientadores : Drs. Douglas Francisco Marcolino Gherardi, e Luciano Ponzi Pezzi.

1. Sparisoma. 2. Modelo baseado em indivíduo. 3. Modelagem biofísica. 4. Peixes recifais. 5. Atlântico tropical. I.Título.

CDU 316.455:574(81)

Esta obra foi licenciada sob uma Licença Creative Commons Atribuição-NãoComercial 3.0 Não Adaptada.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 3.0 Unported License.

Aluno (a): *Clarissa Akemi Kajiya Endo*

Título: "DETERMINAÇÃO DA CONECTIVIDADE ECOLÓGICA ENTRE AS ILHAS OCEÂNICAS BRASILEIRAS E A PLATAFORMA CONTINENTAL NORTE E LESTE DO BRASIL"

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

Dr. João Antonio Lorenzzetti

Presidente / INPE / SJCampos - SP

( ) *Participação por Video - Conferência*

(✓) *Aprovado* ( ) *Reprovado*

Dr. Douglas Francisco Marcolino Gherardi

Orientador(a) / INPE / SJCampos - SP

( ) *Participação por Video - Conferência*

(X) *Aprovado* ( ) *Reprovado*

Dr. Luciano Ponzi Pezzi

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

( ) *Participação por Video - Conferência*

(X) *Aprovado* ( ) *Reprovado*

Dr. Tito Monteiro da Cruz Lotufo

Convidado(a) / USP/IO / São Paulo - SP

( ) *Participação por Video - Conferência*

(X) *Aprovado* ( ) *Reprovado*

Este trabalho foi aprovado por:

( ) *maioria simples*

(✓) *unanimidade*

São José dos Campos, 09 de agosto de 2018

"Quando a vida te decepciona, qual é a solução?
Continue a nadar! Continue a nadar! Continue a nadar, nadar,
nadar... Para achar a solução, nadar!".

Dory
em *"Procurando Nemo"*, 2003

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família pelo apoio incondicional durante todo o mestrado, para perseguir meus objetivos e por toda a paciência ao longo do processo.

Agradeço aos meus orientadores Dr. Douglas Gherardi e Dr. Luciano Pezzi pelos ensinamentos, orientação, oportunidades e tempo dedicado a este trabalho. Obrigada pela oportunidade de aprender com vocês.

Agradeço aos colegas do Laboratório de Estudos do Oceano e da Atmosfera (LOA) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Agradeço ao Leonardo Nascimento Lima e ao Nelson de Almeida Gouveia pelo auxílio, dedicação e paciência para me ensinar e me auxiliar ao longo deste trabalho.

Agradeço ao INPE e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de mestrado.

Agradeço também à todos os professores e colegas da pós-graduação que contribuíram para minha formação.

Agradeço aos amigos me apoiaram e me ajudaram ao longo desta jornada, especialmente aos amigos da 2C, que tornaram o dia-a-dia do mestrado mais leves e divertidos. Agradeço também ao Wladimir A. Faé Neto pelo apoio, pelas inúmeras ajudas e leituras deste trabalho.

À todos que contribuíram para minha formação e elaboração deste trabalho, muito obrigada!

RESUMO

Populações que ocupam diferentes regiões não estão necessariamente isoladas, pois há troca genética através do intercâmbio de indivíduos o que possibilita a recolonização e manutenção das populações. Entender a conectividade populacional é importante para o estabelecimento de medidas de manejo de espécies endêmicas, ameaçadas ou invasoras, especialmente em ambientes de ilhas oceânicas devido a sua elevada importância ecológica e por serem ambientes sensíveis aos impactos antrópicos. Assim, o objetivo deste trabalho é determinar os padrões de conectividade ecológica entre as unidades de conservação na plataforma continental norte e leste e nas ilhas oceânicas do Brasil. O modelo hidrodinâmico *Regional Oceanic Modelling System* - ROMS foi utilizado para fornecer os parâmetros físicos do ambiente, utilizados pelo modelo baseado em indivíduo Ichthyop (v.3.3). Este último utiliza também dados biológicos de *Sparisoma* spp., popularmente conhecidos como budião ou peixe-papagaio, para obter a dispersão dos estágios iniciais do ciclo de vida. O experimento biológico foi realizado para verão (Janeiro e Fevereiro) e inverno (Julho e Agosto) do período entre 2008 e 2015, considerando as unidades de conservação na costa brasileira e as ilhas oceânicas. Os resultados do modelo hidrodinâmico foram comparados com dados de sensores remotos, análises, reanálises e boias e representaram corretamente os principais processos oceanográficos, com boa representação dos campos de temperatura, salinidade e correntes superficiais. Os resultados mostraram a influência sazonal da Zona de Convergência Intertropical no oceano subjacente e sua variação sazonal, principalmente na região da bifurcação do ramo sul da Corrente Sul Equatorial para a formação da Corrente do Brasil e da Corrente Norte do Brasil (CNB) e a retroflexão da CNB. Os resultados do modelo baseado em indivíduo mostram uma baixo recrutamento e baixa conectividade entre as regiões, sendo que no verão apenas a Costa dos Corais é fonte de larvas para as demais regiões e Trindade é a única ilha que apresenta auto-recrutamento. No inverno, a Costa dos Corais, Recife dos Corais e Fernando de Noronha são fonte de partículas para as demais regiões, e o recrutamento só ocorre em Parcel do Manuel Luis, Recife dos Corais e em Costa dos Corais. Há baixa conectividade entre as unidades de conservação presentes na costa brasileira, evidenciando um cenário crítico para a conservação de espécies de peixes recifais.

Palavras-chave: *Sparisoma*. Modelo baseado em individuo. Molagem biofísica. Peixes recifais. Atlântico tropical.

ECOLOGICAL CONNECTIVITY AMONG THE BRAZILIAN OCEANIC ISLANDS AND THE NORTH AND EAST CONTINENTAL SHELF

ABSTRACT

Populations that occupy different regions in the oceans are not necessarily isolated, because there is a genetic exchange through the migration of individuals, which has been a crucial factor to allow the recolonization and the maintenance of these populations. Therefore, the understanding of the population connectivity is important in order to establish management measures for endemic, threatened and invasive species. It is especially important for environments such as oceanic islands, where a great ecological importance and sensitivity to anthropogenic impacts have been reported. Hence, the main objective of this study is to determine the ecological connectivity patterns in the North and East continental shelf and oceanic islands of Brazil. Biophysical models are important tools for this kind of investigation. This study used the hydrodynamical model named Regional Oceanic Modelling System as the physical component to provide the physical parameters for the individual based model (Ichthyop v.3.3), which also requires biological and reproductive information to obtain the dispersion of the early life stages of *Sparisoma* spp. The biological experiments were performed for the summer (January and February) and winter (July and August) from 2008 until 2015 considering marine protected areas in the Brazilian coast and its oceanic islands. The hydrodynamical model results were validated with respect to remote sensing and *in situ* observations, and analysis and reanalysis products. The model exhibited the capability to accurately represent the main oceanographic processes in the study region, with good representation of temperature, salinity and surface currents. The results showed the seasonal influence of the Intertropical Convergence Zone in the ocean, particularly in the bifurcation of the South Equatorial Current into the Brazil Current and the Brazil North Current and the retroflection of the Brazil North Current. The results from the individual based model evidenced low recruitment and connectivity among all regions. In summer only Costa dos Corais is a larvae source to the other regions and Trindade island is the only to auto-recruit. In winter Costa dos Corais, Recife dos Corais and Fernando de Noronha are particle sources to the other regions, but recruitment is observed in Parcel do Manuel Luis, Recife dos Corais and Costa dos Corais. Overall, there is low connectivity among the marine protected areas in Brazil, highlighting a critical scenario for reef fish species conservation.

Keywords: *Sparisoma*Individual based model. Biophysical modeling. Reef fish. Tropical Atlantic.

LISTA DE FIGURAS

Pág.

2.1 Representação esquemática da circulação de larga escala do Atlântico sudoeste. 7
2.2 Representação esquemática tridimensional das correntes de superfície e sub-superfície próximas à costa do Brasil. Note a bifurcação da Corrente Sul Equatorial ao aproximar-se da costa do Brasil. 8
2.3 Metapopulaçãoes e o intercâmbio de indivíduos. 11
2.4 Processos que atuam na determinação da conectividade populacional via dispersão larval e fatores que a influenciam até o momento do assentamento. 13
2.5 Exemplares de *Sparisoma amplum*, fotos à esquerda (A. juvenil e B. adulto), e de *Sparisoma rocha*, espécie endêmica da costa brasileira, fotos à direita (A. fase intermediária e B. adulto). 18

3.1 Representação da área de estudo 22
3.2 Representação das coordenadas sigma da grade elaborada para este estudo com corte na latitude de 20°S. 28
3.3 Etapas envolvidas no desenvolvimento do trabalho. 36

4.1 Campos médios de temperatura da superfície do mar, (A) e (B) obtidos nos experimentos com o ROMS e (C) e (D) da análise OSTIA, para o verão (coluna da esquerda) e para o inverno (coluna da direita). A linha preta contínua representa a isóbata de 200m. 38
4.2 (A) e (B) o RMSD calculado entre o OSTIA e a TSM resultantes dos experimentos com o ROMS e (C) e (D) o viés entre as soluções do modelo e dado de referência, para o verão (coluna da esquerda) e para o inverno (coluna da direita). A linha preta contínua representa a isóbata de 200m. 39
4.3 Campos médios de salinidade da superfície do mar obtidas a partir dos experimentos utilizando o ROMS para o verão e o inverno. A linha preta contínua representa a isóbata de 200m. 40
4.4 (A) e (B) Campos médios de SSM dos dados do SMOS, (C) e (D) o RMSD calculado entre o SMOS e a SSM resultantes dos experimentos com o ROMS e (E) e (F) o viés entre as soluções do modelo e dado de referência, para o verão (coluna da esquerda) e para o inverno (coluna da direita). Para o intervalo de tempo entre 2010 e 2015, sendo que o verão corresponde aos meses de Janeiro e Fevereiro e o inverno à Julho e Agosto. 42

4.5 Campos médios de altura da superfície do mar obtidas a partir dos experimentos utilizando o ROMS (A) e (B) e campos de topografia dinâmica absoluta (C) e (D), para o verão (coluna da esquerda) e o inverno (coluna da direita). A linha preta contínua representa a isóbata de 200m. 43
4.6 (A) e (B) RMSD calculado entre ASM e ζ resultantes dos experimentos com o ROMS e (C) e (D) o viés entre as soluções do modelo e dado de referência, para o verão (coluna da esquerda) e para o inverno (coluna da direita). A linha preta contínua representa a isóbata de 200m. 44
4.7 Campos médios de velocidade zonal e meridional dos campos obtidos à partir do ROMS e da referência utilizada (OSCAR). Para o intervalo de tempo entre 2004 e 2015, sendo que o verão corresponde aos meses de Janeiro e Fevereiro e o inverno à Julho e Agosto. 46
4.8 Campos de RMSD obtidos a partir das soluções do ROMS e da referência utilizada (OSCAR) para correntes zonais e meridionais. 47
4.9 Perfis verticais para os primeiros 500 m da coluna d'água comparando dados de temperatura das boias PIRATA (linhas tracejadas e círculos) e do ROMS (linhas contínuas e estrelas) para o período do verão e do inverno. A localização das boias está indicada na figura 3.1 (triângulos laranja). 48
4.10 Perfis verticais para os primeiros 120 m da coluna d'água comparando dados de salinidade das boias PIRATA (linhas tracejadas e círculos) e do ROMS (linhas contínuas e estrelas) para o período do verão e do inverno. A localização das boias está indicada na figura 3.1 (triângulos laranja). . 49
4.11 Velocidade meridional (ms^{-1}) média para as latitudes de 5°S, 13°S, 22°S e 30°S para o verão e o inverno. O eixo vertical $z \leq 1000$m foi expandido para melhor visualização. A localização das secções latitudinais estão ilustrada na figura 3.1 por linhas em ciano. Valores positivos (negativos) de velocidade indicam fluxo para norte (sul). 50

5.1 Taxa de mortalidade em todo o domínio ao longo do tempo de simulação (58 dias) no MBI para cada ano (2008 a 2015) no verão e no inverno. . . 52
5.2 Mortalidade total média para os experimentos de verão (gráfico à esquerda) e inverno (gráfico à direita) de cada ano, onde cada cor representa a mortalidade de cada região. 53

5.3 Mortalidade total particionada entre os tipos de mortalidade em cada ano (2008 - 2015), sendo que a cor azul representa a mortalidade por temperaturas menores que 24°C, a cor vermelha a mortalidade por temperaturas superiores a 30°C e a cor verde a mortalidade por advecção para fora do domínio. 54
5.4 Trajetória percorrida pelas partículas vivas desde o início do experimento até o último dia da simulação para o verão de cada ano (2008 - 2015), onde cada cor representa uma região desova. 56
5.5 Trajetória percorrida pelas partículas vivas desde o início do experimento até o último dia da simulação para o inverno de cada ano (2008 - 2015), onde cada cor representa uma região desova. 57
5.6 Boxplot do deslocamento total (km) das partículas ao longo da simulação no verão para os anos de 2008-2015. 58
5.7 Boxplot do deslocamento total (km) das partículas ao longo da simulação no inverno para os anos de 2008-2015. 59
5.8 Recrutamento para os experimentos de verão (gráfico à esquerda) e de inverno (gráfico à direita), onde as cores representam cada região de recrutamento das partículas. Os dados foram transformados utilizando a raíz quadrada para facilitar a vizualização gráfica, mas no eixo Y estão representados os valores reais do recrutamento. 61
5.9 Auto-recrutamento para os experimentos de verão (gráfico à esquerda) e de inverno (gráfico à direita), onde as cores representam cada região de recrutamento das partículas. 61
5.10 Matriz de probabilidade de transição média para os anos de 2008 a 2015 áreas fonte (desova, eixo y) e sumidouro (recrutamento, eixo x) para o verão e o inverno. A linha diagonal preta indica região de auto-recrutamento. 62
5.11 Mapa síntese da mortalidade, recrutamento e auto-recrutamento para o período de 2008 - 2015 no verão. 65
5.12 Mapa síntese da mortalidade, recrutamento e auto-recrutamento para o período de 2008 - 2015 no inverno. 66
5.13 Mapa ilustrativo da posição das novas áreas de recrutamento em potencial baseado no conceito de Unidades de Conservação de Grande Escala (UCGE). Onde APPA em verde escuro, MACE em laranja, RNSE em lilás, BARJ em rosa e MTTR em verde claro e em amarelo estão representadas às áreas correspondentes as UCs. 68
5.14 Matriz de conectividade mostrando as 9 áreas fonte de indivíduos no eixo y, constituídas pelas unidades de conservação e as 5 novas áreas sumidouro com potencial para recrutamento, eixo x. 68

LISTA DE TABELAS

Pág.

2.1 Subcategorias das unidades de conservação segundo o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza. 16

3.1 Unidades de conservação utilizadas como locais de reprodução e recrutamento de *Sparisoma* sp.. (*) APAs criadas após a execução dos experimentos, então as área utilizadas foram baseadas na batimetria. (**) Para a região de Cabo Frio não foi utilizada apenas a área da APA Pau Brasil, mas sim uma área maior para que a região de Arraial do Cabo também fosse abrangida. 23

3.2 Rios, nome das estações fluviométricas e respectivos códigos da ANA para cada rio. Exceto para o rio da Prata, cujos dados foram obtidos junto Instituto Nacional da Agua, Argentina. 27

3.3 Experimentos hidrodinâmicos realizados com o ROMS 29

3.4 Dados utilizados para a análise dos resultados da integração do ROMS e período correspondente à integração, no qual os dados de referência estavam disponíveis. 30

3.5 Bóias PIRATA utilizadas para a análise dos resultados do ROMS. 31

3.6 Configuração do Ichthyop v.3.3. com dados biológicos de *Sparisoma* sp. . 34

A.1 Viés e RMSD da temperatura ao longo da coluna d'água para o período de verão entre as soluções obtidas pelo ROMS e os dados das boias do PIRATA. 93

A.2 Viés e RMSD da temperatura ao longo da coluna d'água para o período de inverno entre as soluções obtidas pelo ROMS e os dados das boias do PIRATA. 94

A.3 Viés e RMSD da temperatura ao longo da coluna d'água para o período de verão entre as soluções obtidas pelo ROMS e os dados das boias do PIRATA. 96

A.4 Viés e RMSD da salinidade ao longo da coluna d'água para o período de inverno entre as soluções obtidas pelo ROMS e os dados das boias do PIRATA. 96

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AB	–	Abrolhos
ACAS	–	Água Central do Atlântico Sul
ADT	–	*Absolute dynamic topography*
AIA	–	Água Intermediária Antártica
ANA	–	Agência Nacional de Águas
APA	–	Área Marinha Protegida
AR	–	Atol das Rocas
ASAS	–	Alta Subtropical do Atlântico Sul
ASM	–	Altura da superfície do mar
AT	–	Água Tropical
AVISO	–	*Archiving, validation and interpretation of satellite oceanographic data*
CATS	–	Corrente do Atlântico Sul
CB	–	Corrente do Brasil
CC	–	Costa dos Corais
CCI	–	Corrente de Contorno Intermediária
CCNE	–	Contra Corrente Norte Equatorial
CCSE	–	Contra Corrente Sul Equatorial
CF	–	Cabo Frio e Arraial do Cabo
CFSR	–	*Climate Forescast System Reanalysis*
CM	–	Corrente das Malvinas
CNB	–	Corrente Norte do Brasil
CSE	–	Corrente Sul Equatorial
CSEc	–	Corrente Sul Equatorial - ramo central
CSEn	–	Corrente Sul Equatorial - ramo norte
CSEs	–	Corrente Sul Equatorial - ramo sul
CS	–	Correntes superficiais
FN	–	Arquipélago de Fernando de Noronha
FP	–	Frente Polar
FSA	–	Frente Sub-Antártica
GEODAS	–	*Geophysical data system*
GSHHG	–	*Global self consistent, hierarchical, high resolution geography database*
MBI	–	Modelo baseado em indivíduo
ML	–	Parcel de Manuel Luis
MPT	–	Matriz de probabilidade de transição
NCEP	–	*National center for environmental prediction*
NGDC	–	*National geophysical data center*
NOAA	–	*National oceanic and atmospheric administration*
OSCAR	–	*Ocean current analysis real time*
OSTIA	–	*Operational sea surface temperature and sea ice analysis*
PIRATA	–	*Prediction and research moored array in the Atlantic*

POP	–	*Parallel Ocean Program*
RC	–	Recife dos Corais
RMSD	–	*Root mean square deviation*
ROMS	–	*Regional oceanic modeling system*
SCRUM	–	*S-coordinate Rutgers university model*
SMOS	–	*Soil moisture ocean salinity*
SODA	–	*Simple ocean data assimilation*
SPSP	–	Arquipélago de São Pedro e São Paulo
SSM	–	Salinidade da superfície do mar
TDA	–	Topografia dinâmica absoluta
TPP	–	Tempo de permanência da larva no plâncton
TR	–	Complexo insular de Trindade e Martim Vaz
TSM	–	Temperatura da superfície do mar
UC	–	Unidade de Conservação
UCGE	–	Unidades de Conservação de Grande Escala
WGS-84	–	*World geodetic system of 1984*
ZCAS	–	Zona de Convergência Atlântico sul
ZCIT	–	Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

Pág.

1 INTRODUÇÃO 1
1.1 Justificativa 2
1.2 Hipótese 3
1.3 Objetivo Geral 3
1.4 Objetivos Específicos 3

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 5
2.1 Circulação superficial do Atlântico Tropical 5
2.2 Conceitos de Conectividade 10
2.3 Unidades de conservação e Áreas marinhas protegidas 15
2.4 Espécie modelo - Família Scaridae: gênero *Sparisoma sp.* 17

3 MATERIAIS E MÉTODOS 21
3.1 Área de estudo 21
3.2 Modelo numérico oceânico 24
3.2.1 Dados de batimetria e linha de costa 25
3.2.2 Forçantes Atmosféricas 26
3.2.3 Dados de Contorno Oceânico 26
3.2.4 Rios 27
3.2.5 Configuração da grade 28
3.2.6 Experimento hidrodinâmico 28
3.2.7 Avaliação do modelo hidrodinâmico 29
3.3 Modelo biológico 31
3.3.1 Experimento biológico 32
3.3.2 Avaliação dos resultados do modelo biológico 35
3.4 Fluxograma 36

4 Análise das soluções do modelo hidrodinâmico 37
4.1 Temperatura da superfície do mar 37
4.2 Salinidade da superfície do mar 39
4.3 Altura da superfície do mar 43
4.4 Correntes da superfície do mar 45
4.5 Perfis verticais de temperatura e salinidade 47

4.6 Perfis de velocidade meridional ao longo da costa 48

5 Resultados das simulações lagrangianas 51

5.1 Mortalidade 51

5.2 Padrões de dispersão 54

5.3 Recrutamento, auto-recrutamento e conectividade 60

6 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS 71

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 75

APÊNDICE A - Comparação entre os dados de temperatura e salinidade do PIRATA e as soluções do ROMS 93

1 INTRODUÇÃO

As ilhas e arquipélagos do oceano Atlântico apresentam conectividade entre as suas comunidades recifais, apesar de seu isolamento, resultando em um endemismo peculiar em cada arquipélago (FLOETER et al., 2008). O Brasil possui quatro conjuntos de ilhas oceânicas, são elas Atol das Rocas, Arquipélago de Fernando de Noronha, Arquipélago São Pedro e São Paulo e o complexo insular de Trindade e Martim-Vaz. Cada ilha possui características próprias e são locais de alimentação e reprodução para diversas espécies (DIVOVICH; PAULY, 2015). As características particulares de cada ilha e o elevado grau de endemismo as tornam áreas prioritárias para o estabelecimento de medidas de conservação e manejo de modo a manter o valor e serviços ecossistêmicos, além de preservar a biodiversidade. Para isto, é preciso que haja um bom entendimento da dinâmica espacial das populações marinhas e da dinâmica dos ecossistemas (DUBOIS et al., 2016).

Tendo em vista que a população adulta de muitas espécies recifais marinhas possui movimentação limitada, a dispersão ocorre através dos estágios inicias do ciclo de vida, ovos e larvas, transportados através das correntes e sob influência de diversos outros fatores, tanto biológicos como físicos (COWEN; SPONAUGLE, 2009). A dispersão resulta em implicações tanto para a estrutura populacional como para a conservação da biodiversidade, assim, espera-se que a magnitude, a variabilidade e a maneira como ocorre a dispersão afetem tanto a conectividade demográfica como a conectividade genética a longo prazo. Mas, ainda assim, a dispersão de larvas de espécies ameaçadas ou invasoras é pouco conhecida (JONES et al., 2007). Consequentemente, estudos de conectividade através do transporte dos estágios iniciais do ciclo de vida via modelos biofísicos e as suas implicações para o recrutamento, manejo e conectividade genética têm sido discutidos (MILLER, 2007; MITARAI et al., 2009; ROSSI et al., 2014; DUBOIS et al., 2016).

Dentre as espécies endêmicas que ocorrem nas ilhas oceânicas do oceano Atlântico sudoeste e plataforma continental do Brasil, destacam-se os peixes recifais do gênero *Sparisoma*, popularmente conhecidos como peixse papagaio ou budiões. O gênero *Sparisoma* possui importância comercial e ecológica, contudo há poucos estudos sobre a sua dispersão e reprodução. Alguns estudos têm abordado aspectos relacionados a sua zoogreografia, distribuição e conectividade genética no Atlântico e os processos de especiação (BERNARDI et al., 2000; STREELMAN et al., 2002; ROBERTSON et al., 2006). Entretanto, a dispersão das larvas destas espécies ou de outros peixes recifais não é conhecida, assim como de diversas espécies invasoras ou

de importância comercial (JONES et al., 2007).

Redes de unidades de conservação têm como objetivo proteger a biodiversidade, assegurar a conectividade e garantir a manutenção das populações frente a cenários de mudanças climáticas (CONVENTION ON BIOLOGICAL DIVERSITY (CBD), 2013). Contudo um dos principais aspectos para a manutenção e recuperação das populações é a conectividade através dos estágios iniciais do ciclo de vida, pois está diretamente relacionado a resiliência e produtividade destas populações (ALMANY et al., 2009). Além disso, a conectividade entre as unidades de conservação aumenta a eficiência destas e promove a manutenção dos processos ecológicos (OLDS et al., 2012).

