



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE ECOLOGIA E ZOOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA**

LUIS CARLOS PINTO DE MACEDO SOARES

**DISTRIBUIÇÃO DO ICTIOPLÂNCTON NO ARQUIPÉLAGO
DE SÃO PEDRO E SÃO PAULO**

**Florianópolis/SC
2011**

LUIS CARLOS PINTO DE MACEDO SOARES

**DISTRIBUIÇÃO DO ICTIOPLÂNCTON NO ARQUIPÉLAGO
DE SÃO PEDRO E SÃO PAULO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia da Universidade Federal de Santa Catarina, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ecologia.

Orientador:

Prof. Dr. José Henrique Muelbert

Coorientadora:

Prof^a Dr^a Andrea Santarosa Freire

**Florianópolis/SC
2011**

Catálogo na fonte pela Biblioteca Universitária
da
Universidade Federal de Santa Catarina

M141d Macedo Soares, Luis Carlos Pinto de
Distribuição do ictioplâncton no Arquipélago de São
Pedro e São Paulo [dissertação] / Luis Carlos Pinto de Macedo
Soares ; orientador, José Henrique Muelbert. - Florianópolis,
SC, 2011.

124 p.: il., grafs., tabs., mapas

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro de Ciências Biológicas. Programa de Pós-
Graduação em Ecologia.

Inclui referências

1. Ecologia. 2. Peixe - Ovo - Arquipélago de São Pedro -
Arquipélago de São Paulo. 3. Peixe - Reprodução. 4. Topografia
submarina - Arquipélago de São Pedro - Arquipélago de São
Paulo. I. Muelbert, José Henrique. II. Universidade Federal de
Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Ecologia. III.
Título.

CDU 577.4

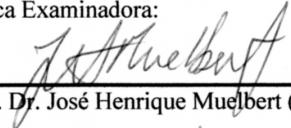
“Distribuição do ictioplâncton no Arquipélago de São Pedro e São Paulo”

por

Luis Carlos Pinto de Macedo Soares

Dissertação julgada e aprovada em sua
forma final pelos membros titulares da
Banca Examinadora (Port.
01/PPGECO/2011) do Programa de
Pós-Graduação em Ecologia - UFSC,
composta pelos Professores Doutores:

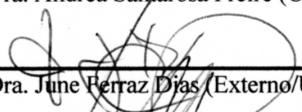
Banca Examinadora:



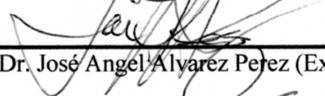
Prof. Dr. José Henrique Muelbert (Presidente /Orientador)



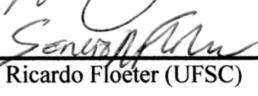
Prof.ª. Dra. Andrea Santarosa Freire (UFSC)



Prof.ª. Dra. June Ferraz Dias (Externo/USP)



Prof. Dr. José Angel Alvarez Perez (Externo/ CTTMar/UNIVALI)



Prof. Dr. Sérgio Ricardo Floeter (UFSC)

Prof. Dr. Mauricio Mello Petrucio
Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Ecologia

Florianópolis, 23 de fevereiro de 2011.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao CNPq o apoio financeiro para o desenvolvimento dos projetos realizados no Arquipélago de São Pedro e São Paulo (#48.0040/2004-4 e #55.8470/2005-0) e a CAPES pela bolsa de mestrado. À SECIRM pela infra-estrutura e treinamento, às tripulações dos barcos Transmar I e Transmar II pelo apoio logístico nas coletas de plâncton, e à equipe da expedição 187, Frederico G. Guaraudo e Luiz Sérgio A. Simões, pelo companheirismo durante os 15 dias de convivência no arquipélago.

Aos profissionais e estudantes que participaram das coletas e da triagem das amostras, em especial a Andrea Koettker, Gabriela de Oliveira, Alesandra Birolo, Juliana Gaeta, Mariana Teshima, Mariana Aguiar, Vanessa Medina, Bárbara Menezes, Liane Stumpf, Manoela Brandão e Mara Bedin.

Aos alunos e professores do Programa de Pós-Graduação em Ecologia e do Departamento de Ecologia e Zoologia da UFSC pelas aulas, conversas, almoços e apoio durante os últimos dois anos. A turma de 2009 pelo excelente curso de campo.

Um agradecimento muito especial aos amigos do Laboratório de Crustáceos e Plâncton, Manu, Matheus, Babi, Jana, Mara, Melissa, Mari, Chuck, Ju, Julia e Arthur que me acompanharam e me apoiaram muito durante o mestrado. À equipe do Laboratório de Ecologia do Ictioplâncton da FURG, em especial ao Evandro e a Cristiane, pela receptividade e amizade. A oceanóloga Ana Paula Berguer pelo auxílio inicial no processamento das imagens de satélite. À Andrea, mais uma vez pela dedicação, apoio e incentivo nessa etapa, e por sempre proporcionar novas oportunidades como todas as que eu tive nesse mestrado. Ao Zeca pela orientação, dedicação e recepção em Rio Grande. Obrigado pelos ensinamentos, por compartilhar sua experiência profissional e de vida. Zeca foi uma grande satisfação trabalhar com você.

A todos os meus amigos e familiares que me apoiaram em mais uma etapa dessa longa carreira. Minhas irmãs Paula e Luiza, minha querida sobrinha Marina e meus pais, Helena e Paulo, pelo incentivo e compreensão. Minha amada esposa e companheira Meire agradeço a paciência e o apoio, você é o meu porto seguro. Nossa abençoada filha Beatriz, você é uma luz em nossas vidas. Com os seus recém dois anos completos, obrigado por compreender quando seu “papaizinho” tem que sair para trabalhar e não pode brincar com você. Ao Príncipe Criador e a nossa mãe Terra obrigado por tudo.

RESUMO

O ictioplâncton é composto por ovos e larvas de peixes, e consiste nos estágios iniciais de desenvolvimento da maioria dos peixes marinhos. Interações entre as correntes marinhas e a topografia de ilhas oceânicas e montanhas submarinas podem favorecer o aumento da produção primária e da concentração de ictioplâncton ao redor desses ambientes, fenômeno denominado efeito ilha. O objetivo do presente trabalho foi investigar a comunidade de larvas de peixes e avaliar se a topografia favorece um aumento da biomassa fitoplanctônica e da concentração do ictioplâncton ao redor do Arquipélago de São Pedro e São Paulo (ASPPSP). Foram utilizadas imagens de satélite da temperatura superficial do mar (TSM) e da clorofila na superfície do mar (CSM), de 2003 a 2005. Amostras de ictioplâncton foram coletadas durante oito expedições realizadas em 2003, 2004 e 2005 em diferentes distâncias do arquipélago. Foram identificados 80 táxons distribuídos em 29 famílias, sendo que 72 estão relacionadas a uma única espécie. Myctophidae é a família mais diversa, enquanto que a comunidade é dominada pelas larvas dos peixes recifais *Stegastes sanctipauli* e *Entomacrodus vomerinus*. Três associações de larvas de peixes foram encontradas: associação recifal, associação nerítica e associação oceânica. Os resultados demonstraram um padrão temporal da TSM e da CSM, com menores valores de TSM e maior concentração de CSM nos meses de julho e agosto. A densidade do ictioplâncton foi maior perto das ilhotas, especialmente em julho, quando a densidade das larvas de Myctophidae apresentou correlação com alta concentração de CSM. Não ficou evidente a existência de um efeito ilha resultante da interação corrente-topografia. No entanto, os resultados sugerem que a presença do arquipélago no Atlântico Equatorial afeta a comunidade ictioplanctônica no seu entorno, uma vez que o Arquipélago de São Pedro e São Paulo proporciona um habitat favorável ao desenvolvimento e sobrevivência dos estágios iniciais da fauna de peixes local.

Palavras-chave: Atlântico Equatorial, efeito ilha, ilha oceânica, sensoriamento remoto

ABSTRACT

The early developmental stages of most marine fish consist of planktonic eggs and larvae called ichthyoplankton. It is possible for interactions between ocean currents and abrupt topography such as oceanic islands and seamounts to contribute to increased primary production and higher ichthyoplankton concentrations around these environments. This phenomenon is known as island mass effect. The aim of this study was to investigate fish larvae communities in the surrounding waters, and evaluate whether local topography contributes to higher phytoplanktonic biomass and higher ichthyoplankton concentration around Saint Paul's Rocks. Satellite sea surface temperature (SST) and sea surface chlorophyll (SSC) images were acquired for 2003 to 2005. Ichthyoplankton samples were collected during eight expeditions in 2003, 2004 and 2005 at varying distances from Saint Paul's Rocks. Larval identification resulted in 80 taxa distributed across 29 families, with 72 related to a single species. Myctophidae was the most diverse family, and fish larvae community was dominated by reef fish larvae *Stegastes sanctipauli* and *Entomacrodus vomerinus*. Three different fish larvae assemblages were recorded: a reef assemblage, a neritic assemblage and an oceanic assemblage. Results demonstrate that both SST and SSC follow a temporal pattern, with low SST values and high SSC concentrations in July and August. Ichthyoplankton density was higher near the islets, especially in July, and was concurrent with a correlation between Myctophidae larvae density and higher SSC concentration. No island mass effect caused by interactions between oceanic currents and local topography was identified. However, the results suggest that Saint Paul's Rocks influence ichthyoplankton community surrounding them. Moreover, Saint Paul's Rocks play an important role in the early development and survival of local fish fauna.

Keywords: Equatorial Atlantic, island mass effect, oceanic island, remote sensing

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	XV
LISTA DE TABELAS.....	XIX
1 INTRODUÇÃO	21
1.1 OBJETIVOS.....	23
2 MATERIAIS E MÉTODOS	25
2.1 ÁREA DE ESTUDO	25
2.2 COLETA E PROCESSAMENTO DOS DADOS OCEANOGRÁFICOS	27
2.3 AMOSTRAGEM E PROCESSAMENTO DO ICTIOPLÂNTON	29
2.4 ANÁLISE DE DADOS	32
2.4.1 Análise de dados do Capítulo 1.....	33
2.4.2 Análise de dados do Capítulo 2.....	35
3 CAPÍTULO 1 – SMALL-SCALE SPATIAL AND TEMPORAL VARIABILITY OF LARVAL FISH ASSEMBLAGES AT AN ISOLATED OCEANIC ISLAND.....	36
4 CAPÍTULO 2 – VARIABILIDADE TEMPORAL E ESPACIAL DA TEMPERATURA SUPERFICIAL DO MAR, DA CLOROFILA A E DA COMUNIDADE ICTIOPLANCTÔNICA NO ENTORNO DO ARQUIPÉLAGO DE SÃO PEDRO E SÃO PAULO.....	63
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	84
REFERÊNCIAS.....	86
INTRODUÇÃO E MATERIAL E MÉTODOS	86
CAPÍTULO 1.....	96
CAPÍTULO 2.....	106
ANEXOS	113
ANEXO 1 – DATA E HORÁRIO DAS COLETAS, CONSIDERANDO A HORA LOCAL NO ARQUIPÉLAGO DE SÃO PEDRO E SÃO PAULO.	113
ANEXO 2 – FOTOS ILUSTRATIVAS DE ALGUMAS ESPÉCIES IDENTIFICADAS.	114
ANEXO 3 – MAPAS DE DISTRIBUIÇÃO DA DENSIDADE DE OVOS E LARVAS DE PEIXES.....	117

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Localização do Arquipélago de São Pedro e São Paulo (ASPSP) em relação às demais ilhas oceânicas, costa do Brasil e da África. 25
- Figura 2.** Mapa do Arquipélago de São Pedro e São Paulo com a localização das quatro principais ilhotas e da enseada..... 26
- Figura 3.** Representação esquemática com a localização do Arquipélago de São Pedro e São Paulo (ASPSP) e principais correntes superficiais do Atlântico Equatorial: Contra Corrente Equatorial (CCE); Corrente Norte do Brasil (CNB); Sub-Corrente Equatorial (SCE); Corrente Sul Equatorial (CSE) com as vertentes norte (CSEn), equatorial (CSEe) e central (CSEc) (modificado de Edwards & Lubbock, 1983b)..... 27
- Figura 4.** Localização do Arquipélago de São Pedro e São Paulo (ASPSP) e da bóia 0N35W do programa PIRATA sobrepostas em uma imagem MODIS/Aqua da TSM média do inverno (hemisfério sul) de 2003 (A), e sobre a batimetria da região do Atlântico Equatorial (ETOPO1 - NOAA) (B)..... 28
- Figura 5.** Estações de amostragem durante as oito expedições realizadas no Arquipélago de São Pedro e São Paulo durante abril, agosto e novembro de 2003, março de 2004 (A), dezembro de 2004, janeiro, maio e julho de 2005 (B). 30

3 CAPÍTULO 1:

- Fig. 3.1.** The location of Saint Paul's Rocks (A), its main islets and the cove (B). 41
- Fig. 3.2.** Sea surface temperature (A) and surface chlorophyll a (B) (mean \pm SE) from MODIS/Aqua satellite images, for a 25 km² area around Saint Paul's Rocks. *In situ* (\blacktriangle) mean (\pm SE) sea surface temperature (A) and salinity (B) are shown for comparison..... 45

Fig. 3.3. Species richness accumulation curves (A) and species richness over the sampled months (B), in the cove, at D1 (≤ 500 m) and at D2 (> 500 m). CI95%: 95% confidence interval..... 51

Fig. 3.4. Monthly variation of the composition of fish larvae assemblages in the cove (A), at D1 (B) and at D2 (C), in April, August and November of 2003, March and December of 2004 and January, May and July of 2005. Black horizontal bars at x-axis: night samples; White horizontal bars at x-axis: day samples..... 53

Fig. 3.5. Mean (and standard error) densities of the main species of reef and pelagic fish larvae in the cove (A), D1 (B) and D2 (C), in April, August and November 2003, March and December 2004 and January, May and July 2005..... 54

Fig. 3.6. Non-metric multidimensional scaling (nMDS) representation of fish larvae assemblages from Saint Paul’s Rocks, superimposed on the groups from the cluster analysis at similarity levels of 16%. The nMDS analysis is based on group-average linking of Bray–Curtis similarity calculated from fourth root-transformed density data for 41 species..... 55

4 CAPÍTULO 2:

Fig. 4.1. Localização do Arquipélago de São Pedro e São Paulo (ASPSP) e da bóia 0N35W do programa PIRATA sobrepostas em uma imagem MODIS/Aqua da batimetria da região do Atlântico Equatorial (ETOPO1 - NOAA) (A). Localização dos pontos de amostragem de ictioplâncton e da área de 25 km² ao redor do ASPSP (quadrados tracejados) correspondente a matriz de pixels de 5x5 km extraída das imagens de satélite (B). Os círculos tracejados em B representam as distâncias de 500, 1200 e 2000 m em relação à ilha Belmonte..... 68

Fig. 4.2. Média (\pm EP) da TSM (1) e da CSM (2) obtidas a partir de imagens de satélite adquiridas do sensor MODIS/Aqua para uma área de 25 km² ao redor da Bóia 0N35W do programa PIRATA (A) e do Arquipélago de São Pedro e São Paulo (B), no período de janeiro de 2003 a dezembro de 2005. 72

Fig. 4.3. Dados *in situ* da bóia 0N35W do programa PIRATA. Média (\pm EP) da TSM (A) e da profundidade da isoterma de 20°C (B), no período de janeiro de 2003 a dezembro de 2005. 73

Fig. 4.4. Distribuição da variância mensal da TSM (A) e da CSM (B) em relação aos meses (1) e em relação a cada pixel (2) da matriz 5x5 (25 km²) extraída ao redor da Bóia 0N35W do programa PIRATA e do Arquipélago de São Pedro e São Paulo. As imagens de satélite foram adquiridas do sensor MODIS/Aqua para o período entre janeiro de 2003 e dezembro de 2005. 74

Fig. 4.5. Distribuição da densidade de ovos de peixes ao redor do Arquipélago de São Pedro e São Paulo em abril e novembro de 2003 (A), maio e julho de 2005 (B). 75

Fig. 4.6. Distribuição da densidade de larvas de peixes ao redor do Arquipélago de São Pedro e São Paulo em abril de 2003 e dezembro de 2004 (A), maio e julho de 2005 (B). 77

Fig. 4.7. Densidade média (\pm EP) do ictioplâncton no ASPSP ilustrando o resultado da ANOVA bifatorial com diferença significativa: entre o fator meses para os ovos (A) e interação significativa entre os fatores meses e distâncias para larvas (B). Letras indicam médias significativamente ($p < 0,05$) diferentes conforme teste de Tukey (A). 78

Fig. 4.8. Diagrama fatorial resultante da análise de correspondência canônica: amostras e variáveis ambientais (A), espécies e variáveis ambientais (B). 79

LISTA DE TABELAS

3 CAPÍTULO 1:

Table 3.1. Fish larvae density (mean \pm SE) and frequency of occurrence (F%) around Saint Paul's Rocks, from 2003 to 2005, collected in the cove (CO), up to 500 m away from Belmonte islet (D1) and at distances more than 500 m away (D2). Adult habitat: R= reef; D= demersal; BD= bathydemersal; EP= epipelagic; MP= mesopelagic; BP= bathypelagic. Mode of spawning: P= pelagic eggs; P¹= assumed to be pelagic eggs; NP= non-pelagic eggs..... 47

Table 3.2. Significant results at <5%* and at <1%** from the one-way analysis of similarity (ANOSIM) based on the groups (A, B, C and D) from clustered samples in Saint Paul's Rocks, collected from 2003 to 2005. 56

Table 3.3. Results of indicator species analysis (ISA) indicating larval fish assemblages at Saint Paul's Rocks, from 2003 to 2005. Only species with significant results ($p < 0.05$) according to the Monte Carlo test are shown..... 56

1 INTRODUÇÃO

O zooplâncton marinho é um grupo diversificado composto por organismos que vivem todo o seu ciclo de vida no plâncton (holoplâncton) ou apenas os estágios embrionários e larvares (meroplâncton). Constitui um importante elo entre a produção primária e os níveis mais elevados da teia trófica pelágica, representando uma importante fração na dieta de peixes como atuns, cavalas e dourados (Rissik et al., 1997; Champalbert et al., 2005). O meroplâncton inclui ovos e formas larvais de vários grupos como crustáceos e peixes de interesse comercial.

Os peixes apresentam uma grande variedade de estratégias reprodutivas, como tipo, local e período específicos de desova (Murua & Saborido-Rey, 2003). Algumas dessas estratégias incluem a fertilização externa e a fase larval planctônica, quando são denominados ictioplâncton (Ciechomski, 1981). O estudo da abundância e composição do ictioplâncton pode contribuir para o entendimento dos padrões de distribuição e desova de espécies visitantes e residentes, determinando a importância de uma área como um berçário (Chute & Turner, 2001).

Algumas espécies de peixes pelágicos como scombrídeos e exocoetídeos agregam-se ao redor de ilhas oceânicas e montanhas submarinas para reprodução e desova (Boehlert & Mundy, 1994; Hunte et al., 1995). Sendo assim, ilhas oceânicas e montanhas submarinas desempenham um importante papel no desenvolvimento de larvas de peixes, proporcionando um habitat favorável ao crescimento e sobrevivência de larvas de peixes pelágicos, e das espécies recifais e demersais residentes (Koubbi et al., 1991; Dower & Perry, 2001). Essas áreas representam verdadeiros *hotspots* de biodiversidade em meio ao oceano aberto (Morato, et al., 2010).

Uma ilha oceânica, por exemplo, pode exportar ovos e larvas contribuindo para a formação de associações de larvas de peixes nas águas que as circundam (Boehlert & Mundy, 1993). Interações entre correntes oceânicas e a topografia podem estar relacionadas com a concentração de ictioplâncton ao redor de ilhas oceânicas e montanhas submarinas, bem como com os mecanismos responsáveis pela formação, manutenção e desagregação de associações de larvas de peixes (Boehlert & Mundy, 1993; Genin, 2004). No entanto, naturalmente associações de larvas de peixes são transitórias, uma vez que estão restritas às fases larvais (Mafalda Jr. & Rúbin, 2006).

Estudos têm descrito os mecanismos responsáveis pela

concentração de ictioplâncton ao redor de ilhas oceânicas e montanhas submarinas, como por exemplo, a formação de vórtices e ressurgências. Esses mecanismos podem aumentar a disponibilidade de nutrientes nas camadas mais superficiais, resultando em áreas com maior concentração de clorofila a, holoplâncton e larvas de peixes (e.g. Hamner & Hauri, 1981; Wolanski & Hamner, 1988; Hernández-León, 1991). Nas águas ao redor da ilha Gran Canária foi observada a formação de núcelos de água fria no lado sotavento da ilha (Hernández-León, 1991). Da mesma forma, ao redor da ilha da Madeira, núcleos de água fria associados à alta concentração de clorofila a, foram registrados no lado sotavento (Caldeira et al., 2002).

Doty e Oguri (1956) denominaram de efeito ilha o fenômeno em que a presença de uma ilha pode ocasionar um aumento da produção primária, da biomassa planctônica e do potencial pesqueiro no seu entorno. Segundo Perissinoto et al. (2000), além do efeito ilha descrito por Doty e Oguri (1956), o aumento da produção primária ao redor de ilhas oceânicas pode estar relacionado a alterações no ambiente oceanográfico decorrente de interações entre as correntes marinhas e a topografia desses locais (e.g. Heywood et al., 1990; Roden, 1991). O fenômeno do efeito ilha tem sido objeto de diversos estudos realizados com coleta de dados *in situ* (e.g. Dandonneau & Charpy, 1985; Heywood et al., 1990; Perissinoto & Rae, 1990; Palacios, 2002) e, mais recentemente, com dados obtidos através do sensoriamento remoto (Caldeira et al., 2002).

O Arquipélago de São Pedro e São Paulo (ASPSP) é uma Área de Proteção Ambiental (APA) localizada na Zona Econômica Exclusiva brasileira. O sistema de corrente e a topografia do ASPSP podem resultar em processos físicos típicos de montanhas submarinas como produção de vórtices, perturbações na estrutura termohalina e possíveis ressurgências locais (Araujo & Cintra, 2009). Travassos et al. (1999) estudaram a estrutura termohalina ao redor do arquipélago e não encontraram evidências de ressurgências locais resultantes da interação corrente-topografia. Entretanto, um deslocamento da isoterma foi observado em alguns locais próximos ao ASPSP, que pode ser resultado de uma instabilidade decorrente de interações entre o sistema de correntes do local. O ASPSP é uma importante área de concentração de peixes pelágicos (Vaske Jr. et al., 2005), possui uma fauna diversificada de peixes recifais, com endemismo favorecido pelo grande isolamento geográfico (Feitoza et al., 2003; Floeter et al., 2008) e apresenta uma alta concentração e diversidade zooplanctônica (García Díaz et al., 2009; Macedo-Soares et al., 2009).

Os estudos sobre abundância, distribuição, composição e associações de larvas de peixes marinhos realizados no Brasil, abrangem principalmente a região costeira e da plataforma continental (Pinto et al., 2002; Franco & Muelbert, 2003; Freitas & Muelbert, 2004; Mafalda Jr. et al., 2004; Franco et al., 2006; Katsuragawa et al., 2006; Lopes et al., 2006; Mafalda Jr. et al., 2006). A região oceânica também foi investigada por Ekau et al. (1999), Nonaka et al. (2000) e Bonecker & Castro (2006). Os estudos conduzidos no ASPSP abordaram, até o momento, principalmente pesca e hábitos de espécies de peixes de interesse comercial (Vaske Jr. et al., 2003; Lessa & Duarte-Neto, 2004; Vaske Jr. et al., 2006a; Vaske Jr. et al., 2006b), levantamento de espécies e ecologia de peixes recifais e grandes pelágicos (Feitoza et al., 2003; Vaske Jr. et al., 2005; Ferreira et al., 2009; Hazin et al., 2009), distribuição e abundância do ictionêuston (Lessa et al., 1999), composição, densidade e diversidade do zooplâncton (García Díaz et al., 2009; Macedo-Soares et al., 2009) e biologia e ecologia de larvas e adultos de crustáceos decápodes (Freire et al., 2010; Koettker et al., 2010). Estudos sobre a estrutura da comunidade de larvas de peixes ou sobre associações de larvas de peixes em uma pequena escala (< 5 km) ao redor do ASPSP não foram publicados ou são inexistentes.

Os dados obtidos no presente trabalho foram utilizados para testar as seguintes hipóteses:

(1) existe variabilidade entre a composição, a densidade e a diversidade de larvas de peixes coletadas em diferentes distâncias do ASPSP;

(2) existe um efeito ilha decorrente da interação corrente-topografia que favorece uma alta concentração de ictioplâncton ao redor do ASPSP.

1.1 OBJETIVOS

Geral

O objetivo deste trabalho foi entender a relação entre algumas variáveis oceanográficas e a concentração de ovos e larvas de peixes ao redor do ASPSP e, através da identificação das larvas dos peixes, investigar a estrutura da comunidade ictioplanctônica em diferentes distâncias do arquipélago, contribuindo para o manejo das espécies de importância econômica e para o conhecimento da ecologia das espécies recifais.

Específicos

- ✓ Descrever pela primeira vez as associações de larvas de peixes em relação a uma distribuição espacial em pequena escala ao redor do ASPSP. Fornecer também informações sobre a variabilidade temporal das associações de larvas de peixes em relação a algumas características oceanográficas;

- ✓ Avaliar se a topografia da região do Arquipélago de São Pedro e São Paulo contribui para uma maior variabilidade temporal e espacial da temperatura e da clorofila na superfície do mar no seu entorno, causando um efeito ilha na área, e se este efeito provoca aumento da concentração de ovos e larvas de peixes ao redor do ASPSP.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

O Arquipélago de São Pedro e São Paulo (ASPSP) é o menor e mais isolado arquipélago pertencente à Zona Econômica Exclusiva brasileira, formado por um pequeno grupo de dez ilhotas e pontas de rochas que se elevam de profundidades abissais. É o ponto mais alto e íngreme do Maciço de São Pedro e São Paulo, associado à Cordilheira Meso-Atlântica. Este maciço, também conhecido como Megamullion de São Pedro e São Paulo, mede cerca de 90 km de comprimento e 21 km de largura, com mais de 4000 m de altura (Smith et al., 1974; Feitoza et al., 2003; Sichel et al., 2008). O arquipélago está localizado no Oceano Atlântico Equatorial ($00^{\circ}55'01''\text{N}$ e $29^{\circ}20'44''\text{W}$) a cerca de 1000 km da costa nordeste brasileira e 1800 km da costa africana (Figura 1). A ilha oceânica mais próxima é o Arquipélago de Fernando de Noronha a 650 km de distância a sudoeste (Edwards & Lubbock, 1983a). Na direção sudeste encontram-se as ilhas de Ascensão e Santa Helena, distantes do ASPSP 1940 km e 3220 km, respectivamente (Edwards & Lubbock, 1983b).

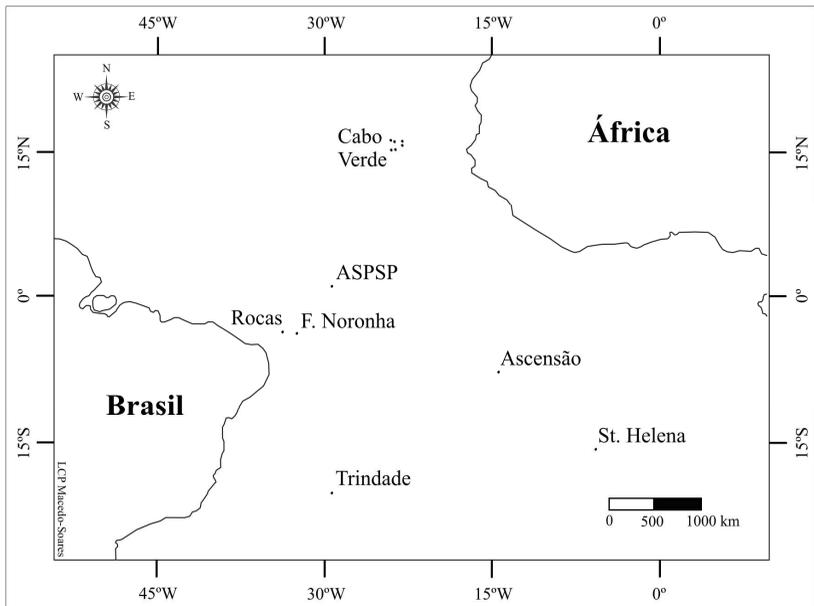


Figura 1. Localização do Arquipélago de São Pedro e São Paulo (ASPSP) em relação às demais ilhas oceânicas, costa do Brasil e da África.

O arquipélago abrange uma área aproximada de 16000 m², com extensão máxima 400 m e altura máxima de 18 m acima do nível do mar na ilha São Pedro (Edwards & Lubbock, 1983a). As quatro ilhotas principais, Barão de Teffé, São Pedro, São Paulo e Belmonte, formam entre si uma enseada em forma de ferradura com profundidade entre quatro e 25 m (Figura 2). Hábitats rasos com profundidade inferior a 50 m são limitados e a maior parte da zona infralitoral é dominada pelo zoantídeo *Palythoa caribaeorum* (Duchassaing & Michelotti, 1860) e pela alga *Caulerpa racemosa* (Forsskål) J. Agardh (Edwards & Lubbock, 1983a; Feitoza et al., 2003).

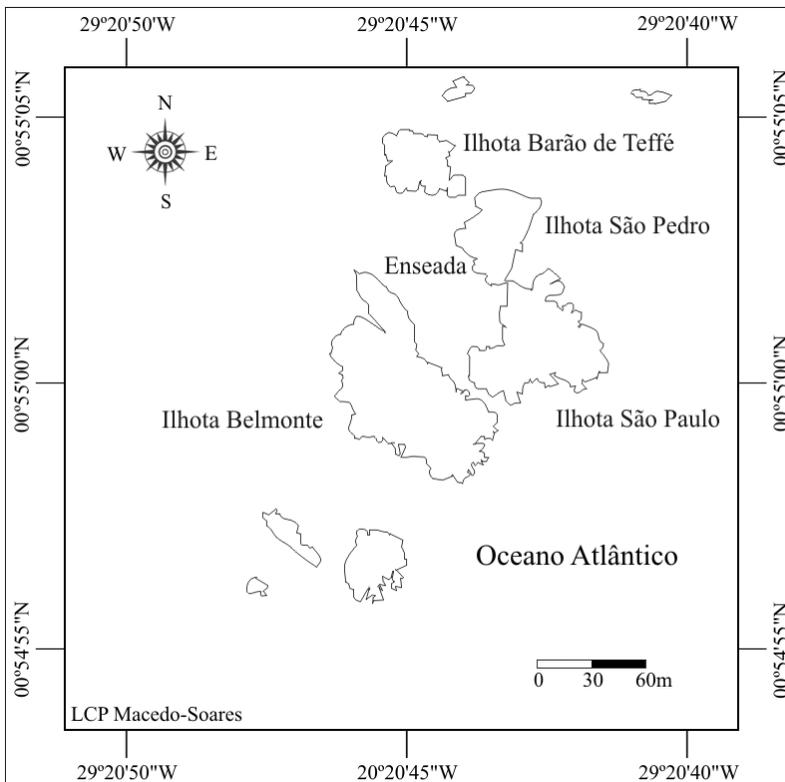


Figura 2. Mapa do Arquipélago de São Pedro e São Paulo com a localização das quatro principais ilhotas e da enseada.

A Corrente Sul Equatorial (CSE) é a principal corrente na área que flui superficialmente no sentido Leste-Oeste, atingindo o ASPSP,

com sua vertente Norte (CSEn), a uma velocidade máxima de $1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (Figura 3). Em sentido contrário, a Sub-Corrente Equatorial (SCE) carrega águas entre 40 e 150 m de profundidade com velocidade de até $0,7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (Bowen, 1966; Stramma & England, 1999; Araujo & Cintra, 2009). O Oceano Atlântico Equatorial está sob influência da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) entre janeiro e maio, aumentando a nebulosidade e as chuvas neste período (estação chuvosa). A partir de junho, a ZCIT se move para o Norte, reduzindo a nebulosidade e as chuvas na região (estação seca) (Soares et al., 2009).

