

## Variabilidade temporal e espacial da temperatura superficial do mar e da clorofila-a no entorno do Arquipélago São Pedro e São Paulo e seus efeitos na comunidade ictioplanctônica

Luis Carlos Pinto de Macedo-Soares<sup>1</sup>

Melissa Carvalho<sup>1</sup>

Andrea Santarosa Freire<sup>1</sup>

José Henrique Muelbert<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Santa Catarina

Departamento de Ecologia e Zoologia

88010-970 - Florianópolis –SC, Brasil

luiscpms@yahoo.com.br

<sup>2</sup> Universidade Federal de Rio Grande – FURG

Instituto de Oceanografia

96201-900 - São José dos Campos - SP, Brasil

docjhm@furg.br

**Abstract.** This work presents a preliminary investigation of island mass effect in Saint Paul's Rocks, a small group of islands in the Equatorial Atlantic and implications in ichthyoplankton community. Level 2 satellite images of sea surface temperature (SST) and chlorophyll-a acquired from MODIS/Aqua between January 2003 and December 2005 for an area around Saint Paul's Rocks and around 0N35W PIRATA buoy, were used for investigation. Ichthyoplankton samples were collected during eight expeditions between 2003 and 2005 in different distances from Saint Paul's Rocks. Multifactorial analysis of variance (ANOVA) was used to investigate SST and chlorophyll-a variability in Saint Paul's Rocks and around 0N35W PIRATA buoy, area without island. Canonical correspondence analysis (CCA) was conducted to investigate any correlation between environmental data and ichthyoplankton density. Results showed a temporal pattern from SST and chlorophyll-a for both areas, with low SST values and high chlorophyll-a concentration in July and August. SST variance around Saint Paul's Rocks was higher than in 0N35W PIRATA buoy. However, same variability in chlorophyll-a variance wasn't observed. Therefore, ichthyoplankton densities were higher near to the islands especially in July, when Myctophidae species was correlated with high chlorophyll-a concentration. Thus, our findings showed evidences of island mass effect around Saint Paul's Rocks.

**Palavras-chave:** Equatorial Atlantic, ichthyoplankton, island mass effect, remote sensing, sea surface temperature, chlorophyll-a.

### 1. Introdução

Ilhas oceânicas constituem ambientes favoráveis ao desenvolvimento de larvas de peixes, e as regiões que as circundam podem apresentar um aumento da produtividade primária, da biomassa planctônica e do potencial pesqueiro, fenômeno denominado efeito-ilha (Hernández-Léon *et al.*, 2001). Alterações no gradiente de temperatura superficial do mar (TSM) e de clorofila-a na superfície do mar (CSM) podem estar relacionadas à presença de ilhas oceânicas, e podem indicar a ocorrência de ressurgências de águas profundas frias e enriquecidas com nutrientes (Caldeira, *et al.*, 2002).

O Arquipélago de São Pedro e São Paulo (ASPSP) é o menor e mais isolado arquipélago brasileiro, a cerca de 1000 km da costa no Oceano Atlântico Equatorial.

O objetivo deste estudo foi avaliar se a topografia da região do ASPSP contribui para uma maior variabilidade temporal e espacial da TSM e CSM no seu entorno, causando um efeito-ilha na região, e se este efeito-ilha provoca aumento da biomassa fitoplanctônica e da concentração de larvas de peixes ao redor do ASPSP.

## 2. Metodologia de trabalho

### 2.1. Área de estudo

O Arquipélago de São Pedro e São Paulo (ASPSP) está localizado no Oceano Atlântico Equatorial (00°55'01"N e 029°20'44"W) entre a América do Sul e a África, a cerca de 1000 km da costa nordeste brasileira e 1800 km da costa africana (Figura 1). O 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 (Edwards & Lubbock, 1983; Sichel et al., 2008). Abrange uma área aproximada de 16000 km<sup>2</sup>, com extensão máxima 400 m e altura máxima de 18 m acima do nível do mar (Edwards & Lubbock, 1983).

A Corrente Sul Equatorial (CSE) é a principal corrente na área, e flui superficialmente no sentido Leste-Oeste, atingindo o ASPSP, com sua vertente Norte, a uma velocidade máxima de 1,5 m·s<sup>-1</sup>. Em sentido contrário, a Sub-Corrente Equatorial (SCE) carrega águas entre 40 e 150 m de profundidade com velocidade de até 0,7 m·s<sup>-1</sup> (Edwards & Lubbock, 1983; Stramma & England, 1999). 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, ZCIT se move para o Norte, reduzindo a nebulosidade e as chuvas na região (estação seca) (Soares et al., 2009).