A capacidade de combinar várias escalas temporais e espaciais de variabilidade do ambiente oceânico a processos biológicos dos organismos marinhos, torna a modelagem biofísica da conectividade entre populações uma ferramenta de estudo com elevado grau de realismo (KINLAN et al., 2005; WERNER et al., 2007). Diversos estudos já utilizaram esta ferramenta para avaliar a conectividade entre regiões de interesse. Na costa brasileira Rudorff et al. (2009b) utilizaram um modelo simples de advecção e difusão para entender a dispersão das fases iniciais do ciclo de vida de lagostas. D'Agostini et al. (2015) avaliaram a conectividade de larvas de badejo entre unidades de conservação na região de Abrolhos.

Assim, utilizou-se a modelagem biofísica para determinar a conectividade populacional entre áreas de proteção ambiental na plataforma continental e ilhas oceânicas brasileiras. Para determinar a dispersão dos estágios inicias do ciclo de vida, avaliar os padrões de conectividade e gerar informações para o manejo e gestão das unidades de conservação e pesca.

1.1 Justificativa

Atualmente, atividades antropogênicas impactam praticamente todos os ecossistemas marinhos das mais diversas maneiras, seja através da poluição, introdução de espécies exóticas, pelos impactos da pesca e do turismo (HALPERN et al., 2007). A escala e a intensidade destes impactos têm se combinado e acelerado os processos de perda e fragmentação de importantes ecossistemas marinhos (JONES et al., 2007). Estes processos resultam em perdas de biodiversidade, e desta forma é importante garantir a conectividade entre as populações de peixes recifais e de outros organismos para aumentar a resiliência de suas populações. Assim, o estudo da conectividade populacional entre ilhas oceânicas e entre a plataforma continental brasileira torna-se fundamental devido à sua importância ecológica e a presença de espécies

endêmicas. Além disso, fornece informações sobre conectividade, tanto em termos quantitativos como espaciais entre unidades de conservação para tomadores de decisão, permitindo saber se há conexão entre essas populações e como estas estão conectadas. O presente trabalho é parte do projeto PELD - ILOC (Projeto de Pesquisa Ecológica de Longa Duração das Ilhas Oceânicas) , cujo objetivo é monitorar a longo prazo as comunidades recifais das ilhas oceânicas brasileiras frente à impactos antropogênicos.

1.2 Hipótese

As unidades de conservação (UC) existentes atualmente cumprem o papel de manter a conectividade de espécies de peixes recifais?

1.3 Objetivo Geral

O objetivo principal deste trabalho é determinar os padrões da conectividade populacional entre as UCs distribuídas na plataforma continental norte e leste e nas ilhas oceânicas do Brasil, com base nos peixes recifais do gênero *Sparisoma*.

1.4 Objetivos Específicos

- Modelar o comportamento dos ovos e larvas de *Sparisoma* spp. com base na simulação de correntes de grande escala e da circulação de mesoescala no entorno das ilhas oceânicas e sobre a plataforma continental.
- Investigar os padrões de mortalidade e dispersão dos ovos e larvas de *Sparisoma* spp. e os impactos sobre a sua dispersão.
- Avaliar a variabilidade interanual e sazonal do recrutamento e autorecrutamento de *Sparisoma* spp. em cada ilha e em sítios específicos na plataforma continental norte e leste do Brasil.
- Determinar e analisar os padrões de conectividade das populações de *Sparisoma* spp..

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Circulação superficial do Atlântico Tropical

A circulação oceânica em superfície é influenciada pela transferência de momentum, via cisalhamento do vento, da atmosfera e pela força de Coriolis, portanto, os sistemas atmosféricos do Atlântico sudoeste e tropical influenciam a variabilidade oceânica. Na atmosfera há dois principais sistemas atuando; são eles: a Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) e a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). A ASAS é um sistema permanente de altas pressões com posição média em 30°S e 25°W e, que por ser uma massa de ar tropical marítima, apresenta temperaturas e umidade elevadas. A oscilação meridional da ASAS está relacionada à sazonalidade, localizando-se mais ao sul durante o verão, e deslocando-se para norte no inverno. Durante o verão a ASAS pode ser enfraquecida pela ocorrência de bandas de convecção que, se presentes por vários dias, caracterizam a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e por sistemas frontais (PEZZI; SOUZA, 2009). Já a ZCIT corresponde à região em que há a confluência em superfície de ventos alísios e é considerada o principal sistema gerador de precipitação da região equatorial. No Atlântico, a ZCIT desloca-se sazonalmente e normalmente localiza-se em torno de 14°N durante os meses de Agosto e Setembro e migra para uma posição mais ao sul, em aproximadamente 2°S nos meses de Março e Abril (MELO et al., 2009).

A variação e sazonalidade dos sistemas atmosféricos causam variações nas camadas superficiais dos oceanos e vice-versa. Em anos em que há anomalia da circulação atmosférica, em especial da componente meridional do vento fora da região do Atlântico Equatorial, há a formação de gradientes meridionais anômalos de temperatura da superfície do mar (TSM). Estes forçam o deslocamento da ZCIT para regiões de águas mais quentes e alteram o padrão de chuvas em toda a região do Atlântico Equatorial (NOBRE; SHUKLA, 1996). Estudos indicam que a presença de anomalias positivas da TSM sobre o Atlântico Sul tendem a causar o deslocamento da ZCAS para norte, enquanto que anomalias negativas da TSM causam um enfraquecimento deste sistema. A intensificação da ZCAS pode resultar no resfriamento da camada superficial dos oceanos, causando assim uma redução na TSM, devido à presença de nuvens que reduzem a incidência de radiação solar de ondas curtas (CHAVES; NOBRE, 2004).

Os ventos alísios de sudeste e os ventos de oeste induzem a convergência do transporte de Ekman na superfície do Atlântico Sul, resultando na elevação da altura da superfície do mar no Atlântico subtropical, a qual induz uma circulação anti-

ciclônica (LASS; MOHRHOLZ, 2008). Então, o sistema de correntes superficiais do Atlântico Sul pode ser descrito através da circulação geostrófica média e pela ação dos ventos, cujas correntes resultantes compõe o Giro Subtropical do Atlântico Sul (STRAMMA, 1991; STRAMMA; ENGLAND, 1999; LUMPKIN; GARZOLI, 2005), figura 2.1. Além disso, as correntes de contorno oeste do Atlântico tropical sul são importantes vias meridionais de transferência de massas de água quente e fria. Então, a parte equatorial é caracterizada por uma corrente predominantemente para leste, a Contra Corrente Norte Equatorial (CCNE), a qual está associada à ZCIT. A CCNE é também a corrente que limita a circulação na região tropical, separando a Corrente Norte Equatorial do giro subtropical do Atlântico Norte.

No Atlântico Sul, a Corrente Sul Equatorial (CSE) se desloca entre 7°S e 20°S em superfície e se divide em 3 ramos: norte (CSEn), central (CSEc) e sul (CSEs), que transportam água subtropical da corrente de Benguela em direção à costa do Brasil (STRAMMA, 1991). A latitude da bifurcação das correntes próximo à costa do Brasil variam com a profundidade, como ilustrado na figura 2.2. Em superfície a CSEs transporta Água Tropical (AT) e chega à costa brasileira em aproximadamente 15°S e na profundidade da picnoclina transporta Água Central do Atlântico Sul (ACAS) e se aproxima da costa em 20°S. Na camada intermediária a corrente de contorno oeste intermediária transporta Água Intermediária Antártica (AIA), aproximando-se da costa em 25°S (STRAMMA; ENGLAND, 1999). A CSEs ao aproximar-se da plataforma continental do Brasil se bifurca entre 10°S e 14°S próximo à superfície e a bifurcação migra em direção ao sul conforme o aumento de profundidade na coluna d'água atingindo 20°S em 1000m. Esta bifurcação dá origem à Corrente Norte do Brasil (CNB) em superfície (SILVEIRA et al., 1994) ou, como é também conhecida na profundidade próximo a picnoclina, a Subcorrente Norte do Brasil (STRAMMA; ENGLAND, 1999) que flui na direção norte e fluindo para sul, forma a Corrente do Brasil (CB).

A bifurcação do ramo CSEs também varia a sua posição sazonalmente, pois sofre influência da atuação do cisalhamento do vento, principalmente da migração sazonal da ZCIT. A marcha sazonal da ZCIT faz com que a bifurcação ocorra em posições mais ao sul durante o verão austral e mais ao norte no inverno. Isto também explica a redução do transporte tanto na CB como na CSE entre Junho e Julho e o aumento de Setembro a Novembro (RODRIGUES et al., 2007). Estes sistemas de correntes e sua bifurcação são importantes no que concerne a variabilidade climática, pois são a principal via de retorno dos fluxos da célula de revolvimento meridional e na troca de massas de água subtropical e tropical.

Figura 2.1 - Representação esquemática da circulação de larga escala do Atlântico sudoeste.

Correntes superficiais que compõe o giro subtropical do Atlântico Sul, em sua porção sudoeste. Onde: CCNE - Contra Corrente Norte Equatorial; CSEn, CSEc, CSEs - Corrente Sul Equatorial (ramos (n)orte, (c)entral e (s)ul); CCSE - Contra Corrente Sul Equatorial; CNB - Corrente Norte do Brasil; CB - Corrente do Brasil; CM - Corrente das Malvinas; CATS - Corrente do Atlântico Sul; FSA - Frente subantartica e; FP - Frente Polar

Fonte: Adaptado de Stramma e England (1999), Talley et al. (2011)

Figura 2.2 - Representação esquemática tridimensional das correntes de superfície e subsuperfície próximas à costa do Brasil. Note a bifurcação da Corrente Sul Equatorial ao aproximar-se da costa do Brasil.

Onde as massas d'água são AT- Água Tropical, ACAS - Água Central do Atlântico Sul, AIA - Água Intermediária Antártica e APAN - Água Profunda do Atlântico Norte. As correntes são CSE - Corrente Sul Equatorial, CNB - Corrente Norte do Brasil, CB - Corrente do Brasil, SNB - Sub-corrente Norte do Brasil, CCI - Contra Corrente Intermediária e CCP - Contra Corrente Profunda.

Fonte: Soutelino et al. (2013)

A CNB é uma corrente de contorno oeste intensa, cujo núcleo está localizado em subsuperfície e flui para noroeste ao longo da costa do Brasil e sobre o talude da costa norte da América do Sul. Esta flui para norte até encontrar o ramo CSEn e posteriormente retroflete juntando-se ao sistema de contra-correntes zonal, compondo a CCNE, este sistema flui entre 3°e 10°N (CASTRO et al., 2005). Na região onde ocorre a retroflexão da CNB ocorre a formação de vórtices nas camadas superficiais da coluna d'água que propagam-se para noroeste e contribuem para o transporte inter-hemisféricos de massas de água e calor (JOHNS et al., 2003; GARZOLI et al., 2004; FRATANTONI; RICHARDSON, 2006).

A CNB na parte superior do talude e na plataforma continental externa apresenta velocidade média de 0,7 ms^{-1} e que pode chegar até 1,0 ms^{-1} (SIGNORINI; MIRANDA, 1983). A CNB e sua retroflexão em superfície são feições que sofrem influência direta da migração da ZCIT, ou seja, há um ajuste dinâmico às variações nas condições de

vento no Atlântico tropical e à tensão de cisalhamento dos ventos locais e remotos (JOHNS et al., 1998; RODRIGUES et al., 2007). O transporte em subsuperfície é em média 26 Sv ($1Sv = 10^6 m^3 s^{-1}$) e atinge seus valores mínimos (13 Sv) entre Abril e Maio e seus valores máximos (36 Sv) entre Julho e Agosto (JOHNS et al., 1998).

Parte do ramo CSEs flui para sul e forma a Corrente do Brasil (CB). A CB acompanha o continente sul-americano até a região localizada entre 33°S e 38°S, onde há a Convergência Subtropical, mesma região onde ocorre a confluência com a Corrente das Malvinas (CM) e onde se separa da costa (SILVEIRA et al., 2000). Correntes de contorno oeste são normalmente caracterizadas por fluxos intensos, estreitos e bem definidos, mas como o maior volume de água é transportada pela CNB, a CB caracteriza-se como uma corrente de contorno oeste relativamente fraca quando comparada à outras correntes de contorno oeste, como a Corrente do Golfo, por exemplo (PETERSON; STRAMMA, 1991; SILVEIRA et al., 2000). Além disso, a CB apresenta uma estrutura vertical única que se modifica em seu percurso fluindo para sul, conforme recebe o aporte da ACAS em aproximadamente 20°S e passa a atingir profundidades de até 450m (STRAMMA; ENGLAND, 1999; SILVEIRA et al., 1994). Ao sul de 25 °S, como Corrente de Contorno Intermediária (CCI) passa a transportar AIA até 1200m de profundidade.

A CB apresenta importante atividade de mesoescala, como meandros, vórtices e anéis (SOUTELINO et al., 2011). A CB possui feições anticiclônicas centradas em 15°S, 17°S e 19°S, nomeadas como vórtice de Ilhéus, vórtice de Royal Charlotte e vórtice de Abrolhos (SOUTELINO et al., 2013), ou seja, apresenta um escoamento dominado por vórtices, gerados pela combinação da batimetria complexa da região com a instabilidade baroclínica devido ao cisalhamento vertical (SOUTELINO et al., 2011). Ao sul de 20°S, após cruzar a Cadeia Vitória-Trindade, a CB torna-se mais energética, com frequente formação de meandros ciclônicos e anticliclônicos, que podem se desenvolver até virarem vórtices (ARRUDA et al., 2013). Há o vórtice de Vitória que localiza-se entre 20°S e 22°S, entre as isóbatas de 200 m e 1000 m, e é importante para o bombeamento de nutrientes do talude para a plataforma continental (CAMPOS et al., 1995). Além disso, a CB apresenta em sua camada superficial até aproximadamente a profundidade de 200 m, variações sazonais associadas às mudanças da tensão de cisalhamento do vento local, causadas pelo deslocamento anual da Zona de Convergência Intertropical (RODRIGUES et al., 2007; PALÓCZY et al., 2014).

Ao sul do giro subtropical da CB, encontra-se o domínio da Corrente Circumpolar

Antártica (CCA). A Frente Sub Antartica (FSA) adentra o Atlântico Sul vindo do Pacífico contornando o norte da Passagem de Drake e flui para norte como a CM, contornando a costa da América do Sul. O encontro da CM com a CB ocorre entre 36S e 38°S, na região denominada Confluência Brasil-Malvinas, onde separam-se da costa em direção ao sul. Ambas mantêm suas características e separam-se após a longitude de 50°W, a CM passa a ser chamada novamente de FSA e a CB passa a compor a Corrente do Atlântico Sul (CATS), que fecha o giro subtropical.

2.2 Conceitos de Conectividade

A conectividade é o fluxo entre regiões e pode ser de diferentes materiais, tais como nutrientes, sedimento, poluentes e organismos. Assim, a conectividade de populações está relacionada ao intercâmbio de indivíduos entre subpopulações geograficamente separadas e que caracterizem uma metapopulação (COWEN; SPONAUGLE, 2009; NORTH et al., 2009). Uma metapopulação pode ser definida como uma população de populações que interagem ao longo de um tempo finito de existência, que podem extinguir-se e recolonizar-se localmente (LEVINS, 1969). Esse conceito foi atualizado, sendo definido como um conjunto de subpopulações da mesma espécie, em geral, ocupando a mesma área geográfica, que podem trocar indivíduos através de migração e dispersão, sendo que estas ocorrem em proporção menor que a própria subpopulação (HANSKI; SIMBERLOFF, 1997; AKÇAKAYA et al., 2007).

Populações marinhas, em sua maioria, estruturam-se como metapopulações, dentro das quais, subpopulações conectam-se através da troca de indivíduos, podendo ser adultos, juvenis, larvas e ovos (CALÒ et al., 2013), como ilustrado na figura 2.3. Está implícito na definição de conectividade populacional que os níveis de intercâmbio de indivíduos devem ser suficientes de modo a manter as taxas demográficas da população. A população irá persistir, se as taxas de nascimento e imigração forem iguais ou maiores às taxas de mortalidade e emigração (COWEN; SPONAUGLE, 2009). Desta forma, para o entendimento dos padrões de conectividade de uma população, faz-se necessário a descrição dos padrões de dispersão, uma vez que é este o processo responsável pela conexão demográfica de diversas populações marinhas, como as estabelecidas em distintas reservas biológicas ou em ilhas oceânicas (PINEDA et al., 2007; COWEN; SPONAUGLE, 2009).

Os processos físicos e suas diversas escalas temporais e espaciais podem aumentar ou diminuir o transporte de larvas. Por exemplo, variações da salinidade e a estratificação da coluna d'água podem contribuir para o transporte e afetar a distribuição vertical dos ovos e larvas (PINEDA et al., 2007). Ainda, variações de salinidade causa-

rão diferentes efeitos da temperatura sobre a biologia dos ovos, pois estes parâmetros estão diretamente relacionados ao mecanismo de osmorregulação do ovo e portanto ao desenvolvimento do embrião e o período de incubação (BUNN et al., 2000). Além disso, as variações diárias e sazonais da profundidade da termoclina podem afetar a migração vertical de algumas espécies, uma vez que esta cria uma barreira física à movimentação das larvas. A disponibilidade de nutrientes exerce forte influência na disponibilidade de alimentos e na condição materna, podendo determinar a quantidade e qualidade de ovos e larvas (BERKELEY et al., 2004; MCCORMICK, 2006).

Figura 2.3 - Metapopulaçãoes e o intercâmbio de indivíduos.

Representação esquemática de metapopulações e do intercâmbio de indivíduos entre as diferentes subpopulações e metapopulações geograficamente separadas.

Fonte: Adaptado de Gaines et al. (2007).

Em regiões oceânicas os ovos e larvas são transportados principalmente por processos de larga escala como a circulação geostrófica e de mesoescala, como vórtices (MCGILLICUDDY, 2016). Contudo, nas regiões costeiras, os ovos e larvas são afetados por diversos processos de pequena escala, incluindo variações da batimetria, ondas de gravidade de superfície, marés, fricção com o fundo, além do aporte fluvial (LARGIER, 2003; PINEDA et al., 2007). Os processos que afetam o transporte larval variam dependendo se a orientação do deslocamento ocorre paralelo ou transversal à linha de costa (GAWARKIEWICZ et al., 2007). Os processos de transporte transversais à linha de costa determinarão a extensão que os ovos e larvas estarão expostos às

condições de maior dispersão e maiores gradientes das propriedades da água e variações ecológicas (PINEDA et al., 2007). O transporte paralelo à linha de costa afeta a probabilidade de dispersão ou retenção destes organismos nas regiões costeiras, onde há fricção com o fundo e redução de velocidades devido ao atrito com a costa (TAPIA; PINEDA, 2007).

Além dos processos físicos, devem ser considerados aspectos biológicos que podem direta ou indiretamente influenciar o processo de dispersão e, consequentemente, a conectividade. Após a eclosão do ovo, a larva passará por processos ontogenéticos (desenvolvimento do organismo), resultando em comportamentos diversos de acordo com a fase de desenvolvimento. As larvas podem se deslocar de forma passiva, como de alguns invertebrados, enquanto que outras, como de peixes, podem realizar migrações verticais na coluna d'água e movimentar-se horizontalmente (COWEN et al., 2002). Além disso, taxas de mortalidade e crescimento devem ser considerados, assim como as relações presa-predador (GALLEGO et al., 2007). Outro aspecto importante é o tempo de permanência da larva no plâncton (TPP ou PLD - *Pelagic Larval Duration* em inglês) de cada espécie, dado pelo tempo de permanência da larva na coluna d'água antes do assentamento, no caso de organismos bentônicos, ou antes da metamorfose da larva para juvenil, no caso de organismos pelágicos (COWEN; SPONAUGLE, 2009). Além de variar de acordo com a espécie, o PLD é altamente dependente da temperatura e da disponibilidade de alimento. Desta forma, o aumento ou redução da temperatura devido às mudanças climáticas globais, poderá afetar diretamente a conectividade entre populações (O'CONNOR et al., 2007).

O contexto espacial da conectividade está ilustrado na Fig. 2.4 por uma série de populações, representadas pelas caixas azuis. A desova é dependente do tamanho da população e é representada pelo tamanho de cada caixa. Os processos físicos que atuam na dispersão larval, no caso a advecção e difusão, são representados pelas linhas que se cruzam e expandem a distribuição espacial das larvas, resultando em uma menor concentração de larvas (tom de azul mais claro). Neste momento, pode-se incluir também o comportamento larval e características biológicas da larva, resultando em interações biofísicas que concentrarão novamente as larvas (caixas menores e de um tom azul mais escuro). Além disso, alguns outros fatores físicos e biológicos podem atuar resultando em variações espaciais, tais como a interação presa/predador, disponibilidade de habitats adequados para o assentamento, e a sobre- vivência pós-assentamento. Então, a comparação entre o momento inicial e o final desta figura permite que se tenha um panorama dos padrões de conectividade.

Figura 2.4 - Processos que atuam na determinação da conectividade populacional via dispersão larval e fatores que a influenciam até o momento do assentamento.

Onde as caixas representam as populações, o tamanho da caixa é o tamanho de cada população, a dispersão é representada pelas linhas e os tons de azul representam a densidade ou a concentração de larvas.

Fonte: Adaptado de Cowen e Sponaugle (2009).

A conectividade entre diferentes populações pode ocorrer em diferentes escalas temporais e espaciais e, por isso, pode ser dividido em conectividade evolutiva e a conectividade ecológica. A conectividade evolutiva trata do fluxo genético entre as populações que ocorre em uma escala temporal de várias gerações e determina o distanciamento genético entre elas. A conectividade evolutiva ajuda a explicar padrões espaciais de biodiversidade, processos biogeográficos, a influência de eventos históricos e persistência de populações. Enquanto que a conectividade ecológica trata principalmente do fluxo de indivíduos entre populações, a qual influenciará a demografia e a dinâmica populacional destas (SALE et al., 2010). Desta forma, este tipo de abordagem visa responder questões relacionadas aos padrões atuais de fluxo genético entre populações, ou ainda, a distribuição e configuração de áreas marinhas protegidas (APAs) e sua efetividade para a conservação das espécies. Há, então,

diversas formas de obter informações sobre a conectividade entre populações e os padrões de dispersão, e envolvem a análise do processo de dispersão (causa) ou da estrutura populacional resultante (efeito).

Outras técnicas de estudo da conectividade utilizam análises genéticas, que fornecem informações sobre o fluxo gênico entre as populações, porém deve-se considerar também as escalas temporais e espaciais, além de processos evolutivos ao assumir que há conexão ou não entre as populações (HEDGECOCK et al., 2003). Além disso, análises genéticas não geram dados com boas resoluções da variabilidade intra- e inter-anual e não especificam a origem dos organismos (LARGIER, 2003). Informações sobre a origem e local de assentamento ou metamorfose das larvas podem ser obtidas através de análises da microquímica de estruturas rígidas, como exoesqueletos e otólitos, ou a partir de técnicas de rastreamento de marcadores naturais e artificiais em ovos e larvas, porém estes métodos são limitados pela logística da coleta de indivíduos (THORROLD et al., 2002). A observação da distribuição do meroplâncton e da biologia de larvas fornece informações relevantes sobre mortalidade, posição na coluna d'água e migração. Porém, é difícil relacionar estas informações à origens e destinos específicos e estas devem ser acopladas às informações de processos físicos para que se possa estimar dispersão (LARGIER, 2003).