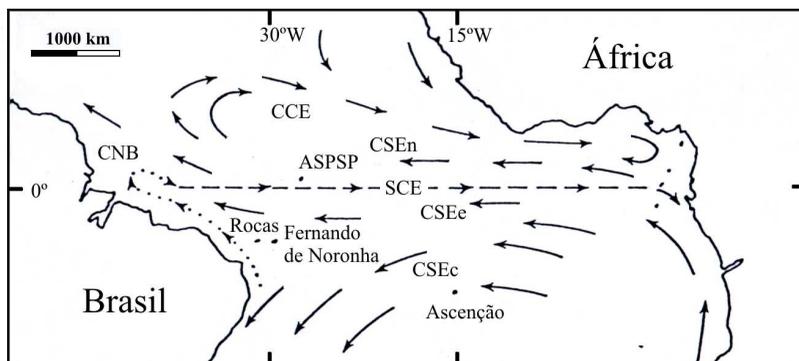


Figura 3. Representação esquemática com a localização do Arquipélago de São Pedro e São Paulo (ASPSP) e principais correntes superficiais do Atlântico Equatorial: Contra Corrente Equatorial (CCE); Corrente Norte do Brasil (CNB); Sub-Corrente Equatorial (SCE); Corrente Sul Equatorial (CSE) com as vertentes norte (CSEn), equatorial (CSEe) e central (CSEc) (modificado de Edwards & Lubbock, 1983b).

2.2 COLETA E PROCESSAMENTO DOS DADOS OCEANOGRÁFICOS

Para análise da variabilidade temporal e espacial da temperatura na superfície do mar (TSM) e da clorofila na superfície do mar (CSM) no entorno do ASPSP foram utilizadas imagens diárias de TSM e da CSM obtidas do sensor MODIS/Aqua, nível 2, com 1 km de resolução espacial. A CSM foi estimada a partir do algoritmo global OC3 (O'Reilly et al., 2000). Foram adquiridas imagens referentes ao período de 1º de janeiro de 2003 a 31 de dezembro de 2005 através da *homepage Ocean Color* (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov>) para a área do Arquipélago de São Pedro e São Paulo, e para a área da bóia 0N35W do programa PIRATA – *Prediction and Research Moored Array in the*

Atlantic (<http://www.pmel.noaa.gov/pirata/>) (Figura 4). Através da *homepage* do programa PIRATA foram obtidos dados *in situ* de TSM e profundidade da isoterma de 20°C da bóia 0N35W.

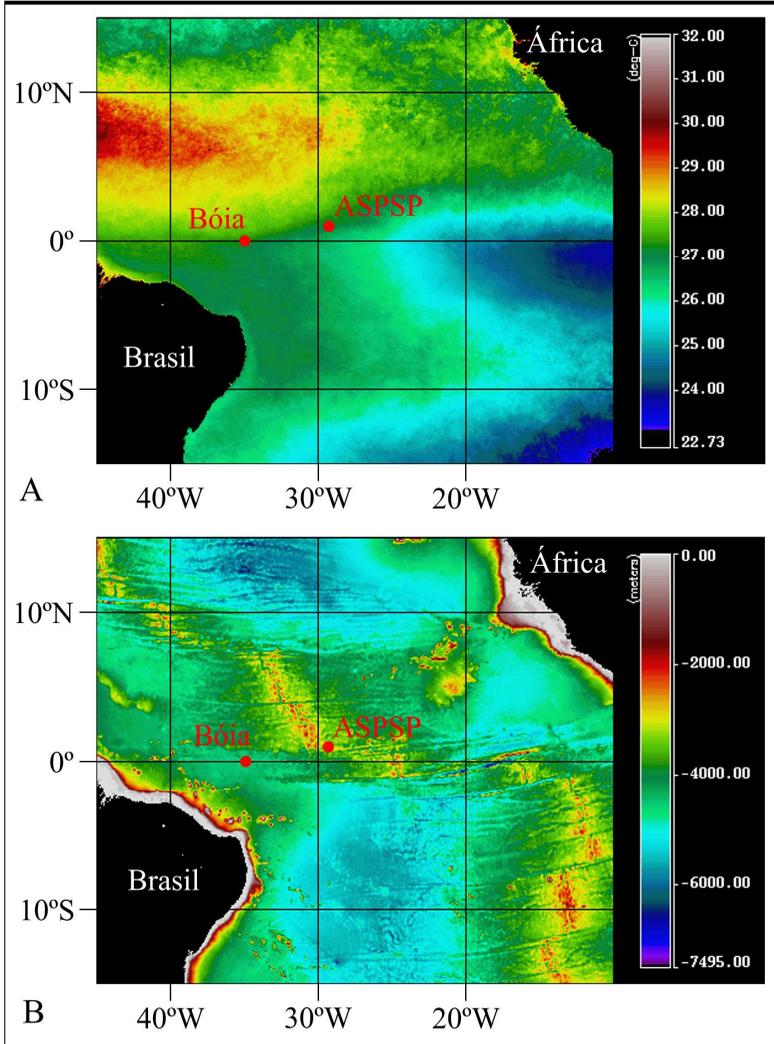


Figura 4. Localização do Arquipélago de São Pedro e São Paulo (ASPSP) e da bóia 0N35W do programa PIRATA sobrepostas em uma imagem MODIS/Aqua da TSM média do inverno (hemisfério sul) de 2003 (A), e sobre a batimetria da região do Atlântico Equatorial (ETOPO1 - NOAA) (B).

As imagens foram processadas no programa SeaDAS versão 6.1 onde foram mapeadas utilizando projeção de Mercator, limites de $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ no entorno da coordenada central para cada área, gerando matrizes de 111 colunas por 111 linhas para cada imagem. Posteriormente, matrizes de pixels de 5×5 km (25 km^2) ao redor da coordenada central do ASPSP e da bóia 0N35W foram extraídas para cada imagem diária utilizando o programa MATLAB versão R2009a.

Para a área do ASPSP foram também extraídos das imagens os valores de TSM e CSM correspondentes a cada uma das 144 amostras de ictioplâncton. Considerando que o tempo em que águas enriquecidas devem permanecer na superfície para crescimento planctônico está na ordem de semanas (Genin, 2004), foram utilizadas imagens de oito dias anteriores ao dia da coleta de ictioplâncton para a extração dos valores de TSM e CSM. Devido à alta nebulosidade na área resultante da presença da ZCIT (Soares et al., 2009) não foi possível a obtenção dos valores dos exatos oito dias anteriores a coleta para todas as amostras, sendo então utilizadas imagens de dias anteriores até que se completasse o total de oito imagens por amostra, não ultrapassando o limite temporal de um mês antes da data da coleta de ictioplâncton. Finalmente, para as análises estatísticas dos dados, foram utilizados os valores médios de TSM e CSM das oito imagens selecionadas para as coordenadas correspondentes a cada uma das amostras de ictioplâncton, ou seja, para o pixel correspondente ao ponto de coleta.

2.3 AMOSTRAGEM E PROCESSAMENTO DO ICTIOPLÂNCTON

As amostras de plâncton foram coletadas em oito expedições ao ASPSP realizadas em abril, agosto e novembro de 2003, março e dezembro de 2004, janeiro, maio e julho de 2005 (Anexo 1). As amostragens foram conduzidas em locais estabelecidos aleatoriamente, durante o anoitecer/noite (entre 18h00min e 22h14min) e durante o amanhecer/dia (entre 6h30min e 12h00min), e em diferentes distâncias em relação ao arquipélago (125 a 2973 m) (Figura 5). Amostras também foram realizadas na enseada, exceto em abril de 2003. Todas as amostragens foram realizadas com três réplicas. No total foram coletadas 186 amostras, 42 na enseada e 144 nas águas ao redor do arquipélago. Arrastos horizontais superficiais, com 10 min de duração, foram conduzidos com uma rede cônico-cilíndrica de $200 \mu\text{m}$ de malha, diâmetro da boca de 0,5 m e 2 m de comprimento, equipada com um fluxômetro General Oceanics. Temperatura superficial da água (termômetro), salinidade (refratômetro) e coordenadas geográficas

(GPS) para cada amostra foram registradas simultaneamente com os arrastos de plâncton. A profundidade das estações de amostragem variou entre 25 e 1000 m.

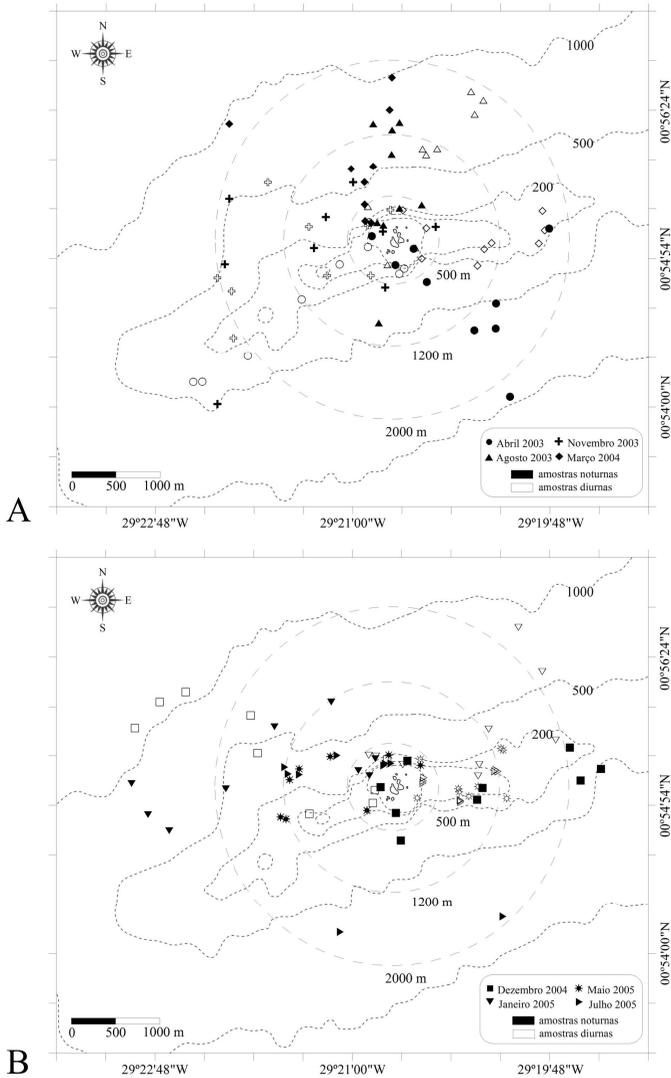


Figura 5. Estações de amostragem durante as oito expedições realizadas no Arquipélago de São Pedro e São Paulo durante abril, agosto e novembro de 2003, março de 2004 (A), dezembro de 2004, janeiro, maio e julho de 2005 (B).

As amostras foram imediatamente fixadas e preservadas em solução de formaldeído diluída em água do mar com concentração de aproximadamente 4%, tamponado com tetraborato de sódio (2 g para 1.000 mL de solução de formaldeído) e acondicionadas em frascos plásticos etiquetados. As amostras foram processadas no Laboratório de Crustáceos e Plâncton do Departamento de Ecologia e Zoologia da Universidade Federal de Santa Catarina, e no Laboratório de Ecologia do Ictioplâncton do Instituto de Oceanografia da Universidade Federal do Rio Grande. Cada amostra foi lavada em água corrente antes do processamento para remoção do formaldeído. Os ovos e as larvas de peixes foram separados e contados em estereomicroscópio com aumento máximo de 32 vezes, e em estereomicroscópio com ocular micrométrica e aumento máximo de 50 vezes, com sistema de iluminação externa. As amostras coletadas na enseada com uma grade quantidade de ovos e larvas foram subamostradas com a utilização de uma concha de volume interno conhecido (10 mL) (Boltovskoy, 1981). A subamostragem consiste em diluir a amostra utilizando um béquer, em um volume conhecido, homogenizando-a com a concha, e retirando a subamostra. A contagem na subamostra é realizada até obter-se um mínimo de 100 organismos. O número total de organismos na amostra é obtido por regra de três simples a partir do número de organismos contados na subamostra, do volume inicial do béquer e do volume da concha utilizada na subamostragem. Para as demais amostras os ovos e larvas foram quantificados da amostra total.

A identificação das larvas de peixes foi realizada até o menor nível taxonômico possível mediante a análise morfométrica e merística, de acordo com os estágios de desenvolvimento larval descritos por Fahay (1983), Moser (1996), Olivar et al. (1999), Richards (2005), Bonecker e Castro (2006), Evseenko (2008) e Victor (2010). Foram ainda consultados os trabalhos de Moser et al. (1984), Leis e Trnski (1989), Olivar e Fortuño (1991), Olivar e Beckley (1997) e Neira et al. (1998).

As principais características morfométricas utilizadas durante a identificação foram: comprimento total (CT); comprimento padrão (CP); comprimento pré-anal (CpA) e altura do corpo (ACO). Foram utilizadas também as relações entre as medidas obtidas, como por exemplo, a razão entre o comprimento pré-anal e o comprimento padrão (CpA/CP). Em relação às características merísticas, foram observados e/ou contados, quando possível, o número de raios da nadadeira dorsal (D); o número de raios da nadadeira anal (A); o número de raios da nadadeira

caudal (C); o número de raios ou a presença da nadadeira peitoral (P1); o número de raios ou a presença da nadadeira pélvica (P2); o número de miômeros pré-anal; o número de miômeros pós-anal; e o número total de miômeros. O padrão de pigmentação em relação ao estágio de desenvolvimento da larva também foi observado (Fahay, 1983).

Os táxon identificados foram fotografados com câmara fotográfica digital, acoplada à estereomicroscópio, através do software Canon Utilities ZoomBrowser EX 4.6 (Anexo 2), para posterior formação de um Banco Digital de Imagens (BDI). Os espécimes foram depositados na Coleção de Crustáceos e Plâncton do Departamento de Ecologia e Zoologia/Universidade Federal de Santa Catarina (CCP/ECZ).

Os mapas temáticos de distribuição do ictioplâncton foram gerados no programa Surfer versão 8.0 (Anexo 3) e o mapa base foi vetorizado a partir da carta náutica digitalizada obtida da *homepage* da Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil (<http://www.mar.mil.br/dhn/dhn/index.html>). Os pontos de coleta foram plotados sobre a carta náutica digitalizada no programa GPS TrackMaker, onde foram obtidos os valores de distância de cada ponto amostral em relação à ilha Belmonte e a profundidade local de acordo com as isóbatas da carta náutica. Em algumas análises, as amostras foram agrupadas de acordo com a distância em relação à ilha Belmonte: até 500 m de distância (D1), entre 501 e 1200 m (D2) e distâncias superiores a 1200 m (D3).

2.4 ANÁLISE DE DADOS

A densidade do ictioplâncton foi padronizada em função do volume de água filtrado em cada arrasto, obtido através da seguinte equação:

$$V = a \cdot n \cdot c$$

Onde:

V = volume de água filtrada (m³);

a = área da boca da rede (m²)

n = número de rotações do fluxômetro (rot);

c = fator de calibração do fluxômetro (0,026873 m/rot).

O cálculo da área da boca da rede foi obtido através da equação:

$$a = \pi \cdot r^2$$

Onde:

a = área da boca da rede (m²);

π = 3,1416;

r = raio da boca da rede (0,25 m).

O volume médio de água filtrada nos arrastos foi de 54,08 ± 21,80 (DP) m³. O número de indivíduos por 100 m³ de água filtrada foi calculado pela divisão do número de indivíduos encontrados pelo volume filtrado do respectivo arrasto, e posterior multiplicação por 100.

2.4.1 Análise de dados do Capítulo 1

Em todas as análises, as amostras foram agrupadas em três áreas: amostras coletadas na enseada (42 amostras), amostras coletadas em até 500 m de distância do arquipélago (D1) (50 amostras) e amostras coletadas em distâncias superiores a 500 m (D2) (94 amostras). A estrutura da comunidade foi investigada em relação à densidade e a frequência de ocorrência dos táxons. A frequência de ocorrência foi calculada através da divisão do número de amostras em que um determinado táxon foi capturado pelo total de amostras, multiplicado por 100.

A diversidade em cada área e no decorrer do período de estudo foi avaliada através da riqueza de espécies (Pianka, 1966; Magurran, 2004), que tem sido utilizada em diversos estudos (e.g. Briggs, 1994; May, 1994; Floeter et al., 2008). Curvas de acumulação de espécies para cada área e para cada mês em cada área foram computadas através do programa EstimateS 7.5 (Colwell, 2005) utilizando a função de riqueza esperada (Mao Tau) através da aleatorização da ordem sequencial de acumulação. O método fornece intervalos de confiança de 95% permitindo a comparação estatística direta da riqueza de espécies entre conjuntos de amostras (Colwell et al., 2004). Através da estabilização das curvas de acumulação de espécies, o esforço de coleta pode ser avaliado. Quando o esforço de coleta não foi suficiente para registrar a riqueza de espécies total para uma determinada área, foi utilizado o estimador de riqueza de espécies jackknife de primeira ordem. Este estimador reduz o viés da estimativa e é baseado no número de espécies

únicas na amostra, isto é, o número de espécies que ocorre em apenas uma amostra (Colwell & Coddington, 1994). O estimador foi gerado utilizando 1000 repetições e aleatorização sem reposição.

A formação de associações entre as larvas de peixes foi verificada através do método de ordenação por escalonamento multidimensional não-métrico (nMDS) sobreposto à análise de agrupamento utilizando o índice de similaridade de Bray-Curtis entre as amostras, considerando a densidade média dos táxons com frequência de ocorrência superior a 1%. As densidades dos táxons foram transformadas através da raiz quarta com o objetivo de reduzir o peso das espécies mais abundantes (Field et al., 1982). A matriz de similaridade foi agrupada através do método da ligação média. Em uma análise nMDS, o valor de *stress* expressa o quanto a ordenação bi-dimensional representa os dados. Quando o valor de *stress* varia entre 0,1 e 0,2, faz-se necessária a sobreposição entre a análise de agrupamento e o nMDS para que se verifique a mútua conformidade e consistência entre as duas representações (Clarke & Warwick, 2001).

Diferenças significativas entre os grupos formados na análise de agrupamento foram testadas através da análise de perfis de similaridade (SIMPROF) com 5% de significância. Para confirmar a validade destes grupos, foi utilizada a análise de similaridade unifatorial (ANOSIM). Na ANOSIM, os valores de R indicam grupos bem separados ($R > 0,75$), grupos claramente diferentes com alguma sobreposição ($R > 0,5$) ou grupos não distinguíveis ($R < 0,25$) (Clarke & Warwick, 2001). Estes testes foram realizados no programa Primer-6 (Clarke & Warwick, 2005). Grupos significativamente diferentes de acordo com o teste ANOSIM ($p < 0,05$), foram analisados em relação à ocorrência de espécies indicadoras (Dufrene & Legendre, 1997). O valor de indicação varia entre zero (sem indicação) a 100 (perfeita indicação) e é determinado com a combinação entre a abundância relativa e a frequência de ocorrência relativa. A significância estatística do valor de indicação é avaliada utilizando um procedimento de aleatorização de Monte Carlo (Dufrene & Legendre, 1997). O teste foi conduzido no programa PC-ORD versão 4.1. Finalmente, as espécies indicadoras para cada grupo formado na análise de agrupamento foram utilizadas para caracterizar as associações larvais. Apenas as larvas identificadas até o nível específico ou os táxons que representam uma única espécie foram consideradas nas análises de riqueza de espécies e de associações de larvas de peixes.

2.4.2 Análise de dados do Capítulo 2

Para verificar a hipótese de que existe um efeito ilha na região no entorno do ASPSP, foram comparadas as variâncias mensais da TSM e CSM entre uma área de 5x5 (25 km²) ao redor do ASPSP e ao redor da bóia 0N35W, região controle, sem ilha, localizada também no Atlântico Equatorial. A hipótese nula foi testada através da Análise de Variância (ANOVA) multifatorial, considerando os fatores: áreas (ASPSP e bóia 0N35W), meses e pixels da matriz 5x5 obtida ao redor de cada área. O fator pixel foi aninhado dentro do fator área uma vez que os valores nos pixels variam dentro de cada área respectiva. Da mesma forma a ANOVA bifatorial foi aplicada para testar a hipótese nula de que a densidade dos ovos e larvas de peixes não variou entre os meses de coleta e entre as distâncias (D1 e D3). Os dados de densidade foram transformados por log (x+1) para estabilizar as variâncias e ajustar os dados a uma distribuição normal. O teste de Tukey foi usado quando diferenças significativas foram detectadas pela ANOVA (Zar, 1996). As análises foram conduzidas no programa Statistica versão 7.0.

A correlação entre a distribuição do icteoplâncton e as variáveis ambientais foi avaliada através da análise de correspondência canônica (ACC) (Ter Braak, 1986). A planilha de dados biológicos incluiu a densidade média das quatro espécies mais abundantes e frequentes na comunidade larval (Macedo-Soares, obs. pess.). As demais espécies foram consideradas como “outras larvas”. A planilha das variáveis ambientais incluiu os valores médios de TSM e CSM obtidos das imagens diárias de satélite e extraídos para cada amostra, a distância da amostra em relação à ilha Belmonte, a profundidade obtida da carta náutica da DHN e a posição da amostra em relação ao ASPSP (1=Leste; 2=eixo central; 3=Oeste). Os dados biológicos foram transformados por raiz quarta (Field et al., 1982). A existência de colinearidade entre as variáveis ambientais foi verificada através do indicador de colinearidade entre variáveis (VIF). Neste teste, variáveis com VIF > 20 são colineares, significando redundância entre variáveis, e neste caso, a variável redundante é retirada da análise. Um teste de permutação de Monte Carlo foi utilizado para verificar a hipótese nula de que a ocorrência das espécies não está correlacionada com as variáveis ambientais. O teste foi realizado para o primeiro eixo canônico isolado e para todos os eixos canônicos simultaneamente (Lepš & Šmilauer, 2003). Os testes foram conduzidos no programa CANOCO versão 4.54.

3 CAPÍTULO 1 – Small-scale spatial and temporal variability of larval fish assemblages at an isolated oceanic island

Manuscrito formatado para submissão segundo as normas da revista Marine Ecology Progress Series.

Small-scale spatial and temporal variability of larval fish assemblages at an isolated oceanic island

Luis C. P. de Macedo-Soares^{1*}, Andrea S. Freire¹, José H. Muelbert²

¹ Laboratório de Crustáceos e Plâncton, Departamento de Ecologia e Zoologia, Universidade Federal de Santa Catarina, 88040-900, Campus Universitário, Florianópolis, SC, and ² Laboratório de Ecologia do Ictioplâncton, Instituto de Oceanografia, Universidade Federal do Rio Grande, 96201-900, Campus Carreiros, Rio Grande, RS, Brazil. * E-mail: luiscpms@yahoo.com.br

ABSTRACT

This study investigated the small-scale spatial distribution and temporal variability of larval fish assemblages at Saint Paul's Rocks. Data were collected during eight expeditions in 2003, 2004 and 2005, using surface horizontal plankton samples, at different distances around the archipelago (from 125 to 2973 m), and inside a cove located between the main islets. Identification resulted in 80 taxa distributed across 29 families, 72 of which were related to a single species. Myctophidae was the most diverse family, followed by Gonostomatidae. The fish larvae community was dominated by reef fish larvae such as the endemic *Stegastes sanctipauli* and *Entomacrodus vomerinus*. Larvae from pelagic fishes were very common in the samples, although at low densities. In the cove, reef fish larvae were also the most abundant and frequent, while at distances D1 (up to 500 m from the islets) and D2 (> 500 m) pelagic species such as *Ceratoscopelus warmingii*, *Lampadena luminosa* and *Oxyporhamphus micropterus* were more representative of the community structure. Non-metric multidimensional scaling superimposed on a cluster analysis indicated four significantly different groups (ANOSIM test, $R = 0.773$; $p = 0.001$) within the samples. Indicator species analysis revealed three fish larvae assemblages, in accordance with the pattern that has built up over previous studies: a reef assemblage, a neritic assemblage and an oceanic assemblage. Our findings illustrate the distribution of fish larvae that inhabit the surface waters around Saint Paul's Rocks and provide information about the temporal variability in larval density of some of the species targeted by fisheries and others that are important to the reef fish community.

Key-words: Saint Paul's Rocks, Equatorial Atlantic, ichthyoplankton

INTRODUCTION

Oceanic islands and seamounts play an important role in larval fish development, since they provide habitats in which the larvae of both pelagic fish and resident species can survive and grow (Koubbi et al. 1991, Dower & Perry 2001). Shallow areas above the summits of seamount can support rich communities of pelagic and demersal fishes (Dower & Mackas 1996). Oceanic islands, for example, are a source of eggs and larvae and that contributes to the formation of the larval fish assemblages in the surrounding open waters (Boehlert & Mundy 1993). Indeed, oceanic islands and seamounts may represent hotspots of biodiversity in the middle of the open ocean (Morato et al. 2010).

The formation, maintenance and disruption of larval fish assemblages are all influenced by oceanographic features such as interactions between local topography and circulation that affect larval retention, dispersal and recruitment (Boehlert & Mundy 1993, Genin 2004). Certain biological features, such as larval behaviour, are also important. For example, directional homing has been shown to be more effective in late larval stages that swim faster than average current speeds (Leis & Carson-Ewart 2002, Genin 2004).

Since Leis & Miller's (1976) work, a general pattern has emerged in the observations made of larval fish assemblages around islands (e.g. Leis 1982, Nonaka et al. 2000, Rodríguez et al. 2001). The spatial structure of fish larvae has been classified into four main assemblages: 1) unique to embayment areas, 2) extreme nearshore, 3) intermediate nearshore, and 4) offshore.

Spatial scale is an important parameter when analyzing the patterns of fish larvae distribution around islands (Boehlert & Mundy 1993). As such, studies using smaller spatial scales can demonstrate changes in the structure of larval fish assemblages in terms of distances from islands, providing a better understanding of the ways in which fish larvae are making use of the environments around these areas.

Although issues related to the taxonomy of fish larvae still hamper identification all the way to the species level, several studies have been conducted to investigate the formation of larval fish assemblages in major oceanic regions. Studies have been undertaken in the Pacific Ocean (Moser & Smith 1993, Franco-Gordo et al. 2002, Hernández-Miranda et al. 2003), the Indian Ocean (Gray & Miskiewicz 2000, Muhling & Beckley 2007, Muhling et al. 2008), the Indo-Pacific (Leis 1993), the Southern Ocean (Koubbi 1993), the Antarctic (Loeb et al. 1993) and the Atlantic Ocean (Olivar & Shelton 1993, Richards et al.

1993, Sanvicente-Añorve et al. 1998, Nonaka et al. 2000, Mafalda Jr. et al. 2006, Moyano & Hernández-León 2011). The size of the islands involved meant that several of the studies that investigated ichthyoplankton communities around oceanic islands (e.g. Leis & Miller 1976, Leis 1982, Boehlert et al. 1992, Rodríguez et al. 2001, Moyano & Hernández-León 2011) were unable to sample all around the entire island being studied (e.g. Leis 1982). As a result, a very small number of studies (e.g. Boehlert et al. 1992, Castro & Landaeta 2002) have described how fish larvae communities are spatially structured around oceanic islands.

Saint Paul's Rocks is a unique geophysical scenario, with a complex hydrodynamic system, and constitutes a hotspot of biodiversity along the Mid-Atlantic ridge. It is an important area due to the concentration of pelagic fishes (Vaske Jr. et al. 2005), the diversity of reef fishes (Feitoza et al. 2003) and the high density of zooplankton (Macedo-Soares et al. 2009). Recent studies in the area have focussed on the ecology and biology of decapod larvae and adults (Koettker et al. 2010, Freire et al. 2010), adult fishes (e.g. Feitoza et al. 2003, Vaske Jr. et al. 2003, Ferreira et al. 2009), and the distribution and abundance of ichthyoneuston (Lessa et al. 1999). However, no studies have been published to date about fish larvae community structure or larval fish assemblages around Saint Paul's Rocks.

Formation, maintenance and disruption of the assemblages at Saint Paul's Rocks may be related to the system of currents, which promotes vertical mixing between water masses (Travassos et al. 1999). The decapod larvae community, for example, exhibited two assemblages inhabiting the waters around Saint Paul's Rocks, one concentrated in the cove and the other inhabiting the surrounding waters (Koettker et al. 2010).

Therefore, the objective of this study was to describe for the first time the small-scale spatial distribution of larval fish assemblages around Saint Paul's Rocks. The results also provide information about temporal variability of larval fish assemblages with relation to oceanographic features. Additionally, we tested the hypothesis that the composition, density and diversity of fish larvae vary depending on the distance from the archipelago at which they were collected.

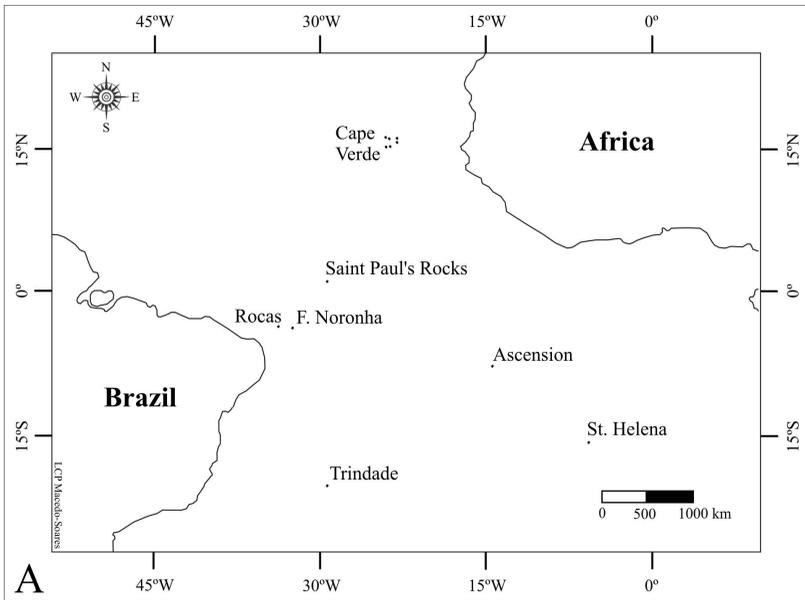
MATERIALS AND METHODS

Study area

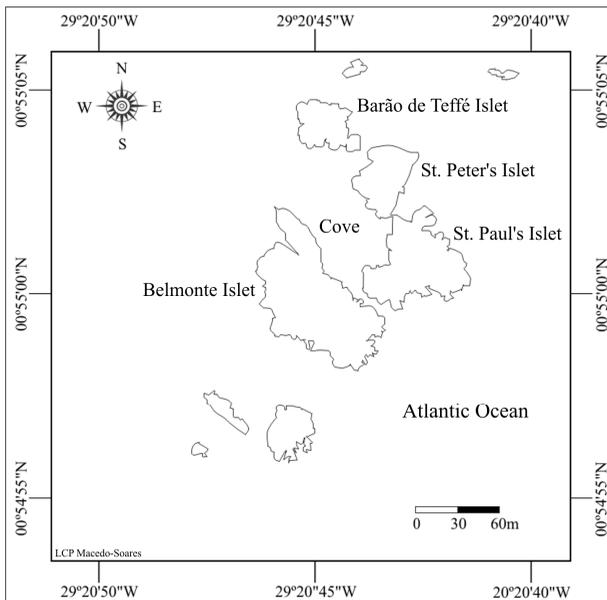
Saint Paul's Rocks is the smallest and the most isolated archipelago in the Brazilian Exclusive Economic Zone. It is made up of a small group of ten islets and rocky points that rise up from the deep ocean. It is the highest and steepest point on the Saint Peter Saint Paul Massif, linked to the Mid-Atlantic ridge. This massif, also known as Saint Peter Saint Paul Megamullion, is about 90 km long, 21 km wide and over 4000 m in height (Smith et al. 1974, Feitoza et al. 2003, Sichel et al. 2008). Saint Paul's Rocks is located in the equatorial Atlantic Ocean (00°55'01"N and 029°20'44"W) around 1000 km from the northeast coast of Brazil and 1800 km from the African coast (Fig. 3.1a). The nearest oceanic islands are the Fernando de Noronha Archipelago, 650 km to the south-west (Edwards & Lubbock 1983a). In the south-east direction, Ascension Island and St Helena are both a long way from Saint Paul's Rocks, 1940 km and 3220 km respectively (Edwards & Lubbock 1983b).