A utilização de modelagem numérica para avaliação da conectividade inicialmente considerava ovos e larvas como partículas passivas (HUGGETT et al., 2003; NAHAS et al., 2003; RUDORFF et al., 2009a). Atualmente utilizam-se modelos numéricos baseados no indivíduo (MBI), geralmente compostos por um modelo hidrodinâmico e um modelo lagrangiano de dispersão de ovos e larvas. Estes conciliam parâmetros físicos do modelo hidrodinâmico e parâmetros biológicos, tais como temperatura letal, período de desova, migração nictemeral, entre outros (GARCÍA-GARCÍA et al., 2016). Devem ser considerados também os seguintes parâmetros iniciais: local de desova dos organismos, ou seja, posição inicial de liberação das partículas, duração do transporte, data de início da simulação e processos físicos não resolvidos pelo modelo hidrodinâmico, que influenciam o destino e o assentamento ou recrutamento das larvas (PUTMAN et al., 2016). Então, a modelagem biofísica é utilizada para demonstrar como a variação dos parâmetros biológicos afeta o transporte de ovos e larvas e é uma ferramenta fundamental para elucidar os padrões de conectividade entre as populações (PARIS et al., 2007; WERNER et al., 2007). Além disso, o uso da modelagem permite que sejam realizadas análises preditivas das condições oceânicas e da conectividade populacional para cenários futuros (SALE et al., 2010). Isto é particularmente importante, uma vez que atualmente muito se discute sobre o im-

pacto das mudanças climáticas sobre a biodiversidade. Contudo, vale destacar que os resultados obtidos através do uso de modelo devem ser avaliados com cautela e comparados a medidas observacionais, sejam *in situ* ou obtidas através de sensores remotos, por exemplo.

Estudos de conectividade populacional de organismos marinhos no Brasil utilizando a modelagem hidrodinâmica e de dispersão de partículas, já foram realizados para as lagostas (Palinuridae), utilizando um modelo advectivo-difusivo. No Atlântico Tropical, as condições de circulação geostrófica são determinantes para a conectividade das áreas de desova de três espécies de lagostas espinhosas comercialmente capturadas na costa do Brasil (*Panulirus argus*, *P. laevicauda* e *P. echinatus*) (RUDORFF et al., 2009a). Segundo simulações de um modelo advectivo-difusivo, os estoques da costa nordeste do Brasil podem receber aporte de larvas provenientes das ilhas oceânicas (Atol das Rocas, Arquipélagos de Fernando de Noronha e São Pedro e São Paulo). É também possível que as ilhas mais isoladas do Atlântico (p.ex. Ascensão) sirvam de trampolins ecológicos entre os continentes Africano e Sul-Americano. Isso ficou evidente nas simulações realizadas em períodos de forte El Niño no Pacífico, quando ocorreu a máxima distância de dispersão zonal das larvas de lagosta em direção ao nordeste do Brasil e às ilhas oceânicas (RUDORFF et al., 2009b). D'Agostini et al. (2015) utilizaram um MBI para analisar a conectividade de unidades de conservação marinhas, em que a espécie alvo foi a garoupa (*Mycteroperca* sp.). Ficou constatado que a conectividade se dá, preferencialmente, de norte para sul e que o Parque Nacional Marinho dos Abrolhos é um sumidouro de larvas desta espécie.

As taxas, escalas e estrutura espacial do intercâmbio de indivíduos dentre populações, ou seja, a conectividade populacional, mostra-se importante para populações marinhas, já que regula a renovação e a manutenção da população. Consequentemente, torna-se fundamental para o entendimento da dinâmica populacional e genética, assim como para a definição de áreas de proteção marinhas, manejo de estoques pesqueiros e controle populacional de espécies invasoras.

2.3 Unidades de conservação e Áreas marinhas protegidas

As unidades de conservação (UCs) são espaços territoriais juntamente com seus recursos naturais e incluindo águas jurisdicionais, protegidas por suas características naturais relevantes, com objetivo de conservar a sócio-biodiversidade , como definido pelo Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (Lei n°9.985, de 18 de julho de 2000), internacionalmente as UCs são denominadas áreas protegidas. Então, as UCs têm como objetivo proteger e preservar regiões ou porções significativas

e ecologicamente viáveis de populações, habitats e de ecossistemas, assim como os serviços ecossistêmicos e os valores culturais, do território e águas jurisdicionais, de modo a preservar a longo prazo o patrimônio natural. Ainda, como objetivo das UCs é também garantir o uso dos recursos naturais de forma sustentável e permitir às populações que vivem em seu entorno o desenvolvimento de atividades econômicas.

As UCs são divididas em duas categorias principais, que se dividem em outras subcategorias, descritas na tabela 2.1, que variam de acordo com seu manejo, objetivo e tipos de uso, podendo ser de proteção integral ou de uso sustentável. As unidades de proteção integral têm como objetivo preservar a natureza, permitindo o uso indireto dos seus recursos. Enquanto que as unidades de uso sustentável, visam promover o uso dos recursos naturais e a conservação da natureza.

Tabela 2.1 - Subcategorias das unidades de conservação segundo o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza.

Proteção Integral	Uso sustentável
Estação ecológica	Área relevante de interesse ecológico
Reserva biológica	Reserva particular do patrimônio natural
Parque nacional	Área de proteção ambiental
Monumento natural	Floresta nacional
Refúgio da vida silvestre	Reserva de desenvolvimento sustentável
	Reserva de fauna
	Reserva extrativista

Fonte: Brasil (2000)

Estima-se que da área total dos oceanos, cerca de 1.2 % seja atualmente protegida, sendo que destes, aproximadamente 4,32 % correspondem à áreas costeiras ou da plataforma continental e apenas 0,91 % à regiões oceânicas (SPALDING et al., 2008; TOROPOVA et al., 2010). No Brasil, estima-se que apenas 1,87 % das águas jurisdicionais estejam protegidas (MAGRIS et al., 2013). Contudo, o Brasil, como signatário da Convenção da Diversidade Biológica e, mais recentemente, das Metas para Biodiversidade de Aichii (meta número 11) se comprometeu a ter 10 % de suas zonas costeiras e oceânicas efetivamente manejadas, protegidas e conectadas por um sistema de Áreas Marinhas de Proteção (AMPs) até o ano de 2020 (CONVENTION ON BIOLOGICAL DIVERSITY (CBD), 2013).

As Metas de Aichii (CONVENTION ON BIOLOGICAL DIVERSITY (CBD), 2013) esta-

belecem que áreas importantes para biodiversidade e para os serviços ecossistêmicos devem ser conservadas, com o estabelecimento de uma gestão e manejo efetivos e equitativos, preferencialmente com a participação das populações locais ou nativas, desta forma garantindo a proteção de habitas e populações, assim como dos serviços ecossistêmicos. Destaca ecossistemas sensíveis, ou com elevada riqueza de espécies e/ou de espécies ameaçadas, tais como, recifes de coral, marismas, recifes de corais de água profunda, montes submarinos e zonas costeiras, como manguezais. Estas regiões devem, ainda, ser ecologicamente representativas e formar um sistema de UCs devidamente conectadas, assim como devem estar integradas à paisagem continental e marinha. Desta maneira, assegurando através da conectividade a manutenção ou o estabelecimento de corredores ecológicos e permitindo a adaptação às mudanças climáticas.

2.4 Espécie modelo - Família Scaridae: gênero *Sparisoma sp.*

Budiões ou peixes-papagaio como são popularmente conhecidos, são peixes recifais pertencentes à família Scaridae (Ordem Perciformes). Esta família inclui aproximadamente 85 espécies tropicais e subtropicais, encontradas nos oceanos Atlântico, Índico e Pacífico (NELSON, 2006). No Brasil, ocorrem 10 espécies desta família, pertencentes a 4 gêneros (*Cryptotomus*, *Nicholsina*, *Scarus* e *Sparisoma*) (FLOETER et al., 2003; FERREIRA et al., 2004). O gênero *Sparisoma* é composto de 13 espécies nativas do Atlântico, sendo que 6 são endêmicas da costa brasileira (MOURA et al., 2001; FLOETER et al., 2003; MOLINA-UREÑA, 2009), figura 2.5.

Adultos do gênero *Sparisoma* ocupam profundidades que variam entre 1 e 54 m (PADOVANI-FERREIRA et al., 2012). A família Scaridae é hermafrodita, em geral, protogínica sequencial, ou seja, apresentam inversão sexual de fêmea para macho (ROBERTSON; WARNER, 1978). A desova é pelágica e, para a maior parte das espécies, ocorre ao longo do ano em grupos ou em casais que se afastam do recife e sobem de 2 a 4 m acima da frente do recife onde desovam e ocupam uma área de aproximadamente 30 a 40 m^2 (RANDALL; RANDALL, 1963; LUCKHURST, 2011; LUIZ et al., 2013). A fecundidade do gênero pode variar de acordo com a espécie, a região e a época do ano. Por exemplo, na região nordeste do Brasil o período de maior fecundidade é reportado no verão para a espécie *S. frondosum* e a quantidade de ovócitos por fêmea pode variar entre 7.190 a 273.880, com média de 80.276 (VÉRAS, 2008; LESSA et al., 2015). Para espécie *S. viride*, em Bonaire no Caribe, estima-se que sejam liberados 10.000 ovócitos por desova (ROOIJ et al., 1995).

Figura 2.5 - Exemplares de *Sparisoma amplum*, fotos à esquerda (A. juvenil e B. adulto), e de *Sparisoma rocha*, espécie endêmica da costa brasileira, fotos à direita (A. fase intermediária e B. adulto).

Fonte: Adaptado de Pinheiro et al. (2015)

Assim como a fecundidade, o tempo de permanência da larva do plâncton é variável dentro deste gênero, podendo variar entre 18 dias para *S. atomarium*, 48,6 dias para *S. aurofrenatum*, 48,3 dias para *S. viride* (LUIZ et al., 2013) até 60 dias para a espécie *S. radians* (ROBERTSON et al., 2006). Larvas de *Sparisoma* sp. foram encontradas associadas a presença de águas menos salinas, frias e com baixos teores de oxigênio dissolvido, na costa do Maranhão (SILVEIRA, 2003). A concentração de larvas desta espécie na coluna d'água varia de acordo com o desenvolvimento, larvas menores posicionam-se em menores profundidades que larvas maiores. Além disso, há indicações de que as larvas deste gênero apresentam migração vertical, posicionando-se em menores profundidades durante a noite e em regiões mais profundas durante o dia (HUEBERT, 2009; HUEBERT et al., 2011).

Dados de desembarque pesqueiro demonstram que as capturas de peixes papagaio têm aumentado. Somente no estado de Pernambuco foram desembarcados aproximadamente 200 t entre os anos de 1996 e 2001 (LESSA; ARAUJO, 2009). Já para os anos de 2002 e 2005 os desembarques totalizaram 136,5 t e 280,5 t, respectivamente (VÉRAS, 2008). E atualmente as capturas chegam a 350 t por ano. A

captura de budiões, além de outras espécies ameaçadas ou vulneráveis, é uma preocupação do Ministério do Meio Ambiente, que em dezembro de 2014 através da Portaria 445 divulgou uma lista de espécies ameaçadas e aconselhou a proibição da pesca destas espécies. Contudo, desde abril de 2017 esta portaria foi suspensa devido à ação da indústria pesqueira, permitindo novamente a pesca de algumas espécies de budiões (http://www.mma.gov.br/index.php/comunicacao/agencia-informma?view=blogid=2292tmpl=componentprint=1). Além do aumento das capturas, as espécies de *Sparisoma* sp. também têm sido impactadas pela degradação e perda de habitat, devido à contínua degradação dos recifes de coral (PADOVANI-FERREIRA et al., 2012).

As espécies do gênero *Sparisoma* sp. possuem elevada importância ecológica. Budiões e peixe papagaio representam um grupo funcional crítico nos recifes de coral, pois sua alimentação herbívora auxilia a manutenção e limpeza dos recifes, evitando que ocorra a proliferação de algas (FRANCINI-FILHO et al., 2008). Além disso, os espécimes deste gênero sofrem com o aumento da pressão pesqueira, tanto para exportação e como fauna acompanhante, e com a perda de habitats. Porém, ainda assim, há uma lacuna de conhecimento sobre as populações deste gênero, tanto com relação à dinâmica populacional, como distribuição, reprodução e desenvolvimento larval (VÉRAS et al., 2008; LESSA et al., 2015).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Esta secção apresenta a área de estudo, o modelo hidrodinâmico e suas configurações, assim como os experimentos realizados e a metodologia utilizada para a avaliação dos seus resultados. Além disso, são apresentados o modelo biológico utilizado para a simulação da dispersão de ovos e larvas e os métodos utilizados para a análise dos resultados, bem como os dados utilizados em cada etapa, seja de configuração dos experimentos ou de análise de resultados.

3.1 Área de estudo

A área de estudo deste trabalho está localizada no Atlântico Sudoeste e pode ser separada em duas, uma que corresponde a grade utilizada no modelo hidrodinâmico que se estende de 10°N a 55°S de latitude de 20°W a 70°W de longitude e, uma segunda que está contida na primeira e foi utilizada no modelo baseado em indivíduo para as simulações de dispersão de ovos e larvas, mas limita-se a 10°N a 30°S de latitude de 20°W a 60°W de longitude, como ilustrado pela linha tracejada (preta) na figura 3.1. Dentro da área de estudo estão os locais escolhidos para o lançamento e recrutamento das partículas (Fig. 3.1 - quadrados em rosa) e contemplam a ocorrência da espécie de interesse, *Sparisoma* sp. (FLOETER et al., 2003).

Todas as áreas de lançamento e recrutamento das larvas correspondem à unidades de conservação (Tabela 3.1). As ilhas oceânicas brasileiras são Arquipélago de São Pedro e São Paulo (SPSP), Atol das Rocas (AR), o Arquipélago de Fernando de Noronha (FN) e o complexo insular Trindade e Martim Vaz (TR). As regiões costeiras, localizadas na plataforma continental são, em sua maioria, áreas de recife de coral. São elas: Parcel do Manuel Luis (ML), Recife dos Corais (RC), Costa dos Corais (CC), Abrolhos (AB) e a região de Arraial do Cabo e Cabo Frio (CF).

Figura 3.1 - Representação da área de estudo

Imagem ilustrativa do tamanho da grade utilizada no modelo hidrodinâmico. Na qual, os triângulos (laranja) representam as boias do PIRATA e as linhas cheias (ciano) representam a localização das secções verticais da velocidade zonal utilizadas para a avaliação dos resultado do ROMS. A linha tracejada (preta) em 30°S e em 60°W representam o limite utilizado no modelo baseado em indivíduo. Os quadrados (rosa) representam os locais de laçamento de recrutamento de partículas no MBI, onde: SPSP - Arquipélago de São Pedro e São Paulo; AR - Atol das Rocas; FN - Arquipélago de Fernando de Noronha; ML - Parcel do Manuel Luis; RC - Área de Proteção Recife dos Corais; CC - Área de Proteção Costa dos Corais; AB - Abrolhos; TR - Ilhas de Martim-Vaz e Trindade e CF - Cabo Frio.

Fonte: Produção do autor

Tabela 3.1 - Unidades de conservação utilizadas como locais de reprodução e recrutamento de *Sparisoma* sp.. (*) APAs criadas após a execução dos experimentos, então as área utilizadas foram baseadas na batimetria. (**) Para a região de Cabo Frio não foi utilizada apenas a área da APA Pau Brasil, mas sim uma área maior para que a região de Arraial do Cabo também fosse abrangida.

Nome	Decreto n°(data de criação)	Status	Uso
Arquipélago São Pedro e São Paulo (*)	9.313 (19/03/2018)	Área de proteção ambiental	Uso sustentável
Atol das Rocas	83.549 (05/06/1979)	Parque Nacional	Proteção integral
Arquipélago de Fernando de Noronha	96.693 (9/14/1988)	Parque Nacional	Proteção integral
Trindade e Martim-Vaz (*)	9.312 (19/03/2018)	Área de proteção Ambiental	Proteção integral
Parcel do Manuel Luis	11.902 (11/06/1991)	Parque estadual marinho	Proteção integral
Recife dos Corais	15.476 (06/06/2001)	Área de proteção ambiental	Uso sustentável
Costa dos Corais	s/n (23/10/1997)	Área de proteção ambiental	Uso sustentável
Abrolhos	88.218 (06/04/1983)	Parque nacional marinho	Proteção integral
Cabo Frio - Pau Brasil (**)	31.436 (06/02/2002)	Área de proteção ambiental	Uso sustentável

3.2 Modelo numérico oceânico

O *Regional Oceanic Modeling System* (ROMS) é um modelo numérico tridimensional, de superfície livre, com coordenadas verticais estiradas que seguem a topografia de fundo (coordenadas sigma). Este modelo foi desenvolvido a partir do *S-coordinate Rutgers University Model* (SCRUM) e resolve as equações do movimento de Navier-Stokes utilizando a média de Reynolds e considerando o balanço de momentum vertical hidrostático e a aproximação de Boussinesq (SHCHEPETKIN; MCWILLIAMS, 2005; SHCHEPETKIN; MCWILLIAMS, 2003).

As soluções das equações utilizadas pelo ROMS consideram a divisão explicita do tempo para poder resolver as equações do movimento e reduzir o custo computacional de seus cálculos. Assim, utiliza um menor intervalo de tempo para resolver a elevação da superfície do mar e o momentum barotrópico do que para a resolver a temperatura e salinidade e o momentum baroclínico que são resolvidos em um maior intervalo de tempo. Assim, dentro de um número finito de passos de tempo barotrópico, equações integradas na vertical, é efetuado um passo de tempo baroclínico, equações que incluem as três dimensões (SHCHEPETKIN; MCWILLIAMS, 2005). As equações dinâmicas, na forma de fluxo em coordenadas cartesianas horizontais e em função das coordenadas sigma são dadas pelas equações 3.1 a componente zonal, 3.2 a componente meridional e 3.3 a componente vertical. A equação da continuidade é dada pela equação 3.4 e o transporte escalar por 3.5.

$$\frac{\partial(H_z u)}{\partial t}+\frac{u\partial(H_z u)}{\partial x}+\frac{v\partial(H_z u)}{\partial y}+\frac{\partial(\Omega H_z u)}{\partial s}-fH_z u=-\frac{H_z}{\rho_0}\frac{\partial p}{\partial x}-H_z g\frac{\partial\zeta}{x}-\frac{\partial}{\partial s}\left(\overline{u'w'}-\frac{\nu}{H_z}\frac{\partial u}{\partial s}\right) \tag{3.1}$$

$$\frac{\partial(H_z v)}{\partial t}+\frac{u\partial(H_z v)}{\partial x}+\frac{v\partial(H_z v)}{\partial y}+\frac{\partial(\Omega H_z u)}{\partial s}-fH_z u=-\frac{H_z}{\rho_0}\frac{\partial p}{\partial y}-H_z g\frac{\partial\zeta}{y}-\frac{\partial}{\partial s}\left(\overline{v'w'}-\frac{\nu}{H_z}\frac{\partial v}{\partial s}\right) \tag{3.2}$$

$$0=-\frac{1}{\rho_0}\frac{\partial p}{\partial s}-\frac{g}{\rho_0}H_z\rho \tag{3.3}$$

$$\frac{\partial\zeta}{\partial t}+\frac{\partial H_z u}{\partial x}+\frac{\partial H_z v}{\partial y}+\frac{\partial H_z\Omega}{\partial s}=0 \tag{3.4}$$

$$\frac{\partial H_z C}{\partial t} + \frac{\partial (u H_z C)}{\partial x} + \frac{\partial (v H_z C)}{\partial y} + \frac{\partial (\Omega H_z C)}{\partial s} = -\frac{\partial}{\partial s}\left(\overline{c'w'} - \frac{\nu}{H_z}\frac{\partial C}{\partial s}\right) + C_{source} \quad (3.5)$$

Onde: u e v - componentes da velocidade na horizontal, x e y, respectivamente
Ω - componente vertical da velocidade em coordenadas sigma (s)
ζ - elevação da superfície livre
H_z - fator de estiramento vertical
f - parâmetro de Coriolis
p é a pressão
ρ e ρ_0 - densidade total e a densidade de referência
g - aceleração da gravidade
ν - viscosidade molecular
C - traçador (ex.: temperatura ou salinidade)
C_{source} - termos da fonte ou sumidouro do traçador.
E as varáveis com ($'$) representam as variações turbulentas e o traço horizontal indica o uso de médias ao longo do tempo.

A configuração e a execução do modelo hidrodinâmico requerem algumas etapas, tais como elaboração e configuração da grade, um experimento para equilíbrio do modelo (*spin-up*), um experimento para avaliação da representatividade dos processos físicos e um experimento com saídas horárias para o experimento biológico. Além disso, são necessários dados adicionais, tanto para a execução do modelo, como para a avaliação dos resultados do modelo hidrodinâmico, apresentados a seguir.

3.2.1 Dados de batimetria e linha de costa

Os dados de batimetria e linha de costa foram utilizados para elaboração da máscara terra/água e da grade utilizada no modelo hidrodinâmico. Os dados de batimetria foram obtidos do banco de dados ETOPO 1 na versão *Bedrock* com resolução de 1 arco-minuto de grau e referenciado no sistema de coordenadas *World Geodetic System of 1984* (WGS 84)(AMANTE; EAKINS, 2009). Este banco de dados é produzido pelo *National Geophysical Data Center* (NGDC) do *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA) e está disponível em <https://www.ngdc.noaa.gov/mgg/global/global.html>.

Os dados de linha de costa foram obtidos no banco de dados *Global Self-consistent, Hierarchical, High-resolution Geography Database* (GSHHG) versão

2.3.5. com escala 1:100.000, também produzidos pelo NDGC e disponíveis em <https://www.ngdc.noaa.gov/mgg/shorelines/gshhs.html> (WESSEL; SMITH, 1996). Os dados de linha de costa foram processados no software *GEOphysical DAta System - Next Generation* (GEODAS-NG) no modo de extração de linha de costa e tratados no MATLAB® para elaboração da máscara de terra na área de estudo.

3.2.2 Forçantes Atmosféricas

Para a elaboração dos arquivos de forçamento atmosférico do modelo hidrodinâmico para o período do experimento, que foi realizado entre 2000 e 2015, utilizou-se o *Climate Forecast System Reanalysis* (CFSR), período entre 2000 e 2011, e o *Climate Forecast System version 2* (CFSv2), período entre 2012 a 2015, ambos elaborados pelo *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP).

O CFSR é uma reanálise global de alta resolução com um sistema de modelos acoplados para simular a atmosfera, oceano, superfície terrestre e gelo marinho, de modo a fornecer melhores estimativas destes domínios para o período (SAHA et al., 2010a; SAHA et al., 2010b). A resolução horizontal do modelo global para a atmosfera é de 38 km com 64 níveis verticais. Enquanto que para o oceano a resolução espacial é de 0,25°entre as latitudes de 10°S e 10°N e de 0,5°acima dos trópicos, com 40 níveis verticais e a resolução temporal dos dados é de seis horas. O CFSv2 é gerado a partir do mesmo modelo utilizado para o CFSR e tem como propósito estender a série temporal do CFSR para o período entre 2011 e 2015.

Dos diversos produtos destas reanálises foram utilizados alguns parâmetros para a elaboração dos arquivos de forçamento atmosférico a cada 6 horas, dentre eles, velocidade zonal e meridional do vento em 10m, temperatura do ar a 2m, pressão do ar a superfície, umidade relativa a 2m, fluxo da radiação solar de onda curta, fluxo líquido (*net*) da radiação de onda longa e taxa de precipitação. Disponíveis em <http://nomads.ncdc.noaa.gov/modeldata/>.

3.2.3 Dados de Contorno Oceânico

A reanálise *Simple Ocean Data Assimilation* (SODA) utiliza observações diretas para corrigir erros do modelo de modo a melhorar a análise de variáveis oceanográficas através de algorítimos de assimilação de dados (CARTON; GIESE, 2008). A assimilação de dados ocorre a cada 10 dias, mas correções são introduzidas a cada passo de tempo (CARTON; GIESE, 2008). Os dados do SODA são produzidos a partir do modelo numérico *Parallel Ocean Program* (POP), e a partir da versão 3, utilizada neste

trabalho (SODA 3.3.1), para o período entre 2000 e 2015, possuem resolução horizontal de 0.25°x 0.25°e 50 níveis verticais, além de uma resolução temporal de 5 dias. Os dados do SODA estão disponíveis em <https://www.atmos.umd.edu/ ocean/>.