The four main islets, Barão de Teffé, Saint Peter, Saint Paul and Belmonte, form a horseshoe-shaped cove with depths of between 4 and 25 m (Figure 3.1b). In the sublittoral zone, structural complexity down to depths of 45 m is provide by zoanths, sponges, bryozoans, tunicates, polychaetes and the algae *Caulerpa racemosa* (Forsskål) J. Agardh. Corals are only conspicuous in rocky walls and the external areas of the cove (Amaral et al. 2009).

The main surface current in the area, the South Equatorial Current (SEC), flows westward and its northern branch (SECn) reaches the archipelago with a maximum speed of 1.5 m·s⁻¹. In the opposite direction, the Equatorial Undercurrent (EUC) flows at depths of between 40 and 150 m and at speeds up to 0.7 m·s⁻¹ (Bowen 1966, Stramma & England 1999, Araujo & Cintra 2009). The area is under the influence of the Intertropical Convergence Zone (ITCZ) between January and May, which increases precipitation during the period (the rainy season). From June, the ITCZ moves northward and rainfall in the area reduces (the dry season). The velocity of the southeast trade winds in Saint Paul's Rocks is fairly constant at around 7 m·s⁻¹ (Soares et al. 2009).



A



B

Fig. 3.1. The location of Saint Paul's Rocks (A), its main islets and the cove (B).

Satellite data acquisition

Sea surface temperature and chlorophyll data were used to characterize the oceanographic conditions during the study period. Data were obtained from level 2 satellite images from MODIS/Aqua sensor, with 1 km spatial resolution. Daily images were acquired from the Ocean Color web site (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov>) for January 1st 2003 to December 31st 2005. Images were initially processed in SeaDAS 6.1 and 5x5 matrices (25 km²) around Saint Paul's Rocks were obtained daily using MATLAB R2009a.

Plankton sampling and processing

Plankton samples were collected during eight expeditions to Saint Paul's Rocks in April, August and November 2003, March and December 2004, January, May and July 2005. Sampling was conducted at randomly selected sites, during the dusk/night (between 6:00 pm and 10:14 pm) and during the dawn/morning (between 6:30 am and 12:00 pm), and at different distances around the archipelago (from 125 to 2973 m). Samples were also taken inside the cove, except for April 2003. All samples were collected in triplicate. A total of 186 samples were collected, 42 inside the cove and 144 in the waters around the archipelago. Surface horizontal hauls lasting 10 minutes were performed using a conical-cylindrical plankton net with 200 μm mesh size, 0.5 m mouth diameter and 2 m length and equipped with a General Oceanics flowmeter. The mean volume of water filtered was $54.08 \pm 21.80 \text{ m}^3$ ($\pm\text{SD}$). Surface water temperature (thermometer), surface salinity (refractometer) and GPS position of each sample station were recorded at the same time as the plankton was sampled. Local depth at sampling stations ranged from 25 to 1000 m.

All samples were preserved in 4% buffered seawater-formaldehyde solution. For samples collected in the waters around the archipelago, ichthyoplankton were sorted and each sample counted in its entirety under a stereomicroscope. In contrast, some samples from the cove with large quantities of larvae were sub-sampled using a ladle-shaped recipient with a known volume (10 mL) (Boltovskoy 1981). Larvae were identified to the lowest possible taxonomic level according to morphometric and meristic characteristics, using the larval development stages described by Fahay (1983), Moser (1996), Olivar et al. (1999), Richards (2005), Bonecker & Castro (2006), Evseenko (2008) and Victor (2010). Additional literature was also used; for

example, Moser et al. (1984), Leis & Trnski (1989), Olivar & Fortuño (1991), Olivar & Beckley (1997) and Neira et al. (1998). Taxonomic classification was according to Nelson (2006).

Data analysis

Larvae densities were standardized to ind. · 100 m⁻³ of filtered water. For all analyses, samples were classified as from one of three areas: inside the cove (42 samples); up to 500 m from Belmonte islet (D1) (50 samples); and at distances beyond 500 m (D2) (94 samples). Frequency of occurrence was calculated as the number of samples in which each taxon was caught, as a proportion of the total number of samples.

Diversity in each area and throughout the study period were evaluated using species richness (Pianka 1966, Magurran 2004), which has been used in several earlier studies (e.g. Briggs 1994, May 1994, Floeter et al. 2008). Species accumulation curves were constructed for each area and for each month in each area (Colwell 2005) using the expected richness function (Mao Tau), by randomizing the order of sequential accumulation. The method provides 95% confidence intervals and allows for direct statistical comparison of richness between sample sets (Colwell et al. 2004). Furthermore, sample effort can be evaluated from the point at which species accumulation curves stabilize. When sampling effort was not sufficient to determine the total species richness of an area, the first-order jackknife estimator of species richness was used, in order to reduce the bias of estimation. This method is based on the number of unique species in the sample, i.e. the number of species that occur in only one sample (Colwell & Coddington 1994), and was computed using 1000 runs and randomization without replacement.

The formation of larval fish assemblages was identified using non-metric multidimensional scaling (nMDS) superimposed on cluster analysis using the Bray-Curtis index for similarity between samples, considering the mean density of those taxa whose frequency of occurrence was above 1%. Taxa densities were fourth-root transformed in order to reduce the weighting of abundant species (Field et al. 1982). The similarity matrix was clustered using the group average method. In nMDS analysis, the stress value expresses the extent to which the two-dimensional ordination represents the data. When the stress value was in the range of 0.1 to 0.2, a combination of cluster and nMDS analysis was needed in order to verify the adequacy and mutual consistency of both representations (Clarke & Warwick 2001).

Significant differences between the groups formed by cluster analysis were tested using similarity profile analysis (SIMPROF) to a 5% significance level and one-way analysis of similarity (ANOSIM) was used to confirm the validity of these groups. ANOSIM R-values can indicate well-separated groups ($R > 0.75$), groups that are clearly different, but with some overlapping ($R > 0.5$), or groups that are indistinguishable ($R < 0.25$) (Clarke & Warwick 2001). All these tests were performed using the Primer-6 software package (Clarke & Warwick 2005). Groups that were significantly different according to the ANOSIM test ($p < 0.05$), were analyzed for the occurrence of indicator species (Dufrene & Legendre 1997). The indicator value ranges from zero (no indication) to 100 (perfect indication) and was determined from a combination of the species' relative abundance and its relative frequency of occurrence. The statistical significance of the indicator value was evaluated using a Monte Carlo randomization procedure (Dufrene & Legendre 1997). This test was conducted using PC-ORD 4.1 software. Finally, indicator species were used to characterize the larval assemblages for each clustered group. For species richness and larval fish assemblage analysis, only larvae identified at a specific level and taxa that represented a single species were considered.

RESULTS

Oceanography conditions

Satellite images from Saint Paul's Rocks revealed a period between March and May with a high mean (\pm SE) sea surface temperature (above 28°C), and low temperatures between June and August (below 27°C in both 2004 and 2005) (Fig. 3.2a). The period with lower temperatures is concurrent with a period of higher mean chlorophyll a, peaking in July in all three years analyzed (Fig. 3.2b). February was anomalous in 2003, in comparison with the other two years, having lower temperature (27.02°C) and higher chlorophyll a (0.188 mg·m⁻³). Two periods can be described on the basis of the satellite data: a warm period with low primary production and a colder period with higher average production.

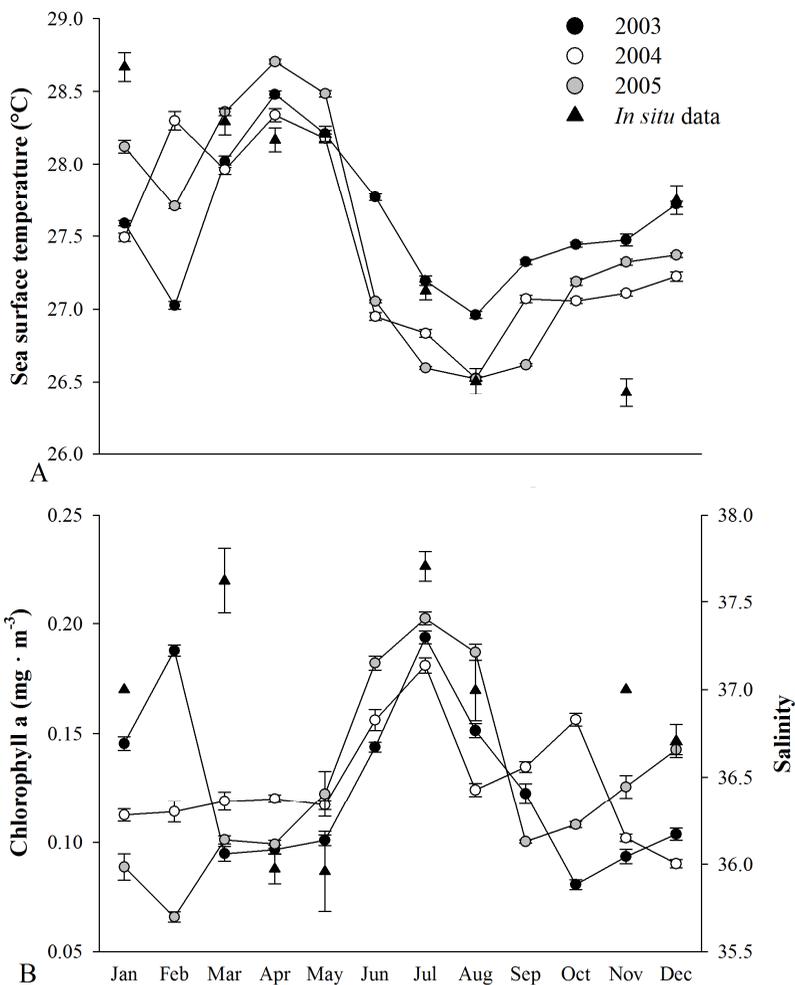


Fig. 3.2. Sea surface temperature (A) and surface chlorophyll a (B) (mean \pm SE) from MODIS/Aqua satellite images, for a 25 km² area around Saint Paul's Rocks. *In situ* (\blacktriangle) mean (\pm SE) sea surface temperature (A) and salinity (B) are shown for comparison.

Surface temperatures measured *in situ* during the eight expeditions ranged from 28.7 \pm 0.1°C in January 2005 to 26.4 \pm 0.1°C in November 2003. With the exception of January 2005 and November 2003, *in situ* data varied in accordance with the three years of data obtained from satellite images (Fig. 3.2a). Salinity levels, measured

every time plankton samples were collected, ranged from 37.7 ± 0.1 in July 2005 to 35.9 ± 0.2 in May 2005 (mean \pm SE) (Fig. 3.2b).

Composition and diversity of larval fish assemblages

A total of 4335 fish larvae were caught and identified in 80 taxa, belonging to 29 families (Table 3.1). Seventy-two taxa were related in some way to a single unique species. However, identification was possible to the species level for 49 of these 72 taxa, while 23 of them could only be identified to the family or genus level (e.g. Trachipteridae sp. and *Coryphaena* sp.). The eight remaining taxa could be members of two or more species (e.g. *Cyclothone* spp.). Myctophidae had the highest species richness (29), followed by Gonostomatidae (5), Exocoetidae (4), Labridae, Pomacentridae and Scombridae, each with three species (Table 3.1).

Twenty-nine species were captured in the cove, eight of which were exclusive to the cove. Species richness was higher in the zone within 500 m of the island (D1), with 38 species (11 of them exclusive). Beyond 500 m (D2), 52 species were identified and 18 were exclusive to that area. Thirteen species were common to all areas, *Cyclothone acclinidens*, *C. alba*, *C. pseudopallida*, *Ceratoscopelus warmingii*, *Diaphus metopoclampus*, *Lampadena luminosa*, *L. urophaos*, *Lampanyctus nobilis*, *Lepidophanes guentheri*, *Stegastes sanctipauli*, *Entomacrodus vomerinus*, *Gempylus serpens* and *Thunnus obesus* (Table 3.1). Species richness was observed to increase as sampling distance from the archipelago increased, concurrently with sampling effort (Cove=42, D1=50, D2=94). However, the overlap between the confidence intervals for species accumulation curves for all areas indicates that this difference is not significant (Fig. 3.3a).

These species accumulation curves demonstrate that sampling effort was not sufficient to record total species richness for any of the areas. The first-order jackknife estimator of species richness (\pm SD) returns 48 ± 6 species for the cove, 55 ± 5 species for D1, and 77 ± 8 for D2. When species richness was analyzed over time for each area (Fig. 3.3b), it was found that May and July of 2005 were the months with the highest diversity in the cove and that the greatest richness at D1 was in May of 2005. The highest diversity in D2 was registered in July of 2005. When the species richness results for each month were broken down by sampling site, D2 had greater diversity than D1 in April and November of 2003, whereas D2 was more diverse than the cove in July 2005.

Table 3.1. Fish larvae density (mean \pm SE) and frequency of occurrence (F%) around Saint Paul's Rocks, from 2003 to 2005, collected in the cove (CO), up to 500 m away from Belmonte islet (D1) and at distances more than 500 m away (D2). Adult habitat: R= reef; D= demersal; BD= bathydemersal; EP= epipelagic; MP= mesopelagic; BP= bathypelagic. Mode of spawning: P= pelagic eggs; P¹= assumed to be pelagic eggs; NP= non-pelagic eggs.

Species	Adult habitat	Mode of spawning	Density (larvae · 100 m ⁻³)			F%		
			CO	D1	D2	CO	D1	D2
Congridae								
<i>Gnathophis</i> sp.	D/BD	P	-	0.10 \pm 0.08	-	-	4.00	-
Gonostomatidae								
<i>Cyclothone acclinidens</i> Garman, 1899	EP/MP	P	0.03 \pm 0.03	0.06 \pm 0.06	0.02 \pm 0.02	2.38	2.00	1.06
<i>Cyclothone alba</i> Brauer, 1906	MP	P	0.05 \pm 0.04	0.09 \pm 0.05	0.05 \pm 0.05	4.76	6.00	1.06
<i>Cyclothone braueri</i> Jespersen & Tåning, 1926	MP	P	0.03 \pm 0.03	-	0.03 \pm 0.03	2.38	-	1.06
<i>Cyclothone pallida</i> Brauer, 1902	MP	P	-	0.16 \pm 0.16	0.02 \pm 0.02	-	2.00	1.06
<i>Cyclothone pseudopallida</i> Mukhacheva, 1964	MP/BP	P	0.04 \pm 0.04	0.02 \pm 0.02	0.07 \pm 0.04	2.38	2.00	3.19
<i>Cyclothone</i> spp.	MP/BP	P	-	0.17 \pm 0.07	0.18 \pm 0.07	-	10.00	8.51
Phosichthyidae								
<i>Vinciguerria nimbaria</i> (Jordan & Williams, 1895)	MP/BP	P	-	0.12 \pm 0.08	0.03 \pm 0.03	-	4.00	1.06
Stomiidae								
<i>Astronesthes</i> sp.	MP/BP	P ¹	-	-	0.03 \pm 0.03	-	-	1.06
Alepisauridae								
<i>Alepisaurus ferox</i> Lowe, 1833	MP	P ¹	-	-	0.02 \pm 0.02	-	-	1.06
Paralepididae								
<i>Lestidium</i> sp.	MP	P ¹	-	0.06 \pm 0.05	0.05 \pm 0.03	-	4.00	2.13
<i>Sudis atrox</i> Rofen, 1963	MP/BP	P ¹	0.03 \pm 0.03	-	-	2.38	-	-
Myctophidae								
<i>Diogenichthys atlanticus</i> (Tåning, 1918)	MP	P	-	-	0.03 \pm 0.03	-	-	1.06
<i>Electrona risso</i> (Cocco, 1829)	MP	P	-	0.04 \pm 0.04	-	-	2.00	-
<i>Hygophum taaningi</i> Becker, 1965	MP	P	-	0.03 \pm 0.03	-	-	2.00	-
<i>Hygophum</i> sp. 1	MP	P	-	-	0.06 \pm 0.04	-	-	2.13
<i>Hygophum</i> sp. 2	MP	P	-	-	0.03 \pm 0.03	-	-	1.06
<i>Hygophum</i> sp. 3	MP	P	-	-	0.02 \pm 0.02	-	-	1.06
<i>Hygophum</i> sp. 4	MP	P	0.03 \pm 0.03	-	-	2.38	-	-

Species	Adult habitat	Mode of spawning	Density (larvae · 100 m ⁻³)			F%		
			CO	D1	D2	CO	D1	D2
<i>Hygophum</i> sp. 5	MP	P	-	0.05±0.05	-	-	2.00	-
<i>Hygophum</i> sp. 6	MP	P	-	0.03±0.03	-	-	2.00	-
<i>Hygophum</i> spp.	MP	P	-	0.04±0.04	-	-	2.00	-
<i>Myctophum asperum</i> Richardson, 1845	MP	P	-	-	0.03±0.03	-	-	1.06
<i>Myctophum nitidulum</i> Garman, 1899	MP	P	-	0.05±0.05	-	-	2.00	-
<i>Myctophum</i> sp.	MP	P	0.03±0.03	-	-	2.38	-	-
<i>Ceratoscopelus maderensis</i> (Lowe, 1839)	MP	P	-	0.43±0.28	0.39±0.20	-	6.00	5.32
<i>Ceratoscopelus warmingii</i> (Lütken, 1892)	MP	P	0.41±0.22	1.01±0.27	0.61±0.19	11.90	28.00	17.02
<i>Ceratoscopelus</i> spp.	MP	P	-	0.20±0.12	0.04±0.04	-	6.00	1.06
<i>Diaphus metopoelampus</i> (Cocco, 1829)	MP	P	0.06±0.06	0.11±0.07	0.07±0.04	2.38	6.00	3.19
<i>Diaphus rafinesquii</i> (Chevrolat, 1863)	MP	P	0.02±0.02	-	0.05±0.04	2.38	-	2.13
<i>Diaphus</i> sp. 1	MP	P	-	0.05±0.05	0.03±0.03	-	2.00	1.06
<i>Diaphus</i> sp. 2	MP	P	-	-	0.02±0.02	-	-	1.06
<i>Diaphus</i> sp. 3	MP	P	0.02±0.02	-	-	2.38	-	-
<i>Diaphus</i> sp. 4	MP	P	-	0.03±0.03	0.07±0.04	-	2.00	3.19
<i>Lampadena luminosa</i> (Garman, 1899)	MP	P	0.24±0.13	0.88±0.31	0.36±0.11	9.52	20.00	12.77
<i>Lampadena urophaos</i> Paxton, 1963	MP	P ¹	0.23±0.23	0.20±0.12	0.16±0.06	2.38	8.00	7.45
<i>Lampanyctus alatus</i> Goode & Bean, 1896	MP	P	-	-	0.02±0.02	-	-	1.06
<i>Lampanyctus nobilis</i> Täning, 1928	MP	P	0.08±0.07	0.03±0.03	0.09±0.07	4.76	2.00	2.13
<i>Lampanyctus</i> sp.	MP	P	0.03±0.03	-	0.03±0.03	2.38	-	1.06
<i>Lampanyctus</i> spp.	MP	P	0.03±0.03	0.11±0.11	0.03±0.03	2.38	2.00	1.06
<i>Lepidophanes gaussi</i> (Brauer, 1906)	MP	P	0.04±0.04	-	0.02±0.02	2.38	-	1.06
<i>Lepidophanes guentheri</i> (Goode & Bean, 1896)	MP	P	0.06±0.04	0.88±0.27	0.12±0.06	4.76	22.00	5.32
<i>Nannobranchium cuprarium</i> (Täning, 1928)	MP	P	0.03±0.03	-	-	2.38	-	-
<i>Notoscopelus resplendens</i> (Richardson, 1845)	MP	P	0.18±0.18	-	0.04±0.03	2.38	-	2.13
<i>Myctophidae</i> spp.	MP	P	-	0.21±0.14	0.07±0.04	-	6.00	3.19
Ophidiidae								
<i>Brotulotaenia</i> sp.	MP/BP	P ¹	-	-	0.05±0.05	-	-	1.06
Bregmacerotidae								
<i>Bregmaceros</i> sp.	EP/MP	P ¹	-	-	0.03±0.03	-	-	1.06

Species	Adult habitat	Mode of spawning	Density (larvae · 100 m ⁻³)				F%	
			CO	D1	D2	CO	D1	D2
Gigantactinidae								
Gigantactinidae spp.	MP/BP	P ¹	-	0.07±0.07	0.06±0.04	-	2.00	3.19
Exocoetidae								
<i>Oxyporhamphus micropterus</i> (Cuvier & Valenciennes, 1847)	EP	NP	-	0.27±0.11	0.96±0.19	-	12.00	27.66
<i>Exocoetus volitans</i> Linnaeus, 1758	EP	NP	-	-	0.02±0.02	-	-	1.06
<i>Cypselurus cyanopterus</i> (Cuvier & Valenciennes, 1847)	EP	NP	-	-	0.11±0.05	-	-	4.26
<i>Hirundichthys</i> sp.	EP	NP	-	0.06±0.04	-	-	4.00	-
Exocoetidae spp.	EP	NP	40.35±35.27	0.48±0.35	0.40±0.19	9.52	8.00	6.38
Trachipteridae								
Trachipteridae sp.	EP/MP	P	-	-	0.02±0.02	-	-	1.06
Dactylopteridae								
<i>Dactylopterus volitans</i> (Linnaeus, 1758)	D	P ¹	-	-	0.02±0.02	-	-	1.0
Echeneidae								
<i>Remora</i> sp.	EP	P ¹	-	-	0.03±0.03	-	-	1.06
Coryphaenidae								
<i>Coryphaena</i> sp.	EP	P	0.03±0.03	-	0.07±0.04	2.38	-	3.19
Bramidae								
<i>Brama brama</i> (Bonnaterre, 1788)	EP/MP	P	-	-	0.06±0.05	-	-	2.13
Lutjanidae								
<i>Lutjanus jocu</i> (Bloch & Schneider, 1801)	R	P	-	0.03±0.03	-	-	2.00	-
Labridae								
<i>Halichoeres radiatus</i> (Linnaeus, 1758)	R	P	-	1.16±1.12	-	-	4.00	-
<i>Bodianus insularis</i> Gomon & Lubbock, 1980	R	P	3.10±2.99	-	-	4.76	-	-
<i>Thalassoma noronhanum</i> (Boulenger, 1890)	R	P	0.03±0.03	-	-	2.38	-	-
Scaridae								
<i>Sparisoma</i> sp.	R	P	3.16±3.16	-	-	2.38	-	-
Pomacentridae								
<i>Chromis multilineata</i> (Guichenot, 1853)	R	NP	-	0.06±0.06	-	-	2.00	-
<i>Abudefduf saxatilis</i> (Linnaeus, 1758)	R	NP	-	0.02±0.02	-	-	2.00	-
<i>Stegastes sanctipauli</i> Lubbock & Edwards, 1981	R	NP	995.41±614.71	9.88±4.86	1.81±0.62	40.48	26.00	12.77

Species	Adult habitat	Mode of spawning	Density (larvae · 100 m ⁻³)				F%	
			CO	D1	D2	CO	D1	D2
Labrisomidae								
<i>Malacoctenus triangulatus</i> Springer, 1959	R	NP	10.03±6.74	3.12±2.38	-	26.19	8.00	-
Labrisomidae spp.	R	NP	19.73±7.31	0.04±0.04	-	40.48	2.00	-
Blenniidae								
<i>Entomacrodus vomerinus</i> (Cuvier & Valenciennes, 1836)	R	NP	207.50±70.48	3.03±1.33	0.37±0.20	45.24	16.00	6.38
<i>Ophioblennius trinitatis</i> Miranda Ribeiro, 1919	R	NP	-	0.61±0.44	0.36±0.28	-	8.00	4.26
Gobiidae								
<i>Bathygobius soporator</i> (Cuvier & Valenciennes, 1837)	R	NP	0.10±0.10	-	0.01±0.01	2.38	-	1.06
Gempylidae								
<i>Gempylus serpens</i> Cuvier, 1829	EP/MP	P	0.04±0.04	0.45±0.19	0.07±0.04	2.38	18.00	3.19
Scombridae								
<i>Katsuwonus pelamis</i> (Linnaeus, 1758)	EP	P	-	0.07±0.04	0.08±0.04	-	6.00	4.26
<i>Thunnus albacares</i> (Bonnaterre, 1788)	EP	P	-	0.05±0.03	0.08±0.05	-	4.00	3.19
<i>Thunnus obesus</i> (Lowe, 1839)	EP/MP	P	0.03±0.03	0.08±0.06	0.04±0.03	2.38	4.00	2.13
Xiphiidae								
<i>Xiphias gladius</i> Linnaeus, 1758	EP/MP	P	-	-	0.03±0.03	-	-	1.06
Nomeidae								
<i>Cubiceps pauciradiatus</i> Günther, 1872	EP/MP	P	-	0.03±0.03	0.07±0.05	-	2.00	3.19
Bothidae								
<i>Bothus ocellatus</i> (Spix & Agassiz, 1831)	D	P	-	0.05±0.05	0.13±0.08	-	2.00	3.19
<i>Bothus lunatus</i> (Linnaeus, 1758)	D	P	-	0.02±0.02	0.07±0.04	-	2.00	4.26
Ostraciidae								
Ostraciidae sp.	R	P	-	-	0.02±0.02	-	-	1.06
Yolk sac larvae			41.25±27.09	0.23±0.13	0.81±0.30	45.24	8.00	14.89
Unidentified leptocephalus			-	0.02±0.02	-	-	2.00	-
Unidentified larvae			50.33±28.21	1.43±0.41	1.69±0.35			

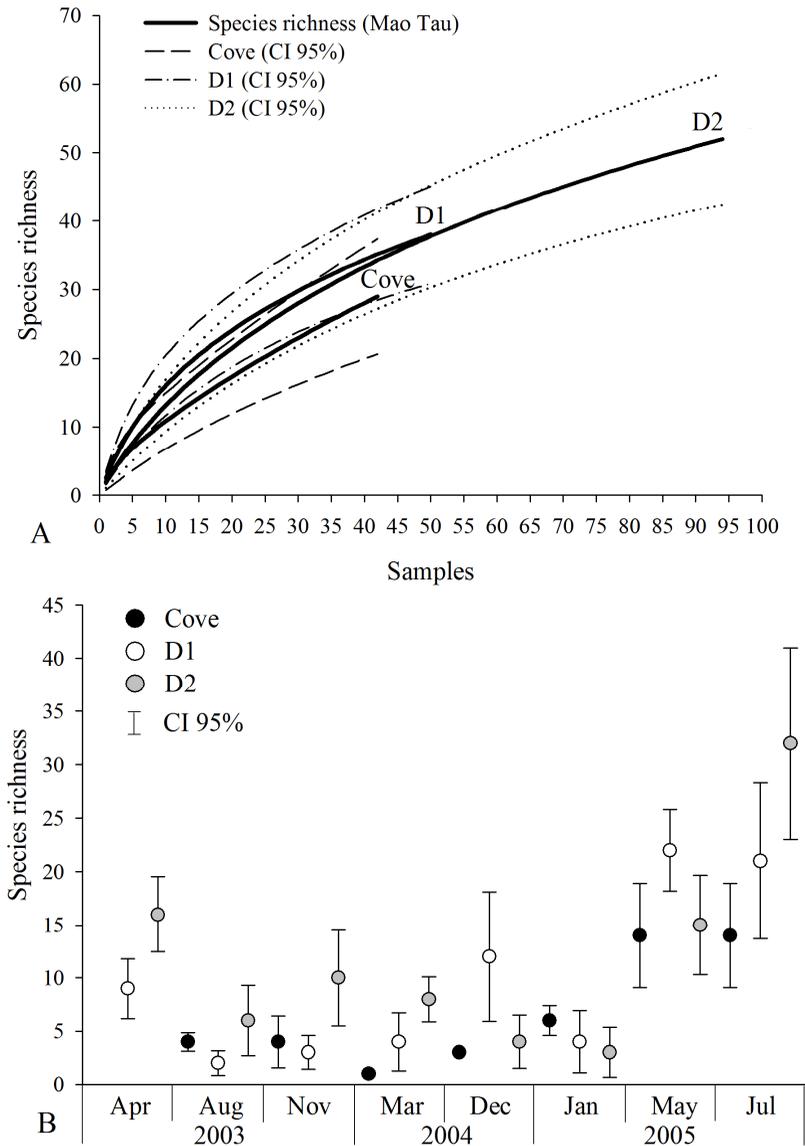


Fig. 3.3. Species richness accumulation curves (A) and species richness over the sampled months (B), in the cove, at D1 (≤ 500 m) and at D2 (> 500 m). CI95%: 95% confidence interval.

Structure of larval fish assemblages

The ichthyoplankton community was dominated by reef fish larvae that made up the five most abundant species and accounted for 87% of the total catch. The high dominance of reef fish larvae in the community was the result of the endemic damselfish *Stegastes sanctipauli* which had high density (70.8%) and occurred in 22.6% of all samples. In second rank was the blenny *Entomacrodus vomerinus*, accounting for 14.8% of total density and with a 17.7% frequency of occurrence. Pelagic fish larvae, such as *Ceratoscopelus warmingii* and *Oxyporhamphus micropterus* had low densities, but high rates of occurrence in the samples (18.8% and 17.2% respectively).

In the cove, the principal species by both density (72.5%) and occurrence (40.5%) was *S. sanctipauli*, followed by *E. vomerinus* and *Malacoctenus triangulatus*. These three species alternated their dominance of the community in the cove over the months sampled. *Stegastes sanctipauli* was dominant at night in December 2004 and both at night and during the day in January 2005. *Entomacrodus vomerinus* dominated samples at night in August 2003 and May and July of 2005 and in the day during May of 2005; and, finally, *M. triangulatus* dominated the community at night in November 2003, and during the day in August and November of 2003 (Fig. 3.4a). Other species were important in this community, with high densities in different months, such as *Bodianus insularis* at night in August 2003, and the pelagic larvae *C. warmingii* and *Lampadena luminosa* in January 2005 during the day (Fig. 3.4a).

In common with the cove community, *S. sanctipauli* was also the most abundant species at D1 (37.4%), mainly in night samples, in April and November of 2003 and January, May and April of 2005 (Fig. 3.4b). Pelagic species became more important to the community structure during the daytime, in particular *C. warmingii* in April and November 2003, and July 2005; *Lepidophanes guentheri* in August 2003, May and July 2005; and *Gempylus serpens* in March 2004 and January 2005 (Fig. 3.4b). Furthermore, *M. triangulatus*, which shared dominance of the cove community, was also found in D1 samples. In D2, *C. warmingii* and *L. luminosa* contributed to the composition of the nighttime community in several months, despite their low abundance (Fig. 3.4c). Moreover, *S. sanctipauli* remained the most abundant species in April and November 2003 and May and July of 2005. Pelagic species dominate the daytime samples, with *O. micropterus* and *Lampadena urophaos* alternating in dominance throughout the study period.