3.2.4 Rios

Médias mensais da vazão dos rios Amazonas, Rio Doce, São Francisco e Paraíba do Sul foram obtidos a partir do banco de dados da Agência Nacional de Águas (ANA), para o período do experimento hidrodinâmico entre 2000 e 2015, acessível através do endereço eletrônico <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/>. Para cada rio buscou-se a estação mais próxima à foz e que possui a série temporal mais completa e com maior quantidade de dados consistidos, ou seja, que já foram revisados e validados. Desta forma as estações escolhidas são apresentadas na tabela 3.2.4.

Tabela 3.2 - Rios, nome das estações fluviométricas e respectivos códigos da ANA para cada rio. Exceto para o rio da Prata, cujos dados foram obtidos junto Instituto Nacional da Agua, Argentina.

Rio	Código	Nome da estação
Amazonas	17050001	Óbidos
Doce	56994500	Colatina
São Francisco	49705000	Propriá
Paraíba do Sul	58974000	Campos Ponte Municipal

Fonte: ANA (2017)

Além da vazão, o ROMS requer dados de salinidade e temperatura para a inserção dos rios no experimento hidrodinâmico. Estes dados não são disponibilizados pela ANA e não foram encontrados em nenhuma outra fonte para os rios brasileiros. Portanto, para a salinidade assumiu-se que seu valor é muito baixo e próximo a salinidade da água doce. Enquanto que os dados de temperatura foram obtidos a partir do produto *Operational SST and Sea Ice Analysis* (OSTIA) produzido pelo *Met Office*.

A introdução dos rios no ROMS foi feita através da escolha de pontos arbitrários na região da foz dos rios na costa. Estes serão as fontes de água doce no oceano e fica a critério do operador quanto pontos e onde eles serão colocados, também determina-se qual a porcentagem da vazão total do rio será introduzida em cada ponto.

O OSTIA é produzido através do processamento de interpolação ótima de dados de temperatura da superfície do mar (TSM) obtidos por satélites que operam tanto na região do infravermelho como de micro-ondas e dados *in situ*, resultando em valores diários base para TSM e com resolução espacial de 1/20°(DONLON et al., 2012). Disponível em <http://marine.copernicus.eu>.

3.2.5 Configuração da grade

A grade confeccionada para este estudo se estende de 10°N a 55°S de latitude de 20°W a 70°W de longitude e possui resolução horizontal (espacial) de 1/12°, ou aproximadamente 9km, com 602 pontos na direção zonal e 920 na direção meridional. A discretização vertical é feita em 30 níveis com maior resolução na superfície, através de coordenadas sigma que seguem a topografia do fundo, conforme ilustrado na Fig. 3.2.

Figura 3.2 - Representação das coordenadas sigma da grade elaborada para este estudo com corte na latitude de 20°S.

Fonte: Produção do autor

3.2.6 Experimento hidrodinâmico

O experimento hidrodinâmico foi realizado em três etapas, a primeira correspondente ao *spin-up*, a segunda o experimento hidrodinâmico com saídas mensais e a terceira

os experimentos hidrodinâmicos com saídas horárias (Tabela 3.3). A primeira etapa, denominada *spin-up*, é o período inicial que o modelo numérico leva para ajustar as soluções numéricas das equações dinâmicas e termodinâmicas à partir da condição inicial até atingir a estabilidade das soluções. Neste estudo, o período de *spin-up* teve duração de quatro anos, correspondendo aos anos de 2000 - 2003. Este período não foi utilizado nas análises posteriores.

A segunda etapa do experimento hidrodinâmico estendeu-se de 2004 a 2015, com saídas mensais e foi utilizada para avaliação da representatividade dos resultados do modelo. A terceira etapa foi realizada com o intuito de gerar as forçantes físicas para o modelo biológico e utilizou apenas o resultado das etapas um e dois com a implementação dos rios. Então, os resultados do ROMS para o modelo biológico foram gerados para 8 anos, entre 2008 e 2015 com saídas horárias para os meses de Janeiro, Fevereiro e Julho, Agosto de cada ano.

Tabela 3.3 - Experimentos hidrodinâmicos realizados com o ROMS

Experimento	Período	Tipo de saída
Spin-up	2000 - 2003	Mensal
Experimento longo	2004 - 2015	Mensal
Experimento horário	2008 - 2015	Horário

Fonte: Produção do autor

3.2.7 Avaliação do modelo hidrodinâmico

A avaliação dos resultados do modelo hidrodinâmico foi feita com base em comparações das médias sazonais das soluções para o verão (Janeiro e Fevereiro) e o inverno (Julho e Agosto), meses coincidentes com os do experimentos biológicos e as rodadas longas, isto é, 2004-2015, para toda a grade elaborada. A capacidade de resolução das feições oceanográficas obtidas nas simulações foi comparada com dados obtidos através de sensores orbitais e *in situ*, produtos de análises e reanálises. Na tabela 3.4 estão sumarizados as variáveis e os dados utilizados como referência.

Tabela 3.4 - Dados utilizados para a análise dos resultados da integração do ROMS e período correspondente à integração, no qual os dados de referência estavam disponíveis.

Variável ROMS	Dado de referência	Período
Altura da superfície do mar	AVISO	2004 - 2015
Temperatura da superfície do mar	OSTIA	2004 - 2015
Salinidade da superfície do mar	SMOS	2010 - 2015
Corrente da superfície do mar	OSCAR	2004 - 2015
Perfil de temperatura e salinidade	PIRATA	2004 - 2015

Fonte: Produção do autor

Os dados de altura de superfície do mar (ASM), variável ζ no ROMS, foram comparados com os dados de altimetria, produto de topografia dinâmica absoluta (*Absolute Dynamic Topografy*) (TDA), obtidos pelas missões TOPEX/Poseidon, Jason-1, Jason-2, e Jason-3, compilados pelo *Archiving, Validation and Interpretation of Satellite Oceanographic data* (AVISO) e distribuídos no endereço <http://marine.copernicus.eu/>. Utilizou-se o produto ADT, pois este inclui a soma das médias da altura da topografia dinâmica e as anomalias do nível do mar, que se assemelham à variável zeta (ζ) obtida à partir das soluções do ROMS, que inclui a ASM média e a ASM variável no tempo em relação à superfície do geopotencial. Os resultados de salinidade da superfície do mar (SSM) do ROMS foram comparados com dados obtidos pelo satélite *Soil Moisture Ocean Salinity* (SMOS), disponibilizados em <http://www.catds.fr/>. Os campos de corrente superficial (CS)foram comparados com dados do *Ocean Current Analysis Real-time* (OSCAR), podem ser acessados em <https://podaac.jpl.nasa.gov/dataset/OSCAR_L4_OC_-third-deg>. Este é um produto de dados de velocidade média de correntes globais para os primeiros 30m da superfície do mar. Os valores são obtidos a partir dos dados de altura da superfície do mar, vento em superfície e a temperatura da superfície do mar, utilizando a aproximação quase-linear e estacionária da equação de momentum. Além disso, em profundidade a salinidade e temperatura foram comparados com dados de boias do *Prediction and Research Moored Array in the Atlantic* (PIRATA), as boias utilizadas estão descritas na tabela 3.5 e ilustradas na figura 3.1 por triângulos de cor laranja.

Tabela 3.5 - Bóias PIRATA utilizadas para a análise dos resultados do ROMS.

Número	Latitude	Longitude
1	8°N	38°W
2	4°N	38°W
3	0°N	35°W
4	4°	23°W
5	0°	23°W
6	8°S	30°W
7	14°S	32°W
8	19°S	34°W

Fonte: NOAA (2017)

Para a realização destas comparações utilizou-se a raiz do erro quadrático médio (*Root Mean Square Deviation* - RMSD), que é capaz de medir a diferença ou o resíduo entre valores previstos pelo modelo e os valores observados no ambiente modelado (equação 3.6). Além do RMSD, calculou-se o viés do modelo com relação aos dados observados (equação 3.7), que permite medir o quanto difere o resultado do modelo com relação à observação.

$$RMSD = \sqrt{\frac{\sum_i^n (X_{ROMS,i} - X_{ref,i})^2}{n}} \tag{3.6}$$

$$Viés = X_{ROMS} - X_{ref} \tag{3.7}$$

Onde: X_{ROMS} - valor da variável simulada pelo modelo X_{obs} - valor medido da variável n - número de dados

3.3 Modelo biológico

O Ichthyop é um modelo baseado em indivíduo (MBI) desenvolvido na linguagem Java, que simula o transporte lagrangeano das partículas, neste caso ovos e larvas de peixe, com base nos parâmetros físicos do ambiente e nas características biológicas dos organismos (LETT et al., 2008). O modelo pode ser baixado em <http://www.ichthyop.org/> e neste trabalho utilizou-se a versão 3.3.

Os parâmetros físicos utilizados pelo MBI são os campos tridimensionais de veloci-

dade de correntes, temperatura e salinidade, obtidos a partir do ROMS. Os campos são interpolados no espaço de modo que haja valores associados para qualquer ponto. Além disso, estes campos são também interpolados no tempo para que sejam inseridos no MBI.

Os dados biológicos podem ser obtidos *in situ*, a partir de experimentos em laboratório, ou como no caso deste trabalho, em trabalhos da literatura. Os indivíduos são caracterizados por variáveis de estado como idade (dias), comprimento (mm), estágio de desenvolvimento, localização e status (morto ou vivo). Para cada intervalo de tempo, depois da desova, os indivíduos se movem, crescem e são afetados de acordo com os parâmetros que condicionam a mortalidade e o recrutamento.

A área e as características da desova são definidas pelo usuário, podendo conter o número de ovos da desova, a profundidade, frequência e padrão, se parcelada ou total. A mortalidade é definida pela temperatura letal, que pode ser definida para ovos e larvas separadamente. O recrutamento pode ser definido pelo tamanho ou idade da larva, ou pelo tempo de permanência da larva nas áreas de recrutamento. O movimento dos ovos e larvas no Ichthyop envolve a advecção horizontal e vertical, dispersão horizontal e vertical, flutuabilidade do ovo e a migração vertical das larvas. Há duas opções de advecção horizontal no Ichthyop, *Runge Kutta 4* e *Forward Euler*. Optou-se por utilizar a advecção pelo método *Runge Kutta 4*, pois é um método mais preciso e estável se comparado ao *Forward Euler*. O coeficiente de difusão horizontal segue o sugerido em (PELIZ et al., 2007). O movimento vertical das larvas foi baseado na migração nictemeral, sendo o padrão mais comum, a ocupação de menores profundidades durante a noite e migrando para maiores profundidades durante o dia (NEILSON; PERRY, 1990).

3.3.1 Experimento biológico

Apesar de sua relevância ecológica e crescente exploração pesqueira, o gênero *Sparisoma*, incluindo seus aspectos reprodutivos e ecológicos, é pouco estudado. No Brasil, há poucos estudos sobre o comportamento e a biologia reprodutiva do gênero, sendo muitas vezes necessário recorrer a informações de outros locais ou, ainda, utilizar informações sobre a família Scaridae.

Para o experimento biológico foram definidas áreas de desova e recrutamento baseadas na ocorrência do gênero *Sparisoma*. (FLOETER; GASPARINI, 2000; FLOETER et al., 2003; FLOETER et al., 2008). Este peixe recifal é um herbívoro raspador pertencente à família Scaridae que ocorre em toda a área de estudo (ROBERTSON et

al., 2006) e tem sofrido uma crescente pressão de pesca. As áreas de lançamento de partículas (desova) estão ilustradas por quadrados (rosa) na figura 3.1, note que estes não correspondem exatamente às áreas utilizadas, mas permitem a localização destas dentro do domínio. A área de cada polígono foi definida de acordo com as latitudes e longitudes disponíveis no decreto de criação das respectivas reservas e áreas de proteção. Quando estas não estavam disponíveis ou a área definida no decreto era pequena (menor que 18 km em cada aresta do polígono) utilizou-se a isóbata de 200m e o critério de que a área deveria ter ao menos 18km em cada aresta do polígono.

A profundidade de desova, entre 1 - 50m, foi definida de acordo com a profundidade de ocorrência do gênero e baseada em seu comportamento reprodutivo. O período reprodutivo deste gênero é, em geral, descrito como ocorrendo o ano todo (RANDALL; RANDALL, 1963; ROBERTSON; WARNER, 1978; VÉRAS et al., 2008; MOLINA-UREÑA, 2009; LESSA et al., 2015). Porém, não há um consenso sobre esta informação, já que há autores que indicam que o período reprodutivo ocorre preferencialmente no verão (JONNA, 2003; KUME et al., 2010), enquanto que outros reportam a reprodução ocorrendo no inverno (MUNRO et al., 1973; AFONSO et al., 2008). Então, optou-se por trabalhar com dois períodos de desova, uma no verão, neste estudo definido como sendo os meses de Janeiro e Fevereiro, e outra no inverno, definidos como os meses de Julho e Agosto. Além disso, estes dois períodos apresentam condições hidrodinâmicas distintas, que podem resultar em variações na dispersão dos ovos e larvas.

O número de partículas lançados em cada experimento foi definido com base na fecundidade do gênero e de acordo com experimentos teste nos quais foram liberadas um total de 45.000, 70.000, 95.000 e 120.000 partículas. Nestes experimentos não houveram diferenças significativas entre as taxas de mortalidade, tanto para o período de verão como de inverno (teste não paramétrico Kruskall - Walis, no qual, $p = 0{,}94$ para o verão e $p = 0{,}85$ para o inverno). Portanto, o número de partículas (70 mil) escolhido baseou-se no melhor balanço entre o custo computacional e a representatividade da dispersão observada.

Para o período entre 2008 e 2015, foram realizados um total de 16 experimentos, 8 no verão e 8 no inverno, utilizando o resultado das integrações do terceiro experimento hidrodinâmico e os dados biológicos de acordo com a tabela 3.6. Para cada experimento foram liberadas no total 70.000 ovos distribuídos proporcionalmente entre 9 regiões previamente selecionadas, as quais estão ilustras na figura 3.1 pelos quadrados em rosa.

Tabela 3.6 - Configuração do Ichthyop v.3.3. com dados biológicos de *Sparisoma* sp.

Variável	Valor utilizado	Referência
Número total de partículas	70000	—
Transporte das larvas	58 dias	(ROBERTSON et al., 2006)
TPP	48,6 dias	(LUIZ et al., 2013)
Comportamento na costa	Rebatimento (*Bouncing*)	—
Método numérico de advecção	Runge Kutta 4	—
Taxa de dissipação turbulenta	$1x10^{-9}$	(PELIZ et al., 2007)
Profundidade da desova	20 m	(RANDALL; RANDALL, 1963)
Densidade do ovo	0,0089 g/cm^3	(ROBERTSON, 1996)
Idade máxima do ovo	24 horas	(RANDALL; RANDALL, 1963)
Migração nictemeral (dia e noite)	-58,0 m a -27,0 m	(HUEBERT, 2009)
Hora do nascer e pôr do sol	6:00 - 18:00	—
Temperatura ótima para ovos e larvas	24,0°C - 30,0°C	(ROOIJ et al., 1995; SOUZA et al., 2010; BUNN et al., 2000)

Fonte: Produção do autor

3.3.2 Avaliação dos resultados do modelo biológico

Foram calculadas taxas de mortalidade, taxa de recrutamento e de auto-recrutamento para cada região e em cada ano. As taxas de mortalidade consideram todas as larvas que não sobreviveram ao longo dos experimentos, independentemente da causa da morte, ou por temperatura ou por advecção para fora do domínio utilizado no modelo, calculado pela equação 3.8. O recrutamento corresponde ao número de indivíduos advectados para determinada região e que ali permanecem, e o auto-recrutamento corresponde aos indivíduos que permanecem na mesma região em que foram desovados, ou seja, em que foram liberadas as partículas. São calculados segundo as equações 3.9 e 3.10, respectivamente.

$$Mortalidade_t = \frac{\sum_t d_i}{\sum_t c_i} \tag{3.8}$$

$$Recrutamento_{t,i} = \frac{\sum_t c_{ij} + \sum_t c_{ii}}{(\sum_t c_j - \sum_t d_j)} \tag{3.9}$$

$$Auto - recrutamento_{t,i} = \frac{\sum_t c_{ii}}{(\sum_t c_i - \sum_t d_i)} \tag{3.10}$$

Onde:
d_i - partículas advectadas para regiões fora do range de temperatura de sobrevivência e/ou para fora do domínio
c - número total de partículas desovadas
c_{ii} - partículas que saíram da área i e foram recrutadas na área i
c_{ij} - partículas que sairam da área i e permaneceram na área j

Para avaliar se houveram diferenças significativas entre as estações (verão e inverno) foi utilizado o teste de Mann-Whitney. Para avaliar a diferença entre os anos ou entre as regiões, tanto para a mortalidade, como para o recrutamento e auto-recrutamento, utilizou-se o teste estatístico não paramétrico de Kruskall-Wallis com post hoc Tukey-Kramer, também com significância de 5%.

Além disso, foram elaboradas Matrizes de Probabilidade de Transição (MPT), ou matriz de conectividade, a partir das quais pode-se obter o padrão de dispersão e recrutamento das larvas, desde a eclosão até o recrutamento. Pois, a MPT de n

populações é uma matriz de $P_{i,j}$ em que cada elemento (i, j) representa a probabilidade de um indivíduo se movimentar de i para j durante um tempo $t + k$, onde t e k representam o tempo de geração e o TPP, respectivamente (NORTH et al., 2009). Então, a MPT descreve a probabilidade de um indivíduo durante seu estágio larval de se movimentar do seu local de nascimento (colunas i), ou seja, as áreas fonte, até o local de assentamento ou recrutamento (linhas j), ou áreas sumidouro, considerando as três dimensões do sistema dinâmico (PARIS et al., 2007). E os elementos da diagonal da matriz indicam a porção da população que foi auto-recrutada, já que neste caso local de nascimento é igual ao local de recrutamento ou assentamento.

3.4 Fluxograma

O fluxograma da Figura 3.3 ilustra as etapas de desenvolvimento do trabalho com o modelo hidrodinâmico e com o modelo biológico, apenas considerando os resultados da rodada do modelo hidrodinâmico com a implementação dos rios. O experimento sem a implementação dos rios segue as mesmas etapas, porém não incluem os dados da ANA e, posteriormente, não foi realizado o experimento com saídas horárias e nem os experimentos biológicos.

Figura 3.3 - Etapas envolvidas no desenvolvimento do trabalho.

Fonte: Produção do autor

4 Análise das soluções do modelo hidrodinâmico

A avaliação das soluções do modelo hidrodinâmico foi baseada na comparação com dados de observação, utilizando dados de sensoriamento remoto e *in situ*. As análises serão apresentadas na seguinte ordem: temperatura da superfície do mar (seção 4.1), salinidade da superfície do mar (seção 4.2), altura do nível do mar (seção 4.3) e correntes superficiais (seção 4.4). Além dos campos superficiais, será também avaliada a estrutura vertical da coluna d'água do modelo hidrodinâmico através de perfis verticais de temperatura e salinidade (seção 4.5) e secções latitudinais da velocidade meridional (seção 4.6). As soluções obtidas pelo ROMS forneceram os parâmetros físicos para o modelo biológico e, portanto, sua avaliação é fundamental para a confiabilidade dos resultados do MBI, já que são estes que determinarão a mortalidade, dispersão e recrutamento.

4.1 Temperatura da superfície do mar

Os campos de TSM obtidos a partir dos experimentos do ROMS, figura 4.1 - A e B, representam corretamente as feições oceanográficas quando comparados aos campos de TSM da análise OSTIA, figura 4.1 - C e D. Os valores de RMSD da TSM, figura 4.2 - A e B, tanto para o verão como para o inverno, variam entre 0 e 2,0°C, na região entre 10°N e 30°S, área de interesse para os estudos com o modelo biológico.

Na área de influência da foz do rio Amazonas há maiores valores de RMSD no verão, variando entre 2,0°e 2,5°C, se comparado ao inverno, entre 0,5°e 1,0°(figura 4.2 - A e B). Nota-se que as soluções do ROMS nesta região apresentam temperaturas superiores à referência, destacado pelo viés de 1,0°C, figura 4.2 - C e D, sendo mais acentuadas no verão. Além disso, nas proximidades da latitude do equador nota-se uma região com valores de RMSD em torno de 2,0°C e viés negativo de no máximo 1,0°, que se acentua no inverno. Esta feição está associada à ressurgência equatorial, que assim como encontrado na simulação que resolve processos de mesoescala de Seo et al. (2006), apresenta essa região mais fria que a referência, enquanto que a região subtropical apresenta-se mais quente, ou seja, com viés positivo de até 1,0°C no caso dos experimentos do presente trabalho.

Na região de Cabo Frio, RJ, há valores de RMSD próximos a 2,0°C, e as soluções do modelo apresentam temperaturas menores que a referência, isto está relacionado ao processo de ressurgência que ocorre na região, o qual é mais acentuado para o período do verão (CASTELAO; BARTH, 2006), em que os valores de RMSD também estão mais elevados, chegando a 3,0°C. Este processo é responsável pela elevada variabilidade

sazonal da TSM, que apresenta maiores valores durante o outono e inverno e menores durante o verão (FRANCHITO et al., 2008). Há também a contaminação dos pixels do satélite próximos à costa devido à presença de nuvens, em especial no verão.

Figura 4.1 - Campos médios de temperatura da superfície do mar, (A) e (B) obtidos nos experimentos com o ROMS e (C) e (D) da análise OSTIA, para o verão (coluna da esquerda) e para o inverno (coluna da direita). A linha preta contínua representa a isóbata de 200m.

Fonte: Produção do autor

Os maiores desvios observados (figura 4.2 - A e B, próximo à 36°S e 55°W) localizam-se na região da CBM, chegando a 5,0°C e são acentuados no período do inverno, figura 4.2 - D. Estes resultados colocam os valores de TSM da CM com valores mais quentes em até 5,0°C e da CB mais frios em até 2,0°C (figura 4.2 - C e D), principalmente no verão. Os resultados do modelo posicionam a CBM um pouco mais ao norte do que o descrito na literatura, que localiza a CBM em 38°S (MATANO, 1993).

Alguns autores associam a variação da posição da CBM ao balanço do transporte da CB e da CM que fluem em direções opostas, então, as variações em sua posição estão relacionadas aos fatores que controlam o transporte, como por exemplo a tensão de cisalhamento do vento sobre o giro subtropical e o transporte da CCA na Passagem de Drake (MATANO, 1993; COMBES; MATANO, 2014a; COMBES; MATANO, 2014b).

Figura 4.2 - (A) e (B) o RMSD calculado entre o OSTIA e a TSM resultantes dos experimentos com o ROMS e (C) e (D) o viés entre as soluções do modelo e dado de referência, para o verão (coluna da esquerda) e para o inverno (coluna da direita). A linha preta contínua representa a isóbata de 200m.

Fonte: Produção do autor

4.2 Salinidade da superfície do mar

Os campos de SSM resultantes dos experimentos com o modelo hidrodinâmico, figura 4.3, foram comparados com dados de salinidade obtidos por sensores a bordo da

plataforma SMOS, cujos campos de SSM estão ilustrados na figura 4.4 - A e B. Os resultados do modelo representam bem a SSM em toda a grade. As soluções do modelo apresentam os maiores valores de RMSD, entre 3,0 e 5,0 (figura 4.4 - C e D), associados à regiões na plataforma continental que possuem aporte fluvial e à regiões da dispersão da pluma destes, como é o caso do rio Amazonas, na parte norte da grade, e do Rio da Prata (34°S) e Lagoa dos Patos (32°S), na parte mais ao sul e o viés (figura 4.4 - D e F) nestas regiões também apresentam o maiores valores.

Figura 4.3 - Campos médios de salinidade da superfície do mar obtidas a partir dos experimentos utilizando o ROMS para o verão e o inverno. A linha preta contínua representa a isóbata de 200m.

Fonte: Produção do autor

Na região da pluma do rio Amazonas, os resultados do ROMS simulam os padrões sazonais para a SSM observados. A foz do rio Amazonas apresenta o menor aporte fluvial no período do verão (DAI; TRENBERTH, 2002), o que coincide com valores máximos de salinidade observados nos resultados do modelo hidrodinâmico. Além disso, as correntes são predominantes para oeste, o que restringe a dispersão da pluma à região costeira (FOLTZ; MCPHADEN, 2008). No entanto, o aporte fluvial é máximo no inverno, e as correntes zonais em superfície retrofletem e se intensificam, transportando águas com baixa salinidade em direção oeste a foz do rio Amazonas, na faixa entre 5°N e 10°N de latitude (MULLER-KARGER et al., 1988), como observa-

se nesta região da figura 4.3.