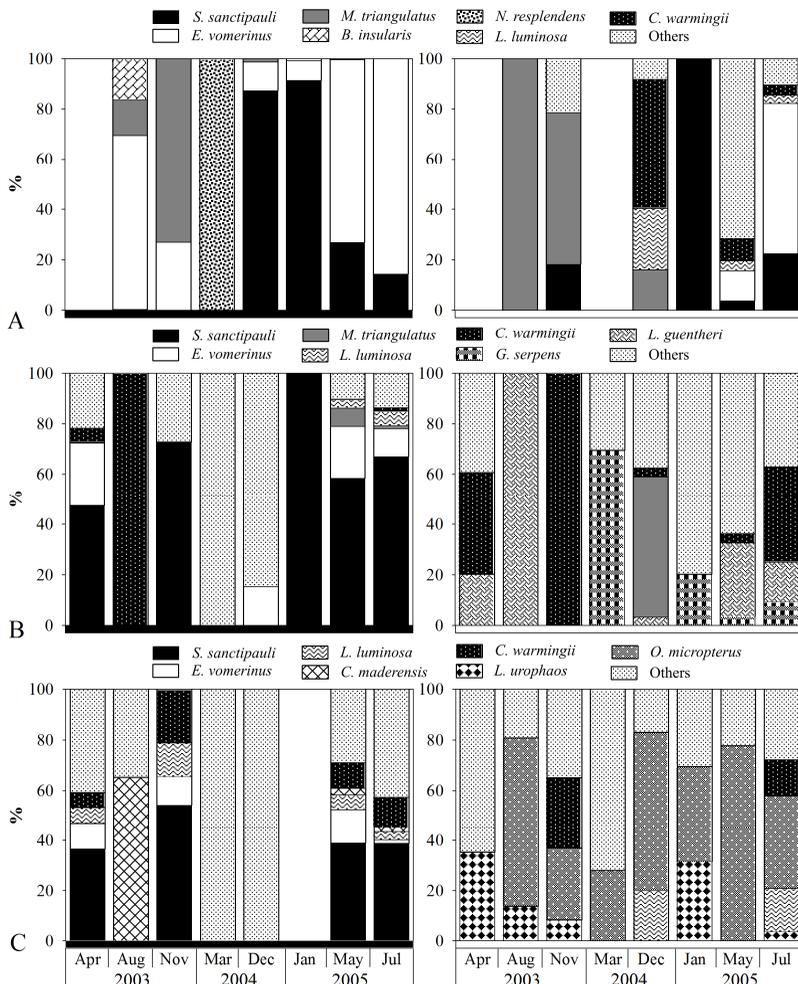


Fig. 3.4. Monthly variation of the composition of fish larvae assemblages in the cove (A), at D1 (B) and at D2 (C), in April, August and November of 2003, March and December of 2004 and January, May and July of 2005. Black horizontal bars at x-axis: night samples; White horizontal bars at x-axis: day samples.

Mean densities of *S. sanctipauli* decreased from the cove to D2 (Fig. 3.5). Temporally, *S. sanctipauli* larvae occurred during almost every period studied, with the highest densities occurring in December 2004 and January 2005 at the cove (Fig. 3.5a), and in May and July of

2005 at both D1 and D2 (Fig. 3.5b and 3.5c). For *E. vomerinus*, high densities were recorded in December 2004 and in all months sampled in 2005 at the cove, and in May and July 2005 at D1. Furthermore, *M. triangulatus* larvae only peaked in December 2004. Pelagic species occurred throughout the period analyzed, mainly at D1 and beyond D1 (at D2). At the cove they were only recorded during the last four months sampled (Fig. 3.5a). Mean densities were similar across the three sites, contrary to what was observed for reef species. However, the highest densities were recorded at the cove in May 2005 for *L. urophaos*, at D1 in July 2005 for *C. warmingii*, *L. luminosa* and beyond D1, also in July 2005, for *O. micropterus* (Fig. 3.5). Despite greater density in the cove, *L. urophaos* occurred more frequently in samples collected beyond 500 m than elsewhere. In this same region, *O. micropterus* was not captured in April 2003 (Fig. 3.5c). For scombrids, larval occurrence was only recorded in March 2004 and May 2005 and was predominantly in D1 and D2.

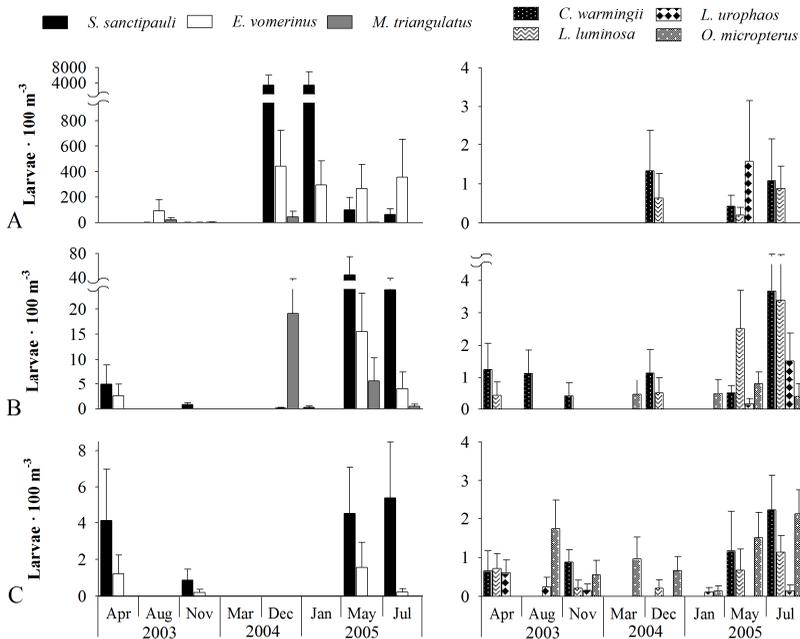


Fig. 3.5. Mean (and standard error) densities of the main species of reef and pelagic fish larvae in the cove (A), D1 (B) and D2 (C), in April, August and November 2003, March and December 2004 and January, May and July 2005.

The nMDS analysis superimposed on the cluster analysis results grouped samples into four groups with 16% of similarity (Fig. 3.6). The four groups were statistically different according to the SIMPROF test. Group A was only made up of D2 daytime samples, while group B was similar, containing mainly D2 daytime samples plus a small number of D1 day samples. In group C most of the samples grouped together were collected in D1, during both the day and the night, and at D2 at night. Furthermore, group D mainly contains samples from the cove. One-way analysis of similarity (ANOSIM) confirmed the differences between the four groups (global $R = 0.773$; $p = 0.001$).

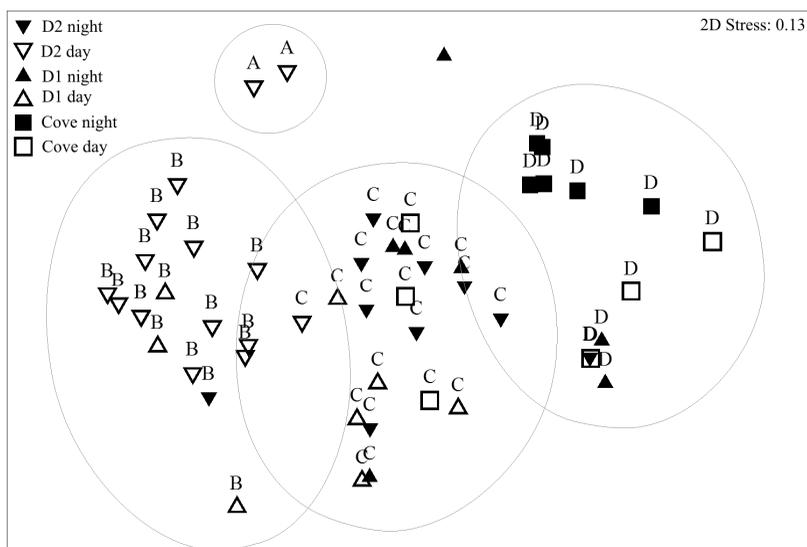


Fig. 3.6. Non-metric multidimensional scaling (nMDS) representation of fish larvae assemblages from Saint Paul's Rocks, superimposed on the groups from the cluster analysis at similarity levels of 16%. The nMDS analysis is based on group-average linking of Bray–Curtis similarity calculated from fourth root-transformed density data for 41 species.

The ANOSIM test between each group compared in pairs, showed that group A is clearly separated from the other groups (Table 3.2), resulting in high values for the R statistic (over 0.75). Similarly, a clear separation can be observed between groups B and D ($R = 0.881$). However, ANOSIM demonstrated overlap between groups B and C, and between groups C and D (Fig. 3.6), although they remained statistically different (Table 3.2).

Table 3.2. Significant results at <5%* and at <1%** from the one-way analysis of similarity (ANOSIM) based on the groups (A, B, C and D) from clustered samples in Saint Paul's Rocks, collected from 2003 to 2005.

Groups	R statistic	Significance level (%)
A - B	0.800	0.6**
A - C	0.938	0.4**
A - D	0.851	1.1*
B - C	0.759	0.1**
B - D	0.881	0.1**
C - D	0.650	0.1**

According to indicator species analysis (ISA), the pelagic species *Cyclothone pallida* and *Lampadena urophaos* were indicative of group A. Similarly, the pelagic *Oxyporhamphus micropterus*, was the indicator species for group B (Table 3.3). These results indicate formation of an oceanic assemblage, represented by groups A and B. In group C, *Ceratoscopelus warmingii* and *Lampadena luminosa* were the indicator species, forming a neritic assemblage. The reef assemblage was formed by group D, whose indicators were the reef species *Stegastes sanctipauli* and *Malacoctenus triangulatus*.

Table 3.3. Results of indicator species analysis (ISA) indicating larval fish assemblages at Saint Paul's Rocks, from 2003 to 2005. Only species with significant results ($p < 0.05$) according to the Monte Carlo test are shown.

Indicator species	Indicator value (%)	Monte Carlo p value	Clustered groups	Larval fish assemblages
<i>Cyclothone pallida</i>	45	0.028	A	
<i>Lampadena urophaos</i>	72	0.004	A	Oceanic
<i>Oxyporhamphus micropterus</i>	72	0.001	B	
<i>Ceratoscopelus warmingii</i>	86	0.001	C	Neritic
<i>Lampadena luminosa</i>	67	0.001	C	
<i>Stegastes sanctipauli</i>	60	0.032	D	Reef
<i>Malacoctenus triangulatus</i>	38	0.041	D	

DISCUSSION

Spatial pattern of fish larvae assemblages

The larval fish assemblages (reef, neritic and oceanic) at Saint Paul's Rocks followed the pattern that was first described by Leis & Miller (1976) and was later confirmed in more recent studies (e.g.

Boehlert et al. 1992, Sanvicente-Añorve et al. 1998, Nonaka et al. 2000). For pelagic fish larvae, similarities have been recorded between the composition of oceanic areas (Richards et al. 1993, Sanvicente-Añorve et al. 1998, Ekau et al. 1999, Hernández-Miranda et al. 2003, Muhling et al. 2008), at seamounts (Dower & Perry 2001, Diekmann et al. 2006, Sobrinho-Gonçalves & Cardigos 2006), at the nearshore and around oceanic islands (Leis & Miller 1976, Leis 1986, Boehlert et al. 1992, Nonaka et al. 2000, Rodríguez et al. 2000, 2001, Castro & Landaeta 2002, Moyano et al. 2009, Moyano & Hernández-Léon 2011). On the other hand, the composition of the reef fish larvae is more similar to what is observed around the oceanic islands and coastal areas within the Brazilian Province than to the mid-Atlantic Ridge islands or the African coast (Floeter & Gasparini 2000, Floeter et al. 2008).

Diversity is high near coral reefs because structural complexity provides several different habitats that support fish larvae (Leis 1993). At Saint Paul's Rocks, corals are only conspicuous on rocky walls and in other areas outside the cove (Amaral et al. 2009). The relatively low species richness near the islets may therefore be related to sample effort, which was lowest at the cove; to sampling gear that underestimated the larvae of some demersal fish species (Choat et al. 1993); to the relative absence of corals in shallow habitats, which may provide less structural complexity in the cove than at other coral reefs; and/or to the low richness of adult reef fish, since Saint Paul's Rocks has been considered an impoverished outpost of the Brazilian Province (Floeter & Gasparini 2000). The result of the first-order jackknife estimator for the cove and for D1 was consistent with previous estimates of the adult reef fish richness (67 species) in the area (Feitoza et al. 2003, Vaske Jr. et al. 2005, Ferreira et al. 2009).

Life history strategies may be responsible for differences in diversity between areas. The larvae of some reef fish that release pelagic eggs were absent from nearshore samples collected from waters around the Hawaiian Islands (Leis & Miller 1976), suggesting offshore distribution. In line with this, the larvae of some species that are important in the adult reef fish community of Saint Paul's Rocks, such as Muraenidae, Pomacanthidae, Holocentridae and Kyphosidae (Ferreira et al. 2009), were absent from samples collected in the cove, suggesting that there was a degree of decoupling of the reef fish adult and larval communities. On the other hand, larvae from non-pelagic eggs are overwhelmingly dominant in the cove samples, increasing heterogeneity and reducing diversity in the community.

Furthermore, in offshore areas, diversity may be increased by

mesopelagic and bathypelagic species which are distributed in the water column according to the density of their potential prey (Moser & Smith 1993) and depth of the thermocline (Longhurst 1985). Myctophidae and Gonostomatidae, for example, are the most speciose families with high density and frequency in oceanic samples (e.g. Sanvicente-Añorve et al. 1998, Rodríguez et al. 2001). The Myctophidae family includes mesopelagic and bathypelagic fishes and their spatial distribution is influenced by water masses, with vertical distribution concentrated above 200 meters depth where the larvae can feed on small zooplankton (Koubbi et al. 1991, Sassa & Kawaguchi 2004). Similarly, Gonostomatidae are bathypelagic fish, with a circumglobal distribution (Briggs 1960, Fahay 1983) and usually have high species richness in oceanic samples (Rodríguez et al. 2000, 2001, Castro & Landaeta 2002, Moyano et al. 2009, Moyano & Hernández-Léon 2011).

The dominance of reef fish larvae in the community was related to the high density of adults in the area, as has already been recorded at seamounts and other islands (Dower & Perry 2001, Castro & Landaeta 2002). The endemic damselfish *Stegastes sanctipauli*, listed as vulnerable by IUCN (Roberts 1996), was the second most abundant reef fish at Saint Paul's Rocks, while *Entomacrodus vomerinus* exhibited high densities in tide pools at the islets (Ferreira et al. 2009, Mendes 2009). Although larvae of some abundant reef fish including Acanthuridae, Chaetodontidae, Labridae and Scaridae occur at greater distances from the shore (Boehlert & Mundy 1993), the results demonstrate that *S. sanctipauli* larvae were present in embayment (the cove), neritic and oceanic samples, with a higher concentrations inside the cove. This difference is probably related to life history strategies contributing to self-recruitment, since pomacentrids like *S. sanctipauli* release non-pelagic eggs, which helps to keep larvae in the parental habitat after hatching. On the other hand, Acanthuridae, Chaetodontidae, Labridae and Scaridae spawn pelagic eggs, which encourages greater dispersal of the recently-hatched larvae (Leis & Miller 1976, Boehlert & Mundy 1993).

Therefore, the larval reef fish assemblage at Saint Paul's Rocks corresponded to Leis & Miller's (1976) embayment assemblage, and was formed mainly by reef-associated species with non-pelagic eggs, such as Pomacentridae, Blenniidae and Labrisomidae, plus species that have pelagic eggs, like Labridae and Scaridae (Leis & Miller 1976, Nonaka et al. 2000). Some oceanic species with pelagic eggs were also present (Myctophidae, Exocoetidae and Scombridae), although they were less important to the composition of the assemblage.

The neritic assemblage was dominated by mesopelagic species belonging to the Myctophidae family, such as *Ceratoscopelus warmingii* and *Lampadena luminosa*. In the western north Pacific, *C. warmingii* was the most abundant fish larvae in the Myctophidae assemblage (Sassa et al. 2004), and in nearshore waters around Oahu island, the concentration of *C. warmingii* increased at distances of 0.5 to 3.0 km from the coast (Leis 1982). Species like *Lampadena urophaos*, which was more representative of the oceanic samples in Saint Paul's Rocks, have been associated with the neritic assemblage in other studies (Boehlert & Mundy 1993). In the present study, its place in the neritic assemblage was taken by *L. luminosa*.

Epipelagic (*Oxyporhamphus micropterus*), mesopelagic (*L. urophaos*) and bathypelagic (*Cyclothone pallida*) species were indicative of the oceanic assemblage at Saint Paul's Rocks, which corresponds to Leis & Miller's (1976) oceanic assemblage. In this assemblage pelagic species belonging to the Myctophidae, Gonostomatidae, Paralepididae, Phosichthyidae and Exocoetidae families are overwhelmingly dominant (Leis & Miller 1976, Sanvicente-Añorve et al. 1998, Ekau et al. 1999, Nonaka et al. 2000, Diekmann et al. 2006). However, reef fish larvae are also abundant, as was the case with *S. sanctipauli* and *E. vomerinus* at Saint Paul's Rocks, since the oceanic assemblage does not indicate that the larvae of oceanic species occur exclusively (Boehlert & Mundy 1993).

Larval fish assemblages are strongly influenced by habitat type. Changes in habitat can cause changes in larval fish assemblages within very short distances (Leis 1993). At Saint Paul's Rocks, there is an abrupt change between the reef and pelagic regions, resulting in the suppression of the nearshore assemblage formed by species from the Gobiidae, Clupeidae, Engraulidae and Sciaenidae families (Boehlert & Mundy 1993). Thus, the high density of reef fish larvae mean that the neritic assemblage described in this study exhibited a composition that was more similar to a transitional assemblage, as described by Nonaka et al. (2000). The distances sampled may also have contributed to differences in larval assemblages composition. In Oahu, for example, the oceanic assemblage was identified in samples collected 5 km from the island shore (Leis & Miller 1976). In the present study, samples were collected up to almost 3 km from Saint Paul's Rocks. Since some reef fish larvae have been collected at points hundreds of kilometres away from the nearest adult habitat (Victor 1987), this may have been responsible for the zero or low density of some taxa, such as Chaetodontidae and Labridae.

Changes in the larval fish assemblages between day and night samples were more evident at D1 and D2, with the highest proportions of larvae of pelagic fishes observed in the daytime samples. In the Mediterranean Sea, vertical distribution of larvae of mesopelagic species, like Myctophidae, resulted in higher concentrations closer to the surface during the day than at night (Sabatés 2004). For mesopelagic fish larvae, this vertical migration behaviour is more related to the high concentration of potential prey and adequate light levels for feeding at the surface layers, than to the gradient of physical stratification (Moser & Smith 1993, Sabatés 2004), and can promote coupling between deep sea and epipelagic layers. Daytime larval fish assemblage also exhibited temporal variability at D1.

Temporal variability in larval fish assemblages

The temporal variability of sea surface temperature and chlorophyll a at Saint Paul's Rocks were consistent with the known pattern for the Equatorial Atlantic (Longhurst 1993, Pérez et al. 2005). The warm period with low primary production and the colder period with high chlorophyll a concentration are mainly influenced by the oceanic circulation (Pérez et al. 2005), and by the displacement of the ITCZ to the North between June and August, which reduces cloud cover over the area (Soares et al. 2009). Travassos et al. (1999) observed a shift of the isotherm around Saint Paul's Rocks that may have been promoted by an instability arising from interactions between SEC and EUC. This mechanism may be the result of extreme cold events that increase SEC and EUC transport, creating a shear between these currents, and encouraging vertical transport of cold water (Góes et al. 2003).

Diversity over time demonstrates high species richness in months with high levels of chlorophyll a, with the exception of August 2003. An increase in food supply in relation to the surrounding areas (Rodríguez et al. 1999), combined with the large quantities of zooplankton around Saint Paul's Rocks (Macedo-Soares et al. 2009), suggests some synchrony with the occurrence of fish larvae. Therefore, partial overlap between ichthyoplankton and plankton distribution is to be expected (Freitas & Muelbert 2004). Myctophidae larvae, for example, feed mainly on copepod nauplii and copepodites (Sabatés & Saiz 2000, Sassa & Kawaguchi 2004), and since copepods produce eggs in the water column in reaction to the vertical distribution of chlorophyll a

concentrations (Nakata et al. 1994), mesopelagic larvae, like Myctophidae, migrate in the water column to feed at different depths up to the surface.

Despite the lack of information on the reproductive period of some species of the reef fish at Saint Paul's Rocks, the temporal distribution of *Stegastes sanctipauli* larvae suggests that December and January, which are months with higher sea surface temperatures, are probably months with greater spawning activity, with peaks in larval density. *S. sanctipauli* larvae were also present in May and July, which are periods with high chlorophyll a concentrations, although mean larval density was lower than during the other two peak months. Along the Brazilian coast, the spawning period of *S. variabilis* is from October to January, while two peaks of partial spawning have been recorded for *S. fuscus*; during January and September-October (Bessa et al. 2007, Souza et al. 2007). For *S. nigricans*, the spawning season was from June to September (Karino & Nakazono 1993), while *S. partitus* started spawning at dawn (Knapp & Warner 1991). Even in an equatorial region, temperature may be a controlling factor for *S. sanctipauli* reproduction, while another controlling factor may be the average chlorophyll a concentration.

The waters around oceanic islands are occupied not only by reef-associated species, but also by some oceanic species (Boehlert & Mundy 1993). Exocoetidae fish, for example, congregate around islands during their breeding season, when adults spawn near rocky substrates (Hunte et al. 1995). At Saint Paul's Rocks, *Cypselurus cyanopterus* spawns in the first quarter of those years in which yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) catches are high (Lessa et al. 1999, Hazin et al. 2009). *Cypselurus cyanopterus* is the main food resource for *T. albacares* in the area (Vaske Jr. et al. 2003). In the present study, larvae of *C. cyanopterus* were only caught in March, which is in accordance with the species' spawning period in the area (Lessa et al. 1999). On the other hand, *Oxyporhamphus micropterus* seems to reproduce throughout the year, since its larvae occurred in almost every month sampled.

In the same way, Scombridae mainly spawn near tropical islands (Boehlert & Mundy 1994) where primary productivity may be higher than in the open ocean and the environment is more suitable for early larvae (Boehlert & Mundy 1993). Although most of the adult specimens of *T. albacares* examined in previous studies were sexually immature (Hazin et al. 2009), early larval stages were recorded mostly in March and May, in nearshore and oceanic samples. For *T. obesus* and *Katsuwonus pelamis*, larvae were captured in the same period. This

means that Scombridae species used Saint Paul's Rocks for feeding and that part of the population also reproduces there.

Despite its equatorial location, our results show temporal shifts between dominant species in the larval fish assemblages at Saint Paul's Rocks. For reef species, peaks in density were probably related to the reproductive period and to larval retention. On the other hand, for pelagic species the high concentration of adults in the area, itself the result of high concentrations of potential prey, promotes some spawning activity in the surrounding waters.

Summary and conclusions

In summary, our findings show that there are differences between areas at different distances from Saint Paul's Rocks in terms of fish larvae composition, density and diversity. In some cases this differences may be related to a temporal variability in sea surface temperature and chlorophyll a concentration. The pattern of fish larvae assemblages followed that previously reported in other areas, but some differences in larval fish assemblages that were related to abrupt changes in topography and sampling distances were noted. Although some species registered previously were not recorded in the present larval collection, the fish larval assemblages around the archipelago have been fully described. Further studies could be carried out using different sample techniques and equipment in order to evaluate diversity, mainly inside the cove, with emphasis on benthic reef fish species with non-pelagic eggs. Similarly, sampling at distances more than 3 km from Saint Paul's Rocks could verify whether some of the reef fish species that have pelagic eggs and were absent in this study, such as Chaetodontidae, Holocentridae, Muraenidae and Serranidae, are inhabiting those areas.

Acknowledgements. This study was supported by the PROARQUIPELAGO program CNPq (Grant 48.0040/2004-4) and by a post-graduate fellowship from CAPES. We would like to thank the CIRM (Comissão Interministerial para os Recursos do Mar) for logistic support and the captains and crews of the RVs 'Transmar I' and 'Transmar II' for assisting with fieldwork. We are grateful to all of the researchers who went to Saint Paul's Rocks to conduct the plankton sampling and to the undergraduate students who processed the samples.

4 CAPÍTULO 2 – Variabilidade temporal e espacial da temperatura superficial do mar, da clorofila a e da comunidade ictioplanctônica no entorno do Arquipélago de São Pedro e São Paulo

Manuscrito formatado para submissão segundo as normas da revista Journal of Marine Systems.

Variabilidade temporal e espacial da temperatura superficial do mar, da clorofila a e da comunidade ictioplantônica no entorno do Arquipélago de São Pedro e São Paulo

Luis C.P. de Macedo-Soares^{a,*}, Melissa Carvalho^a, Andrea S. Freire^a, José H. Muelbert^b

^a Laboratório de Crustáceos e Plâncton, Departamento de Ecologia e Zoologia, Universidade Federal de Santa Catarina, 88040-900, Campus Universitário, Florianópolis, SC, Brasil. E-mail address: luiscpms@yahoo.com.br; melissacarvalho@gmail.com; andreasfreire@yahoo.com.br

^b Laboratório de Ecologia do Ictioplâncton, Instituto de Oceanografia, Universidade Federal do Rio Grande, 96201-900, Campus Carreiros, Rio Grande, RS, Brasil. E-mail address: docjhm@furg.br

* Autor para correspondência. Laboratório de Crustáceos e Plâncton, Departamento de Ecologia e Zoologia, Universidade Federal de Santa Catarina, 88040-900, Campus Universitário, Florianópolis, SC, Brasil. Tel.: + 55 48 3721 5523. E-mail address: luiscpms@yahoo.com.br

Resumo

O presente trabalho estudou pela primeira vez o efeito ilha no Arquipélago de São Pedro e São Paulo (ASPSP), um pequeno grupo de ilhotas no Atlântico Equatorial e as implicações na comunidade ictioplantônica. Foram utilizadas imagens de satélite, nível 2, da temperatura superficial do mar (TSM) e da clorofila na superfície do mar (CSM), adquiridas pelo sensor MODIS/Aqua entre janeiro de 2003 e dezembro de 2005, para a área ao redor do ASPSP e da bóia 0N35W do programa PIRATA. As amostras de ictioplâncton foram coletadas durante oito expedições realizadas no período de 2003 e 2005 em diferentes distâncias do arquipélago. A Análise de Variância (ANOVA) multifatorial foi conduzida para investigar a variabilidade da TSM e da CSM no ASPSP, e em uma região controle, sem ilha, ao redor da bóia 0N35W. A Análise de Correspondência Canônica (ACC) foi aplicada para investigar a correlação entre as variáveis ambientais e a densidade do ictioplâncton. Os resultados demonstraram um padrão temporal da TSM e da CSM nas duas áreas, com menores valores de TSM e maior concentração de CSM nos meses de julho e agosto. A variância da TSM ao redor do ASPSP foi maior do que na bóia 0N35W. Entretanto, a mesma variabilidade não foi observada na variância da CSM. A

densidade do ictioplâncton foi maior perto das ilhas, especialmente em julho, quando larvas de Myctophidae apresentaram correlação com alta concentração de CSM. A existência de um efeito ilha resultante da interação corrente-topografia não ficou evidente, no entanto, os resultados sugerem que a presença do Arquipélago de São Pedro e São Paulo no Atlântico Equatorial afeta a comunidade ictioplanctônica no seu entorno.

Palavras chave: Atlântico Equatorial, ilha oceânica, efeito ilha, sensoriamento remoto

Introdução

O ictioplâncton é um importante componente do plâncton marinho, pois, inclui ovos e formas larvais de vários peixes de interesse comercial e de importância ecológica (Ciechomski, 1981). Algumas espécies de peixes pelágicos, como scombrídeos e exocoetídeos, agregam-se ao redor de ilhas oceânicas e montanhas submarinas para reprodução e desova (Boehlert e Mundy, 1994; Hunte et al., 1995). Sendo assim, essas áreas constituem ambientes favoráveis ao desenvolvimento de larvas de peixes, uma vez que apresentam alta concentração e diversidade ictioplanctônica no seu entorno (Clarke, 1991; Rodríguez et al., 2000; 2001; Castro e Landaeta, 2002; Diekmann et al., 2006; Moyano et al., 2009), originadas de desovas de espécies pelágicas migradoras e de espécies recifais e demersais residentes (Koubbi et al., 1991; Dower e Perry, 2001).

Segundo Perissinoto et al. (2000), a alta produção primária ao redor de ilhas oceânicas, baseada em produtores fitoplanctônicos e comunidade de macroalgas, pode estar relacionada a alterações no ambiente oceanográfico decorrente de interações corrente-topografia (e.g. Heywood et al., 1990; Roden, 1991), ou a ilha cria um ecossistema biológico próprio ao seu redor, o efeito ilha de Doty e Oguri (1956). Doty e Oguri (1956) criaram o termo efeito ilha, quando publicaram um estudo sobre o incremento da produtividade primária, da biomassa planctônica e do potencial pesqueiro ao redor de ilhas oceânicas. Os mecanismos envolvidos no efeito ilha como vórtices, ressurgências, ascensão vertical de massas de água, drenagem da própria ilha e processos bênticos, têm sido investigados no Oceano Índico (Heywood et al., 1990; 1996), Pacífico (Dandonneau e Charpy, 1985; Dower e Mackas, 1996; Rissik et al., 1997; Palacios, 2002; Wolanski et al., 2003), Atlântico (Hernández-León, 1991; Hernández-León et al., 2001;

Caldeira et al., 2002) e Austral (Perissinoto e Rae, 1990; Perissinoto et al., 1990; 2000).

A concentração de ictioplâncton ao redor de ilhas oceânicas e montanhas submarinas pode estar relacionada a mecanismos resultantes da interação entre as correntes oceânicas e a topografia (Genin, 2004). Essas áreas podem apresentar, por exemplo, uma complexa circulação, que favorece a formação de vórtices e ressurgências locais com aumento da disponibilidade de nutrientes na zona eufótica (Hamner e Hauri, 1981; Roden, 1991; Coutis e Middleton, 1999). É conhecido que essas interações físicas podem resultar em áreas com maior concentração de clorofila a, retenção de holoplâncton e larvas de peixes (Wolanski e Hamner, 1988; Hernández-León, 1991; Hernández-León et al., 2001).

O efeito ilha também tem sido investigado através da análise de alterações no gradiente da temperatura superficial do mar (TSM) e da clorofila na superfície do mar (CSM), que podem indicar a ocorrência de ressurgências de águas profundas frias e enriquecidas com nutrientes (Hernández-León et al., 2001; Caldeira et al., 2002). A utilização de imagens de satélite tem permitido a observação de estruturas de núcleo frio, bem como áreas de alta concentração de clorofila a ao redor de ilhas oceânicas (Caldeira et al., 2002). Dessa forma, o advento da oceanografia por satélites tem permitido a realização de estudos sobre padrões temporais (Pérez et al., 2005), globais (Boyce et al., 2010), e interações com o ictioplâncton (Platt et al., 2003; Moyano et al., 2009), tornando-se uma importante ferramenta na caracterização oceanográfica regional (Longhurst, 1993; Shouten et al., 2005).

No Atlântico Equatorial, a circulação oceânica associada a ventos alísios proporciona alteração da TSM e na concentração da CSM principalmente entre julho e setembro (Longhurst, 1993; Góes et al., 2003; Pérez et al., 2005). A ação da Corrente Sul Equatorial (CSE) espalha águas enriquecidas do Rio Congo no sentido Oeste, e em sentido contrário, a Corrente Norte do Brasil (CNB) associada à Contra Corrente Norte Equatorial (CCNE) carregam águas do Rio Amazonas para o Atlântico Equatorial (Pérez et al., 2005). O Arquipélago de São Pedro e São Paulo (ASPSP), localizado em 00°55'01"N e 29°20'44"W, está condicionado à ação da vertente norte da CSE (CSEn) e da Sub-Corrente Equatorial (SCE), que fluem em sentido contrário, e são os principais mecanismos responsáveis pela circulação oceânica na área (Stramma e England, 1999; Araujo e Cintra, 2009). O ASPSP é formado por um pequeno grupo de ilhotas e pontas de rochas, com área aproximada de 16.000 m² e extensão máxima de 400 m, que emergem no ponto mais alto e íngreme do Maciço de São Pedro e São Paulo,

associado à Cordilheira Meso-Atlântica (Edwards e Lubbock, 1983; Sichel et al., 2008). É uma área de concentração de peixes pelágicos (Vaske Jr. et al., 2005), possui uma fauna diversificada de peixes recifais (Feitoza et al., 2003) e apresenta uma alta concentração zooplânctônica (Macedo-Soares et al., 2009).

A interação entre o sistema de correntes e a topografia do ASPSP pode resultar em processos físicos típicos de montanhas submarinas como produção de vórtices, perturbações na estrutura termohalina e possíveis mecanismos de ressurgências locais (Araujo e Cintra, 2009). Entretanto, estudos sobre a estrutura termohalina na área não encontraram evidências de ressurgências locais resultantes de interações entre as correntes e a topografia. Na verdade, a presença de uma termoclina permanente impede a ocorrência de ressurgências mais significativas, sendo o nitrogênio o nutriente limitante acima da camada fótica até a superfície (Travassos et al., 1999; Macedo et al., 2009). Por outro lado, um deslocamento da isoterma foi observado em locais próximos do ASPSP, e pode ser resultante de instabilidades geradas por interações entre CSEn e SCE (Travassos et al., 1999). Nesse sentido, é possível formular a hipótese de que existe um efeito ilha decorrente da interação corrente-topografia, e que este efeito favorece uma alta concentração de ictioplâncton ao redor do ASPSP.

Diante do exposto, o objetivo deste estudo foi avaliar se a topografia da região do Arquipélago de São Pedro e São Paulo contribui para uma maior variabilidade temporal e espacial da TSM e CSM no seu entorno, causando um efeito ilha na área, e se este efeito provoca aumento da concentração de ovos e larvas de peixes ao redor do ASPSP.

Material e métodos

Aquisição e processamento dos dados oceanográficos

Para análise da variabilidade temporal e espacial da TSM e CSM no entorno do ASPSP foram utilizadas imagens de satélite diárias de TSM e da CSM obtidas do sensor MODIS/Aqua, nível 2, com 1 km de resolução espacial. A CSM foi estimada a partir do algoritmo global OC3 (O'Reilly et al., 2000). Foram adquiridas imagens referentes ao período de 1º de janeiro de 2003 a 31 de dezembro de 2005 através da *homepage Ocean Color* (<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov>) para a área do Arquipélago de São Pedro e São Paulo, e para a área da bóia 0N35W do programa PIRATA – *Prediction and Research Moored Array in the*

Atlantic (<http://www.pmel.noaa.gov/pirata/>) (Fig. 4.1a). Através da *homepage* do programa PIRATA foram obtidos dados *in situ* de TSM e profundidade da isoterma de 20°C da bóia 0N35W.

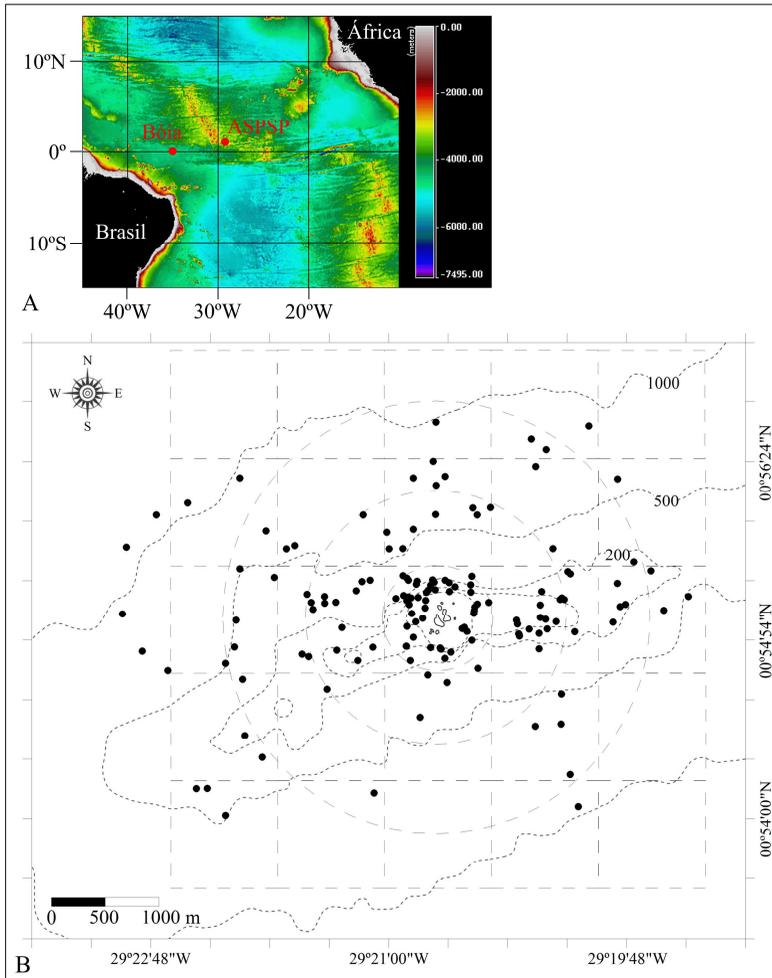


Fig. 4.1. Localização do Arquipélago de São Pedro e São Paulo (ASPSP) e da bóia 0N35W do programa PIRATA sobrepostas em uma imagem MODIS/Aqua da batimetria da região do Atlântico Equatorial (ETOPO1 - NOAA) (A). Localização dos pontos de amostragem de ictioplâncton e da área de 25 km² ao redor do ASPSP (quadrados tracejados) correspondente a matriz de pixels de 5x5 km extraída das imagens de satélite (B). Os círculos tracejados em B representam as distâncias de 500, 1200 e 2000 m em relação à ilha Belmonte.

As imagens foram processadas no programa SeaDAS 6.1, onde foram mapeadas utilizando projeção de Mercator, limites de $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ no entorno da coordenada central para cada área, gerando matrizes de 111 colunas por 111 linhas para cada imagem. Posteriormente, matrizes de pixels de 5×5 km (25 km^2) ao redor da coordenada central do ASPSP e da bóia 0N35W foram extraídas para cada imagem diária utilizando o programa MATLAB R2009a.

Para a área do ASPSP foram também extraídos das imagens os valores de TSM e CSM do pixel correspondente a cada uma das 144 amostras de ictioplâncton. Considerando que o tempo em que águas enriquecidas devem permanecer na superfície para crescimento planctônico está na ordem de semanas (Genin, 2004), foram utilizadas imagens de até oito dias anteriores ao dia da coleta de ictioplâncton para a extração dos valores de TSM e CSM. Devido à alta nebulosidade na área resultante da presença da ZCIT (Soares et al., 2009) não foi possível a obtenção dos valores dos exatos oito dias anteriores a coleta para todas as amostras, sendo então utilizadas imagens de dias anteriores até que se completasse o total de oito imagens por amostra, não ultrapassando o limite temporal de 1 mês antes da data da coleta de ictioplâncton. Finalmente, para as análises estatísticas dos dados, foram utilizados os valores médios de TSM e CSM das oito imagens selecionadas para as coordenadas correspondentes a cada uma das amostras de ictioplâncton, ou seja, para o pixel correspondente ao ponto de coleta.

Amostragem e processamento do ictioplâncton

As amostras de plâncton foram coletadas em oito expedições realizadas em dois dias em abril, agosto e novembro de 2003, março e dezembro de 2004, janeiro, maio e julho de 2005. As amostragens foram realizadas em diferentes distâncias em relação ao arquipélago (125 a 2973 m), com três réplicas, totalizando 18 amostras por mês (Fig. 4.1b). As amostras foram coletadas através de arrastos de 10 minutos conduzidos horizontalmente na superfície, com uma rede cônico-cilíndrica de $200 \mu\text{m}$ de malha, comprimento de 2 m e diâmetro da boca de 0,5 m, equipada com um fluxômetro General Oceanics. As amostras foram fixadas e preservadas em solução de formaldeído 4% tamponado. O ictioplâncton foi contado e separado da amostra total e identificado até o menor nível taxonômico possível com base nos estágios de desenvolvimento larval descritos por Fahay (1983), Moser (1996),

Olivar et al. (1999), Richards (2005) e Bonecker e Castro (2006).

A densidade do ictioplâncton foi padronizada em função do número de organismos por 100 m³ de água filtrada. As amostras foram agrupadas de acordo com a distância em relação à ilha Belmonte: até 500 m de distância (D1) (n = 50), entre 501 e 1200 m (D2) (n = 36) e distâncias superiores a 1200 m (D3) (n = 58). Mapas temáticos de distribuição do ictioplâncton foram gerados no programa Surfer 8.0 e o mapa base foi vetorizado a partir da carta náutica digitalizada obtida da *homepage* da Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil (<http://www.mar.mil.br/dhn/dhn/index.html>).

Análise de dados

Para verificar a hipótese de que existe um efeito ilha na região no entorno do ASPSP, foram comparadas as variâncias mensais da TSM e CSM entre uma área de 5x5 pixels (25 km²) ao redor do ASPSP e ao redor da bóia 0N35W, região controle, sem ilha, ambas localizadas no Atlântico Equatorial. A hipótese nula foi testada através da Análise de Variância (ANOVA) multifatorial, considerando os fatores: áreas (ASPSP e bóia 0N35W), meses e pixels da matriz 5x5 obtida ao redor de cada área. O fator pixel foi aninhado dentro do fator área uma vez que os valores nos pixels variam dentro de cada área respectiva. Da mesma forma a ANOVA bifatorial foi aplicada para testar a hipótese nula de que a densidade dos ovos e larvas de peixes, no entorno do ASPSP, não variou entre os meses de coleta e entre as distâncias (D1 e D3). Os dados de densidade foram transformados por log (x+1) para estabilizar as variâncias e ajustar os dados a uma distribuição normal. O teste de Tukey foi usado quando diferenças significativas foram detectadas pela ANOVA (Zar, 1996). Apenas os resultados que apresentaram diferenças significativas segundo a ANOVA foram demonstrados graficamente. As análises foram realizadas no programa Statistica 7.0.

A correlação entre a distribuição do ictioplâncton e as variáveis ambientais foi avaliada através da análise de correspondência canônica (ACC) (Ter Braak, 1986). A planilha de dados biológicos incluiu a densidade média das quatro espécies mais abundantes e frequentes na comunidade larval (Macedo-Soares, obs. pess.). As demais espécies foram consideradas como “outras larvas”. A planilha das variáveis ambientais incluiu os valores médios de TSM e CSM obtidos das imagens diárias de satélite para cada amostra, a distância da amostra em

relação à ilha Belmonte, a profundidade obtida da carta náutica da DHN e a posição da amostra em relação ao ASPSP (Leste= 1; Central= 2; Oeste= 3). Os dados biológicos foram transformados por raiz quarta (Field et al., 1982). A existência de colinearidade entre as variáveis ambientais foi verificada através do indicador de colinearidade entre variáveis (VIF). Neste teste, variáveis com $VIF > 20$ são colineares, significando redundância entre variáveis, e neste caso, a variável redundante é retirada da análise. Um teste de permutação de Monte Carlo foi utilizado para verificar a hipótese nula de que a ocorrência das espécies não está correlacionada com as variáveis ambientais. O teste foi realizado para o primeiro eixo canônico isolado e para todos os eixos canônicos simultaneamente (Lepš & Šmilauer, 2003). Os testes foram conduzidos no programa CANOCO 4.54.

Resultados

O padrão de variabilidade temporal da TSM e da CSM encontrado ao redor do ASPSP e da bóia 0N35W do programa PIRATA (Fig. 4.2) são similares. Para a área do ASPSP as imagens de satélite demonstraram um período com alta TSM (acima de 28°C) entre março e maio, e com valores abaixo dos 27°C entre junho e agosto. No período com menores temperaturas foram registrados os maiores valores médios de CSM, com picos nos meses de julho nos três anos analisados (Fig. 4.2a). Ao redor da bóia 0N35W, a TSM apresentou seus menores valores também no período de junho a agosto (Fig. 4.2b), enquanto que no mesmo período observaram-se os maiores valores de CSM.

Os dados *in situ* da bóia 0N35W demonstram o mesmo padrão observado nos dados obtidos das imagens de satélite para a variabilidade anual da TSM (Fig. 4.3a). A profundidade da isoterma de 20°C (Fig. 4.3b) esteve menos profunda entre março e maio, principalmente em abril e maio de 2003, meses que antecedem o período de pico da CSM ao redor da bóia (Fig. 4.2a).

A variabilidade da variância mensal da TSM foi significativamente maior ($F = 16,68$; $p < 0,001$) em fevereiro e maio no ASPSP que na bóia 0N35W (Fig. 4.4). Fevereiro apresentou um comportamento atípico no padrão da TSM média no arquipélago (Fig. 4.2a e Fig. 4.4b). Em relação aos pixels da matriz 5x5, a variância da TSM foi significativamente maior ao redor do ASPSP ($F = 26,15$; $p < 0,001$) do que ao redor da bóia 0N35W (Fig. 4.4a). Para a CSM a variabilidade mensal foi significativamente maior em janeiro, julho e agosto ($F = 28,52$; $p < 0,001$). No entanto, em relação aos pixels da

matriz 5x5, não foi observado o mesmo padrão da TSM sendo que a variabilidade da variância da CSM não foi estatisticamente diferente ($p > 0,05$) entre o ASPSP e a bóia 0N35W.

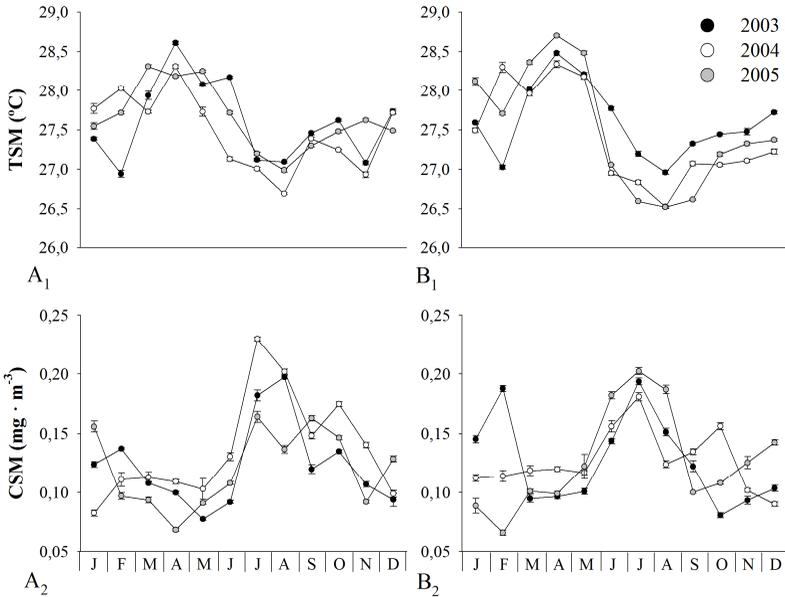


Fig. 4.2. Média (\pm EP) da TSM (1) e da CSM (2) obtidas a partir de imagens de satélite adquiridas do sensor MODIS/Aqua para uma área de 25 km² ao redor da Bóia 0N35W do programa PIRATA (A) e do Arquipélago de São Pedro e São Paulo (B), no período de janeiro de 2003 a dezembro de 2005.

Um total de 22.844 ovos e 1.285 larvas de peixes foram capturados na águas ao redor do ASPSP. O ictioplâncton apresentou uma densidade média (\pm EP) de $312,8 \pm 69,8$ ovos $\cdot 100\text{m}^{-3}$ e $15,9 \pm 3,0$ larvas $\cdot 100\text{m}^{-3}$. A densidade de ovos de peixes variou entre 1,4 ovos $\cdot 100\text{m}^{-3}$ em dezembro de 2004 em D2, e 5.624 ovos $\cdot 100\text{m}^{-3}$ em novembro de 2003 em D3. Já a densidade larval foi mínima em janeiro de 2005 em D2 com 1,02 larvas $\cdot 100\text{m}^{-3}$ e máxima em maio de 2005 em D1 com 307 larvas $\cdot 100\text{m}^{-3}$ (Fig. 4.5 a Fig. 4.7).

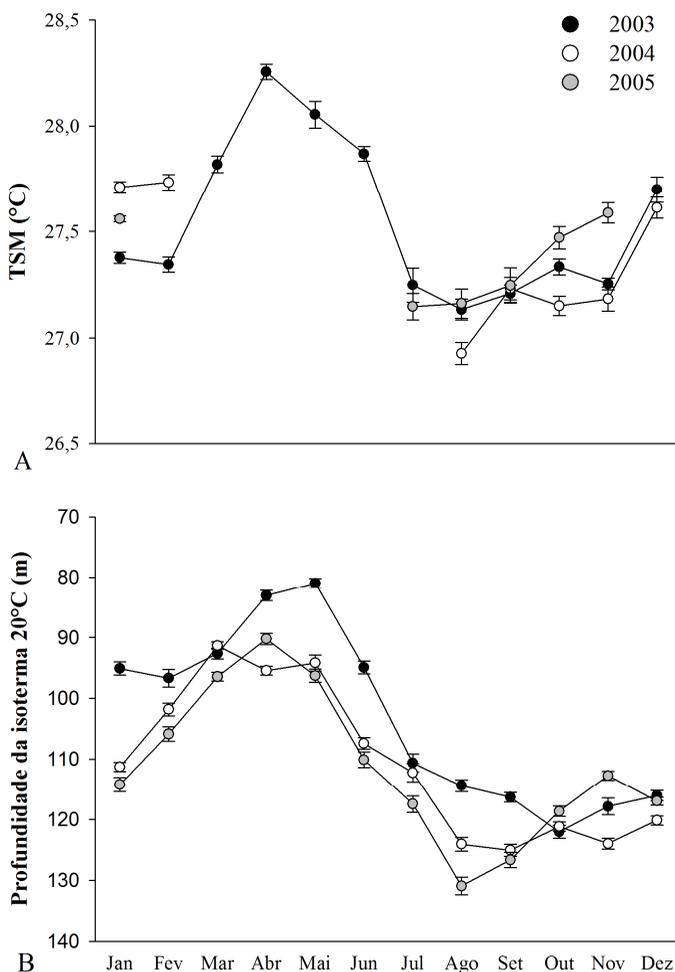


Fig. 4.3. Dados *in situ* da bóia 0N35W do programa PIRATA. Média (\pm EP) da TSM (A) e da profundidade da isoterma de 20°C (B), no período de janeiro de 2003 a dezembro de 2005.

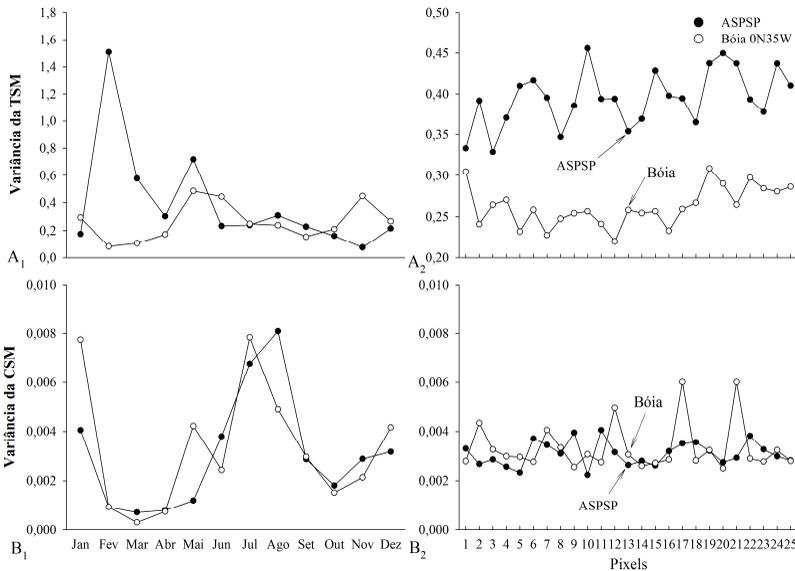


Fig. 4.4. Distribuição da variância mensal da TSM (A) e da CSM (B) em relação aos meses (1) e em relação a cada pixel (2) da matriz 5x5 (25 km²) extraída ao redor da Bóia 0N35W do programa PIRATA e do Arquipélago de São Pedro e São Paulo. As imagens de satélite foram adquiridas do sensor MODIS/Aqua para o período entre janeiro de 2003 e dezembro de 2005.

Analisando a variação temporal da densidade de ovos, foram verificados maiores valores em distâncias superiores a 1200 m (D3) principalmente em abril e novembro de 2003 (Fig. 4.5a), e em distâncias inferiores a 1200 m nos últimos quatro meses de coleta, em maio (D1) e julho (D2) de 2005 (Fig. 4.5b). Todavia, a diferença entre as distâncias não foi confirmada pela Análise de Variância bifatorial ($F = 0,009$; $p > 0,05$) que resultou em uma diferença significativa apenas para a densidade de ovos entre os meses de coleta ($F = 4,951$; $p > 0,01$). De acordo com o teste de Tukey a maior densidade média foi registrada em março de 2004, onde as densidades de ovos entre as amostras foram mais homogêneas (Fig. 4.7a).

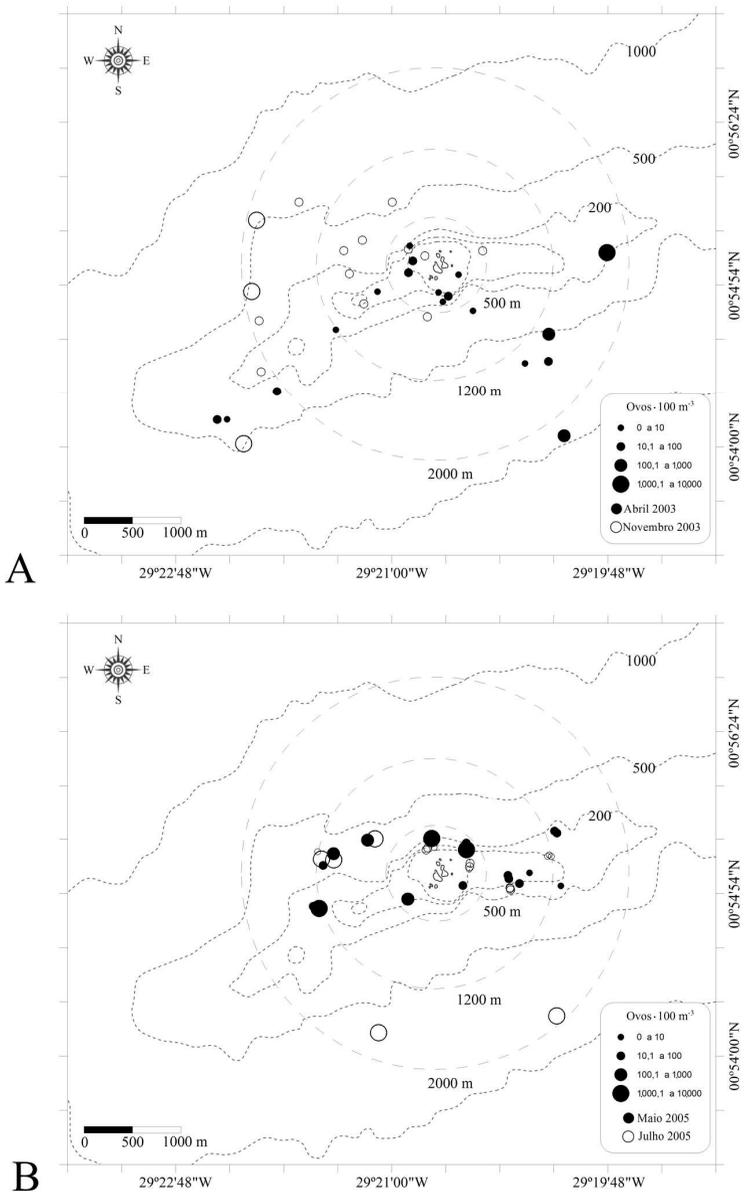
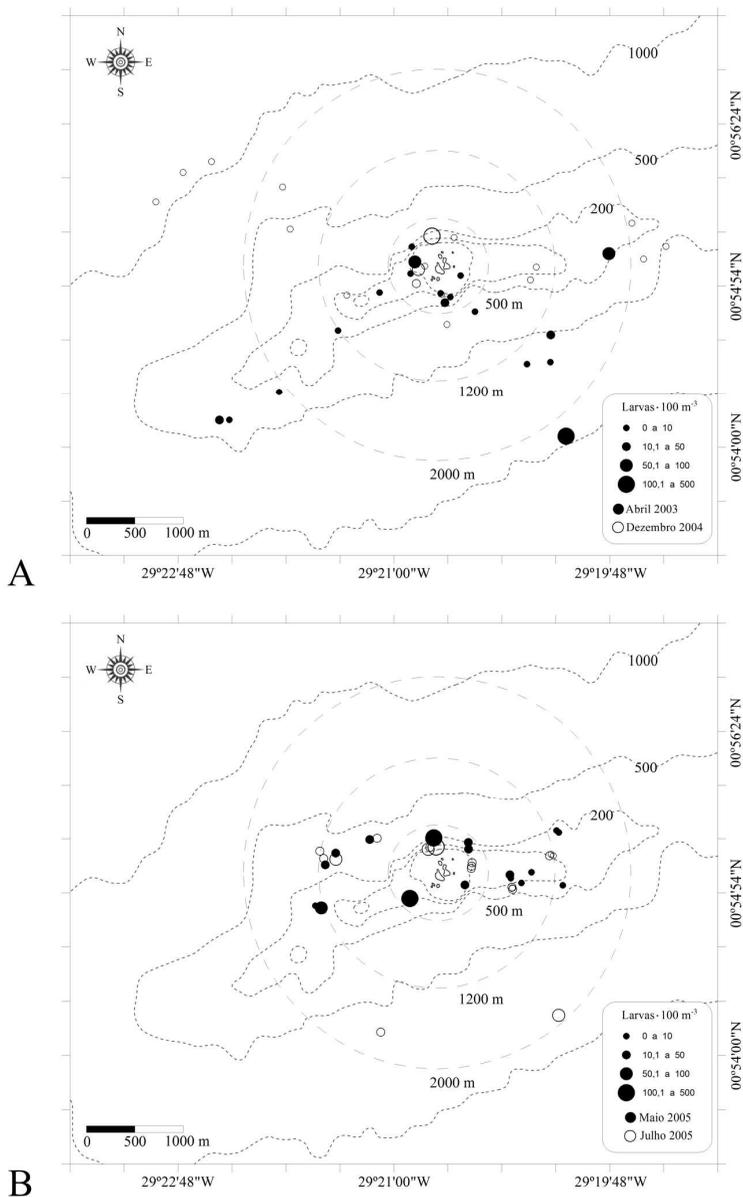


Fig. 4.5. Distribuição da densidade de ovos de peixes ao redor do Arquipélago de São Pedro e São Paulo em abril e novembro de 2003 (A), maio e julho de 2005 (B).

Padrão semelhante ao dos ovos foi verificado para as larvas. Maiores densidades larvais em amostras localizadas a mais de 1200 m (D3) de distância do arquipélago nos quatro primeiros meses de coleta, principalmente em abril de 2003 (Fig. 4.6a). Já nos últimos quatro meses, maiores densidades larvais foram encontradas em distâncias inferiores a 500 m (D1) em dezembro de 2004, maio e julho de 2005 (Fig. 4.6). Este resultado foi confirmado pela interação da ANOVA bifatorial ($F = 2,749$; $p < 0,05$), sendo que nos primeiros quatro meses de coleta a densidade foi significativamente maior em abril de 2003 e março de 2004 em D3 (> 1200 m). Por outro lado, nos últimos quatro meses de coleta a densidade larval foi significativamente maior em dezembro de 2004, maio e julho de 2005 em D1 (< 500 m) demonstrando a mudança no padrão dos quatro primeiros meses (Fig. 4.7b).

A análise de correspondência canônica (ACC) explicou 78,7% da variação da densidade do ictioplâncton em função das variáveis ambientais (Fig. 4.8). Não foi encontrada colinearidade entre as variáveis ambientais ($VIF < 20$), e o teste de permutação de Monte Carlo foi significativo para o primeiro eixo canônico ($F = 6,510$; $p = 0,004$) e para todos os eixos canônicos simultaneamente ($F = 2,711$; $p = 0,002$), indicando correlação entre a distribuição das espécies e as variáveis ambientais.

O eixo I, com 56,6% de explicação, apresentou uma correlação de 0,537 com a distância das amostras em relação ao ASPSP e -0,698 com a posição das amostras em relação ao arquipélago, indicando que as amostras mais distantes foram coletadas principalmente a Leste do arquipélago. Foi definido como um eixo espacial, onde as larvas de *Stegastes sanctipauli* (Lubbock & Edwards, 1981) e *Oxyporhamphus micropterus* (Cuvier & Valenciennes, 1847) ocorreram em situações espaciais opostas. Por outro lado, o eixo II, que explicou 22,1%, está relacionado a um fator temporal associado positivamente a TSM ($r = 0,767$) e negativamente a CSM ($r = -0,823$), demonstrando uma correlação negativa entre as duas variáveis. Os valores de TSM foram mais altos nas amostras coletadas em abril de 2003, março de 2004 e maio de 2005, enquanto que nas amostras coletadas em agosto de 2003 e julho de 2005 foram registradas menores temperaturas e maiores valores de CSM (Fig. 4.8a).



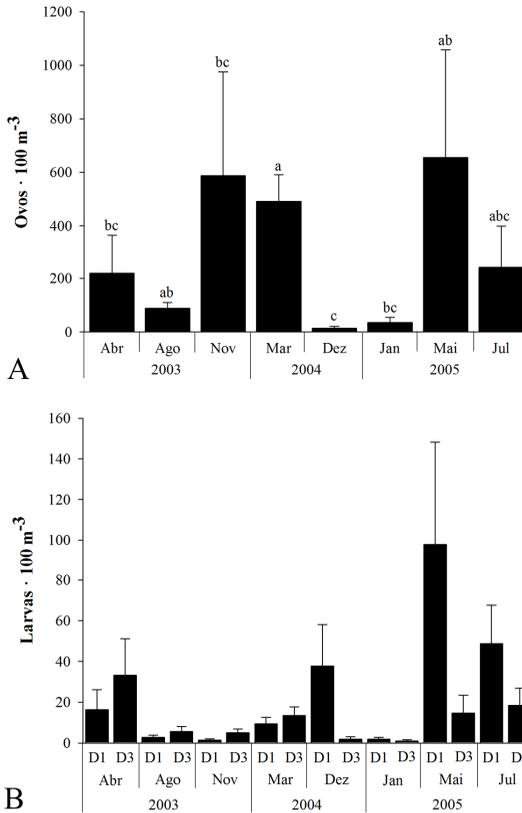


Fig. 4.7. Densidade média (\pm EP) do ictioplâncton no ASPSP ilustrando o resultado da ANOVA bifatorial com diferença significativa: entre o fator meses para os ovos (A) e interação significativa entre os fatores meses e distâncias para larvas (B). Letras indicam médias significativamente ($p < 0,05$) diferentes conforme teste de Tukey (A).

Em relação à distribuição das quatro espécies mais abundantes e freqüentes na comunidade ictioplanctônica, todas as espécies pelágicas se associaram positivamente com a CSM (Fig. 4.8b). *Lampadena luminosa* (Garman, 1899) e *Ceratoscopelus warmingii* (Lütken, 1892) apresentaram a distribuição mais associada a amostras próximas ao arquipélago e com maiores valores de CSM. Enquanto que *O. micropterus* também ocorreu em amostras com maior concentração de CSM, porém, mais distantes e a Leste do ASPSP. Por outro lado, a espécie recifal *S. sanctipauli*, associou-se também a amostras mais

próximas, no entanto, com maiores temperaturas e menor CSM.