O impacto da vazão dos rios Doce, São Francisco e Paraíba do Sul na região costeira é sutil comparativamente aos rios Amazonas e rio da Prata, devido ao menor volume de água. Contudo, a implementação destes rios no modelo hidrodinâmico é importante também para futuros estudos, já que estes são importantes fontes de sedimentos e de água doce e podem impactar diretamente a biodiversidade local. Por exemplo, o rio Doce e o rio Paraíba do Sul são fontes de sedimento para a plataforma continental brasileira e contribuem para formação e manutenção de regiões de manguezal (KNOPPERS et al., 1999; SOUZA et al., 2011).

As diferenças observadas entre as soluções do modelo e a referência podem estar relacionadas ao dado de vazão utilizado, uma vez que estes podem estar superestimando ou subestimando a vazão dos rios. Oliveira et al. (2018) analisam e criam uma climatologia para as descargas fluviais da costa brasileira, também utilizando dados do portal Hidroweb da ANA, contudo, destacam que estes dados são coletados a certa distância da foz e que estes dados são confiáveis apenas para o período anterior a 2007. Portanto, é recomendado que sejam feitas correções e ajustes nas vazões para a utilização em modelos, como os resultados por eles publicado. Além disso, é possível que melhores resultados sejam obtidos com a inserção dos rios utilizando diferentes pontos de entrada, ou seja, pontos mais distribuídos ao longo da foz na região costeira.

A descarga fluvial na região do rio da Prata e Lagoa dos Patos está sujeita à variabilidade sazonal, como observados nos experimentos hidrodinâmicos realizados neste trabalho. Piola et al. (2000) mostram que a pluma do rio da Prata, caracterizada por salinidade inferior a 33, pode chegar até a latitude de 28°S no inverno, enquanto que no verão localiza-se ao sul de 32°S. Esta variação sazonal está representada nos resultados obtidos pelas simulações hidrodinâmicas, porém ainda há valores de RMSD elevados nesta região. Isto pode estar relacionado ao fato de que a vazão da Lagoa dos Patos não foi incluída na simulação.

Figura 4.4 - (A) e (B) Campos médios de SSM dos dados do SMOS, (C) e (D) o RMSD calculado entre o SMOS e a SSM resultantes dos experimentos com o ROMS e (E) e (F) o viés entre as soluções do modelo e dado de referência, para o verão (coluna da esquerda) e para o inverno (coluna da direita). Para o intervalo de tempo entre 2010 e 2015, sendo que o verão corresponde aos meses de Janeiro e Fevereiro e o inverno à Julho e Agosto.

Fonte: Produção do autor

4.3 Altura da superfície do mar

Os campos de ASM produzidos pelo ROMS (4.5 - A e B), ζ, foram comparados com a TDA, do AVISO (figura 4.5 - C e D). Nota-se que os campos de ζ resultantes das simulações hidrodinâmicas apresentam viés negativo em quase toda a grade (figura 4.6 - C e D) tanto no inverno como no verão. Os valores de RMSD são mais baixos sobre a região da CM e da FSA e os maiores valores estão sobre a plataforma continental ao sul da grade, principalmente ao longo da costa da Argentina.

Figura 4.5 - Campos médios de altura da superfície do mar obtidas a partir dos experimentos utilizando o ROMS (A) e (B) e campos de topografia dinâmica absoluta (C) e (D), para o verão (coluna da esquerda) e o inverno (coluna da direita). A linha preta contínua representa a isóbata de 200m.

Fonte: Produção do autor

Na área de interesse para o modelo biológico, entre 10°N e 30°S, os valores de RMSD

variam entre 0,3 e 0,5, com viés negativo de 0,4m. Alguns autores avaliam a altura da superfície do mar, variável equivalente à ζ, Lemarié et al. (2012) observaram que o ROMS subestimou a ASM 0,4 na região da corrente do Kuroshio no Pacífico. De maneira similar, Tanajura et al. (2014) observaram que a ASM com relação à referência difere em até 0,4 m em regiões com intensa atividade de meso-escala, como por exemplo a região da confluência Brasil-Malvinas e a região da corrente de Benguela. Para a costa do Brasil na região da plataforma sudoeste, Dias et al. (2014) constataram a mesma diferença entre os resultados e os dados do AVISO.

Figura 4.6 - (A) e (B) RMSD calculado entre ASM e ζ resultantes dos experimentos com o ROMS e (C) e (D) o viés entre as soluções do modelo e dado de referência, para o verão (coluna da esquerda) e para o inverno (coluna da direita). A linha preta contínua representa a isóbata de 200m.

Fonte: Produção do autor

O ROMS não considera os efeitos estéricos da coluna de água, ou seja, a expansão ou

contração do volume de água devido às mudanças de densidade na coluna de água e, portanto, apresenta as diferenças observadas entre os dados obtidos pelo AVISO e as soluções do ROMS ocorrem. Isto ocorre porque o ROMS utiliza a aproximação de Boussinesq em seus cálculos, então, considera que variações de densidade são desprezíveis, como as resultantes do maior aquecimento da superfície da coluna d'água (efeito estérico termal) (BOUFFARD et al., 2008), exceto quando estas contribuem para a força de empuxo.

4.4 Correntes da superfície do mar

A análise das correntes superficiais foi realizada com base em médias sazonais da decomposição da velocidade em suas componentes zonal (u) e meridional (v), figura 4.7 e através do cálculo do RMSD (figura 4.8). O ROMS representa corretamente as direções das correntes e a variabilidade sazonal, porém, seus campos de velocidade apresentam maiores magnitudes de que os campos do OSCAR (figura 4.7), principalmente na região equatorial e em regiões próximas à costa.

Os maiores valores de RMSD ocorrem em regiões com intensa atividade de mesoescala, como a região equatorial ($0,5ms^{-1}$) e a região da CBM (4.8), tanto para a velocidade zonal como para a velocidade meridional. Destaca-se a região da retroflexão da CNB em direção à CCNE, região de formação de vórtices que carregam águas do hemisfério sul para o hemisfério norte e podem até conter água do rio Amazonas. A retroflexão e a formação de vórtices nesta região têm início no período do inverno e permanecem até o verão, desaparecendo apenas durante o outono, Garraffo et al. (2003) posicionam a ponta mais a oeste da retroflexão em 50°W no inverno e em 53°W no verão, como podemos observar nas figuras 4.8.

Rodrigues et al. (2007) mostraram que, próximo à costa, a CSEs é uma corrente larga que se posiciona entre 8°N e 20°S e que a posição média anual de sua bifurcação localiza-se entre 10°- 14°S, assim como observado nos resultados das simulações do ROMS do presente trabalho. A bifurcação da CSEs na parte acima da termoclina está relacionada principalmente à variações do forçamento do vento, o qual relaciona-se com migração meridional sazonal da ZCIT. O rotacional do vento local atinge seu mínimo em julho e o máximo em novembro, desta forma, a bifurcação está mais ao sul em julho e na sua posição mais ao norte em novembro. Quando a bifurcação da CSEs está em sua posição mais ao sul (mais ao norte) em junho-julho (outobro-novembro) o transporte da subcorrente norte do Brasil aumenta (diminui) e o transporte da BC diminui (aumenta) (RODRIGUES et al., 2007).

Figura 4.7 - Campos médios de velocidade zonal e meridional dos campos obtidos à partir do ROMS e da referência utilizada (OSCAR). Para o intervalo de tempo entre 2004 e 2015, sendo que o verão corresponde aos meses de Janeiro e Fevereiro e o inverno à Julho e Agosto.

Fonte: Produção do autor

Figura 4.8 - Campos de RMSD obtidos a partir das soluções do ROMS e da referência utilizada (OSCAR) para correntes zonais e meridionais.

Fonte: Produção do autor

A região da CBM é uma região de intensa atividade de mesoescala e é influenciada também pelo aporte de água fluvial do Rio da Prata. A localização da CBM é influenciada pelo balanço de momentum entre a CM e a CB e é, portanto, sensível à topografia de fundo e ao transporte da CCA através da passagem de Drake (MATANO, 1993). Assim como nos resultados do modelo de Combes e Matano (2014a) é possível observar que a CM ao sul de 45°S é formada por dois jatos meridionais, sendo que o mais fraco flui próximo à quebra da plataforma e o mais forte em regiões mais profundas, figura 4.7 (COMBES; MATANO, 2014a).

4.5 Perfis verticais de temperatura e salinidade

Perfis verticais de temperatura e salinidade foram comparados com dados obtidos pelas boias do PIRATA presentes no domínio da área de estudo. Os resultados

obtidos pelo ROMS com relação à temperatura até 500 m de profundidade, figura 4.9, representam bem os ciclos sazonais da camada de mistura e da termoclina. Além disso, há pouca diferença entre as soluções obtidas pelo ROMS e os dados observados, os maiores valores de RMSD encontram-se região da termoclina . Os resultados do ROMS também apresentam um viés em sua maioria negativo, tanto no verão como no inverno, provavelmente relacionados à dificuldade do modelo hidrodinâmico em reproduzir a ventilação de água de subducção abaixo da termoclina e oriunda do Atlântico Sul assim como encontrado na simulação de Silva et al. (2009). De forma semelhante, a salinidade (figura 4.10) também é bem representada pelo ROMS, os maiores valores de RMSD ocorrem para a profundidade de 120 m e o viés é também majoritariamente negativo.

Figura 4.9 - Perfis verticais para os primeiros 500 m da coluna d'água comparando dados de temperatura das boias PIRATA (linhas tracejadas e círculos) e do ROMS (linhas contínuas e estrelas) para o período do verão e do inverno. A localização das boias está indicada na figura 3.1 (triângulos laranja).

Fonte: Produção do autor

4.6 Perfis de velocidade meridional ao longo da costa

Foram analisadas, também, de secções latitudinais da velocidade meridional (figura 4.11), posicionadas de acordo com a latitude de bifurcação da CSEs ao aproximar-se

Figura 4.10 - Perfis verticais para os primeiros 120 m da coluna d'água comparando dados de salinidade das boias PIRATA (linhas tracejadas e círculos) e do ROMS (linhas contínuas e estrelas) para o período do verão e do inverno. A localização das boias está indicada na figura 3.1 (triângulos laranja).

Fonte: Produção do autor

da costa. Na seção de 5°S há a presença de um fluxo para norte nos primeiros 750 m de profundidade, que pode ser identificada como a CNB abaixo desta camada. Para sul, identifica-se a uma corrente profunda de contorno oeste que transporta Água Profunda do Atlântico Norte (PEREIRA et al., 2014). Em 13°S a principal feição é a corrente de contorno intermediária, cujo núcleo está entre 200 m e 800 m e, abaixo desta, localiza-se a corrente profunda de contorno oeste, e ainda, pode-se observar a formação da CB nos primeiros metros de profundidade. Em 22°S nota-se a presença da CB em direção ao sul estendendo-se até aproximadamente 300 m de profundidade (RODRIGUES et al., 2007; PEREIRA et al., 2014). Abaixo dos 300 m ocorre a bifurcação da CSE com a profundidade, que gera um fluxo para norte. Por último, a seção em 30°S mostra que a CB estende-se ao longo da coluna d'água (PEREIRA et al., 2014).

Figura 4.11 - Velocidade meridional (ms^{-1}) média para as latitudes de 5°S, 13°S, 22°S e 30°S para o verão e o inverno. O eixo vertical $z \leq 1000$m foi expandido para melhor visualização. A localização das secções latitudinais estão ilustrada na figura 3.1 por linhas em ciano. Valores positivos (negativos) de velocidade indicam fluxo para norte (sul).

Fonte: Produção do autor

5 Resultados das simulações lagrangianas

Esta secção apresenta os resultados do MBI e está estruturada da seguinte maneira, primeiro será analisada a mortalidade e sua variação (secção 5.1), em seguida serão analisados os padrões de dispersão dos ovos e larvas (secção 5.2), na secção 5.3 serão analisados o recrutamento e o auto-recrutamento e por último será avaliada a conectividade entre as unidades de conservação de interesse.

5.1 Mortalidade

Observa-se nos experimentos realizados (figura 5.1), que há acentuada mortalidade no início do experimento, a qual tende a uma assíntota conforme o passar do tempo, atingindo os maiores valores de mortalidade ao final da simulação. Este padrão pode ser observado tanto no verão como no inverno e em todos os anos de simulação. A temperatura é um importante fator no desenvolvimento e sobrevivência dos ovos e larvas, atuando diretamente no crescimento e duração dos estágios larvais (O'CONNOR et al., 2007). Além disso, variações de temperatura podem afetar a fisiologia, a atividade metabólica, o comportamento e o crescimento dos estágios iniciais do ciclo de vida de peixes (BLAXTER, 1992; HOUDE, 2008). Por exemplo, Pepin (1991) destaca que a temperatura causa maiores variações nas taxas de mortalidade sobre ovos e larvas ainda com o saco vitelínico, que no caso do desenvolvimento de *Sparisoma rubripinne* ocorre até o terceiro dia após a eclosão (RANDALL; RANDALL, 1963).

A elevada mortalidade nos estágios iniciais do ciclo de vida é importante para a manutenção das populações em níveis ecologicamente equilibrados e é a principal causa da variação natural do recrutamento e, consequentemente, da abundância das populações (FUIMAN; WERNER, 2002; HOUDE, 2008). No caso de ovos e larvas a mortalidade é dependente de diversos fatores, tais como predação, o crescimento das larvas, a capacidade de alimentação da larva após a absorção do saco vitelínico, a disponibilidade de alimento, predação, entre outros, além de fatores físicos do ambiente que podem afetar a fisiologia dos organismos (HOUDE, 1997; SOGARD, 1997; GARRIDO et al., 2015). Nestas simulações considera-se apenas a mortalidade por temperatura e por advecção para fora do domínio, ou seja, para fora da grade do modelo. A mortalidade por temperatura adotada nestes experimentos considera tanto a mortalidade por temperaturas acima como abaixo da faixa de valores conhecida de sobrevivência, definida entre 24°C e 30°C.

Figura 5.1 - Taxa de mortalidade em todo o domínio ao longo do tempo de simulação (58 dias) no MBI para cada ano (2008 a 2015) no verão e no inverno.

Fonte: Produção do autor

A mortalidade abordada a partir deste ponto trata da mortalidade total (MT) ao final de cada simulação. Observa-se que a MT é significativamente (p = 0,0379) maior no verão que no inverno (figura 5.2). No verão as menores taxas de mortalidade ocorrem nos anos de 2010 e de 2014 e no inverno no ano de 2011. A MT é bastante elevada em todos os anos pelos motivos já discutidos acima, e portanto, não há variações significativas entre cada ano (p = 0,608). Ainda, observa-se que a maior parte da mortalidade ocorre por temperaturas abaixo do mínimo determinado no intervalo de sobrevivência, figura 5.3 linha inferior, sendo que nas regiões AB, CF, SPSP e TR (figura 5.3 linha superior) a mortalidade se deve inteiramente às baixas temperaturas.

Figura 5.2 - Mortalidade total média para os experimentos de verão (gráfico à esquerda) e inverno (gráfico à direita) de cada ano, onde cada cor representa a mortalidade de cada região.

Fonte: Produção do autor

Na região de Cabo Frio a ressurgência, que ocorre com maior intensidade no verão, resulta em temperaturas superficiais de até 15°C (RODRIGUES; LORENZZETTI, 2001). Os dados de TSM (figura 4.1 - A e B) do modelo e da boia 5 do PIRATA da secção 4.9 mostram que há a presença de águas mais frias em superfície na região de SPSP. Isto ocorre devido à ressurgência equatorial induzida pelo vento que reduz a profundidade da termoclina, cujas temperaturas variam entre 25°e 15°C, influenciando a TSM (LI; PHILANDER, 1997; STRAMMA et al., 2003). Para as regiões AB e TR há indícios de que processos de ressurgência locais influenciados pela topografia de fundo e a presença de vórtices ciclônicos também podem causar reduções da TSM (AGUIAR et al., 2014) que causam a mortalidade dos ovos e larvas.

A mortalidade por temperaturas acima do ótimo de sobrevivência (figura 5.3 em vermelho) são maiores no verão que no inverno e ocorrem principalmente nas regiões de RC e ML no verão. No inverno este tipo de mortalidade é maior em RC e CC, que são regiões costeiras e estão no domínio da CNB que transporta águas mais quentes (PHILANDER, 2001). A mortalidade por advecção para fora do domínio (figura 5.3 em verde) é pelo menos uma ordem de magnitude menor que a mortalidade causada pela temperatura e apresenta maior variabilidade no verão, onde destaca-se o ano de 2008, quando atinge valores até duas vezes maior que nos demais anos. Este tipo de mortalidade ocorre nas regiões localizadas mais próximas ao limite norte da grade da área de estudo, principalmente em ML, AR e FN. Estas estão sob influência da

CNB que segue para noroeste até onde encontra ramo CSEc, em aproximadamente 4°S e 36°W e se intensifica, gerando acelerações que podem chegar a 55-60 cm/s, ao chegar nas longitudes entre 44-50°W a CNB retroflete e advecta partículas para fora do domínio, assim como encontrado na simulação realizadas com derivadores lançados em regiões próximas à localização de ML, AR e FN no trabalho de Lumpkin e Garzoli (2005).

Figura 5.3 - Mortalidade total particionada entre os tipos de mortalidade em cada ano (2008 - 2015), sendo que a cor azul representa a mortalidade por temperaturas menores que 24°C, a cor vermelha a mortalidade por temperaturas superiores a 30°C e a cor verde a mortalidade por advecção para fora do domínio.

Fonte: Produção do autor

5.2 Padrões de dispersão

Para a análise dos padrões de dispersão das partículas considera-se apenas aquelas que permanecem vivas até o final da simulação, ou seja, ao final de 58 dias. As trajetórias (figuras 5.4 e 5.5) e o deslocamento total das partículas (figuras 5.6 e 5.7) apresentam uma ampla variação sazonal e inter-anual, pois estes estão diretamente

relacionados às variações da circulação superficial. Essa variabilidade contribui para as diferenças observadas na mortalidade e no recrutamento, uma vez que a advecção das partículas é que determinará se elas passarão por regiões com temperaturas desfavoráveis à sobrevivência ou se elas chegarão às regiões em que podem ser recrutadas. Percebe-se que no verão as larvas percorrem menores distâncias que no inverno, provavelmente devido à presença de instabilidades de mesoescala e inversão de fluxos, como é o caso da CNB, cujo transporte se intensifica no inverno e tende a ser mais unidirecional (JOHNS et al., 1998).

Há diferenças no caminho e no deslocamento total das partículas tanto no verão como no inverno, principalmente na CC, que se encontra próximo à latitude da bifurcação da CSEs (RODRIGUES et al., 2007). Nesta região, no verão as larvas tendem a ir para sul, enquanto que no inverno se dispersam para noroeste, seguindo o mesmo padrão que as larvas de RC, AR, FN e ML, que seguem a CNB. Nestas regiões localizadas na porção norte do domínio são também observadas as maiores distâncias percorridas pelas partículas, pois é onde as correntes superficiais possuem maiores magnitudes (LUMPKIN; GARZOLI, 2005). Além disso, a circulação superficial do Atlântico tropical é forçada principalmente pelo vento, cuja direção e intensidade são modulados pela marcha sazonal da ZCIT, a qual está diretamente associada às variações TSM (NOBRE; SHUKLA, 1996). Durante o verão, do hemisfério sul, quando os gradientes de pressão atmosférica movem a ZCIT para seu extremo sul, há ventos perpendiculares à plataforma continental e em direção à costa. Já no inverno, a ZCIT está em sua posição mais ao norte, que intensifica a CCNE e induz a retroflexão da CNB que alimenta a CCNE, aumentando o transporte em direção a leste (COLES et al., 2013).

Já as regiões de desova localizadas na porção mais ao sul apresentam menores deslocamentos, como é o caso de AB e TR. Estas localizam-se em uma região de intensa presença de vórtices, como o vórtice de Ilhéus (15,5°S), o vórtice do banco de Royal Charlotte em 17°S, o vórtice de Abrolhos (19°S), vórtice de Vitória e o vórtice de Sul de Vitória (SOUTELINO et al., 2011; SOUTELINO et al., 2013; ARRUDA et al., 2013). Contudo, é também uma região em que as correntes superficiais possuem menor intensidade se comparado com a porção norte do domínio.

Figura 5.4 - Trajetória percorrida pelas partículas vivas desde o início do experimento até o último dia da simulação para o verão de cada ano (2008 - 2015), onde cada cor representa uma região desova.

Fonte: Produção do autor

Figura 5.5 - Trajetória percorrida pelas partículas vivas desde o início do experimento até o último dia da simulação para o inverno de cada ano (2008 - 2015), onde cada cor representa uma região desova.

Fonte: Produção do autor

Figura 5.6 - Boxplot do deslocamento total (km) das partículas ao longo da simulação no verão para os anos de 2008-2015.

Fonte: Produção do autor

Figura 5.7 - Boxplot do deslocamento total (km) das partículas ao longo da simulação no inverno para os anos de 2008-2015.

Fonte: Produção ao autor

5.3 Recrutamento, auto-recrutamento e conectividade

O recrutamento corresponde à fração de indivíduos que passam a integrar a população adulta, após a sobrevivência da fase larval. Neste trabalho é definido como o momento a partir do qual a larva está apta para juntar-se à população adulta, ou seja, quando atinge o máximo TPP.

As taxas de recrutamento e de auto-recrutamento calculadas para o período de simulação, de 2008 a 2015, são muito baixas tanto no verão como no inverno, devido à escala espacial da região estudada. O recrutamento no verão é menor que no inverno, mas as diferenças não são significativas (Mann Whitney $p = 0,247$), apesar de apresentar variações de uma ordem de grandeza. Isto porque o recrutamento em cada região, em cada ano e para cada estação são muito baixos, próximos a zero, mas ao considerar o recrutamento total por ano, ou seja, desconsiderando a variabilidade entre as regiões, há diferenças significativas entre o verão e o inverno (Mann Whitney $p < 0,001$).

É possível observar que no verão há apenas auto-recrutamento em TR, que não ocorre no inverno. Já em ML há recrutamento de indivíduos vindos de FN, RC e CC no inverno, mas no verão a única fonte de indivíduos para ML é CC (figura 5.8). No inverno há também recrutamento em FN nos anos de 2009 e 2010, $1,77x10^{-4}$ e $5,40x10^{-4}$ respectivamente. Já RC e CC apresentam recrutamento nas duas estações com elevada variabilidade inter-anual, para RC no verão e CC no inverno.

Não houveram diferenças inter-anuais significativas (Kruskall-Wallis $p = 0,864$) para o recrutamento, que apresentam em média taxas menores que 0,05 para a maior parte dos anos. Entretanto, há diferenças entre o recrutamento das regiões (Kruskall-Wallis $p < 0,0001$), sendo que, de modo geral, as regiões que não apresentam recrutamento, diferem significativamente das que apresentam, então, o AR, CF, FN e SPSP diferem de ML, RC e CC.

O auto-recrutamento segue o mesmo comportamento do recrutamento, não apresenta diferenças significativas entre o verão e o inverno (Mann Whitney $p = 0,579$) e nem entre os anos da simulação (Kruskall-Wallis $p = 0,958$). Observa-se que no verão há auto-recrutamento em TR (anos de 2010, 2013, 2014 e 2015), que não ocorre no inverno e que CC é responsável por todo o auto-recrutamento no inverno (5.9). Há, portanto, diferenças entre o auto-recrutamento nas regiões (Kruskall-Wallis $p < 0,0001$), sendo que CC é a única que difere significativamente das demais.

Figura 5.8 - Recrutamento para os experimentos de verão (gráfico à esquerda) e de inverno (gráfico à direita), onde as cores representam cada região de recrutamento das partículas. Os dados foram transformados utilizando a raíz quadrada para facilitar a vizualização gráfica, mas no eixo Y estão representados os valores reais do recrutamento.