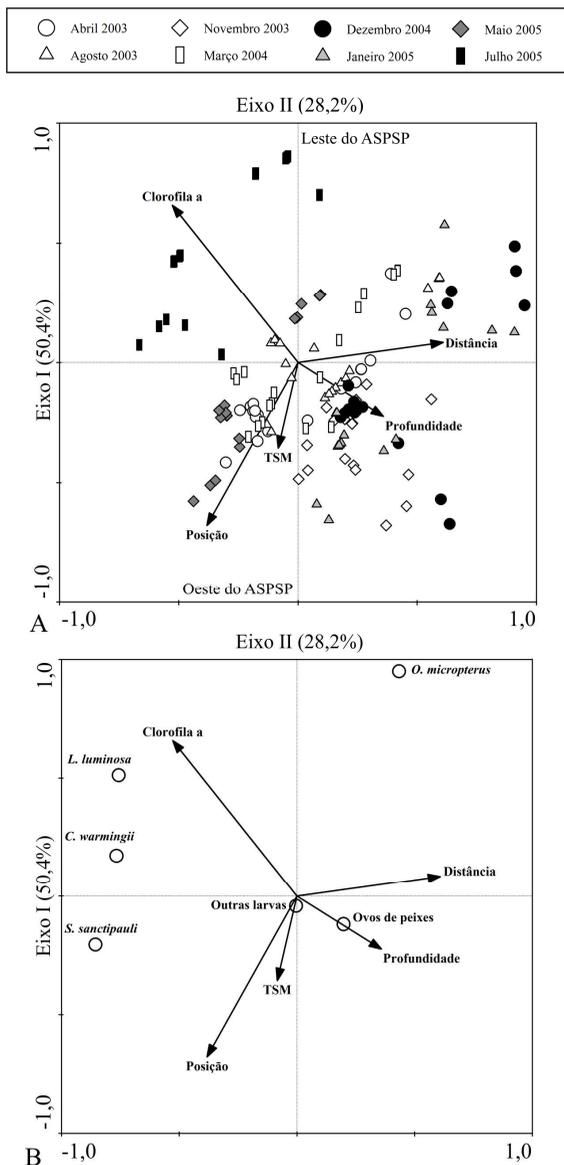


Fig. 4.8. Diagrama fatorial resultante da análise de correspondência canônica: amostras e variáveis ambientais (A), espécies e variáveis ambientais (B).

Discussão

A variabilidade temporal da TSM e da CSM observada nesse estudo segue o padrão descrito em estudos realizados anteriormente para a região do Atlântico Equatorial (Longhurst, 1993; Pérez et al., 2005). Em duas áreas próximas no equador, 0N10W e 0N25W, dados de sensoriamento remoto revelaram temperaturas mais frias ($< 25^{\circ}\text{C}$) associadas a picos de CSM ($> 0,6 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$) em julho (Pérez et al., 2005). Entretanto, principalmente em 0N10W, os valores máximos observados para a TSM e CSM foram superiores aos encontrados no ASPSP, uma vez que essa área está mais sujeita a influência da pluma do rio Congo e da ressurgência equatorial de ciclo anual registrada para a região (Berger et al., 2008). Os valores médios máximos de CSM registrados no ASPSP estão em conformidade com os valores registrados previamente em outras ilhas oceânicas como nas ilhas Canárias, com 0,15 a 0,20 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$, e na ilha da Madeira com 0,16 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ (Hernández-Léon, 1991; Caldeira et al., 2002). No entanto, em áreas de ressurgência ao redor de ilhas oceânicas a concentração da CSM pode alcançar valores na faixa das 10 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ na ilha da Madeira e 6,2 $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ no Arquipélago de Galápagos (Caldeira et al., 2002; Palacios, 2002).

Regiões oceânicas tropicais apresentam como regra uma baixa produtividade primária devido ao baixo fluxo vertical de nutrientes, como o nitrogênio, que devido à baixa disponibilidade limitam o crescimento do fitoplâncton na camada eufótica (Platt et al., 1989; Thurman e Burton, 2001; Longhurst e Pauly, 2007). No ASPSP, nutrientes como o nitrato, fosfato e silicato são encontrados em baixa concentração na superfície, mas apresentam um nítido aumento em profundidades mais elevadas ($> 50 \text{ m}$) (Macedo et al., 2009). A presença de uma termoclina permanente impede a ocorrência de ressurgências mais significativas, ocasionando uma baixa renovação de nutrientes entre as camadas mais profundas e superficiais, limitando a produção primária na superfície (Travassos et al., 1999; Macedo et al., 2009). Sendo assim, essa termoclina pode ser responsável pela homogeneidade encontrada na CSM dentro da área analisada ao redor do ASPSP, indicando que o pico máximo de produção primária provavelmente não se encontra na superfície. Em um recife ao sul do Mar de Corais, por exemplo, valores máximos de clorofila a foram registrados em profundidades entre 60 e 80 m em uma área de turbulência (Rissik et al., 1997). Já em uma montanha submarina no noroeste do Pacífico anomalias na temperatura e clorofila a foram detectadas apenas na camada mais profunda da zona eufótica (Genin e Boehlert, 1985).

Apesar de ser improvável que a zona eufótica ao redor do ASPSP seja atingida por ressurgências, foi observada uma elevação da isoterma em alguns pontos próximos as ilhotas, que podem ser provocados por instabilidades decorrentes de interações entre CSEn e SCE (Travassos et al., 1999). A elevação da isoterma também foi observada na bóia 0N35W do programa PIRATA e na bóia 0N23W, sendo que na bóia 0N23W a isoterma localiza-se entre 70 e 85 m de profundidade em quase toda a primeira metade do ano (Macedo-Soares, obs. pess.) antecedendo o período de pico da CSM. Esse padrão é recorrente em um ciclo anual para a região do Atlântico Equatorial e pode ocorrer também no ASPSP. Sendo assim, a variabilidade da TSM verificada no presente estudo pode estar relacionada com esse mecanismo de troca de camadas de água. Esse mecanismo pode ser resultado de eventos extremos frios que aumentam o transporte da CSEn e SCE, criando um cisalhamento entre essas correntes e promove um transporte vertical de águas frias (Góes et al., 2003). Shouten et al. (2005) verificaram um aumento no gradiente da altura da superfície do mar na região do Atlântico Equatorial, na segunda metade do ano, o que corresponde a um fortalecimento dos ventos alísios na região. A combinação destes ventos com a aproximação da termoclina da superfície pode ser um dos principais mecanismos responsáveis pelo controle do fluxo vertical de nutrientes que resultam em blooms de fitoplâncton na região do Atlântico Equatorial entre julho e agosto (Longhurst, 1993).

A densidade média de ovos foi similar, e em alguns meses foi superior, a registrada na costa Nordeste brasileira, Cadeia Norte do Brasil e ilhas oceânicas adjacentes (Mafalda Jr. et al., 2009). Por outro lado, a densidade média das larvas segue a tendência descrita para regiões oceânicas (Ekau et al., 1999; Rodríguez et al., 2001). A distribuição espacial das larvas de peixes sugere uma maior concentração próxima do ASPSP como é relatado para outras ilhas oceânicas (Leis, 1986; Rodríguez et al., 2001; Castro e Landaeta, 2002), principalmente em meses com maior CSM. Também foram registradas maiores concentrações de larvas como *Ceratoscopelus warmingii*, *Lampadena luminosa* e *Stegastes sanctipauli* do lado Oeste do arquipélago, lado sotavento. Na ilha Gran Canária foi observada a formação de um núcleo de água fria e de um vórtice anticiclônico no lado a sotavento da ilha. Nessa mesma área, altos valores de biomassa zooplantônica foram registrados, apesar dos baixos valores de clorofila a encontrados ao redor da ilha (Hernández-Léon, 1991). Na ilha da Madeira, dados *in situ* e imagens de satélite também evidenciaram núcleos de água fria e anéis de alta concentração de clorofila a no lado

sotavento da ilha (Caldeira et al., 2002).

Vórtices ciclônicos podem aumentar o suprimento de nutrientes como o nitrogênio na zona eufótica, que rapidamente são utilizados pelo fitoplâncton, aumentando a produção primária e a concentração de clorofila *a* nas camadas mais superficiais (Hamner & Hauri, 1981; Heywood et al., 1990; Caldeira et al., 2002). Apesar disso, baixos valores de clorofila *a* podem ser registrados ao redor de ilhas oceânicas (Dandonneau e Charpy, 1985; Hernández-Léon, 1991; Caldeira et al., 2002), como no presente estudo, e podem estar relacionados à ação de consumidores primários como o zooplâncton herbívoro (Dandonneau e Charpy, 1985; Hernández-Léon, 1991). No entanto, a concentração de zooplâncton herbívoro pode resultar em um aumento na concentração de possíveis predadores, como larvas de peixes, em áreas de formação de vórtices ao redor de ilhas oceânicas ou sobre o cume de montanhas submarinas (Genin, 2004). A ação destes vórtices pode promover a recirculação de ovos e larvas de peixes recifais, retornando-os ou retendo-os em seus recifes de origem (Boehlert et al., 1992; Heywood et al., 1996; Rodríguez et al., 2001). Na montanha submarina Cobb, por exemplo, a ação combinada de um vórtice ciclônico e uma coluna de Taylor estratificada constituem um dos principais mecanismos de retenção de larvas de espécies do gênero *Sebastes* na região acima do cume da montanha, podendo contribuir em processos de auto-recrutamento (Dower e Perry, 2001). No ASPSP, a alta concentração de larvas de peixes recifais como *S. sanctipauli* próxima da ilha, indicada pela correlação negativa com a distância das amostras na ACC, pode ser um indício da existência de mecanismos físicos de retenção e auto-recrutamento, que associados à estratégia de vida da espécie e ao grande isolamento geográfico do arquipélago, restringem a dispersão da espécie.

No caso das larvas de espécies mesopelágicas e batipelágicas que apresentam uma distribuição na coluna de água relacionada com a densidade das presas (Moser e Smith, 1993), foi encontrada uma correlação positiva com a CSM. Larvas de Myctophidae, por exemplo, alimentam-se principalmente de náuplios de copépodes e copepoditos (Sabatés e Saiz, 2000; Sassa e Kawaguchi, 2004), e uma vez que os copépodes desovam na coluna de água em reação a uma distribuição vertical da concentração de clorofila *a* (Nakata et al., 2004), as larvas de Myctophidae podem migrar na coluna de água alimentando-se em diferentes profundidades até a superfície. Sendo assim, a correlação entre a densidade de larvas de *L. luminosa* e *C. warmingii* com os maiores valores de CSM pode ser um indício de um efeito ilha local,

uma vez que estas espécies alimentam-se preferencialmente de crustáceos filtradores como copépodes, importantes componentes da comunidade zooplânctônica do ASPSP (Conley e Hopkins, 2004; Macedo-Soares et al., 2009).

A análise da TSM e da CSM ao redor do ASPSP não demonstrou a ocorrência de ressurgências mais evidentes com enriquecimento das camadas superficiais, como descrito em estudos anteriores (e.g. Travassos et al., 1999). A maior variabilidade dos valores de TSM na área do entorno do ASPSP em comparação a outra região do Atlântico Equatorial, pode ser um indício de um efeito ilha resultante da interação corrente-topografia. No entanto, a intensidade deste efeito na escala em que foi estudado parece não contribuir significativamente para o aumento da biomassa fitoplânctônica, uma vez que não foi observada a mesma variabilidade para a CSM. Sendo assim, não ficou evidente que interações entre as correntes e a topografia possam estar diretamente relacionadas com um efeito ilha no ASPSP. Estudos posteriores com maior frequência de dados *in situ* e em uma escala menor do que a permitida pelo sensoriamento remoto poderão ser realizados para a identificação do efeito ilha. A alta concentração do ictioplâncton e a associação de algumas espécies de Myctophidae com altos valores de CSM sugerem alguma influência do ASPSP na comunidade ictioplânctônica no seu entorno, caracterizando-o como um oásis em meio às águas empobrecidas do Atlântico Equatorial.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao CNPq (48.0040/2004-4) e CAPES pelo apoio financeiro, à CIRM (Comissão Interministerial para os Recursos do Mar) pelo suporte logístico, as tripulações dos barcos “Transmar I” e “Transmar II” e a todos os pesquisadores que realizaram as expedições no Arquipélago de São Pedro e São Paulo. Aos alunos da Universidade Federal de Santa Catarina que auxiliaram no processamento das amostras de plâncton, e a Oceanóloga Ana Paula Berger pelo auxílio inicial no processamento das imagens de satélite.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diferentes associações de larvas de peixes foram registradas nas águas ao redor do Arquipélago de São Pedro e São Paulo (ASPSP), de acordo com o padrão de distribuição do ictioplâncton ao redor de ilhas oceânicas estabelecido em estudos anteriores. A associação recifal foi determinada principalmente pela alta densidade e ocorrência da espécie recifal e endêmica *Stegastes sanctipauli*. Enquanto isso, a associação nerítica e a associação oceânica foram determinadas principalmente pela dominância e alta ocorrência de espécies mesopelágicas pertencentes à Myctophidae, como *Ceratoscopelus warmingii* e *Lampadena luminosa*, e epipelágicas como *Oxyporhamphus micropterus* (Exocoetidae), respectivamente.

Apesar da localização do ASPSP no Atlântico Equatorial, foram registradas mudanças temporais entre a dominância das espécies nas diferentes associações de larvas de peixes. Para algumas espécies recifais como *S. sanctipauli* picos na densidade foram registrados em meses com maiores valores de temperatura superficial do mar (TSM) e podem estar relacionados com o período reprodutivo dos adultos e com mecanismos que favorecem a retenção larval e o auto-recrutamento.

A concentração de plâncton ao redor de ilhas oceânicas ou sobre o cume de montanhas submarinas pode estar associada a mecanismos de retenção, como vórtices no lado sotavento da ilha, e ascensão de águas frias que disponibilizam nutrientes nas camadas mais superficiais da zona eufótica favorecendo o aumento da biomassa fitoplanctônica. Esses mecanismos são decorrentes de interações entre as correntes oceânicas e mudanças abruptas na topografia dos oceanos em decorrência da presença de ilhas ou montanhas submarinas. A simples presença de uma ilha também pode favorecer o crescimento da comunidade biológica no seu entorno.

A análise das alterações no gradiente da TSM e da clorofila na superfície do mar (CSM) ao redor do ASPSP não evidenciou a ocorrência de ressurgências mais significativa como já havia sido relatado em estudos pretéritos. No entanto, uma maior variabilidade da TSM no ASPSP foi encontrada quando comparada com outra área oceânica, sem ilha, no Atlântico Equatorial. Essa variabilidade pode ser resultante do aumento do cisalhamento entre as correntes que atuam na região do ASPSP, promovendo um movimento vertical das massas de água.

Os valores médios de CSM foram equivalentes aos valores registrados ao redor de ilhas oceânicas sem a ocorrência de

ressurgências. Estudos em ilhas oceânicas demonstram que picos de CSM não são encontrados necessariamente nas camadas mais superficiais da zona eufótica, podendo ocorrer em profundidades superiores aos 50 m. Sendo assim, a falta de dados *in situ* aliada ao uso exclusivo de dados obtido através de sensoriamento remoto, podem ter sido um limitante na determinação de áreas de maior concentração de CSM ao redor do ASPSP. A escala espacial permitida pelo sensoriamento remoto também pode ter contribuído para esse resultado, uma vez que o efeito ilha pode ser proporcional ao tamanho da ilha.

Os resultados não demonstraram a ocorrência de um efeito ilha decorrente da interação corrente-topografia, no entanto a alta concentração de ovos e larvas de peixes ao redor do ASPSP, bem como a associação de algumas espécies de Myctophidae com maiores concentrações de CSM, e a maior concentração de larvas como *S. sanctipauli* no lado sotavento do arquipélago, sugerem alguma influência do ASPSP sobre a comunidade ictioplanctônica estabelecida nas águas ao seu redor.

O Arquipélago de São Pedro e São Paulo oferece condições para reprodução e desenvolvimento larval de espécies de peixes residentes, como a endêmica, e classificada como vulnerável segundo a IUCN, *S. sanctipauli*, e também para as espécies migradoras pelágicas alvo da pesca comercial na região como *Thunnus albacares*. Estudos indicam que a espécie *Thunnus albacares* não utiliza o ASPSP para reprodução. No entanto, larvas dessa espécie foram encontradas no presente estudo, nos meses de maior concentração de adultos no arquipélago indicando que ao menos parte da população utiliza a área como sítio reprodutivo. Sendo assim, o Arquipélago de São Pedro e São Paulo pode ser considerado um oásis em meio às águas empobrecidas do Atlântico Equatorial.

REFERÊNCIAS

Introdução e Material e Métodos

ARAÚJO, M. & CINTRA, M. 2009. Modelagem matemática da circulação oceânica na região equatorial. In: HAZIN, F.H.V. (ed.), O Arquipélago de São Pedro e São Paulo: 10 anos de estação científica. SECIRM, Brasília. pp. 106-113.

BOEHLERT, G.W. & MUNDY, B.C. 1993. Ichthyoplankton assemblages at seamounts and oceanic islands. *Bulletin of Marine Science*, 53 (2): 336-361.

BOEHLERT, G.W. & MUNDY, B.C. 1994. Vertical and onshore-offshore distributional patterns of tuna larvae in relation to physical habitat features. *Marine Ecology Progress Series*, 107: 1-13.

BOLTOVSKOY, D. (ed.) 1981. Atlas del zooplancton del Atlántico Sudoccidental y métodos de trabajo con el zooplancton marino. INIDEP, Mar del Plata. 936 pp.

BONECKER, A.C.T. & CASTRO, M.S. 2006. Atlas de larvas de peixes da região central da Zona Econômica Exclusiva brasileira. Série Livros/Documentos Técnicos 19. Museu Nacional, UFRJ, Rio de Janeiro. 214 pp.

BOWEN, V.T. 1966. St Paul's on the subway. *Oceanus*, 12: 2-4.

BRIGGS, J.C. 1994. Species Diversity: Land and Sea Compared. *Systematic Biology*, 43 (1): 130-135.

CALDEIRA, R.M.A.; GROOM, S.; MILLER, P.; PILGRIM, D. & NEZLIN, N.P. 2002. Sea-surface signatures of the island mass effect phenomena around Madeira Island, Northeast Atlantic. *Remote Sensing of Environment*, 80: 336-360.

CHAMPALBERT, G.; PAGANO, M.; KOUAMÉ, B. & RIANDEY, V. 2005. Zooplankton spatial and temporal distribution in a tropical oceanic area off West Africa. *Hydrobiologia*, 548 (1): 251-265.

- CHUTE, A.S. & TURNER, J.T. 2001. Plankton studies in Buzzards Bay, Massachusetts, USA. V. Ichthyoplankton, 1987 to 1993. *Marine Ecology Progress Series*, 224: 45-54.
- CIECHOMSKI, J.D. 1981. Ictioplancton. In: BOLTOVSKOY, D. (ed.) Atlas del zooplancton del Atlántico Sudoccidental y métodos de trabajo con el zooplancton marino. INIDEP, Mar del Plata. pp. 829-860.
- CLARKE, K.R. & WARWICK, R.M. 2001. Change in marine communities: an approach to statistical analysis and interpretation. 2 ed., PRIMER-E, Plymouth. 176 p.
- CLARKE, K.R. & WARWICK, R.M. 2005. PRIMER-6 Computer Program. Natural Environmental Research Council, Plymouth.
- COLWELL, R.K. 2005. EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 7.5. User's Guide and application. Disponível em: <<http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates>>. Acesso em: 10/2010.
- COLWELL, R.K. & CODDINGTON, J.A. 1994. Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 345: 101-118.
- COLWELL, R.K.; MAO, C.X. & CHANG, J. 2004. Interpolating, extrapolating and comparing incidence-based species accumulation curves. *Ecology*, 85 (10): 2717-2727.
- DANDONNEAU, Y. & CHARPY, L. 1985. An empirical approach to the island mass effect in the south tropical Pacific based on sea surface chlorophyll concentration. *Deep-Sea Research Part A*, 32: 707-721.
- DOTY, M.S. & OGURI, M. 1956. The island-mass effect. *Journal du Conseil International pour l'Exploration de la Mer*, 22: 33-37.
- DOWER, J.F. & PERRY, R.I. 2001. High abundance of larval rockfish over Cobb Seamount, as isolated seamount in the Northeast Pacific. *Fisheries Oceanography*, 10 (3): 268-274.

DUFRENE, M. & LEGENDRE, P. 1997. Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs*, 67 (3): 345-366.

EDWARDS, A.J. & LUBBOCK, R. 1983a. The ecology of St Paul's Rocks (Equatorial Atlantic). *Journal of Zoology*, 200: 51-59.

EDWARDS, A.J. & LUBBOCK, R. 1983b. Marine zoogeography of St Paul's Rocks. *Journal of Biogeography*, 10: 65-72.

EKAU, W.; WESTHAUS-EKAU, P. & MEDEIROS, C. 1999. Large scale distribution of fish larvae in the continental shelf waters off North-East Brazil. *Archive of Fishery and Marine Research*, 47 (2-3): 183-200.

EVSEENKO, S.A. 2008. Early Life History Stages of Peacock Flounder *Bothus lunatus* (Bothidae) from the Western and Central Tropical Atlantic. *Journal of Ichthyology*, 48 (7): 515-524.

FAHAY, M.P. 1983. Guide to the early stages of marine fishes occurring in the western North Atlantic Ocean, Cape Hatteras to the southern Scotian Shelf. *Journal of the Northwest Atlantic Fisheries Society*, 4: 1-423.

FEITOZA, B.M.; ROCHA, L.A.; LUIZ-JÚNIOR, O.J.; FLOETER, S.R. & GASPARINI, J.L. 2003. Reef fishes of St Paul's Rocks: new records and notes on biology and zoogeography. *Aqua, Journal of Ichthyology and Aquatic Biology*, 7: 61-82.

FERREIRA, C.E.L.; LUIZ-JÚNIOR, O.J.; FEITOZA, B.M.; FERREIRA, C.G.W.; NOGUCHI, R.C.; GASPARINI, J.L.; JOYEUX, J.C.; GODOY, E.A.; RANGEL, C.A.; ROCHA, L.A.; FLOETER, S.R. & CARVALHO-FILHO, A. 2009. Peixes recifais: síntese do atual conhecimento. In: HAZIN, F.H.V. (ed.), O Arquipélago de São Pedro e São Paulo: 10 anos de estação científica. SECIRM, Brasília, pp. 244-250.

FIELD, J.G.; CLARKE, K.R. & WARWICK, R.M. 1982. A practical strategy for analyzing multispecies distribution patterns. *Marine Ecology Progress Series*, 8: 37-52.

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.; FALCÓN, J.M.; BOWEN, B.W. & BERNARDI, G. 2008. Atlantic reef fish biogeography and evolution. *Journal of Biogeography*, 35 (1): 22-47.

FRANCO, B.C. & MUELBERT, J.H. 2003. Distribuição e composição do ictioplâncton na quebra de plataforma do sul do Brasil. *Atlântica*, 25 (1): 75-86.

FRANCO, B.C.; MUELBERT, J.H. & MATA, M.M. 2006. Mesoscale physical processes and the distribution of ichthyoplankton on the southern Brazilian shelf break. *Fisheries Oceanography*, 15 (1): 37-43.

FREIRE, A.S.; PINHEIRO, M.A.A.; KARAM-SILVA, H. & TESCHIMA, M. M. 2010. Biology of *Grapsus grapsus* (Linnaeus, 1758) (Brachyura, Grapsidae) in the Saint Peter and Saint Paul Archipelago, Equatorial Atlantic Ocean. *Helgoland Marine Research*, DOI: 10.1007/s10152-010-0220-5.

FREITAS, D.M. & MUELBERT, J.H. 2004. Ichthyoplankton distribution and abundance off southeastern and southern Brazil. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 47 (4): 601-612.

GARCÍA DIAZ, X.F.; GUSMÃO, L.M.O. & LEITÃO, S.N. 2009. Biodiversidade e dinâmica espaço-temporal do zooplâncton. In: HAZIN, F.H.V. (ed.), O Arquipélago de São Pedro e São Paulo: 10 anos de estação científica. SECIRM, Brasília, pp. 138-147.

GENIN, A. 2004. Bio-physical coupling in the formation of zooplankton and fish aggregations over abrupt topographies. *Journal of Marine Systems*, 50: 3-20.

HAMNER, W.M. & HAURI, I.R. 1981. Effects of island mass: water flow and plankton pattern around a reef in the Great Barrier Reef lagoon, Australia. *Limnology and Oceanography*, 26 (6): 1084-1102.

HAZIN, F.; VIANA, D.; PINHEIRO, P.; FISHER, A.; MACENA, B.; VÉRAS, D.; OLIVEIRA, P.; CARVALHO, F.; VASKE JR., T. & BRANCO, I. 2009. Ecologia dos grande peixes pelágicos. In: HAZIN,

F.H.V. (ed.), O Arquipélago de São Pedro e São Paulo: 10 anos de estação científica. SECIRM, Brasília, pp. 226-233.

HERNÁNDEZ-LÉON, S. 1991. Accumulation of mesozooplankton in a wake area as a causative mechanism of the "island-mass effect". *Marine Biology*, 109: 141-147.

HEYWOOD, K.J.; BARTON, E.D. & SIMPSON, J.H. 1990. The effects of flow disturbance by an oceanic island. *Journal of Marine Research*, 48: 55-73.

HUNTE, W.; OXENFORD, H.A. & MAHON, R. 1995. Distribution and relative abundance of flyingfish (Exocoetidae) in the eastern Caribbean. II. Spawning substrata, eggs and larvae. *Marine Ecology Progress Series*, 117: 25-37.

KATSURAGAWA, M.; MUELBERT, J.H. & DIAS, J.F. 2006. O ictioplâncton na região entre o Cabo de São Tomé (RJ) e o Chuí (RS). In: ROSSI-WONGSCHOWSKI, C.L.D.B.; MADUREIRA, L.S.-P. (eds.), O ambiente oceanográfico da plataforma continental e do talude na região Sudeste-Sul do Brasil. EDUSP, São Paulo. pp. 359-446.

KOETTKER, A.G.; FREIRE, A.S. & SUMIDA, P.Y.G. 2010. Temporal, diel and spatial variability of decapod larvae from St Paul's Rocks, an equatorial oceanic island of Brazil. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 90: 1227-1239.

KOUBBI, P.; IBANEZ, F. & DUHAMEL, G. 1991. Environmental influences on spatio-temporal oceanic distribution of ichthyoplankton around the Kerguelen Islands (Southern Ocean). *Marine Ecology Progress Series*, 72: 225-238.

LEIS, J.M. & TRNSKI, T. 1989. The larvae of Indo-Pacific shorefishes. New South Wales University Press, Kensington. 370 pp.

LEPŠ, J. & ŠMILAUER, P. 2003. Multivariate analysis of ecological data using CANOCO. Cambridge University Press. 269 pp.

LESSA, R. & DUARTE-NETO, P. 2004. Age and growth of yellowfin tuna (*Thunnus albacares*) in the western equatorial Atlantic, using dorsal fin spines. *Fisheries Research*, 69 (2): 157-170.

LESSA, R.P.; MAFALDA JR., P.O.; ADVÍNCULA, R.; LUCCHESI, R.B.; BEZERRA JR., J.L.; VASKE JR., T. & HELLEBRANDT, D. 1999. Distribution and abundance of ichthyoneuston at seamounts and islands off north-eastern Brazil. *Archive of Fishery and Marine Research*, 47 (2-3): 239-252.

LOPES, R.M.; KATSURAGAWA, M.; DIAS, J.F.; MONTÚ, M.A.; MUELBERT, J.H.; GORRI, C. & BRANDINI, F.P. 2006. Zooplankton and ichthyoplankton distribution on the southern Brazilian shelf: an overview. *Scientia Marina*, 70 (2): 189-202.

MACEDO-SOARES, L.C.P.; FREIRE, A.S.; KOETTKER, A.G.; MENEZES, B.S.; FERNÁNDEZ, D.B. & BRANDÃO, M.C. 2009. Zooplâncton. In: HAZIN, F.H.V. (ed.), O Arquipélago de São Pedro e São Paulo: 10 anos de estação científica. SECIRM, Brasília, pp. 128-137.

MAGURRAN, A.E. 2004. Measuring Biological Diversity. Blackwell Publishing, Australia. 256 pp.

MAFALDA JR., P.O. & RUBÍN, J.P. 2006. Interannual variation of larval fish assemblages in the Gulf of Cádiz (SW Iberian Peninsula) in relation to summer oceanographic conditions. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 49 (2): 287-296.

MAFALDA JR., P.O.; SINQUE, C. & MUELBERT, J.H. 2006. Associação de larvas de peixes na conta norte da Bahia. *Atlântica*, 28 (1): 5-11.

MAFALDA JR., P.O.; SINQUE, C.; MUELBERT, J.H. & SOUZA, C.S. 2004. Distribuição e Abundância do Ictioplâncton na costa Norte da Bahia, Brasil. *Tropical Oceanography*, 32 (1): 69-88.

MAY, R.M. 1994. Biological diversity: differences between land and sea. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, 343: 105-111.

MORATO, T.; HOYLE, S.D.; ALLAIN, V. & NICOL, S.J. 2010. Seamounts are hotspots of pelagic biodiversity in the open ocean.

Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 107 (21): 9707-9711.

MOSER, H.G. (ed.) 1996. The early stages of fishes in the California Current region. *CalCOFI Atlas*, 33: 1-1504.

MOSER, H.G.; RICHARDS, W.J.; COHEN, D.M.; FAHAY, M.P.; KENDALL JR.; A.W. & RICHARDSON, S.L (eds.) 1984. Ontogeny and systematics of fishes. American Society of Ichthyologists and Herpetologists, Special Publication Number 1, Gainesville, Florida. 760 pp.

MURUA, H. & SABORIDO-REY, F. 2003. Female Reproductive Strategies of Marine Fish Species of the North Atlantic. *Journal of the Northwest Atlantic Fisheries Society*, 33: 23-31.

NEIRA, F.J.; MISKIEWICZ, A.G. & TRNSKI, T. 1998. Larvae of temperate Australian fishes: laboratory guide for larval fish identification. University of Western Australian Press, Nedlands. 474 pp.

NONAKA, R.H.; MATSUURA, Y. & SUZUKI, K. 2000. Seasonal variation in larval fish assemblages in relation to oceanographic conditions in the Abrolhos Bank region off eastern Brazil. *Fishery Bulletin*, 98 (4): 767-784.

OLIVAR, M.P. & BECKLEY, L.E. 1997. Larval development of *Lampanyctus* species (Pisces: Myctophidae) from the southwestern Indian Ocean, and species groups based on larval characters. *Bulletin of Marine Science*, 60 (1): 47-65.

OLIVAR, M.P. & FORTUÑO, J.M. 1991. Guide to the ichthyoplankton of the southeast Atlantic (Benguela Current region). *Scientia Marina*, 55: 1-383.

OLIVAR, M.P.; MOSER, H.G. & BECKLEY, L.E. 1999. Lanternfish larvae from the Agulhas current (SW Indian Ocean). *Scientia Marina*, 63 (2): 101-120.

O'REILLY, J.E. & 24 Co-autores. 2000. SeaWiFS postlaunch calibration and validation analyses, Part 3. *NASA Tech. Memo*. 2000-

206892, Vol. 11, S.B. Hooker and E.R. Firestone, Eds., NASA Goddard Space Flight Center. 49 pp.

PALACIOS, D.M. 2002. Factors influencing the island-mass effect of the Galapagos Archipelago. *Geophysical Research Letters*, 29 (23): 2134-2137.

PERISSINOTTO, R.; LUTJEHARMS, J.R.E. & VAN BALLEGOOYEN, R.C. 2000. Biological-physical interactions and pelagic productivity at the Prince Edward Islands, Southern Ocean. *Journal of Marine Systems*, 24: 327-341.

PERISSINOTO, R. & RAE, C.M.D. 1990. Occurrence of anticyclonic eddies on the Prince Edwards Plateau (Southern Ocean): effects on phytoplankton biomass and production. *Deep Sea Research Part A*, 37: 777-793.

PIANKA, E.R. 1966. Latitudinal gradients in species diversity: a review of concepts. *The American Naturalist*, 100: 33-46.

PINTO, N.C.T.; MAFALDA, JR., P.; MEDEIROS, C.; MOURA, G. & SOUZA, C.S. 2002. Distribuição de larvas de *Katsuwonus pelamis* (Pisces, Scombridae), em larga escala, na Zona Econômica Exclusiva do Nordeste do Brasil. *Tropical Oceanography*, 30 (2): 119-131.

RICHARDS, W.J. 2005. Early stages of Atlantic fishes. An identification guide for the Western Central North Atlantic. CRC Press, Boca Raton, Florida.

RISSIK, D.; SUTHERS, I.M. & TAGGART, C.T. 1997. Enhanced zooplankton abundance in the lee of an isolated reef in the south Coral Sea: the role of flow disturbance. *Journal of Plankton Research*, 19 (9): 1347-1368.

RODEN, G.I. 1991. Effects of the Hawaii Ridge upon oceanic flow and thermohaline structure. *Deep-Sea Research Part A*, 38: S623-S654.

SICHEL, S.E.; ESPERANÇA, S.; MOTOKI, A.; MAIA, M.; HORAN, M.F.; SZATMARI, P.; ALVES, E.C. & MELLO, S.L.M. 2008. Geophysical and geochemical evidence for cold upper mantle beneath

the equatorial Atlantic Ocean. *Brazilian Journal of Geophysics*, 26 (1): 69-86.

SMITH, H.G.; HARDY, P.; LEITH, I.M.; SPAULL, V.W. & TWELVES, E.L. 1974. A biological survey of St. Paul's Rocks in the equatorial Atlantic Ocean. *Biological Journal of the Linnean Society*, 6: 89-96.

SOARES, J.; OLIVEIRA, A.P.; SKIELKA, U.T. & SERVAIN, J. 2009. O ar. In: HAZIN, F.H.V. (ed.), O Arquipélago de São Pedro e São Paulo: 10 anos de estação científica. SECIRM, Brasília, pp. 38-44.

STRAMMA, L. & ENGLAND, M. 1999. On the water masses and mean circulation of the South Atlantic Ocean. *Journal of Geophysical Research*, 104 (C9): 20863-20883.

TER BRAAK, C.J.F. 1986. Canonical Correspondence Analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology*, 67 (5): 1167-1179.

TRAVASSOS, P.; HAZIN, F.H.V.; ZAGAGLIA, J.R.; ADVÍNCULA, R. & SCHÖBER, J. 1999. Thermohaline structure around seamounts and islands off North-Eastern Brazil. *Archive of Fishery and Marine Research*, 47 (2-3): 211-222.

VASKE JR., T.; HAZIN, F.H.V. & LESSA, R.P. 2006a. Pesca e hábitos alimentares do peixe-rei, *Elagatis bipinnulata* (Quoy & Gaimard, 1825) (Pisces: Carangidae) no Arquipélago de São Pedro e São Paulo, Brasil. *Arquivos de Ciências do Mar*, 39: 61-65.

VASKE JR., T.; LESSA, R.P.; NÓBREGA, M.; MONTEALEGRE-QUIJANO, S.; MARCANTE SANTANA, F. & BEZERRA JR., J.L. 2005. A checklist of fishes from Saint Peter and Saint Paul Archipelago, Brazil. *Journal of Applied Ichthyology*, 21 (1): 75-79.

VASKE JR., T.; LESSA, R.P.T.; RIBEIRO, A.C.B.; NÓBREGA, M.F.; PEREIRA, A.A. & ANDRADE, C.D.P. 2006b. A pesca comercial de peixes pelágicos no Arquipélago de São Pedro e São Paulo, Brasil. *Tropical Oceanography*, 34 (1): 31-41.

VASKE JR., T.; VOOREN, C.M. & LESSA, R.P. 2003. Feeding strategy of yellowfin tuna (*Thunnus albacores*), and wahoo (*Acanthocybium solandri*) in the Saint Peter and Saint Paul Archipelago, Brazil. *Boletim do Instituto de Pesca*, 29 (1): 173-181.

VICTOR B.C. 2010. A photographic guide to the larvae of coral reef fishes. Disponível em: <<http://www.coralreeffish.com/larvae.html>>. Acesso em: 04/2010.

WOLANSKI, E. & HAMNER, W.M. 1988. Topographically controlled fronts in the ocean and their biological influence. *Science*, 241: 177-181.

WOLANSKI, E.; RICHMOND, R.H.; DAVIS, G.; DELEERSNIJDER, E. & LEBEN, R.R. 2003. Eddies around Guam, an island in the Marina Islands group. *Continental Shelf Research*, 23 (10): 991-1003.

ZAR, J.H. 1996. Biostatistical analysis. 3 ed. Prentice Hall, Nova Jersey. 662 pp.

REFERÊNCIAS

Capítulo 1

Amaral FMD, Rocha CMC, Farrapeira CMR, Alves MS, Pinto SL, Lira SMA, Lima KKM, Ramos CAC, Santos ECL, Moura JR, Oliveira DAS, Verçosa MM, Melo AVOM, Oliveira APA, Gonçalves EF (2009) Distribuição espacial de invertebrados bentônicos infralitorais. In: Hazin FHV (ed.), O Arquipélago de São Pedro e São Paulo: 10 anos de Estação Científica. SECIRM, Brasília, p 148–156

Araujo M, Cintra M (2009) Modelagem matemática da circulação oceânica na região equatorial. In: Hazin FHV (ed.), O Arquipélago de São Pedro e São Paulo: 10 anos de Estação Científica. SECIRM, Brasília, p 106–113

Bessa E, Dias JF, Souza AM (2007) Rare data on a rocky shore fish reproductive biology: sex ratio, length of first maturation and spawning period of *Abudefduf saxatilis* (Linnaeus, 1758) with notes on *Stegastes variabilis* spawning period (Perciformes: Pomacentridae) in São Paulo, Brazil. *Braz. j Oceanogr.* 55:199–206

Boehlert GW, Mundy BC (1993) Ichthyoplankton assemblages at seamounts and oceanic islands. *Bull Mar Sci* 53:336–361

Boehlert GW, Mundy BC (1994) Vertical and onshore-offshore distributional patterns of tuna larvae in relation to physical habitat features. *Mar Ecol Prog Ser* 107:1–13

Boehlert GW, Watson W, Sun LC (1992) Horizontal and vertical distributions of larval fishes around an isolated island in the tropical Pacific. *Deep-Sea Res Part A* 39:439-466

Boltovskoy D (ed.) (1981) Atlas del zooplancton del Atlántico Sudoccidental y métodos de trabajo con el zooplancton marino. Publicación especial del INIDEP, Mar del Plata

Bonecker ACT, Castro MS (2006) Atlas de larvas de peixes da região central da Zona Econômica Exclusiva brasileira. Série Livros/Documentos Técnicos 19, Museu Nacional, UFRJ, Brasil

Bowen VT (1966) St Paul's on the subway. *Oceanus* 12:2–4

- Briggs JC (1960) Fishes of Worldwide (Circumtropical) Distribution. *Copeia* 3:171–180
- Briggs JC (1994) Species Diversity: Land and Sea Compared. *Syst. Biol.* 43:130–135
- Castro LR, Landaeta MF (2002) Patrones de distribución y acumulación larval en torno de las islas oceánicas: islas de Pascua y Salas y Gómez. *Cien Tecnol Mar (CONA)* 25:131–145
- Choat JH, Doherty PJ, Kerrigan BA, Leis JM (1993) A comparison of towed nets, purse seine, and light-aggregation devices for sampling larvae and pelagic juveniles of coral reef fishes. *Fish Bull* 91:195–209
- Clarke KR, Warwick RM (2001) *Change in Marine Communities: An Approach to Statistical Analysis and Interpretation*. 2 ed. PRIMER-E, Plymouth
- Clarke KR, Warwick RM (2005) *PRIMER-6 Computer Program*. Plymouth: Natural Environmental Research Council
- Colwell RK (2005) EstimateS: Statistical estimation of species richness and shared species from samples. Version 7.5. User's Guide and application. Accessed Jan.2010 <http://viceroy.eeb.uconn.edu/estimates>
- Colwell RK, Coddington JA (1994) Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation. *Philos Trans R Soc Lond B* 345:101–118
- Colwell RK, Mao CX, Chang J (2004) Interpolating, extrapolating and comparing incidence-based species accumulation curves. *Ecology* 85: 2717–2727
- Diekmann R, Nellen W, Piatkowski U (2006) A multivariate analysis of larval fish and paralarval cephalopod assemblages at Great Meteor Seamount. *Deep-Sea Res Part I* 53:1635–1657
- Dower JF, Mackas DL (1996) “Seamounts effects” in the zooplankton community near Cobb Seamount. *Deep-Sea Res Part I* 43:837–858

Dower JF, Perry RI (2001) High abundance of larval rockfish over Cobb Seamount, as isolated seamount in the Northeast Pacific. *Fish Oceanogr* 10:268–274

Dufrene M, Legendre P (1997) Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecol Monogr* 67:345–366

Edwards AJ, Lubbock R (1983a) The ecology of St Paul's Rocks (Equatorial Atlantic). *J Zool* 200:51–59

Edwards AJ, Lubbock R (1983b) Marine zoogeography of St Paul's Rocks. *J Biogeogr* 10: 65–72

Ekau W, Westhaus-Ekau P, Medeiros C (1999) Large scale distribution of fish larvae in the continental shelf waters off North-East Brazil. *Arch Fish Mar Res* 47:183–200

Evseenko SA (2008) Early Life History Stages of Peacock Flounder *Bothus lunatus* (Bothidae) from the Western and Central Tropical Atlantic. *J Ichthyol* 48:515–524

Fahay MP (1983) Guide to the early stages of marine fishes occurring in the western North Atlantic Ocean, Cape Hatteras to the southern Scotian Shelf. *J. Northwest Atl. Fish. Sci.* 4:1–423

Feitoza BM, Rocha LA, Luiz-Júnior OJ, Floeter SR, Gasparini JL (2003) Reef fishes of St Paul's Rocks: new records and notes on biology and zoogeography. *Aqua* 7:61–82

Ferreira CEL, Luiz-Júnior OJ, Feitoza BM, Ferreira CGW, Noguchi RC, Gasparini JL, Joyeux JC, Godoy EA, Rangel CA, Rocha LA, Floeter SR, Carvalho-Filho A (2009) Peixes Recifais: síntese do atual conhecimento. In: Hazin FHV (ed.) *O Arquipélago de São Pedro e São Paulo: 10 anos de Estação Científica*. SECIRM, Brasília, p 244–250

Field JG, Clarke KR, Warwick RM (1982) A practical strategy for analyzing multispecies distribution patterns. *Mar Ecol Prog Ser* 8:37–52

- Floeter SR, Gasparini JL (2000) The southwestern Atlantic reef fish fauna: composition and zoogeographic patterns. *J Fish Biol* 56:1099–1114
- Floeter SR, Rocha LA, Robertson DR, Joyeux JC, Smith-Vaniz WF, Wirtz P, Edwards A.J, Barreiros JP, Ferreira CEL, Gasparini JL, Brito A, Falcón JM, Bowen BW, Bernardi G (2008) Atlantic reef fish biogeography and evolution. *J Biogeogr* 35:22–47
- Franco-Gordo C, Godínez-Domínguez E, Suárez-Morales E (2002) Larval fish assemblages in waters off central Pacific coast of Mexico. *J Plankton Res* 24:775–784
- Freire AS, Pinheiro MAA, Karam-Silva H, Teschima MM (2010) Biology of *Grapsus grapsus* (Linnaeus, 1758) (Brachyura, Grapsidae) in the Saint Peter and Saint Paul Archipelago, Equatorial Atlantic Ocean. *Helgol Mar Res* DOI: 10.1007/s10152-010-0220-5 on line first.
- Freitas DM, Muelbert JH (2004) Ichthyoplankton distribution and abundance off southeastern and southern Brazil. *Braz. arch. biol. technol.* 47:601–612
- Genin A (2004). Bio-physical coupling in the formation of zooplankton and fish aggregations over abrupt topographies. *J Mar Syst* 50:3–20
- Góes M, Campos CN, Taschetto AS, Wainer I (2003) Relação entre o modo equatorial e a tendência de aquecimento da Bacia Atlântica Tropical. *Atlântica* 25:21–25
- Gray CA, Miskiewicz AG (2000) Larval fish assemblages in South-east Australian coastal waters: seasonal and spatial structure. *Est Coast Shelf Sci* 50:549–570
- Hazin F, Viana D, Pinheiro P, Fisher A, Macena B, Vêras D, Oliveira P, Carvalho F, Vaske Jr. T, Branco I (2009) Ecologia dos grandes peixes pelágicos. In: Hazin FHV (ed.) *O Arquipélago de São Pedro e São Paulo: 10 anos de Estação Científica*. SECIRM, Brasília, p 226–233
- Hernández-Miranda E, Palma AT, Ojeda FP (2003) Larval fish assemblages in nearshore coastal Waters off central Chile: temporal and spatial patterns. *Est Coast Shelf Sci* 56:1075–1092

Hunte W, Oxenford HA, Mahon R (1995) Distribution and relative abundance of flyingfish (Exocoetidae) in the eastern Caribbean. II. Spawning substrata, eggs and larvae. *Mar Ecol Prog Ser* 117:25–37

Karino K, Nakazono A (1993) Reproductive behavior of the territorial herbivore *Stegastes nigricans* (Pisces: Pomacentridae) in relation to colony formation. *J Ethol* 11:99–110

Knapp RA, Warner RR (1991) Male parental care and female choice in the bicolor damselfish, *Stegastes partitus*: bigger is not always better. *Anim Behav* 41:747–756

Koettker AG, Freire AS, Sumida PYG (2010) Temporal, diel and spatial variability of decapod larvae from St Paul's Rocks, an equatorial oceanic island of Brazil. *J Mar Biol Ass U K*, 90:1227–1239

Koubbi P (1993) Influence of the frontal zones on ichthyoplankton and mesopelagic fish assemblages in the Crozet Basin (Indian sector of the Southern Ocean). *Polar Biol* 13:557–564

Koubbi P, Ibanez F, Duhamel G (1991) Environmental influences on spatio-temporal oceanic distribution of ichthyoplankton around the Kerguelen Islands (Southern Ocean). *Mar Ecol Prog Ser* 72:225–238

Leis JM (1982) Nearshore distributional gradients of larval fish (15 taxa) and planktonic crustaceans (6 taxa) in Hawaii. *Mar Biol* 72:89–97

Leis JM (1986) Vertical and horizontal distribution of fish larvae near coral reefs at Lizard Island, Great Barrier Reef. *Mar Biol* 90:505–516

Leis JM (1993) Larval fish assemblages near Indo-Pacific coral reefs. *Bull Mar Sci* 53:362–392

Leis JM, Miller JM (1976) Offshore distributional patterns of hawaiian fish larvae. *Mar Biol* 36:359–367

Leis JM, Trnski T (1989) The larvae of Indo-Pacific shorefishes. New South Wales University Press, Kensington

- Leis JM, Carson-Ewart BM (2002) *In situ* settlement behaviour of damselfish (Pomacentridae) larvae. *J Fish Biol* 61:325–346
- Lessa RP, Mafalda Jr. PO, Advíncula R, Lucchesi RB, Bezerra Jr. JL, Vaske Jr. T, Hellebrandt D (1999) Distribution and abundance of ichthyoneuston at seamounts and islands off north-eastern Brazil. *Arch Fish Mar Res* 47:239–252
- Loeb VJ, Kellermann AK, Koubbi P, North AW, White MG (1993) Antarctic larval fish assemblages: a review. *Bull Mar Sci* 53:416–449
- Longhurst A (1985) Relationship between diversity and the vertical structure of the upper ocean. *Deep-Sea Res Part A* 32:1535–1570
- Longhurst A (1993) Seasonal cooling and blooming in tropical oceans. *Deep-Sea Res Part I* 40:2145–2165
- Macedo-Soares LCP, Freire AS, Koettker AG, Menezes BS, Fernández DB, Brandão MC (2009a) Zooplâncton. In: Hazin FHV (ed.) *O Arquipélago de São Pedro e São Paulo: 10 anos de Estação Científica. SECIRM, Brasília*, p 128–137
- Mafalda Jr. PO, Sinque C, Muelbert JH (2006) Associação de larvas de peixes na costa norte da Bahia. *Atlântica* 28:5–11
- Magurran AE (2004) *Measuring Biological Diversity*. Blackwell Publishing, Australia
- May RM (1994) Biological diversity: differences between land and sea. *Philos Trans R Soc Lond B* 343:105–111
- Mendes LF (2009) Os peixes-macaco. In: Hazin FHV (ed.) *O Arquipélago de São Pedro e São Paulo: 10 anos de Estação Científica. SECIRM, Brasília*, p 212–217
- Morato T, Hoyle SD, Allain V, Nicol SJ (2010) Seamounts are hotspots of pelagic biodiversity in the open ocean. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 107:9707–9711
- Moser HG (ed.) (1996) The early stages of fishes in the California Current region. *CalCOFI Atlas* 33:1–1504

Moser HG, Smith PE (1993) Larval fish assemblages of the California Current Region and their horizontal and vertical distribution across a front. *Bull Mar Sci* 53:645–691

Moser HG, Richards WJ, Cohen DM, Fahay MP, Kendall Jr. AW, Richardson SL (eds) (1984) *Ontogeny and Systematics of Fishes*. American Society of Ichthyologists and Herpetologists, Special Publication Number 1, Gainesville, Florida.

Moyano M, Hernández-Léon S (2011) Intra- and interannual variability in the larval fish assemblage off Gran Canaria (Canary Islands) over 2005-2007. *Mar Biol* 158:257–273

Moyano M, Rodríguez JM, Hernández-Léon S (2009) Larval fish abundance and distribution during the late winter Bloom off Gran Canaria Island, Canary Islands. *Fish Oceanogr* 18:51–61

Muhling BA, Beckley LE (2007) Seasonal variation in horizontal and vertical structure of larval fish assemblages off south-western Australia, with implications for larval transport. *J Plankton Res* 29:967–983

Muhling BA, Beckley LE, Koslow JA, Pearce AF (2008) Larval fish assemblages and water mass structure off the oligotrophic south-western Australian coast. *Fish Oceanogr* 17:16–31

Nakata K, Nakano H, Kikuchi H (1994) Relationship between egg productivity and RNA/DNA ratio in *Paracalanus* sp. in the frontal waters of the Kurshio. *Mar Biol* 119:591–596

Neira FJ, Miskiewicz AG, Trnski T (1998) *Larvae of temperate Australian fishes: laboratory guide for larval fish identification*. University of Western Australian Press, Nedlands

Nelson JS (2006) *Fishes of the World*. 4 ed, John Wiley & Sons, New Jersey

Nonaka RH, Matsuura Y, Suzuki K (2000) Seasonal variation in larval fish assemblages in relation to oceanographic conditions in the Abrolhos Bank region off eastern Brazil. *Fish Bull* 98:767–784

- Olivar MP, Beckley LE (1997) Larval development of *Lampanyctus* species (Pisces: Myctophidae) from the southwestern Indian Ocean, and species groups based on larval characters. *Bull Mar Sci* 60:47–65
- Olivar MP, Fortuño JM (1991) Guide to the ichthyoplankton of the southeast Atlantic (Benguela Current region). *Sci Mar* 55:1–383
- Olivar MP, Shelton PA (1993) Larval fish assemblages of the Benguela Current. *Bull Mar Sci* 53:450–474
- Olivar MP, Moser HG, Beckley LE (1999) Lanternfish larvae from the Agulhas current (SW Indian Ocean). *Sci Mar* 63:101–120
- Pérez V, Fernández E, Marañón E, Serret P, García-Soto C (2005) Seasonal and interannual variability of chlorophyll *a* and primary production in the Equatorial Atlantic: *in situ* and remote sensing observations. *J Plankton Res* 27:189–197
- Pianka ER (1966) Latitudinal gradients in species diversity: a review of concepts. *Am Nat* 100:33–46
- Richards WJ (2005) *Early Stages of Atlantic Fishes. An Identification Guide for the Western Central North Atlantic*. CRC Press, Boca Raton, Florida
- Richards WJ, MacGowan MF, Leming T, Lamkin JT, Kelly S (1993) Larval fish assemblages at the loop current boundary in the Gulf of Mexico. *Bull Mar Sci* 53:475–537
- Roberts C (1996) *Stegastes sanctipauli*. In: IUCN 2010. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2010.4. Accessed 10 Mar 2011. www.iucnredlist.org
- Rodríguez JM, Hernández-Léon S, Barton ED (1999) Mesoscale distribution of fish larvae in relation to an upwelling filament of Northwest Africa. *Deep-Sea Res Part I* 46:1969–1984
- Rodríguez JM, Braun JG, García A (2000) Spatial variability of the mesozooplankton biomass and ichthyoplankton in the Canary region, in autumn 1991. *J Plankton Res* 22:1377–1391

Rodríguez JM, Barton ED, Eve L, Hernández-Léon S (2001) Mesozooplankton and ichthyoplankton distribution around Gran Canaria, an oceanic island in the NE Atlantic. *Deep-Sea Res Part I* 48:2161–2183

Sabatés A (2004) Diel vertical distribution of fish larvae during the winter-mixing period in the Northwestern Mediterranean. *ICES J Mar Sci* 61:1243–1252

Sabatés A, Saiz E (2000) Intra- and interspecific variability in prey size and niche breadth of myctophiform fish larvae. *Mar Ecol Prog Ser* 201:262–271

Sanvicente-Añorve L, Flores-Coto C, Sánchez-Velasco L (1998) Spatial and seasonal patterns of larval fish assemblages in the southern Gulf of Mexico. *Bull Mar Sci* 62:17–30

Sassa C, Kawaguchi K (2004) Larval feeding habits of *Diaphus garmani* and *Myctophum asperum* (Pisces: Myctophidae) in the transition region of the western North Pacific. *Mar Ecol Prog Ser* 278:279–290

Sassa C, Kawaguchi K, Hirota Y, Ishida M (2004) Distribution patterns of larval myctophid fish assemblages in the subtropical–tropical waters of the western North Pacific. *Fish Oceanogr* 13:267–282

Sichel SE, Esperança S, Motoki A, Maia M, Horan MF, Szatmari P, Alves EC, Mello SLM (2008) Geophysical and geochemical evidence for cold upper mantle beneath the equatorial Atlantic Ocean. *Rev. Bras. Geof.* 26:69–86

Smith HG, Hardy P, Leith IM, Spaul VW, Twelves EL (1974) A biological survey of St. Paul's Rocks in the equatorial Atlantic Ocean. *Biol J Linn Soc* 6:89–96

Soares J, Oliveira AP, Skielka UT, Servain J (2009) O ar. In: Hazin FHV (ed.) *O Arquipélago de São Pedro e São Paulo: 10 anos de Estação Científica. SECIRM, Brasília*, p 38–44

- Sobrinho-Gonçalves L, Cardigos F (2006) Fish larvae around a seamount with shallow hydrothermal vents from the Azores. *Thalassas* 22:19–28
- Souza LLG, Chellappa S, Gurgel HCB (2007) Biologia reprodutiva do peixe donzela, *Stegastes fuscus* Cuvier, em arrecifes rochosos no nordeste do Brasil. *Rev. Bras. Zool* 24:419–425
- Stramma L, England M (1999) On the water masses and mean circulation of the South Atlantic Ocean. *J Geophys Res* 104:20863–20883
- Travassos P, Hazin FHV, Zagaglia JR, Advíncula R, Schober J (1999) Thermohaline structure around seamounts and islands off North-Eastern Brazil. *Arch Fish Mar Res* 47:211–222
- Vaske Jr. T, Vooren CM, Lessa RP (2003) Feeding strategy of Yellowfin tuna (*Thunnus albacores*), and Wahoo (*Acanthocybium solandri*) in the Saint Peter and Saint Paul Archipelago, Brazil. *Boletim do Instituto de Pesca* 29:173–181
- Vaske Jr. T, Lessa RP, Nóbrega M, Montealegre-Quijano S, Marcante Santana F, Bezerra Jr. JL (2005) A checklist of fishes from Saint Peter and Saint Paul Archipelago, Brazil. *J Appl Ichthyol* 21:75–79
- Victor BC (1987) Growth, dispersal, and identification of planktonic labrid and pomacentrid reef-fish larvae in the eastern Pacific Ocean. *Mar Biol* 95:145–152
- Victor BC (2010) A photographic guide to the larvae of coral reef fishes. Accessed 14 Apr. www.coralreeffish.com/larvae.html

REFERÊNCIAS

Capítulo 2

Araujo, M., Cintra, M., 2009. Modelagem matemática da circulação oceânica na região equatorial. In: Hazin, F.H.V. (Ed.), O Arquipélago de São Pedro e São Paulo: 10 anos de Estação Científica. SECIRM, Brasília, pp. 106–113.

Berger, A.P., Fujita, C.C.Y.O., Mata, M.M., Garcia, C.A.E., Garcia, V.M.T., 2009. Variabilidade espaço-temporal da clorofila-a e a relação com processos oceanográficos no Oceano Atlântico Equatorial. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2009, Natal - RN. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, INPE, São José dos Campos, 1, 6401–6408.

Boehlert, G.W., Mundy, B.C., 1994. Vertical and onshore-offshore distributional patterns of tuna larvae in relation to physical habitat features. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 107, 1–13.

Boehlert, G.W., Watson, W., Sun, L.C., 1992. Horizontal and vertical distributions of larval fishes around an isolated oceanic island in the tropical Pacific. *Deep-Sea Res. Part A* 39, 439–466.

Bonecker, A.C.T., Castro, M.S., 2006. Atlas de larvas de peixes da região central da Zona Econômica Exclusiva brasileira. Série Livros/Documentos Técnicos 19. Museu Nacional, UFRJ, Rio de Janeiro, 214 pp.

Boyce, D.G., Lewis, M.R., Worm, B., 2010. Global phytoplankton decline over the past century. *Nature* 466, 591–596.

Caldeira, R.M.A., Groom, S., Miller, P., Pilgrim, D., Nezlin, N.P., 2002. Sea-surface signatures of the island mass effect phenomena around Madeira Island, Northeast Atlantic. *Remote Sens. Environ.* 80, 336–360.

Castro, L.R., Landaeta, M.F., 2002. Patrones de distribución y acumulación larval en torno de las islas oceánicas: islas de Pascua y Salas y Gómez. *Cienc. Tecnol. Mar (CONA)* 25, 131–145.

Ciechomski, J.D., 1981. Ictioplankton. In: Boltovskoy, D. (Ed.), Atlas del zooplankton del Atlántico Sudoccidental y métodos de trabajo con el

zooplankton marino. Publicación especial del INIDEP, Mar del Plata, pp. 829–860.

Clarke, T.A., 1991. Larvae of nearshore fishes in oceanic waters near Oahu, Hawaii. NOAA Tech. Rep. 101, 1–19.

Conley, W.J., Hopkins, T.L., 2004. Feeding ecology of lanternfish (Pisces: Myctophidae) larvae: prey preferences as a reflection of morphology. *Bull. Mar. Sci.* 75, 361–379.

Coutis, P.F., Middleton, J.H., 1999. Flow-topography interaction in the vicinity of an isolated, deep ocean island. *Deep-Sea Res. Part I* 46, 1633–1652.

Dandonneau, Y., Charpy, L., 1985. An empirical approach to the island mass effect in the south tropical Pacific based on sea surface chlorophyll concentration. *Deep-Sea Res. Part A* 32, 707–721.

Diekmann, R., Nellen, W., Piatkowski, U., 2006. A multivariate analysis of larval fish and paralarval cephalopod assemblages at Great Meteor Seamount. *Deep-Sea Res. Part I* 53, 1635–1657.

Doty, M.S., Oguri, M., 1956. The island-mass effect. *J. Cons. Perm. Int. Explor. Mer* 22, 33–37.

Dower, J.F., Mackas, D.L., 1996. “Seamounts effects” in the zooplankton community near Cobb Seamount. *Deep-Sea Res. Part I* 43, 837–858.

Dower, J.F., Perry, R.I., 2001. High abundance of larval rockfish over Cobb Seamount, as isolated seamount in the Northeast Pacific. *Fish. Oceanogr.* 10, 268–274.

Edwards, A.J., Lubbock, R., 1983. Marine zoogeography of St Paul’s Rocks. *J. Biogeogr.* 10, 65–72.

Ekau, W., Westhaus-Ekau, P., Medeiros, C., 1999. Large scale distribution of fish larvae in the continental shelf waters off North-East Brazil. *Arch. Fish. Mar. Res.* 47, 183–200.

Fahay, M. P., 1983. Guide to the early stages of marine fishes occurring in the western North Atlantic Ocean, Cape Hatteras to the southern Scotian Shelf. *J. Northwest Atl. Fish. Sci.* 4, 1–423.

Feitoza, B.M., Rocha, L.A., Luiz-Júnior, O.J., Floeter, S.R., Gasparini, J.L., 2003. Reef fishes of St Paul's Rocks: new records and notes on biology and zoogeography. *Aqua* 7, 61–82.

Field, J.G., Clarke, K.R., Warwick, R.M., 1982. A practical strategy for analyzing multispecies distribution patterns. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 8, 37–52.

Genin, A., 2004. Bio-physical coupling in the formation of zooplankton and fish aggregations over abrupt topographies. *J. Mar. Syst.* 50, 3–20.

Genin, A., Boehlert, G.W., 1985. Dynamics of temperature and chlorophyll structures above a seamount: an oceanic experiment. *J. Mar. Res.* 43, 907–924.

Góes, M., Campos, C.N., Taschetto, A.S., Wainer, I., 2003. Relação entre o modo equatorial e a tendência de aquecimento da Bacia Atlântica Tropical. *Atlântica* 25, 21–25.

Hamner, W.M., Hauri, I.R., 1981. Effects of island mass: Water flow and plankton pattern around a reef in the Great Barrier Reef lagoon, Australia. *Limnol. Oceanogr.* 26, 1084–1102.

Hernández-Léon, S., 1991. Accumulation of mesozooplankton in a wake area as a causative mechanism of the “island-mass effect”. *Mar. Biol.* 109, 141–147.

Hernández-León, S., Almeida, C., Gómez, M., Torres, S., Montero, I., Portillo-Hahnefeld, A., 2001. Zooplankton biomass and indices of feeding and metabolism in island-generated eddies around Grand Canaria. *J. Mar. Syst.* 30, 51–66.

Heywood, K.J., Barton, E.D., Simpson, J.H., 1990. The effects of flow disturbance by an oceanic island. *J. Mar. Res.* 48, 55–73.

Heywood, K.J., Stevens, D.P., Bigg, G.R., 1996. Eddy formation behind the tropical island of Aldabra. *Deep-Sea Res. Part I* 43, 555–578.

- Hunte, W., Oxenford, H.A., Mahon, R., 1995. Distribution and relative abundance of flyingfish (Exocoetidae) in the eastern Caribbean. II. Spawning substrata, eggs and larvae. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 117, 25–37.
- Koubbi, P., Ibanez, F., Duhamel, G., 1991. Environmental influences on spatio-temporal oceanic distribution of ichthyoplankton around the Kerguelen Islands (Southern Ocean). *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 72, 225–238.
- Leis, J. M., 1986. Vertical and horizontal distribution of fish larvae near coral reefs at Lizard Island, Great Barrier Reef. *Mar. Biol.* 90, 505–516.
- Lepš, J., Šmilauer, P., 2003. Multivariate analysis of ecological data using CANOCO. Cambridge University Press.
- Longhurst, A., 1993. Seasonal cooling and blooming in tropical oceans. *Deep-Sea Res. Part I* 40, 2145–2165.
- Longhurst, A., Pauly, D., 2007. *Ecologia dos oceanos tropicais*. Editora da USP, São Paulo.
- Macedo, S.J., Montes, M.J.F., Costa, K.M.P., 2009. Hidrologia. In: Hazin, F.H.V. (Ed.), *O Arquipélago de São Pedro e São Paulo: 10 anos de Estação Científica*. SECIRM, Brasília, pp. 100–105.
- Macedo-Soares, L.C.P., Freire, A.S., Koettker, A.G., Menezes, B.S., Fernández, D.B., Brandão, M.C., 2009. Zooplâncton. In: Hazin, F.H.V. (Ed.), *O Arquipélago de São Pedro e São Paulo: 10 anos de Estação Científica*. SECIRM, Brasília, pp. 128–137.
- Mafalda Jr., P.O., Souza, C.S., Velame, M.P.B., Souza, P.M.M., Pinto, N.C.T., Silva, V.R.F., 2009. Avaliação especial e temporal do ictioplâncton na Zona Econômica Exclusiva do Nordeste Brasileiro. In: Hazin, F.H.V. (Ed.) *Biomassa Fitoplanctônica, Zooplanctônica, Macrozooplâncton, Avaliação Espacial e Temporal do Ictioplâncton, Estrutura da Comunidade de Larvas de Peixes e Distribuição e Abundância do Ictioneuston*. Programa Revizee, Score Nordeste. Martins e Cordeiro, Fortaleza, pp. 103–119.
- Moser, H.G. (Ed.), 1996. The early stages of fishes in the California Current region. *CalCOFI Atlas*, 33: 1–1504.