Fonte: Produção do autor

Figura 5.9 - Auto-recrutamento para os experimentos de verão (gráfico à esquerda) e de inverno (gráfico à direita), onde as cores representam cada região de recrutamento das partículas.

Fonte: Produção do autor

As elevadas taxas de mortalidade e baixas taxas de recrutamento resultam em um padrão de baixa conectividade mostrado na figura 5.10. No verão, CC é a única região fonte de larvas e estas são auto-recrutadas e recrutadas principalmente em RC. AB e ML apresentam recrutamento esporádicos e com valores muito baixos da ordem de 10^{-5}, que representam 11 e 2 indivíduos, respectivamente, ao longo de todo o período (2008-2015) de simulação para verão.TR apresenta apenas auto-

recrutamento e não recebeu larvas de nenhuma outra região nestes experimentos. Já no inverno, as principais fontes de ovos e larvas são CC, RC e FN e as principais áreas de recrutamento são ML e RC, enquanto que CC é a única região que apresenta auto-recrutamento.

Figura 5.10 - Matriz de probabilidade de transição média para os anos de 2008 a 2015 áreas fonte (desova, eixo y) e sumidouro (recrutamento, eixo x) para o verão e o inverno. A linha diagonal preta indica região de auto-recrutamento.

Notar que a cor cinza representa apenas valores iguais a zero e que a escala dos gráficos do verão e do inverno são distintas.

Fonte: Produção do autor

Estes padrões corroboram os valores de abundância encontrados por Mazzei et al. (2017), que reportam maiores abundâncias em ML, CC e AB nas regiões costeiras e menores nas ilhas oceânicas, em ordem decrescente, FN, AR e TR. Elucidam, também, a presença de espécies endêmicas na costa brasileira, pois há baixa conectividade entre as regiões, principalmente devido à distância das ilhas oceânicas. Ainda, o baixo recrutamento e a baixa conectividade entre as populações do litoral brasileiro e das ilhas oceânicas, resultam em um baixo intercâmbio de organismos, havendo então, uma baixa reposição de indivíduos e também uma baixa troca genética entre as populações, o que dificulta a manutenção destas.

Dentre as ilhas oceânicas, TR se destaca, pois recruta apenas larvas ali desovadas (auto-recrutamento), o que indicaria um maior isolamento destas populações. Porém, Gasparini e Floeter (2001) indicam que a fauna de TR se assemelha mais às regiões

costeiras que às demais ilhas oceânicas, provavelmente devido a presença dos montes submarinos e ao regime hidrodinâmico em que está inserida.

A pluma do rio Amazonas, por introduzir, em média, 6300 x 10^9 $m^3.ano^{-1}$ (DAGG et al., 2004) de água doce no Atlântico tropical oeste e com elevada carga de sedimentos, constitui um filtro biogeográfico para a dispersão de organismos nesta região costeira (ROCHA, 2003; ROCHA et al., 2005). Porém, nos resultados obtidos a partir das simulações lagrangianas, observa-se que há recrutamento em ML de indivíduos oriundos de FN, por exemplo. Contudo, a mortalidade definida no modelo biológico é representada apenas por diferenças de temperatura, não considerando variações de salinidade ou a presença de sedimento. Estes autores, também, propõem que pode haver uma conexão entre a costa brasileira e do Caribe, atribuindo à ecologia a seleção da biodiversidade do Atlântico oeste. Esta conexão pode ser observada em nossos mapas de trajetória (figuras 5.4 e 5.5), pois as partículas que são mortas por advecção para fora do domínio encontram-se na borda norte, e tenderiam a seguir em direção ao Caribe.

Além disso, evidenciam um cenário crítico para a conservação de *Sparisoma* e da conectividade entre as UCs do Brasil, uma vez que a persistência das espécies depende do sucesso da migração de indivíduos entre habitats ou fragmentos diversos, mas conectados (HASTINGS; BOTSFORD, 2006), já que este gênero sofre com a perda de habitats pela degradação dos recifes de coral e com a intensa atividade pesqueira (BENDER et al., 2014). Algumas destas espécies, como é o caso de *Sparisoma axillare* e *Sparisoma fronsodum*, já estão classificadas como vulneráveis na lista brasileira de espécies ameaçadas (PADOVANI-FERREIRA et al., 2012).

Roos et al. (2015) identificam áreas de distribuição de indivíduos adultos de *Sparisoma* e enfatizam a necessidade de incorporar às necessidades biológicas e espacias das espécies em questão para que medidas de manejo e o planejamento de unidades de conservação sejam mais adequadas, assegurando a proteção de áreas consideradas sensíveis, como recifes de coral e concluem que as UCs de ML, AR, FN, AB e TR atendem ao propósito de preservação das espécies. Contudo, ao considerar os estágios inicias do ciclo de vida, os resultados aqui apresentados demonstram que há certo grau de isolamento entre as UCs estudadas, ou seja, há reduzida conectividade entre elas, como ilustrado pelas figuras 5.11 e 5.12.

Notar que para a figura 5.10 calculou-se o recrutamento médio para todo o período de simulação, entre 2008 e 2015, com base no total de partículas em todo o domínio. Enquanto que para as figuras 5.11 e 5.12 o cálculo do recrutamento e do auto-

recrutamento foi feito com base no total de partículas de cada região, a fim de facilitar o entendimento da contribuição de cada região.

Apesar de constar como um fator importante a ser considerado na criação de UCs, a conectividade tem sido pouco incorporada ao planejamento e desenho destas (ALMANY et al., 2009; MAGRIS et al., 2013). No Brasil, a distribuição espacial atual das UCs é pouco representativa dos ecossistemas, pois estão desigualmente distribuídas ao longo da costa. Há ainda baixa conectividade entre as UCs, pois a distribuição espacial atual não atende às distâncias mínimas de dispersão das espécies (HALPERN; WARNER, 2003), reduzindo então a performance das UCs e prejudicando os objetivos de manutenção e preservação da biodiversidade, principalmente daquelas exploradas e que têm migração ontogenética (OLDS et al., 2012). Isso é consequência da maneira como as UCs são criadas, pois atualmente estas são colocadas onde é politicamente mais conveniente e não onde seriam mais eficazes para mitigar as ameaças aos ecossistemas e ao ambiente marinho. Além disso, o conhecimento sobre os processos que controlam a biodiversidade marinha, tais como processos oceanográficos, distribuição em manchas e a migração de indivíduos, são escassos, especialmente no Brasil.

Os resultados do MBI mostram ainda, que apesar do baixo recrutamento e elevada mortalidade, há uma parcela dos indivíduos que sobrevivem (figuras 5.11 e 5.12), mas não são recrutados nas áreas de desova. Estas partículas terminam a simulação em regiões (principalmente no inverno) que podem ser próprias para a sobrevivência destes indivíduos (ROOS et al., 2015) e poderiam ser recrutadas nestes locais. Ou seja, a configuração atual das UCs permite que parte da população seja protegida, da pressão pesqueira por exemplo, e exporte biomassa para áreas vizinhas, porém, medir essa taxa de exportação e se esta é suficiente para manter a população é técnica e logisticamente complicado (SALE et al., 2005).

Figura 5.11 - Mapa síntese da mortalidade, recrutamento e auto-recrutamento para o período de 2008 - 2015 no verão.

Em cada círculo há a mortalidade (em vermelho) e a sobreviência(em verde). As setas azuis representam o recrutamento ou o auto-recrutamento. Os triângulos laranjas representam a porcentagem de indivíduos vivos que são exportadas por aquela região, mas que não foram recrutadas em nenhuma outra região.

Fonte: Produção do autor

Figura 5.12 - Mapa síntese da mortalidade, recrutamento e auto-recrutamento para o período de 2008 - 2015 no inverno.

Em cada círculo há a mortalidade (em vermelho) e a sobreviência(em verde). As setas azuis representam o recrutamento ou o auto-recrutamento. Os triângulos laranjas representam a porcentagem de indivíduos vivos que são exportadas por aquela região, mas que não foram recrutadas em nenhuma outra região.

Fonte: Produção do autor

Para a conservação da biodiversidade deve-se estabelecer um efetivo programa de manejo, com redes de UCs, incluindo os espaços entre as UCs e os espaços adjacentes que possam afetá-las (SALE et al., 2010). Desta maneira, com base nos resultados obtidos de recrutamento, da posição final das larvas e na definição de Unidade de Conservação de Grande Escala (UCGE), investigou-se o impacto destas regiões maiores na conectividade ecológica de *Sparisoma*. As UCGEs (>30.000 km^2) têm sido recomendadas como um elemento a ser considerado nas práticas de planejamento de conservação, em especial quando se almeja atingir metas de conservação global, como a Convenção para a Diversidade Biológica Aichi 11 (CLAUDET et al., 2008; DAVIES et al., 2017; LEWIS et al., 2017).

Foram consideradas 5 novas áreas que podem conter locais de recrutamento na região sobre a plataforma continental, como ilustrado na figura 5.13. A definição das novas áreas levou em consideração os principais domínios oceanográficos, quais sejam: a CB, a subCNB e a CNB, a bifurcação da CSEs e a cadeia Vitória-Trindade com os seus montes submarinos que se estendem até a plataforma continental leste. São elas: I. região entre o Amapá e o Pará (APPA); II. Região entre o Maranhão e o Ceará (MACE); III. Região entre o Rio Grande do Norte e Sergipe (RNSE); IV. Região entre a Bahia e o Rio de Janeiro (BARJ) e V. Cadeia Vitória Trindade e montes submarinos (MTTR).

Os resultados do recrutamento nestas novas áreas (figura 5.14) indicam que há diferenças entre o verão e o inverno, que podem chegar a uma ordem de grandeza de diferença maior no inverno. As áreas que mais exportam indivíduos para diferentes regiões concentram-se na região de influência da bifurcação da CSEs, como é o caso de RC e CC. O maior recrutamento no verão ocorre em RNSE e BARJ, enquanto que no inverno o recrutamento concentra-se nas regiões mais ao norte, como é o caso de APPA, MACE e RNSE. É interessante notar que AB passa a fornecer partículas para BARJ tanto no verão como no inverno, essa região, BARJ, também recebe partículas de CC, em maiores quantidades no verão que no inverno. Porém, a região da Cadeia Vitória Trindade, representada pela região MTTR, continua apresentando apenas auto-recrutamento e somente no verão.

Figura 5.13 - Mapa ilustrativo da posição das novas áreas de recrutamento em potencial baseado no conceito de Unidades de Conservação de Grande Escala (UCGE). Onde APPA em verde escuro, MACE em laranja, RNSE em lilás, BARJ em rosa e MTTR em verde claro e em amarelo estão representadas às áreas correspondentes as UCs.

Fonte: Produção do autor

Figura 5.14 - Matriz de conectividade mostrando as 9 áreas fonte de indivíduos no eixo y, constituídas pelas unidades de conservação e as 5 novas áreas sumidouro com potencial para recrutamento, eixo x.

Notar que a cor cinza representa apenas valores iguais a zero e que a escala dos gráficos do verão e do inverno são distintas.

Fonte: Produção do autor

A análise comparativa das matrizes de conectividade das figuras 5.10 e 5.14 mostra que o aumento da escala espacial disponível para o recrutamento das larvas resultou no aumento na probabilidade de ocorrência de larvas viáveis para o recrutamento e, consequentemente, da conectividade da região. Ainda assim, a conectividade no verão se manteve menor do que no inverno nos dois cenários, o que ressalta o consistente controle sazonal da conectividade. Percebe-se também um aumento na conectividade na região mais ao sul de BARJ, onde se encontram as UCs de AB e CF, indicando a importância de se considerar a ampliação da área total a ser incluída em um regime de manejo e/ou conservação. A despeito disto, é importante notar que mesmo com esta nova configuração das UCGEs, a porção do domínio ao sul de Pernambuco permanece com a conectividade inferior à porção norte, semelhante ao observado nas simulações onde apenas se considerou as UCs estabelecidas.

O controle sazonal observado evidencia a influência das correntes de superfície na dispersão e recrutamento dos indivíduos, pois em Julho, quando a bifurcação está mais ao sul, há maior recrutamento nas regiões ao norte (APPA, MACE e RNSE). Já no verão, quando a bifurcação encontra-se mais ao norte, o recrutamento passa a ser maior nas regiões RNSE e BARJ. Além disso, a utilização de áreas maiores baseadas em grandes ecossistemas possibilitou maior conectividade entre regiões, o que reforça a necessidade de repensar o desenho e os objetivos das redes de UCs na costa brasileira (MAGRIS et al., 2014; MAGRIS et al., 2017; LEWIS et al., 2017). A conectividade se mostra como um importante fator a ser considerado neste tipo de planejamento, contudo deve-se também considerar os mecanismos que suportam esse processo e os benefícios ou não que isto pode trazer para os ecossistemas e para sua preservação (OLDS et al., 2016).

6 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

A conectividade entre áreas de proteção ambiental na plataforma continental sudeste e nordeste do Brasil e entre as ilhas oceânicas brasileiras foi analisada. Para isto utilizou-se a modelagem hidrodinâmica e um modelo lagrangeano baseado no indivíduo (MBI).

Os resultados do modelo hidrodinâmico representam corretamente as feições e processos oceanográficos que ocorrem dentro do domínio e são coerentes com os dados observacionais utilizados como referência. Este é um aspecto fundamental na modelagem biofísica onde o realismo ecológico depende fortemente da qualidade da física empregada nos experimentos. Os campos de TSM mostram corretamente as regiões de ressurgência costeira e equatorial. Os campos de SSM permitiram observar a dispersão da pluma dos rios na costa e a sua variação sazonal. As soluções do ROMS para correntes superficiais posicionam corretamente a CSEs, assim como a sua bifurcação influenciada pela migração sazonal da ZCIT. Ao longo da coluna d'água os resultados do ROMS também se assemelham aos dados das boias PIRATA.

Os resultados do MBI mostram que há variabilidade inter anual e intra anual, ou seja, sazonal, para a mortalidade, recrutamento e auto-recrutamento, sendo que as diferenças entre o inverno e o verão são maiores do que as diferenças inter anuais. A mortalidade é maior no verão que no inverno. Considerando a mortalidade particionada entre os tipos de mortalidade, a maior parte dos indivíduos morre por temperaturas abaixo de 24°C, mas no verão há um aumento da mortalidade por temperaturas acima de 30°C. Contudo, é importante observar que aqui neste trabalho não foram analisadas as possíveis variações interdecadais associados a processos populacionais e evolutivos, pois estes estão em diferentes escalas temporais.

A trajetória percorrida pelas partículas deixa clara a complexidade dos padrões sazonais das correntes superficiais que tendem a seguir mais para norte no verão e mais para sul no inverno na região da bifurcação da CSEs, principalmente na Costa dos Corais. Na parte mais ao norte há variações de acordo com a retroflexão da CNB que se acentua no inverno. O deslocamento total das partículas também é influenciado pelas variações sazonais das correntes superficiais, as UCs localizadas na porção mais ao norte da área de estudo tendem a apresentar maiores deslocamentos que as UCs da porção ao sul.

O recrutamento e auto-recrutamento são baixos em todos os anos analisados, tanto no verão como no inverno. RC e CC são as únicas UCs que apresentam recrutamento

em ambas as estações com elevada variabilidade inter anual. TR destaca-se por apresentar auto-recrutamento apenas no verão. No inverno CC é a única região que apresenta auto-recrutamento.

Elevadas taxas de mortalidade e baixas taxas de recrutamento resultam em baixa conectividade no verão e no inverno, entre as ilhas oceânicas, entre as regiões sobre a plataforma continental e entre as regiões da plataforma e as ilhas. Disto resulta um baixo intercâmbio de indivíduos que pode impactar a manutenção e persistência destas populações. A análise com UCGEs para o recrutamento reforçam a importância da circulação superficial nas regiões RC e CC. Estas são fonte de indivíduos para as demais regiões e estão sob influência das variações sazonais que impactam o recrutamento e a conectividade.

A comparação da conectividade entre as UCs e as UCGEs mostra que o aumento da escala espacial para o recrutamento resulta em aumento da probabilidade de conexão entre as regiões. Porém, mesmo com a nova configuração a região ao sul de Pernambuco apresenta menor conectividade que a porção norte do domínio, evidenciando o controle sazonal das correntes de superfície para a dispersão, recrutamento e conectividade.

Sem a utilização da modelagem biofísica não teria sido possível esclarecer os padrões de conectividade entre algumas das unidades de conservação atualmente estabelecidas no litoral brasileiro. Os experimentos também mostraram que a configuração atual preserva apenas uma parcela limitada da população, mas a baixa conectividade entre elas reduz o intercâmbio de indivíduos nos estágios iniciais do ciclo de vida, o que coloca em risco a preservação da biodiversidade.

Recomenda-se a realização de mais estudos sobre a biologia reprodutiva e ecologia não apenas do gênero estudado, *Sparisoma*, mas também de outras espécies alvo (como corais e crustáceos) para melhorar o realismo biológico de trabalhos futuros. Além disso, é importante a identificação de grupos funcionais mais frágeis dentro dos ecossitemas e que teriam sua conectividade mais comprimentida.

Relações entre as variáveis do MBI e parâmetros físicos do modelo hidrodinâmico devem ser comparados em trabalhos futuros, incluindo cenários de mudanças climáticas, para melhor entender como estes podem influenciar a mortalidade, recrutamento e a trajetória das partículas.

Ainda, seria importante conciliar o desenho da rede de áreas de proteção com base

em dados de conectividade e ocorrência das espécies alvo à planos de manejo e ao uso pela pesca, por exemplo, para que assim as novas unidades de conservação criadas sejam capazes de contemplar a proteção à biodiversidade, o valor ecossistêmico e o uso sócio-econômico, como a pesca e turismo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFONSO, P.; MORATO, T.; SANTOS, R. S. Spatial patterns in reproductive traits of the temperate parrotfish Sparisoma cretense. **Fisheries Research**, v. 90, n. 1-3, p. 92–99, 2008. ISSN 01657836. 33

AGUIAR, A. L.; CIRANO, M.; PEREIRA, J.; MARTA-ALMEIDA, M. Upwelling processes along a western boundary current in the Abrolhos â Campos region of Brazil. **Continental Shelf Research**, v. 85, p. 42–59, 2014. ISSN 0278-4343. 53

AKÇAKAYA, H. R.; MILLS, G.; DONCASTER, C. P. The role of metapopulations in conservation. **Key Topics in Conservation Biology**, Chicago, p. 64–84, 2007. ISSN 1405122498. 10

ALMANY, G. R.; CONNOLLY, S. R.; HEATH, D. D.; HOGAN, J. D.; JONES, G. P.; MCCOOK, L. J.; MILLS, M.; PRESSEY, R. L.; WILLIAMSON, D. H. Connectivity, biodiversity conservation and the design of marine reserve networks for coral reefs. **Coral Reefs**, v. 28, n. 2, p. 339–351, 2009. ISSN 07224028. 2, 64

AMANTE, C.; EAKINS, B. **ETOPO1 1 arc-minute global relief model: procedures, data sources and analysis**. [S.l.: s.n.], 2009. 19 p. 25

ARRUDA, W. Z.; CAMPOS, E. J. D.; ZHARKOV, V.; SOUTELINO, R. G.; SILVEIRA, I. C. A. Events of equatorward translation of the Vitoria Eddy. **Continental Shelf Research**, v. 70, p. 61–73, 2013. ISSN 02784343. 9, 55

BENDER, M. G.; MACHADO, G. R.; Azevedo Silva, P. J.; FLOETER, S. R.; MONTEIRO-NETTO, C.; LUIZ, O. J.; FERREIRA, C. E. Local ecological knowledge and scientific data reveal overexploitation by multigear artisanal fisheries in the Southwestern Atlantic. **PLoS ONE**, v. 9, n. 10, 2014. ISSN 19326203. 63

BERKELEY, S. A.; CHAPMAN, C.; SOGARD, S. M. Maternal age as a determinant of larval growth and survival in a marine fish, Sebastes melanops. **Ecology**, v. 85, n. 5, p. 1258–1264, 2004. ISSN 00129658. 11

BERNARDI, G.; ROBERTSON, D. R.; CLIFTON, K. E.; AZZURRO, E. Molecular systematics, zoogeography, and evolutionary ecology of the atlantic parrotfish genus Sparisoma. **Molecular Phylogenetics and Evolution**, v. 15, n. 2, p. 292–300, 2000. ISSN 1055-7903. 1

BLAXTER, J. H. S. The effect of temperature on larval fishes. **Netherlands Journal of Zoology**, v. 42, p. 336–357, 1992. ISSN 0028-2960. 51

BOUFFARD, J.; VIGNUDELLI, S.; HERRMANN, M.; LYARD, F.; MARSALEIX, P.; MENARD, Y.; CIPOLLINI, P. Comparison of ocean dynamics with a regional circulation model and improved altimetry in the North-western Mediterranean. **Terrestrial Atmospheric and Oceanic Sciences**, v. 19, n. 1, p. 117–133, 2008. 45

BUNN, N.; FOX, C. J.; WEBB, T. A literature review of studies on fish egg mortality : implications for the estimation of spawning stock biomass by the annual egg production method. **Science series technical report**, Lowestoft, n. 111, p. 37, 2000. 11, 34

CALÒ, A.; FÉLIX-HACKRADT, F. C.; GARCIA, J.; HACKRADT, C. W.; ROCKLIN, D.; OTÓN, J. T.; CHARTON, J. A. G. A review of methods to assess connectivity and dispersal between fish populations in the Mediterranean Sea. **Advances in Oceanography and Limnology**, v. 4, n. 2, p. 150–175, 2013. 10

CAMPOS, B. E. J. D.; MILLER, J. L.; MOILER, T. J.; PETERSON, R. G. Physical oceanography of the Southwest Atlantic Ocean. **Current**, v. 8, n. 3, p. 87–91, 1995. ISSN 00036951. 9

CARTON, J. A.; GIESE, B. S. A reanalysis of ocean climate using Simple Ocean Data Assimilation (SODA). **Monthly Weather Review**, v. 136, n. 8, p. 2999–3017, 2008. ISSN 0027-0644. 26

CASTELAO, R. M.; BARTH, J. A. Upwelling around Cabo Frio, Brazil: the importance of wind stress curl. **Geophysical Research Letters**, v. 33, n. 3, p. 2–5, 2006. ISSN 00948276. 37

CASTRO, B.; BRANDINI, F.; PIRES-VANIN, A.; MIRANDA, L. Multidisciplinary oceanographic processes on the Western Atlantic continental shelf between 4 N and 34 S. **The Sea**, v. 14, p. 259–293, 2005. 8

CHAVES, R. R.; NOBRE, P. Interactions between sea surface temperature over the South Atlantic Ocean and the South Atlantic Convergence Zone. **Geophysical Research Letters**, v. 31, n. 3, p. L03204, 2004. ISSN 0094-8276. 5

CLAUDET, J.; OSENBERG, C. W.; BENEDETTI-CECCHI, L.; DOMENICI, P.; GARCÍA-CHARTON, J. A.; PÉREZ-RUZAFA, Á.; BADALAMENTI, F.; BAYLE-SEMPERE, J.; BRITO, A.; BULLERI, F.; CULIOLI, J. M.; DIMECH,

M.; FALCÓN, J. M.; GUALA, I.; MILAZZO, M.; SÁNCHEZ-MECA, J.; SOMERFIELD, P. J.; STOBART, B.; VANDEPERRE, F.; VALLE, C.; PLANES, S. Marine reserves: size and age do matter. **Ecology Letters**, v. 11, n. 5, p. 481–489, 2008. ISSN 1461023X. 67

COLES, V. J.; BROOKS, M. T.; HOPKINS, J.; STUKEL, M. R.; YAGER, P. L.; HOOD, R. R. The pathways and properties of the Amazon River Plume in the tropical North Atlantic Ocean. **Journal of Geophysical Research: oceans**, v. 118, p. 6894–6913, 2013. 55

COMBES, V.; MATANO, R. P. A two-way nested simulation of the oceanic circulation in the Southwestern Atlantic . **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 119, p. 731–756, 2014. 39, 47

_____. Trends in the Brazil/Malvinas Confluence region. **Geophysical Research Letters**, v. 41, n. 24, p. 8971–8977, 2014. ISSN 19448007. 39