- Moser, H.G., Smith, P.E., 1993. Larval fish assemblages of the California Current Region and their horizontal and vertical distribution across a front. *Bull. Mar. Sci.* 53, 645–691.
- Moyano, M., Rodríguez, J.M., Hernández-Léon, S., 2009. Larval fish abundance and distribution during the late winter Bloom off Gran Canaria Island, Canary Islands. *Fish. Oceanogr.* 18, 51–61.
- Nakata, K., Nakano, H., Kikuchi, H., 1994. Relationship between egg productivity and RNA/DNA ratio in *Paracalanus* sp. in the frontal waters of the Kurshio. *Mar. Biol.* 119, 591–596.
- Olivar, M.P., Moser, H.G., Beckley, L.E., 1999. Lanternfish larvae from the Agulhas current (SW Indian Ocean). *Sci. Mar.* 63, 101–120.
- O'Reilly, J.E., 24 Co-autores, 2000. SeaWiFS postlaunch calibration and validation analyses Part 3. In: Hooker, S.B., Firestone, E.R. (Eds.), NASA Tech. Memo. 2000-206892, Vol. 11, NASA Goddard Space Flight Center, 49 pp.
- Palacios, D.M., 2002. Factors influencing the island-mass effect of the Galapagos Archipelago. *Geophys. Res. Lett.* 29, 2134–2137.
- Pérez, V., Fernández, E., Marañón, E., Serret, P., García-Soto, C., 2005. Seasonal and interannual variability of chlorophyll *a* and primary production in the Equatorial Atlantic: *in situ* and remote sensing observations. *J. Plankton Res.* 27, 189–197.
- Perissinotto, R., Lutjeharms, J.R.E., Van Ballegooyen, R.C., 2000. Biological-physical interactions and pelagic productivity at the Prince Edward Islands, Southern Ocean. *J. Mar. Syst.* 24, 327–341.
- Perissinotto, R., Rae, C.M.D., 1990. Occurrence of anticyclonic eddies on the Prince Edwards Plateau (Southern Ocean): effects on phytoplankton biomass and production. *Deep Sea Res. Part A* 37, 777–793.
- Perissinotto, R., Rae, C.M.D., Boden, B.P., Allanson, B.R., 1990. Vertical stability as a controlling factor of the marine phytoplankton production at the Prince Edward Archipelago, (Southern Ocean). *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 60, 205–209.

- Platt, T., Fuentes-Yaco, C., Frank, K.T., 2003. Spring algal bloom and larval fish survival. *Nature* 423, 398–399.
- Platt, T., Harrison, W.G., Lewis, M.R., Li, W.K.W., Sathyendranath, S., Smith, R.E., Vezina, A.F., 1989. Biological production of the oceans: the case for a consensus. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 52, 77–88.
- Richards, W.J., 2005. *Early Stages of Atlantic Fishes. An Identification Guide for the Western Central North Atlantic.* CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Rissik, D., Suthers, I.M., Taggart, C.T., 1997. Enhanced zooplankton abundance in the lee of an isolated reef in the south Coral Sea: the role of flow disturbance. *J. Plankton Res.* 19, 1347–1368.
- Roden, G.I., 1991. Effects of the Hawaii Ridge upon oceanic flow and thermohaline structure. *Deep-Sea Res. Part A* 38, S623–S654.
- Rodríguez, J.M., Barton, E.D., Eve, L., Hernández-Léon, S., 2001. Mesozooplankton and ichthyoplankton distribution around Gran Canaria, an oceanic island in the NE Atlantic. *Deep-Sea Res Part I* 48, 2161–2183.
- Rodríguez, J.M., Braun, J.G., García, A., 2000. Spatial variability of the mesozooplankton biomass and ichthyoplankton in the Canary region, in autumn 1991. *J. Plankton Res.* 22, 1377–1391.
- Sabatés, A., Saiz, E., 2000. Intra- and interspecific variability in prey size and niche breadth of myctophiform fish larvae. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 201, 262–271.
- Sassa, C., Kawaguchi, K., 2004. Larval feeding habits of *Diaphus garmani* and *Myctophum asperum* (Pisces: Myctophidae) in the transition region of the western North Pacific. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 278, 279–290.
- Shouten, M.W., Matano, R.P., Strub, T.P., 2005. A description of the seasonal cycle of the equatorial Atlantic from altimeter data. *Deep-Sea Res Part I* 52, 477–493.

Sichel, S.E., Esperança, S., Motoki, A., Maia, M., Horan, M.F., Szatmari, P., Alves, E.C., Mello, S.L.M., 2008. Geophysical and geochemical evidence for cold upper mantle beneath the equatorial Atlantic Ocean. *Rev. Bras. Geof.* 26, 69–86.

Soares, J., Oliveira, A.P., Skielka, U.T., Servain, J., 2009. O ar. In: Hazin, F.H.V. (Ed.), *O Arquipélago de São Pedro e São Paulo: 10 anos de Estação Científica. SECIRM, Brasília*, pp. 38–44.

Stramma, L., England, M., 1999. On the water masses and mean circulation of the South Atlantic Ocean. *J Geophys Res C* 104, 20863–20883.

Ter Braak, C.J.F., 1986. Canonical Correspondence Analysis: a new eigenvector technique for multivariate direct gradient analysis. *Ecology* 67, 1167–1179.

Thurman, H.V., Burton, E.A., 2001. *Introductory oceanography*. 9 ed. Prentice Hall, Nova Jersey.

Travassos, P., Hazin, F.H.V., Zagaglia, J.R., Advíncula, R., Schober, J., 1999. Thermohaline structure around seamounts and islands off North-Eastern Brazil. *Arch. Fish. Mar. Res.* 47, 211–222.

Vaske Jr., T., Lessa, R.P., Nóbrega, M., Montealegre-Quijano, S., Marcante Santana, F., Bezerra Jr., J.L., 2005. A checklist of fishes from Saint Peter and Saint Paul Archipelago, Brazil. *J Appl Ichthyol* 21, 75–79.

Wolanski, E., Hamner, W.M., 1988. Topographically controlled fronts in the ocean and their biological influence. *Science* 241, 177–181.

Wolanski, E., Richmond, R.H., Davis, G., Deleersnijder, E., Leben, R.R., 2003. Eddies around Guam, an island in the Marina Islands group. *Cont Shelf Res* 23, 991–1003.

Zar, J.H., 1996. *Biostatistical analysis*. 3 ed. Prentice Hall, Nova Jersey.

ANEXOS

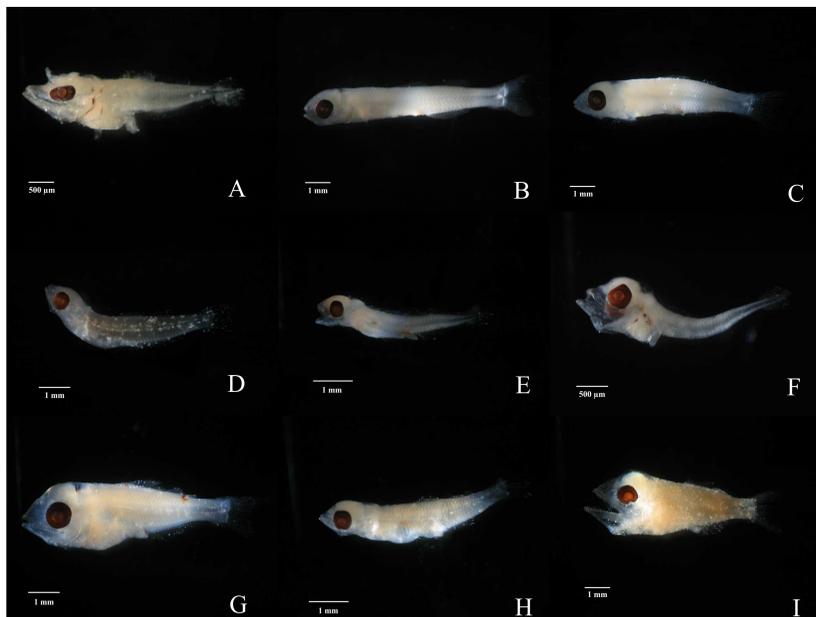
Anexo 1 – Data e horário das coletas, considerando a hora local no Arquipélago de São Pedro e São Paulo.

Expedição	Mês/ano	Mar aberto ¹			Enseada		
		Dia	Período	Horário	Dia	Período	Horário
133	Abril/2003	29	Noite	19:15 – 21:20			
		30	Dia	9:35 – 11:30			
141	Agosto/2003	27	Noite	19:05 – 21:00	28	Noite	19:10 – 19:35
		28	Dia	10:35 – 12:00	29	Dia	9:00 – 9:30
146	Novembro/2003	5	Noite	19:55 – 21:30	14	Noite	18:25 – 18:50
		7	Dia	10:00 – 11:30	13	Dia	11:00 – 11:25
155	Março/2004	22	Noite	19:00 – 20:40	24	Noite	18:00 – 18:25
		23	Dia	9:20 – 10:40	24	Dia	11:00 – 11:25
172 ²	Dezembro/2004	26	Noite	20:10 – 22:14	2	Noite	19:47 – 20:42
		27	Dia	7:49 – 9:47	3	Dia	7:42 – 8:35
176	Janeiro/2005	25	Noite	19:40 – 21:45	28	Noite	19:30 – 20:10
		26	Dia	7:25 – 9:25	27	Dia	10:20 – 11:00
183	Maio/2005	17	Noite	19:21 – 21:49	18	Noite	18:50 – 19:40
		18	Dia	6:35 – 8:41	19	Dia	6:30 – 7:00
187	Julho/2005	11	Noite	19:45 – 21:52	14	Noite	19:15 – 19:48
		12	Dia	7:08 – 9:32	15	Dia	6:55 – 7:28

Anexo 2 – Fotos ilustrativas de algumas espécies identificadas.



Cyclothone pallida (A), *Vinciguerria nimbaria* (B), *Astronesthes* sp. (C), *Lestidium* sp. (D), *Brotulotaenia* sp. (E), *Bregmaceros* sp. (F), *Gigantactinidae* spp. (G), *Oxyporhamphus micropterus* (H), *Copryphaena* sp. (I), *Brama brama* (J), *Katsuwonus pelamis* (K), *Xiphias gladius* (L).

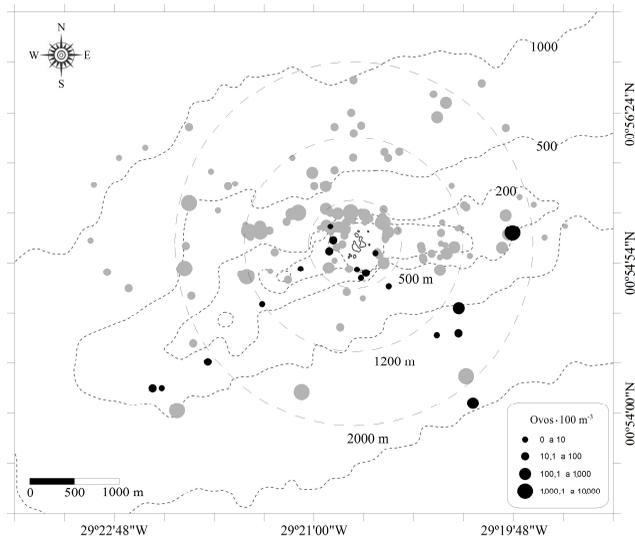


Myctophum asperum (A), *Ceratoscopelus warmingii* (B), *Diaphus metopoclampus* (C), *Lampadena luminosa* (D), *Lampadena urophaos* (E), *Lampanyctus alatus* (F), *Lampanyctus* sp. (G), *Lepidophanes guentheri* (H), *Nannobranchium cuprarium* (I).

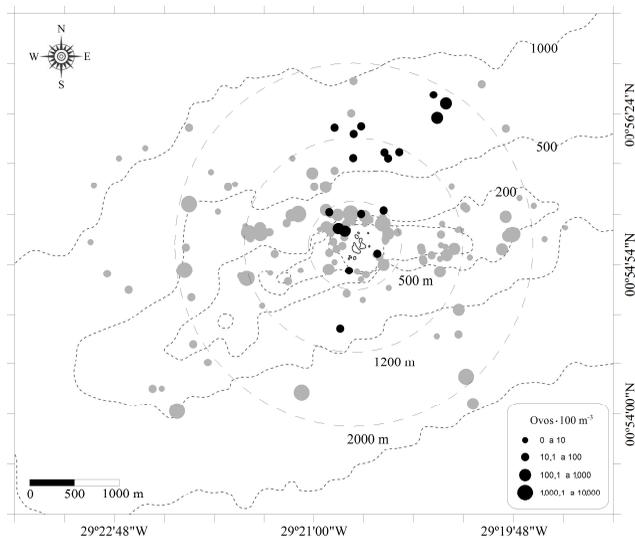


Bodianus insularis (A), *Thalossoma noronhanum* (B), *Abudefduf saxatilis* (C), *Stegastes sanctipauli* (D), *Malacoctenus triangulatus* (E), *Entomacrodus vomerinus* (F), *Ophioblennius trinitatis* (G), *Bothus ocellatus* (H), *Bothus lunatus* (I).

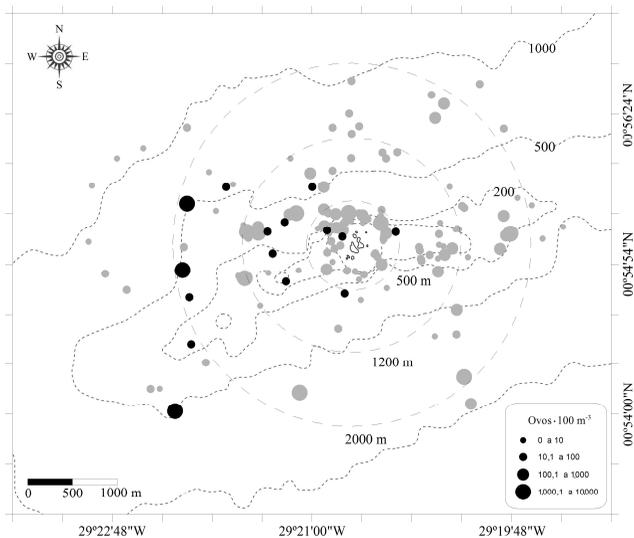
Anexo 3 – Mapas de distribuição da densidade de ovos e larvas de peixes.



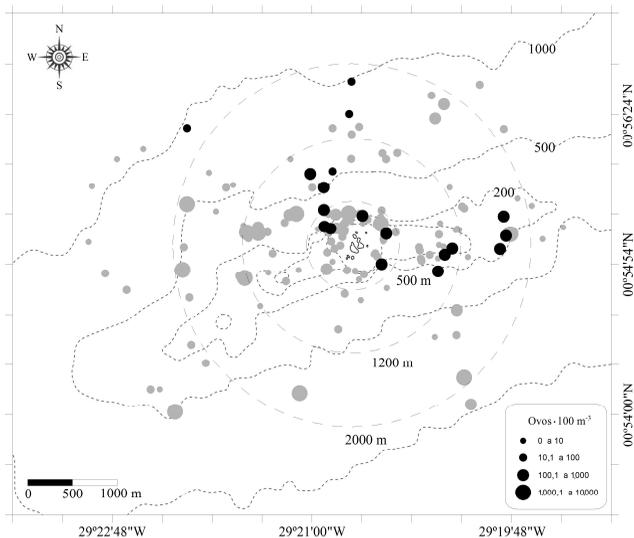
Distribuição da densidade de ovos de peixes ao redor do Arquipélago de São Pedro e São Paulo. Círculos pretos: abril de 2003.



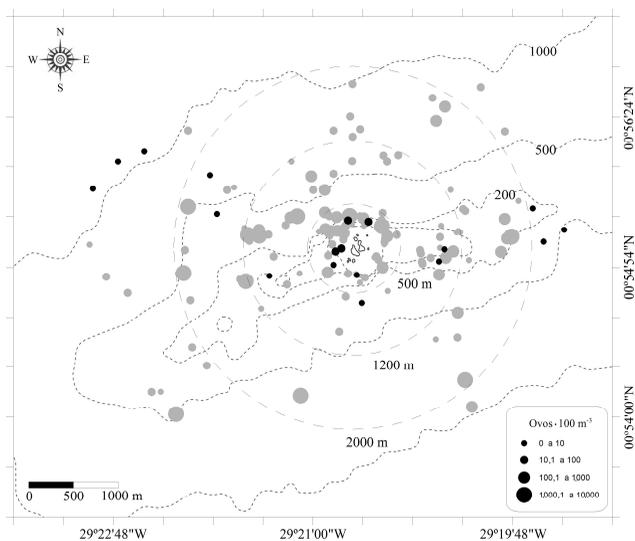
Distribuição da densidade de ovos de peixes ao redor do Arquipélago de São Pedro e São Paulo. Círculos pretos: agosto de 2003.



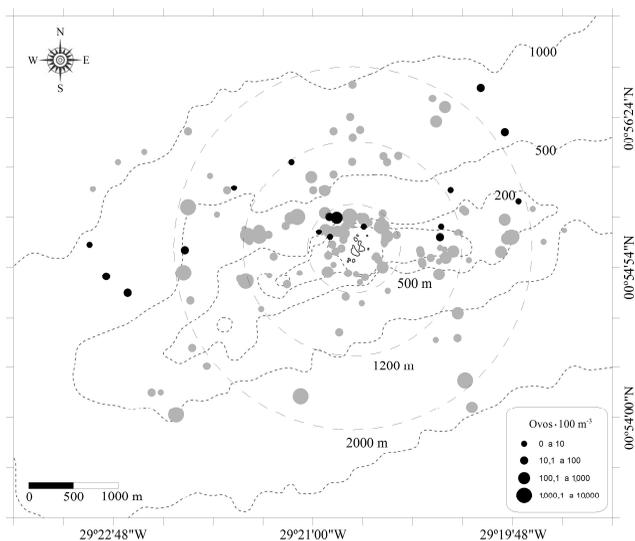
Distribuição da densidade de ovos de peixes ao redor do Arquipélago de São Pedro e São Paulo. Círculos pretos: novembro de 2003.



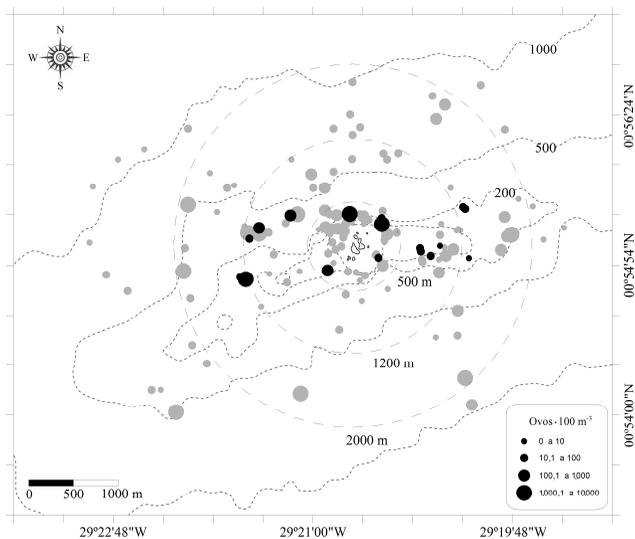
Distribuição da densidade de ovos de peixes ao redor do Arquipélago de São Pedro e São Paulo. Círculos pretos: março de 2004.



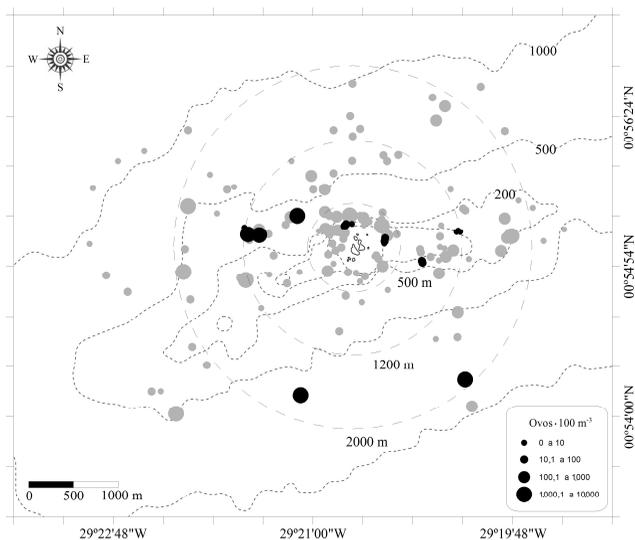
Distribuição da densidade de ovos de peixes ao redor do Arquipélago de São Pedro e São Paulo. Círculos pretos: dezembro de 2004.



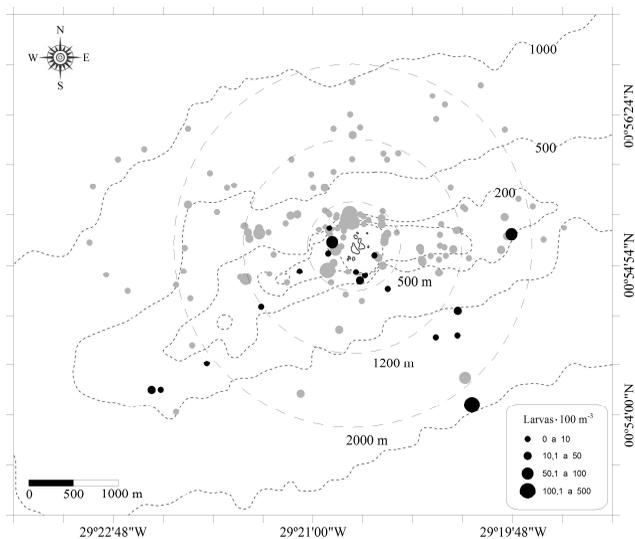
Distribuição da densidade de ovos de peixes ao redor do Arquipélago de São Pedro e São Paulo. Círculos pretos: janeiro de 2005.



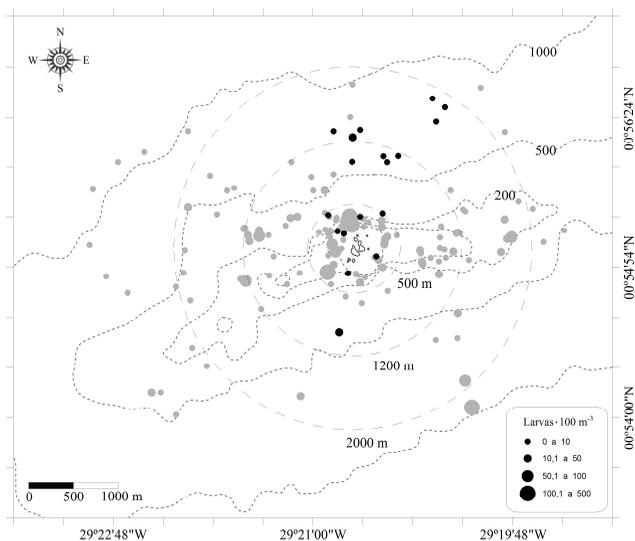
Distribuição da densidade de ovos de peixes ao redor do Arquipélago de São Pedro e São Paulo. Círculos pretos: maio de 2005.



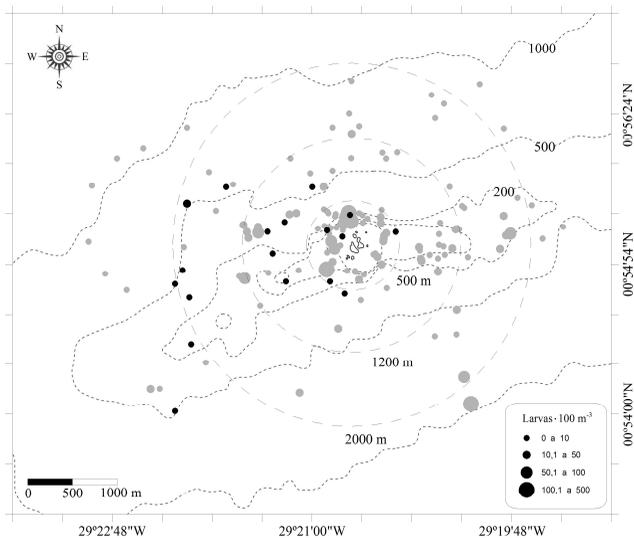
Distribuição da densidade de ovos de peixes ao redor do Arquipélago de São Pedro e São Paulo. Círculos pretos: julho de 2005.



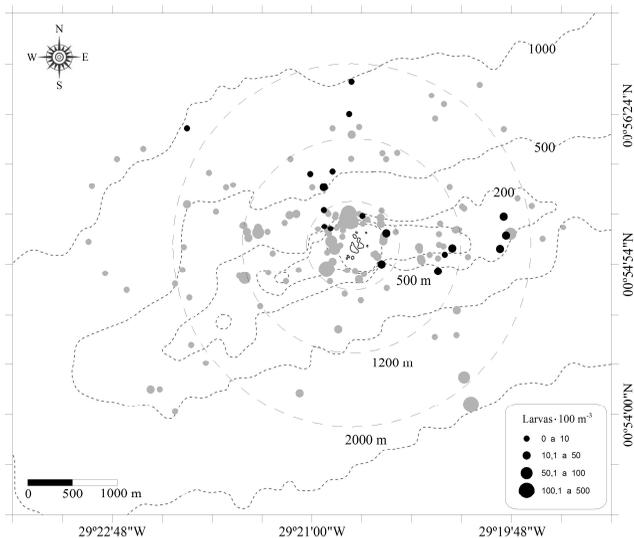
Distribuição da densidade de larvas de peixes ao redor do Arquipélago de São Pedro e São Paulo. Círculos pretos: abril de 2003.



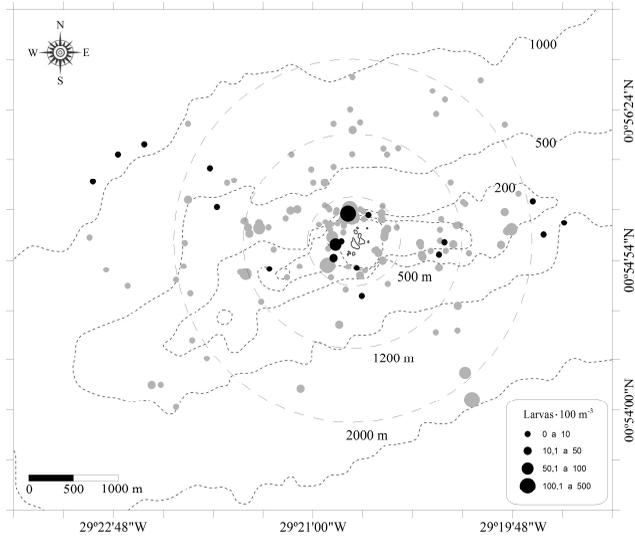
Distribuição da densidade de larvas de peixes ao redor do Arquipélago de São Pedro e São Paulo. Círculos pretos: agosto de 2003.



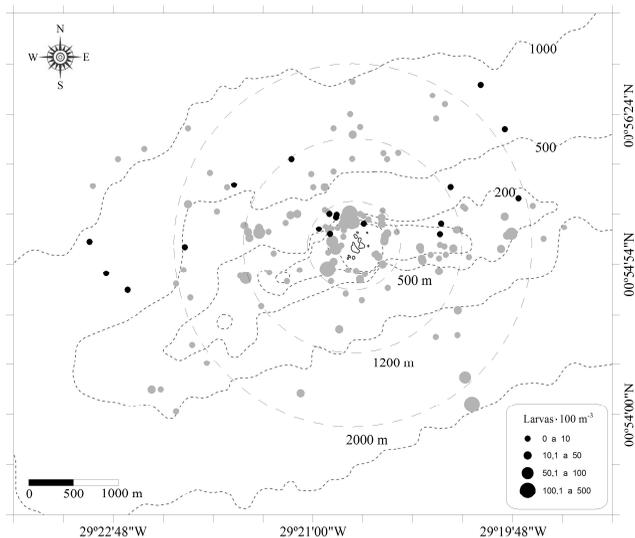
Distribuição da densidade de larvas de peixes ao redor do Arquipélago de São Pedro e São Paulo. Círculos pretos: novembro de 2003.



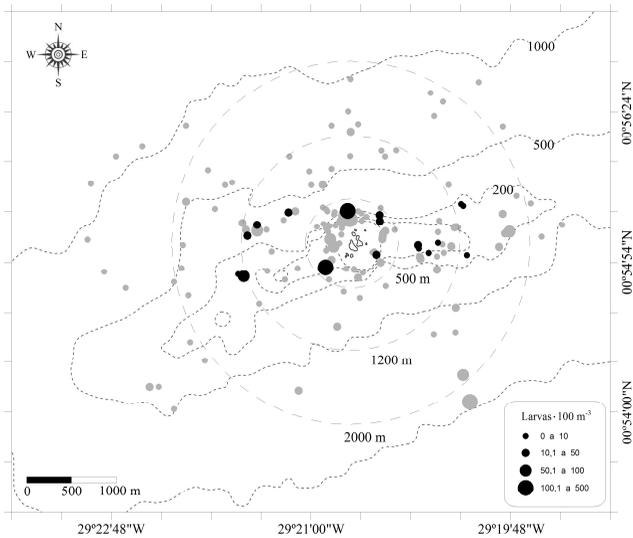
Distribuição da densidade de larvas de peixes ao redor do Arquipélago de São Pedro e São Paulo. Círculos pretos: março de 2004.



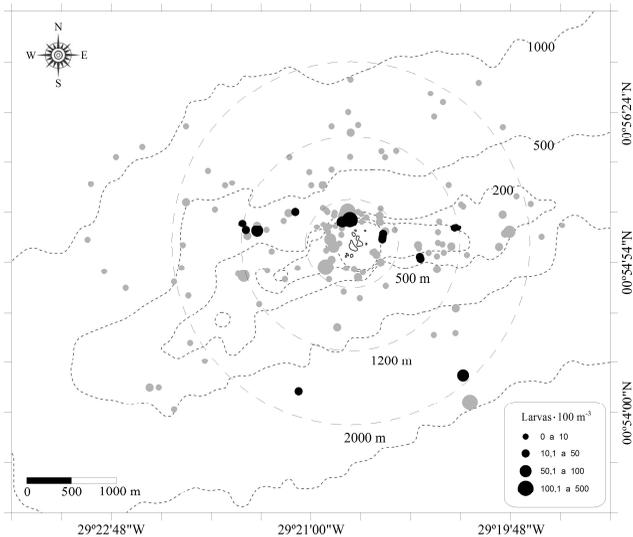
Distribuição da densidade de larvas de peixes ao redor do Arquipélago de São Pedro e São Paulo. Círculos pretos: dezembro de 2004.



Distribuição da densidade de larvas de peixes ao redor do Arquipélago de São Pedro e São Paulo. Círculos pretos: janeiro de 2005.



Distribuição da densidade de larvas de peixes ao redor do Arquipélago de São Pedro e São Paulo. Círculos pretos: maio de 2005.



Distribuição da densidade de larvas de peixes ao redor do Arquipélago de São Pedro e São Paulo. Círculos pretos: julho de 2005.