CONVENTION ON BIOLOGICAL DIVERSITY (CBD). **Quick guides to the Aichi Biodiversity Targets**. 2013. 42 p. Disponível em: <http://www.cbd.int/nbsap/training/quick-guides/>. 2, 16

COWEN, R. K.; GAWARKIEWICZ, G.; PINEDA, J.; THORROLD, S.; WERNER, F.; PARIS, C. B.; SRINIVASAN, A.; GAWARKIEWICZ, G.; PINEDA, J.; THORROLD, S.; WERNER, F. Population connectivity in marine systems. **Science**, v. 311, p. 23, 2002. ISSN 1095-9203. 12

COWEN, R. K.; SPONAUGLE, S. Larval dispersal and marine population connectivity. **Annual Review of Marine Science**, v. 1, p. 443–66, 2009. ISSN 1941-1405. 1, 10, 12, 13

DAGG, M.; BENNER, R.; LOHRENZ, S.; LAWRENCE, D. Transformation of dissolved and particulate materials on continental shelves influenced by large rivers: plume processes. **Continental Shelf Research**, v. 24, n. 7-8, p. 833–858, 2004. ISSN 02784343. 63

D'AGOSTINI, A.; GHERARDI, D. F. M.; PEZZI, L. P. Connectivity of marine protected areas and its relation with total kinetic energy. **PLoS ONE**, v. 10, n. 10, p. 1–19, 2015. ISSN 19326203. 2, 15

DAI, A.; TRENBERTH, K. E. Estimates of freshwater discharge from continents: latitudinal and seasonal variations. **Journal of Hydrometeorology**, v. 3, n. 6, p. 660–687, 2002. ISSN 1525-755X. 40

DAVIES, T. E.; MAXWELL, S. M.; KASCHNER, K.; GARILAO, C.; BAN, N. C. Large marine protected areas represent biodiversity now and under climate change. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 1–7, 2017. ISSN 20452322. 67

DIAS, D. F.; PEZZI, L. P.; GHERARDI, D. F. M.; CAMARGO, R. Modeling the spawning strategies and larval survival of the Brazilian sardine (Sardinella brasiliensis). **Progress in Oceanography**, v. 123, p. 38–53, 2014. ISSN 00796611. 44

DIVOVICH, E.; PAULY, D. Oceanic islands of Brazil: catch reconstruction from 1950 to 2010. **Fisheries Centre Research Reports**, v. 23, n. 4, p. 31–48, 2015. 1

DONLON, C. J.; MARTIN, M.; STARK, J.; ROBERTS-JONES, J.; FIEDLER, E.; WIMMER, W. The Operational Sea Surface Temperature and Sea Ice Analysis (OSTIA) system. **Remote Sensing of Environment**, v. 116, p. 140–158, 2012. ISSN 00344257. 28

DUBOIS, M.; ROSSI, V.; SER-GIACOMI, E.; ARNAUD-HAOND, S.; LÓPEZ, C.; HERNÁNDEZ-GARCÍA, E. Linking basin-scale connectivity, oceanography and population dynamics for the conservation and management of marine ecosystems. **Global Ecology and Biogeography**, v. 25, n. 5, p. 503–515, 2016. ISSN 14668238. 1

FERREIRA, C. E. L.; FLOETER, S. R.; GASPARINI, J. L.; FERREIRA, B. P.; JOYEUX, J. C. Trophic structure patterns of Brazilian reef shes: a latitudinal comparison. **Journal of Biogeography**, p. 1093–1106, 2004. ISSN 03050270. 17

FLOETER, S. R.; GASPARINI, J. L. The southwestern Atlantic reef fish fauna: composition and zoogeographic patterns. **Journal of Fish Biology**, v. 56, p. 1099–1114, 2000. ISSN 00221112. 32

FLOETER, S. R.; ROCHA, L. A.; FERREIRA, C. E. L.; RANGEL, C. A.; FEITOZA, B. M. Brazilian reef fish fauna : checklist and remarks. **Brazilian Reef Fish Project**, p. 1–22, 2003. 17, 21, 32

FLOETER, S. R.; ROCHA, L. A.; ROBERTSON, D. R.; JOYEUX, J. C.; SMITH-VANIZ, W. F.; WIRTZ, P.; EDWARDS, A. J.; BARREIROS, J. P.; FERREIRA, C. E. L.; GASPARINI, J. L.; BRITO, A.; FALCON, J. M.; BOWEN, B. W.; BERNARDI, G. Atlantic reef fish biogeography and evolution. **Journal of Biogeography**, v. 35, n. 1, p. 22–47, 2008. ISSN 03050270. 1, 32

FOLTZ, G. R.; MCPHADEN, M. J. Seasonal mixed layer salinity balance of the tropical North Atlantic Ocean. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 113, n. 2, p. 1–14, 2008. ISSN 21699291. 40

FRANCHITO, S. H.; ODA, T. O.; RAO, V. B.; KAYANO, M. T. Interaction between coastal upwelling and local winds at Cabo Frio, Brazil: an observational study. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v. 47, n. 6, p. 1590–1598, 2008. ISSN 15588424. 38

FRANCINI-FILHO, R. B.; MOURA, R. L.; FERREIRA, C. M.; CONI, E. O. C. Live coral predation by parrotfishes (Perciformes: Scaridae) in the Abrolhos Bank, eastern Brazil, with comments on the classification of species into functional groups. **Neotropical Ichthyology**, v. 6, n. 2, p. 191–200, 2008. ISSN 16796225. 19

FRATANTONI, D. M.; RICHARDSON, P. L. The evolution and demise of North Brazil Current rings. **Journal of Physical Oceanography**, v. 36, n. 7, p. 1241–1264, 2006. ISSN 0022-3670. 8

FUIMAN, L. A.; WERNER, R. G. **Fishery science: the unique contributions of early life stages**. [S.l.: s.n.], 2002. 340 p. ISSN 1467-2960. ISBN 0632056614. 51

GAINES, S. D.; GAYLORD, B.; GERBER, L. R.; HASTINGS, A.; KINLAN, B. P. Connecting places: the ecological consequences of dispersal in the sea. **Oceanography**, v. 20, n. 3, p. 90–99, 2007. 11

GALLEGO, A.; NORTH, E. W.; PETITGAS, P. Introduction: status and future of modelling physical-biological interactions during the early life of fishes. **Marine Ecology Progress Series**, v. 347, p. 122–126, 2007. ISSN 01718630. 12

GARCÍA-GARCÍA, L. M.; RUIZ-VILLARREAL, M.; BERNAL, M. A biophysical model for simulating early life stages of sardine in the Iberian Atlantic stock. **Fisheries Research**, v. 173, p. 250–272, 2016. ISSN 01657836. 14

GARRAFFO, Z. D.; JOHNS, W. E.; CHASSIGNET, E. P.; GONI, G. J. North Brazil Current rings and transport of southern waters in a high resolution numerical simulation of the North Atlantic. **Elsevier Oceanography Series**, v. 68, p. 375–409, 2003. 45

GARRIDO, S.; BEN-HAMADOU, R.; SANTOS, A. M.; FERREIRA, S.; TEODÓSIO, M. A.; COTANO, U.; IRIGOIEN, X.; PECK, M. A.; SAIZ, E.; RÉ,

P. Born small, die young: intrinsic, size-selective mortality in marine larval fish. **Scientific Reports**, v. 5, p. 1–10, 2015. ISSN 20452322. 51

GARZOLI, S. L.; FFIELD, A.; JOHNS, W. E.; YAO, Q. North Brazil Current retroflection and transports. **Journal of Geophysical Research**, v. 109, p. 1–14, 2004. ISSN 0148-0227. 8

GASPARINI, J. L.; FLOETER, S. R. The shore fishes of Trindade Island , western South Atlantic. **Journal of Natural History**, v. 35, p. 1639–1656, 2001. ISSN 0022-2933. 62

GAWARKIEWICZ, G.; MONISMITH, S.; LARGIER, J. Observing larval transport processes affecting population connectivity: progress and challenges. **Oceanography**, v. 20, n. 3, p. 40 – 53, 2007. ISSN 10428275. 11

HALPERN, B. S.; SELKOE, K. A.; MICHELI, F.; KAPPEL, C. V. Evaluating and ranking the vulnerability of global marine ecosystems to anthropogenic threats. **Conservation Biology**, v. 21, n. 5, p. 1301–1315, 2007. ISSN 08888892. 2

HALPERN, B. S.; WARNER, R. R. Matching marine reserve design to reserve objectives. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 270, n. 1527, p. 1871–1878, 2003. ISSN 0962-8452. 64

HANSKI, I.; SIMBERLOFF, D. The metapopulation approach, its history, conceptual domain, and application to conservation. **Metapopulation Biology: Ecology, Genetics, and Evolution**, v. 124, p. 40–4, 1997. ISSN 1090-2449. 10

HASTINGS, A.; BOTSFORD, L. W. Persistence of spatial populations depends on returning home. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 103, n. 15, p. 6067–6072, 2006. ISSN 0027-8424. 63

HEDGECOCK, D.; BARBER, P. H.; EDMANDS, S. Genetic approaches to measuring connectivity. **Oceanography**, v. 20, n. 3, p. 70–79, 2003. ISSN 10428275. 14

HOUDE, E. D. Patterns and trends in larval-stage growth and mortality of teleost fish. **Journal of Fish Biology**, v. 51, p. 52–83, 1997. ISSN 0022-1112. 51

_____. Emerging from Hjort's shadow. **Journal of Northwest Atlantic Fishery Science**, v. 41, p. 53–70, 2008. ISSN 18131859. 51

HUEBERT, K. **Behavior and transport of pelagic coral reef larvae in the straits of Florida**. 165 p. Tese (Doctor) — University of Miami, Miami, 2009. 18, 34

HUEBERT, K. B.; COWEN, R. K.; SPONAUGLE, S. Vertical migrations of reef fish larvae in the Straits of Florida and effects on larval transport. **Limnology and Oceanography**, v. 56, n. 5, p. 1653–1666, 2011. ISSN 00243590. 18

HUGGETT, J.; FRÉON, P.; MULLON, C.; PENVEN, P. Modelling the transport success of anchovy Engraulis encrasicolus eggs and larvae in the southern Benguela: the effect of spatio-temporal spawning patterns. **Marine Ecology Progress Series**, v. 250, p. 247–262, 2003. ISSN 01718630. 14

JOHNS, W. E.; LEE, T. N.; BEARDSLEY, R. C.; CANDELA, J.; LIMEBURNER, R.; CASTRO, B. Annual cycle and variability of the North Brazil Current. **Journal of Physical Oceanography**, v. 28, n. 1, p. 103–128, 1998. ISSN 0022-3670. 9, 55

JOHNS, W. E.; ZANTOPP, R. J.; GONI, G. J. Cross-gyre transport by North Brazil Current rings. **Elsevier Oceanography Series**, v. 68, n. C, p. 411–441, 2003. ISSN 04229894. 8

JONES, G. P.; SRINIVASAN, M.; ALMANY, G. R. Population connectivity and conservation of marine biodiversity. **Oceanography**, v. 20, n. 3, p. 100–111, 2007. ISSN 10428275. 1, 2

JONNA, R. **Scaridae animal diversity web**. 2003. Disponível em: <http://animaldiversity.org/accounts/Scaridae/>. 33

KINLAN, B. P.; GAINES, S. D.; LESTER, S. E. Propagule dispersal and the scales of marine community process. **Diversity and Distributions**, v. 11, n. 2, p. 139–148, 2005. ISSN 13669516. 2

KNOPPERS, B.; EKAU, W.; FIGUEIREDO, A. G. The coast and shelf of east and northeast Brazil and material transport. **Geo-Marine Letters**, v. 19, n. 3, p. 171–178, 1999. ISSN 0276-0460. 41

KUME, G.; KUBO, Y.; YOSHIMURA, T.; KIRIYAMA, T.; YAMAGUCHI, A. Life history characteristics of the protogynous parrotfish Calotomus japonicus from northwest Kyushu, Japan. **Ichthyological Research**, v. 57, n. 2, p. 113–120, 2010. ISSN 13418998. 33

LARGIER, J. L. Considerations in estimating larval dispersal distances from oceanographic data. **Ecologinal Applications**, v. 13, n. 1, p. 574–599, 2003. 11, 14

LASS, H. U.; MOHRHOLZ, V. On the interaction between the subtropical gyre and the Subtropical Cell on the shelf of the SE Atlantic. **Journal of Marine Systems**, v. 74, n. 1-2, p. 1–43, 2008. ISSN 09247963. 6

LEMARIÉ, F.; KURIAN, J.; SHCHEPETKIN, A. F.; MOLEMAKER, M. J.; COLAS, F.; MCWILLIAMS, J. C. Are there inescapable issues prohibiting the use of terrain-following coordinates in climate models? **Ocean Modelling**, v. 42, p. 57–79, 2012. ISSN 14635003. 44

LESSA, R.; ARAUJO, B. M. Resultados: séries históricas. In: LESSA, R.; BEZERRA, J. L.; NÓBREGA, M. F. (Ed.). **Dinâmica das frotas pesqueiras da Região Nordeste do Brasil**. Fortaleza: Martins e Cordeiro, 2009. p. 35–58. 18

LESSA, R.; SILVA, C. R.; DIAS, J. F.; SANTANA, F. M. Demography of the Agassiz's parrotfish Sparisoma frondosum (Agassiz, 1831) in north-eastern Brazil. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 96, p. 1–10, 2015. ISSN 0025-3154. 17, 19, 33

LETT, C.; VERLEY, P.; MULLON, C.; PARADA, C.; BROCHIER, T.; PENVEN, P.; BLANKE, B. A Lagrangian tool for modelling ichthyoplankton dynamics. **Environmental Modelling and Software**, v. 23, n. 9, p. 1210–1214, 2008. ISSN 13648152. 31

LEVINS, R. Some demographic and genetic consequences of environmental heterogeneity for biological control. **Bulletin of the Entomological Society of America**, v. 15, n. 3, p. 237–240, 1969. 10

LEWIS, N.; DAY, J. C.; WILHELM, A.; WAGNER, D.; GAYMER, C.; PARKS, J.; FRIEDLANDER, A.; WHITE, S.; SHEPPARD, C.; SPALDING, M.; San Martin, G.; SKEAT, A.; TAEI, S.; TEROROKO, T.; EVANS, J. Large-scale marine protected areas: guidelines for design and management. Gland, Switzerland, p. 120, 2017. Disponível em: <https://www.iucn.org/news/protected-areas/201712/large-scale-marine-protected-areas-guidelines-design-and-management>. 67, 69

LI, T.; PHILANDER, S. G. H. On the seasonal cycle of the equatorial Atlantic Ocean. **Journal of Climate**, v. 10, n. 4, p. 813–817, 1997. ISSN 0894-8755. 53

LUCKHURST, B. E. Observations at a multispecies parrotfish (Scaridae) spawning aggregation site at Bermuda with notes on the predation behavior of black grouper. **Gulf and Caribbean Research**, v. 23, n. 1, p. 55–60, 2011. ISSN 1528-0470. 17

LUIZ, O. J.; ALLEN, A. P.; ROBERTSON, D. R.; FLOETER, S. R.; KULBICKI, M.; VIGLIOLA, L.; BECHELER, R.; MADIN, J. S. Adult and larval traits as determinants of geographic range size among tropical reef fishes. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 110, n. 41, p. 16498–16502, 2013. ISSN 0027-8424. 17, 18, 34

LUMPKIN, R.; GARZOLI, S. L. Near-surface circulation in the Tropical Atlantic Ocean. **Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers**, v. 52, n. 3, p. 495–518, 2005. ISSN 09670637. 6, 54, 55

MAGRIS, R. A.; MILLS, M.; FUENTES, M. M. P. B.; PRESSEY, R. L. Analysis of progress towards a comprehensive system of marine protected areas in Brazil. **Natureza a Conservacao**, v. 11, n. 1, p. 81–87, 2013. ISSN 16790073. 16, 64

MAGRIS, R. A.; PRESSEY, R. L.; MILLS, M.; VILA-NOVA, D. A.; FLOETER, S. Integrated conservation planning for coral reefs: designing conservation zones for multiple conservation objectives in spatial prioritisation. **Global Ecology and Conservation**, 2017. ISSN 23519894. 69

MAGRIS, R. A.; PRESSEY, R. L.; WEEKS, R.; BAN, N. C. Integrating connectivity and climate change into marine conservation planning. **Biological Conservation**, v. 170, p. 207–221, 2014. ISSN 00063207. 69

MATANO, R. P. On the separation of the Brazil Current from the coast. **Journal of Physical Oceanography**, v. 23, n. 1, p. 79–90, 1993. ISSN 0022-3670. 38, 39, 47

MAZZEI, E. F.; PINHEIRO, H. T.; MORAIS, R. A.; FLOETER, S. R.; VERAS, D. P.; QUEIROZ, L. V.; JOYEUX, J. C.; FERREIRA, C. E. Parrotfishes of the genus Scarus in southwestern Atlantic oceanic reef environments: occasional pulse or initial colonization? **Marine Biodiversity**, p. 1–7, 2017. ISSN 18671624. 62

MCCORMICK, M. I. Mothers matter : crowding leads to stressed mothers and smaller offspring in marine fish. **Ecology**, v. 87, n. 5, p. 1104–1109, 2006. 11

MCGILLICUDDY, D. J. Mechanisms of physical-biological-biogeochemical interaction at the oceanic mesoscale. **Annual Review of Marine Science**, v. 8, n. 1, p. 125–159, 2016. ISSN 1941-1405. 11

MELO, A. B. C.; CAVALVANTI, I. F. A.; SOUZA, P. P. Zona de Convergência Intertropical do Atlântico. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; SILVA, M. G. A. J.; DIAS, M. A. F. S. (Ed.). **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: [s.n.], 2009. cap. 2, p. 463. 5

MILLER, T. J. Contribution of individual-based coupled physical-biological models to understanding recruitment in marine fish populations. **Marine Ecology Progress Series**, v. 347, n. 1995, p. 127–138, 2007. ISSN 01718630. 1

MITARAI, S.; SIEGEL, D. A.; WATSON, J. R.; DONG, C.; MCWILLIAMS, J. C. Quantifying connectivity in the coastal ocean with application to the Southern California Bight. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, v. 114, n. 10, p. 1–21, 2009. ISSN 21699291. 1

MOLINA-UREÑA, H. **Towards an ecosystem approach for non-target reef fishes: habitat uses and population dynamics of South Florida parrotfishes (Perciformes: Scaridae)**. 299 p. Tese (Doctor of Phylosophy) — University of Miami, Miami, 2009. 17, 33

MOURA, R. L.; FIGUEIREDO, J. L.; SAZIMA, I. A new parrotfish (Scaridae) from Brazil, and revalidation of Sparisoma amplum (Ranzani, 1842), Sparisoma frondosum (Agassiz, 1831), Sparisoma axillare (Steindachner, 1878) and Scarus trispinosus Valenciennes, 1840. **Bulletin of Marine Science**, v. 68, n. 3, p. 505–524, 2001. ISSN 00074977. 17

MULLER-KARGER, F. E.; MCCLAIN, C. R.; RICHARDSON, P. L. The dispersal of the Amazon's water. **Letters to Nature**, v. 336, n. 5, p. 56–59, 1988. ISSN 0028-0836. 40

MUNRO, J. L.; GAUT, V. C.; THOMPSON, R.; REESON, P. H. The spawning seasons of Caribbean reef fishes. **Journal of Fish Biology**, v. 5, n. 1, p. 69–84, 1973. ISSN 10958649. 33

NAHAS, E. L.; JACKSON, G.; PATTIARATCHI, C. B.; IVEY, G. N. Hydrodynamic modelling of snapper Pagrus auratus egg and larval dispersal in Shark Bay , Western Australia : reproductive isolation at a fine spatial scale. **Marine Ecology Progress Series**, v. 265, p. 213–226, 2003. 14

NEILSON, J.; PERRY, R. Diel vertical migration of marine fishes: an obligate or facultative process. **Advances in Marine Biology**, v. 26, n. 206, p. 115–168, 1990. 32

NELSON, J. S. **Fishes of the world**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2006. 601 p. ISSN 0717-6163. ISBN 9780471250319. 17

NOBRE, P.; SHUKLA, J. Variations of sea surface temperature, wind stress, and rainfall over the Tropical Atlantic and South America. **Journal of Climate**, v. 9, n. 10, p. 2464–2479, 1996. ISSN 0894-8755. 5, 55

NORTH, E. W.; GALLEGO, A.; PETITGAS, P.; ÅDLANDSVIK, B.; BARTSCH, J.; BRICKMAN, D.; BROWMAN, H. I.; EDWARDS, K.; FIKSEN, Ø.; HERMANN, A. J.; HINCKLEY, S.; HOUDE, E.; HURET, M.; LACROIX, G.; LEIS, J. M.; MCCLOGHRIE, P.; MEGREY, B. a.; MILLER, T.; MOLEN, J. V. D.; MULLON, C.; PARADA, C.; PARIS, C. B.; PEPIN, P.; ROSE, K.; THYGESEN, U. H.; WERNER, C. **Manual of recommended practices for modelling physical â biological interactions during fish early life**. [S.l.: s.n.], 2009. 111 p. 10, 36

O'CONNOR, M. I.; BRUNO, J. F.; GAINES, S. D.; HALPERN, B. S.; LESTER, S. E.; KINLAN, B. P.; WEISS, J. M. Temperature control of larval dispersal and the implications for marine ecology, evolution, and conservation. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 104, n. 4, p. 1266–71, 2007. ISSN 0027-8424. 12, 51

OLDS, A. D.; CONNOLLY, R. M.; PITT, K. A.; MAXWELL, P. S. Habitat connectivity improves reserve performance. **Conservation Letters**, v. 5, n. 1, p. 56–63, 2012. ISSN 1755263X. 2, 64

OLDS, A. D.; CONNOLLY, R. M.; PITT, K. A.; PITTMAN, S. J.; MAXWELL, P. S.; HUIJBERS, C. M.; MOORE, B. R.; ALBERT, S.; RISSIK, D.; BABCOCK, R. C.; SCHLACHER, T. A. Quantifying the conservation value of seascape connectivity: a global synthesis. **Global Ecology and Biogeography**, v. 25, n. 1, p. 3–15, 2016. ISSN 14668238. 69

OLIVEIRA, J. C.; AGUIAR, W.; CIRANO, M.; GENZ, F.; AMORIM, F. N. de. A climatology of the annual cycle of river discharges into the Brazilian continental shelves: from seasonal to interannual variability. **Environmental Earth Sciences**, v. 77, n. 5, 2018. ISSN 18666299. 41

PADOVANI-FERREIRA, B.; ROCHA, L.; FERREIRA, C.; FRANCINI-FILHO, R.; MOURA, R.; GASPAR, A.; FEITOSA, C.; CHOAT, J.; MYERS, R.; RUSSELL, B. **Sparisoma frondosum**. 2012. Disponível em: <http://www.iucnredlist.org/details/190724/0>. 17, 19, 63

PALÓCZY, A.; SILVEIRA, I. C. A.; CASTRO, B. M.; CALADO, L. Coastal upwelling off Cape São Tomé (22Â°S, Brazil): the supporting role of deep ocean processes. **Continental Shelf Research**, v. 89, p. 38–50, 2014. ISSN 02784343. 9

PARIS, C. B.; CHÉRUBIN, L. M.; COWEN, R. K. Surfing, spinning, or diving from reef to reef: effects on population connectivity. **Marine Ecology Progress Series**, v. 347, p. 285–300, 2007. ISSN 01718630. 14, 36

PELIZ, A.; MARCHESIELLO, P.; DUBERT, J.; MARTA-ALMEIDA, M.; ROY, C.; QUEIROGA, H. A study of crab larvae dispersal on the Western Iberian Shelf: physical processes. **Journal of Marine Systems**, v. 68, n. 1-2, p. 215–236, 2007. ISSN 09247963. 32, 34

PEPIN, P. Effect of temperature and size on development, mortality, and survival rates of the pelagic early life history stages of marine fish. **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Science**, v. 48, p. 503:518, 1991. 51

PEREIRA, J.; GABIOUX, M.; MARTA-ALMEIDA, M.; CIRANO, M.; PAIVA, A. M.; AGUIAR, A. L. The bifurcation of the Western Boundary Current System of the South Atrantic Ocean. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 32, p. 241–257, 2014. ISSN 1809-4511. 49

PETERSON, R. G.; STRAMMA, L. Upper-level circulation in the South Atlantic Ocean. **Progress in Oceanography**, v. 26, n. 1, p. 1–73, 1991. ISSN 00796611. 9

PEZZI, L. P.; SOUZA, R. B. Variabilidade de meso-escala e interação oceano-atmosfera no Atlântico Sudoeste. In: CAVALCANTI, I. F.; FERREIRA, N. J.; J., S. M. G. .; DIAS, M. A. F. S. (Ed.). **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. cap. 24, p. 463. 5

PHILANDER, S. G. Atlantic Ocean Equatorial Currents. In: STEELE, J. H.; THORPE, S. A.; TUREKIAN, K. K. (Ed.). **Ocean Currents: a Derivative of the Encyclopedia of Ocean Sciences**. London, UK: [s.n.], 2001. cap. [S.n], p. 188–191. 53

PINEDA, J.; HARE, J.; SPONAUGLE, S. Larval transport and dispersal in the coastal ocean and consequences for population connectivity. **Oceanography**, v. 20, n. 3, p. 22–39, 2007. ISSN 10428275. 10, 11, 12

PINHEIRO, H. T.; MAZZEI, E.; MOURA, R. L.; AMADO-FILHO, G. M.; CARVALHO-FILHO, A.; BRAGA, A. C.; COSTA, P. A.; FERREIRA, B. P.; FERREIRA, C. E. L.; FLOETER, S. R.; FRANCINI-FILHO, R. B.; GASPARINI, J. L.; MACIEIRA, R. M.; MARTINS, A. S.; OLAVO, G.; PIMENTEL, C. R.; ROCHA, L. A.; SAZIMA, I.; SIMON, T.; TEIXEIRA, J. B.; XAVIER, L. B.; JOYEUX, J. C. Fish biodiversity of the Vitória-Trindade seamount chain, southwestern Atlantic: an updated database. **PLoS ONE**, v. 10, n. 3, p. 1–38, 2015. ISSN 19326203. 18

PIOLA, A. R.; CAMPOS, E. J.; MOLLER, O. M.; CHARO, M.; MARTINEZ, C. Subtropical shelf front off eastern South America. **Journal of Geophysical Research**, v. 105, n. C3, p. 6565–6578, 2000. 41

PUTMAN, N. F.; LUMPKIN, R.; SACCO, A. E.; MANSFIELD, K. L. Passive drift or active swimming in marine organisms? **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 283, n. 1844, p. 20161689, 2016. ISSN 0962-8452. 14

RANDALL, J. E.; RANDALL, H. A. The spawning and early development of the Atlantic parrot fish, Sparisoma rubripinne, with notes on other Scarid and Labrid fishes. **Zoologica: New York Zoological Society**, v. 48, n. 2, p. 49–59, 1963. 17, 33, 34, 51

ROBERTSON, D. R. Egg size in relation to fertilization dynamics in free-spawning tropical reef fishes. **Oecologia**, v. 108, p. 95–104, 1996. ISSN 0029-8549. 34

ROBERTSON, R.; WARNER, R. R. Sexual patterns in the labroid fishes of the Western Caribbean, II, the parrotfishes (Scaridae). **Smithsonian Contributions to Zoology**, n. 255, p. 1–26, 1978. ISSN 00810282. 17, 33

ROBERTSON, R. D.; KARG, F.; MOURA, R. L.; VICTOR, B. C.; BERNARDI, G. Mechanisms of speciation and faunal enrichment in Atlantic parrotfishes. **Molecular Phylogenetics and Evolution**, v. 40, n. 3, p. 795–807, 2006. ISSN 10557903. 1, 18, 33, 34

ROCHA, L. A. Patterns of distribution and processes of speciation in Brazilian reef fishes. **Journal of Biogeography**, v. 30, n. 8, p. 1161–1171, 2003. ISSN 03050270. 63

ROCHA, L. A.; ROBERTSON, D. R.; ROMAN, J.; BOWEN, B. W. Ecological speciation in tropical reef fishes. **Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences**, v. 272, n. 1563, p. 573, 2005. ISSN 0962-8452. 63

RODRIGUES, R. R.; LORENZZETTI, J. A. A numerical study of the effects of bottom topography and coastline geometry on the Southeast Brazilian coastal upwelling. **Continental Shelf Research**, v. 21, n. 4, p. 371–394, 2001. ISSN 02784343. 53

RODRIGUES, R. R.; ROTHSTEIN, L. M.; WIMBUSH, M. Seasonal variability of the South Equatorial Current bifurcation in the Atlantic ocean: a numerical study. **Journal of Physical Oceanography**, v. 37, n. 1, p. 16–30, 2007. ISSN 0022-3670. 6, 9, 45, 49, 55

ROOIJ, J. M.; BRUGGEMANN, J. H.; VIDELER, J. J.; BREEMAN, A. M. Ontogenetic, social, spatial and seasonal variations in condition of the reef herbivore Sparisoma viride. **Marine Biology**, v. 123, n. 2, p. 269–275, 1995. ISSN 00253162. 17, 34

ROOS, N. C.; CARVALHO, A. R.; LOPES, P. F.; PENNINO, M. G. Modeling sensitive parrotfish (Labridae: Scarini) habitats along the Brazilian coast. **Marine Environmental Research**, v. 110, p. 92–100, 2015. ISSN 18790291. 63, 64

ROSSI, V.; SER-GIACOMI, E.; LÕPEZ, C.; HERNÁNDEZ-GARCÍA, E. Hydrodynamic provinces and oceanic connectivity from a transport network help designing marine reserves. **Geophysical Research Letters**, v. 41, n. 8, p. 2883–2891, 2014. ISSN 19448007. 1

RUDORFF, C. A. G.; LORENZZETTI, J. A.; GHERARDI, D. F. M.; LINS-OLIVEIRA, J. E. Application of remote sensing to the study of the pelagic spiny lobster larval transport in the Tropical Atlantic. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 57, n. 1, p. 7–16, 2009. ISSN 16798759. 14, 15

_____. Modeling spiny lobster larval dispersion in the Tropical Atlantic. **Fisheries Research**, v. 96, n. 2-3, p. 206–215, 2009. ISSN 01657836. 2, 15

SAHA, S.; MOORTHI, S.; PAN, H. L.; WU, X.; WANG, J.; NADIGA, S.; TRIPP, P.; KISTLER, R.; WOOLLEN, J.; BEHRINGER, D.; LIU, H.; STOKES, D.; GRUMBINE, R.; GAYNO, G.; WANG, J.; HOU, Y. T.; CHUANG, H. Y.; JUANG, H. M. H.; SELA, J.; IREDELL, M.; TREADON, R.; KLEIST, D.; Van Delst, P.; KEYSER, D.; DERBER, J.; EK, M.; MENG, J.; WEI, H.; YANG, R.;

LORD, S.; Van Den Dool, H.; KUMAR, A.; WANG, W.; LONG, C.; CHELLIAH, M.; XUE, Y.; HUANG, B.; SCHEMM, J. K.; EBISUZAKI, W.; LIN, R.; XIE, P.; CHEN, M.; ZHOU, S.; HIGGINS, W.; ZOU, C. Z.; LIU, Q.; CHEN, Y.; HAN, Y.; CUCURULL, L.; REYNOLDS, R. W.; RUTLEDGE, G.; GOLDBERG, M. Supplement to the NCEP Climate Forecast System Reanalysis. **Bulletin of the American Meteorological Society**, p. 9–25, 2010. ISSN 0003-0007. 26

_____. The NCEP climate forecast system reanalysis. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 91, n. 8, p. 1015–1057, 2010. ISSN 00030007. 26

SALE, P. F.; COWEN, R. K.; DANILOWICZ, B. S.; JONES, G. P.; KRITZER, J. P.; LINDEMAN, K. C.; PLANES, S.; POLUNIN, N. V.; RUSS, G. R.; SADOVY, Y. J.; STENECK, R. S. Critical science gaps impede use of no-take fishery reserves. **Trends in Ecology and Evolution**, v. 20, n. 2, p. 74–80, 2005. ISSN 01695347. 64

SALE, P. F.; LAVIEREN, H. V.; LAGMAN, M. C. A.; BUTLER, M.; FAUVELOT, C.; HOGAN, J. D.; JONES, G. P.; LINDEMAN, K. C.; PARIS, C. B.; STENECK, R.; STEWART, H. L. **Preserving reef connectivity: a handbook for marine protected area managers**. Melbourne, Australia: The United Nations University â Institute for Water, Environment and Health, 2010. 80 p. 13, 14, 67

SEO, H.; JOCHUM, M.; MURTUGUDDE, R.; MILLER, A. J. Effect of ocean mesoscale variability on the mean state of tropical Atlantic climate. **Geophysical Research Letters**, v. 33, n. 9, p. 33–36, 2006. ISSN 00948276. 37

SHCHEPETKIN, A. F.; MCWILLIAMS, J. C. A method for computing horizontal pressure-gradient force in an oceanic model with a nonaligned vertical coordinate. **Journal of Geophysical Research**, v. 108, n. C3, p. 1–34, 2003. ISSN 0148-0227. 24

_____. The regional oceanic modeling system (ROMS): a split-explicit, free-surface, topography-following-coordinate oceanic model. **Ocean Modelling**, 2005. ISSN 14635003. 24

SIGNORINI, S. R.; MIRANDA, L. B. Tidal and low-frequency currents near the shelf break: Northeastern coast of Brazil. **Journal of Physical Oceanography**, v. 13, p. 2107–2115, 1983. 8

SILVA, M.; ARAUJO, M.; SERVAIN, J.; PENVEN, P.; LENTINI, C. A. D. High-resolution regional ocean dynamics simulation in the southwestern tropical Atlantic. **Ocean Modelling**, v. 30, n. 4, p. 256–269, 2009. ISSN 14635003. 48

SILVEIRA, I. C. A.; MIRANDA, L. B.; BROWN, W. S. On the origins of the North Brazil Current. **Journal of Geophysical Research**, v. 99, p. 22501, 1994. ISSN 0148-0227. 6, 9

SILVEIRA, I. C. A. D.; SCHMIDT, A. C. K.; CAMPOS, E. J. D.; GODOI, S. S. D.; IKEDA, Y. A corrente do Brasil ao largo da costa leste brasileira. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 48, n. 2, p. 171–183, 2000. ISSN 1679-8759. 9

SILVEIRA, P. C. A. **Impact of oceanographic conditions on distribuition and abundance of larval fish in Northern Brazil**. 91 p. Tese (Doutorado) — Universitat Bremem, Bremem, 2003. Disponível em: <http://plankt.oxfordjournals.org/cgi/content/long/24/4/339>. 18

SOGARD, S. M. Size selective mortality in the juvenile stages of teleost fishes: a review. **Bulletin of Marine Science**, v. 60, n. 3, p. 1129–1157, 1997. ISSN 00074977. 51

SOUTELINO, R. G.; GANGOPADHYAY, A.; SILVEIRA, I. C. A. The roles of vertical shear and topography on the eddy formation near the site of origin of the Brazil Current. **Continental Shelf Research**, v. 70, p. 46–60, 2013. ISSN 02784343. 8, 9, 55

SOUTELINO, R. G.; SILVEIRA, I. C. A.; GANGOPADHYAY, A.; MIRANDA, J. A. Is the Brazil Current eddy-dominated to the north of 20S. **Geophysical Research Letters**, v. 38, n. 3, p. 1–5, 2011. ISSN 00948276. 9, 55

SOUZA, C. S.; BARREIRO, A. S.; MAFALDA, P. Padrões espaciais e temporais de larvas de Scaridae (Pisces: Perciformes) no Nordeste do Brasil e suas relações com os fatores oceanográficos. **Brazilian Journal of Aquatic Science Technology**, v. 14, n. 2, p. 1–11, 2010. 34

SOUZA, W. F. L. de; De Medeiros, P. R. P.; BRANDINI, N.; KNOPPERS, B. Impactos de barragens sobre os fluxos de materiais na interface continente-oceano. **Revista Virtual de Quimica**, v. 3, n. 2, p. 116–128, 2011. ISSN 19846835. 41

SPALDING, M. D.; FISH, L.; WOOD, L. J. Toward representative protection of the world's coasts and oceans-progress, gaps, and opportunities. **Conservation Letters**, v. 1, n. 5, p. 217–226, 2008. ISSN 1755263X. 16

STRAMMA, L. Geostrophic transport of the South Equatorial Current in the Atlantic. **Journal of Marine Research**, v. 49, n. 2, p. 281–294, 1991. ISSN 00222402. 6

STRAMMA, L.; ENGLAND, M. On the water masses and mean circulation of the South Atlantic Ocean. **Journal of Geophysical Research**, v. 104, n. C9, p. 20863–20883, 1999. ISSN 0148-0227. 6, 7, 9

STRAMMA, L.; FISCHER, J.; BRANDT, P.; SCHOTT, F. Circulation, variability and near-equatorial meridional flow in the central tropical Atlantic. **Elsevier Oceanography Series**, v. 68, n. C, p. 1–22, 2003. ISSN 04229894. 53

STREELMAN, J. T.; ALFARO, M.; WESTNEAT, M. W.; BELLWOOD, D. R.; KARL, S. A. Evolutionary history of the parrotfishes: biogeography, ecomorphology, and comparative diversity. **Evolution**, v. 56, n. 5, p. 961–971, 2002. ISSN 0014-3820. 1

TALLEY, L. D.; PICKARD, G. L.; EMERY, W. J.; SWIFT, J. H. Atlantic Ocean. In: TALLEY, L.; PICKARD, G.; EMERY, W. J.; SWIFT, J. H. (Ed.). **Descriptive physical oceanography**. Boston: Academic Press, 2011. cap. 9, p. 245–301. ISBN 978-0-7506-4552-2. 7

TANAJURA, C. A. S.; SANTANA, A. N.; MIGNAC, D.; LIMA, L. N.; BELYAEV, K.; JI-PING, X. The REMO Ocean Data Assimilation System into HYCOM (RODAS_H): general description and preliminary results. **Atmospheric and Oceanic Science Letters**, v. 7, n. 5, p. 464–470, 2014. 44

TAPIA, F. J.; PINEDA, J. Stage-specific distribution of barnacle larvae in nearshore waters : potential for limited dispersal and high mortality rates. **Marine Ecology Progress Series**, v. 342, p. 177–190, 2007. 12

THORROLD, S. R.; JONES, G. P.; HELLBERG, M. E.; BURTON, R. S.; SWEARER, S. E.; NEIGEL, J. E.; MORGAN, S. G.; WARNER, R. R. Quantifying larval retention and connectivity in marine populations with artificial and natural markers. **Bulletin of Marine Science**, v. 70, n. 1, p. 291–308, 2002. 14

TOROPOVA, C.; MELIANE, I.; LAFFOLEY, D.; MATTHEWS, E.; SPALDING, M. **Global ocean protection: present status and future possibilities**. [S.l.: s.n.], 2010. 1–96 p. ISSN 08876185. ISBN 9782831713113. 16

VÉRAS, D. P. **Biologia reprodutiva dos budiões-batata, Sparisoma axillare e Sparisoma frondosum (actinopterygii: Scaridae), capturados na costa central do estado de Pernambuco**. Tese (Doutorado) — Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2008. 17, 18

VÉRAS, D. P.; HISSA, F.; HAZIN, V.; COELI, R.; COSTA, D. O. Biologia reprodutiva do budião-batata, Sparisoma frondosum (actinopterygii: Scaridae), capturao na costa central do estado de Pernanbuco. **Arquivos de Ciências do Mar**, v. 42, n. 1, p. 40–51, 2008. 19, 33

WERNER, F. E.; COWEN, R. K.; PARIS, C. B. Coupled biological and physical models. **Oceanography**, v. 20, n. 3, p. 54–69, 2007. ISSN 10428275. 2, 14

WESSEL, P.; SMITH, W. H. F. A global, self-consistent, hierarchical, high-resolution shoreline database. **Journal of Geophysical Research: Solid Earth**, v. 101, n. B4, p. 8741–8743, 1996. ISSN 01480227. 26

APÊNDICE A - Comparação entre os dados de temperatura e salinidade do PIRATA e as soluções do ROMS

Neste apêndice são apresentadas as tabelas referentes aos dados médios para o verão e o inverno em cada profundidade de medição do PIRATA e para os resultados do ROMS, assim como também são apresentados o viés e o RMSD.

Tabela A.1 - Viés e RMSD da temperatura ao longo da coluna d'água para o período de verão entre as soluções obtidas pelo ROMS e os dados das boias do PIRATA.

Prof.(m)	Bóia 1		Bóia 2		Bóia 3	
	Viés	RMSD	Viés	RMSD	Viés	RMSD
10	-0,85	1,32	-0,37	0,53	-0,94	0,91
20	-1,62	2,13	-0,36	0,53	-1,15	1,23
40	-3,89	4,49	-0,34	0,67	-1,94	2,25
60	-4,71	5,62	-0,21	1,61	-3,44	3,98
80	-4,68	5,89	-0,64	3,47	-4,46	5,14
100	-3,81	4,88	-1,68	5,01	-4,37	4,92
120	-2,97	3,54	-2,53	3,24	-3,32	3,66
140	-2,17	2,54	-2,60	3,57	-2,27	2,30
180	-1,62	1,65	-2,72	3,29	-2,04	1,74
300	-1,50	1,47	-2,70	3,26	-2,64	2,59
500	-1,45	1,41	-1,42	1,50	-1,55	1,41

Prof.(m)	Bóia 4		Bóia 5	
	Viés	RMSD	Viés	RMSD
10	0,31		-1,22	0,77
20	0,13		-1,99	1,93
40	-1,65		-3,38	3,56
60	-4,03		-3,92	4,14
80	-4,28		-3,18	3,60
100	-2,92		-2,07	2,39
120	-2,17		-1,51	1,58
140	-2,01		-1,45	1,39
180	-2,14		-1,79	1,63
300	-2,24		-2,55	2,48
500	-1,05		-1,60	1,59

Tabela A.1 - Continuação

Prof.(m)	Bóia 6		Bóia 7		Bóia 8	
	Viés	RMSD	Viés	RMSD	Viés	RMSD
10	0,41	1,34	0,97	1,51	1,90	
20	0,44	1,33	0,99	1,53	1,73	2,50
40	0,10	0,84	0,52	1,07	0,86	1,44
60	-0,81	0,73	-0,34	0,30	-0,37	0,53
80	-1,51	2,93	-0,84	0,83	-1,07	1,08
100	-1,90	5,52	-1,06	1,65	-1,72	1,94
120	-2,37	6,63	-1,27	2,66	-2,42	3,10
140	-2,32	6,69	-1,72	3,84	-2,98	4,10
180	-1,74	4,98	-1,87	4,03	-3,47	4,52
300	-2,08	2,55	-1,34	2,26	-2,26	3,13
500	-1,48	1,41	-0,64	1,20	-1,14	2,22

Fonte: Produção do autor.

Tabela A.2 - Viés e RMSD da temperatura ao longo da coluna d'água para o período de inverno entre as soluções obtidas pelo ROMS e os dados das boias do PIRATA.

Prof.(m)	Bóia 1		Bóia 2		Bóia 3	
	Viés	RMSD	Viés	RMSD	Viés	RMSD
10	0,97	0,97	0,45	0,61	-1,58	1,56
20	0,67	0,92	0,43	0,62	-1,72	1,80
40	-1,65	2,31	0,30	0,55	-2,35	2,67
60	-3,81	4,39	0,45	1,51	-3,64	4,18
80	-5,03	5,25	0,41	3,42	-4,39	5,13
100	-4,60	4,63	-0,18	4,83	-3,94	4,68
120	-3,59	3,43	-0,85	3,53	-2,57	3,14
140	-2,56	2,53	-1,21	2,26	-1,64	1,97
180	-1,72	1,71	-1,54	2,27	-1,47	1,59
300	-1,53	1,50	-2,01	2,58	-2,12	2,06
500	-1,49	1,44	-1,10	1,17	-1,25	1,13

Tabela A.2 - Continuação

Prof.(m)	Bóia 4		Bóia 5	
	Viés	RMSD	Viés	RMSD
10	0,05		-3,23	3,56
20	0,11		-3,60	3,55
40	0,57		-4,32	4,50
60	1,00		-4,43	4,65
80	0,24		-3,39	3,84
100	-0,60		-1,98	2,26
120	-1,41		-1,26	1,40
140	-1,86		-1,20	1,19
180	-2,22		-1,75	1,59
300	-2,37		-2,54	2,47
500	-1,24		-1,50	1,50

Prof.(m)	Bóia 6		Bóia 7		Bóia 8	
	Viés	RMSD	Viés	RMSD	Viés	RMSD
10	-0,66	0,35	-1,09	0,63	-1,36	
20	-0,58	0,35	-1,02	0,64	-1,45	1,16
40	-0,54	0,36	-0,88	0,74	-1,31	0,91
60	-0,78	0,54	-0,53	0,62	-0,98	0,65
80	-1,26	2,24	-0,41	0,34	-1,07	0,56
100	-1,89	4,62	-0,86	1,79	-1,85	1,76
120	-2,33	5,60	-1,51	3,27	-2,81	3,27
140	-2,19	5,63	-2,04	4,52	-3,46	4,31
180	-1,43	4,20	-2,12	4,71	-3,93	4,74
300	-1,80	2,39	-1,70	2,88	-2,47	3,14
500	-1,43	1,43	-0,63	0,96	-1,19	2,23

Fonte: Produção do autor.

Tabela A.3 - Viés e RMSD da temperatura ao longo da coluna d'água para o período de verão entre as soluções obtidas pelo ROMS e os dados das boias do PIRATA.

Prof.(m)	Bóia 1		Bóia 2		Bóia 3	
	Viés	RMSD	Viés	RMSD	Viés	RMSD
20	-0,01	0,37	-0,32	0,45	-0,29	0,26
40	-0,42	0,41	-0,41	0,68	-0,41	0,33
60	-0,31	0,33	-0,25	0,44	-0,34	0,25
120	-0,33	0,34	-0,32	0,25	-0,51	0,50

Prof.(m)	Bóia 4		Bóia 5	
	Viés	RMSD	Viés	RMSD
20	0,03		-0,25	0,23
40	0,11		-0,31	0,29
60	-0,10		-0,48	0,42
120	-0,23		-0,23	0,21

Prof.(m)	Bóia 6		Bóia 7		Bóia 8	
	Viés	RMSD	Viés	RMSD	Viés	RMSD
20	0,00	0,10	-0,10	0,16	-0,05	0,22
40	0,04	0,14	-0,04	0,17	-0,12	0,14
60	-0,06	0,25	0,01	0,14	-0,21	
120	-0,44	0,83	-0,15	0,45	-0,52	0,56

Fonte: Produção do autor.

Tabela A.4 - Viés e RMSD da salinidade ao longo da coluna d'água para o período de inverno entre as soluções obtidas pelo ROMS e os dados das boias do PIRATA.

Prof.(m)	Bóia 1		Bóia 2		Bóia 3	
	Viés	RMSD	Viés	RMSD	Viés	RMSD
20	-0,09	0,48	-0,19	0,43	-0,30	0,28
40	-0,11	0,25	-0,31	0,65	-0,50	0,39
60	-0,02	0,22	-0,24	0,47	-0,46	0,38
120	-0,36	0,37	-0,27	0,22	-0,45	0,44

Tabela A.4 - Continuação

Prof.(m)	Bóia 4		Bóia 5	
	Viés	RMSD	Viés	RMSD
20	-0,06		-0,19	0,20
40	-0,14		-0,33	0,30
60	-0,23		-0,51	0,46
120	-0,16		-0,18	0,17

Prof.(m)	Bóia 6		Bóia 7		Bóia 8	
	Viés	RMSD	Viés	RMSD	Viés	RMSD
20	-0,20	0,18	-0,27	0,16	-0,07	0,33
40	-0,18	0,13	-0,17	0,15	-0,04	0,35
60	-0,11	0,13	-0,05	0,06	-0,03	
120	-0,51	0,78	-0,28	0,61	-0,64	0,67

Fonte: Produção do autor.