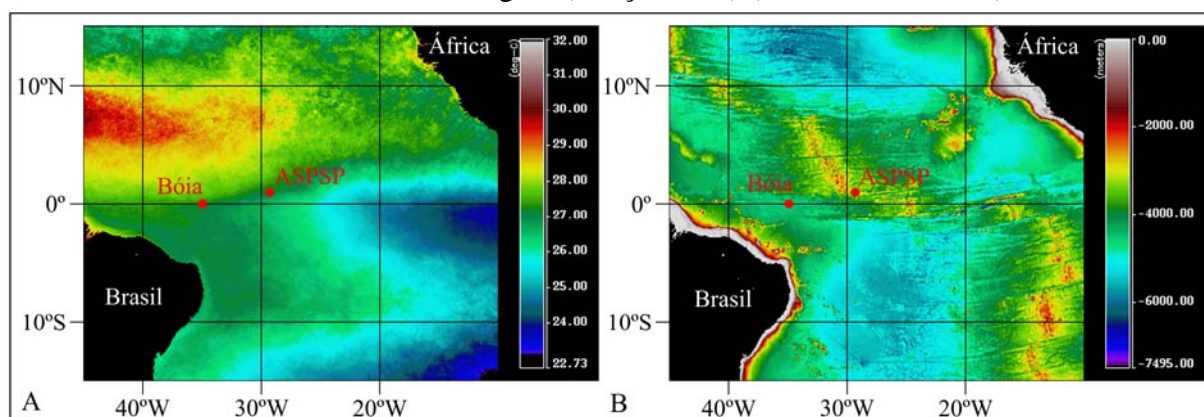


Figura 1. Localização do Arquipélago de São Pedro e São Paulo (ASPSP) e da bóia 0N35W do programa PIRATA sobrepostas em uma imagem MODIS/Aqua da TSM média do inverno (hemisfério sul) de 2003 (A), e sobre a batimetria da região do Atlântico Equatorial (ETOPO1/NOAA) (B).

### 2.2. Aquisição e processamento das imagens de satélite

Para análise da condição oceanográfica regional no período do estudo e da variabilidade da TSM e CSM no entorno do ASPSP foram utilizadas imagens diárias de TSM e da CSM ambas 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 1° 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/>).

As imagens foram processadas no programa SeaDAS 6.1 (NASA GFSC SeaDAS Development) onde foram mapeadas utilizando projeção de Mercator, limites de 1°x1° no entorno da coordenada central para cada área. Posteriormente, matrizes 5x5 pixels (25 km<sup>2</sup>)

ao redor da coordenada central do ASPSP e da bóia 0N35W foram extraídas para cada imagem diária utilizando o programa MATLAB® R2009a (The MathWorks Inc., 1984-2009).

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 1 mês antes 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 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 144 amostras. 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, 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 na literatura especializada (e.g. Fahay, 1983; Richards, 2005). A densidade do ictioplâncton foi padronizada em função do número coletado por 100  $\text{m}^3$  de água filtrada. 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), entre 1201 e 2000 m (D3) e distâncias superiores a 2000 m (D4).

### **2.4. 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  $\text{km}^2$ ) ao redor do ASPSP e a redor da bóia 0N35W do programa PIRATA, localizada também no Atlântico Equatorial (Figura 1). 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. O teste de Tukey foi usado quando diferenças significativas foram detectadas pela ANOVA (Zar, 1996). As análises foram conduzidas no programa Statistica 7.0 (Statsoft Inc., 1984-2004).

A correlação entre a distribuição do ictioplâncton e as variáveis ambientais foi avaliada através da análise de correspondência canônica (ACC). A planilha de dados biológicos incluiu a densidade média das quatro espécies mais abundantes e frequentes na comunidade larval (Macedo-Soares, comunicação pessoal), e 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 ponto amostral, 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. 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. (Lepš & Šmilauer, 2003). Os testes foram conduzidos no programa CANOCO© 4.54 (Biometris, 1997-2006).

### 3. Resultados e Discussão

O padrão de variabilidade temporal da TSM e da CSM encontrado ao redor do ASPSP e da bóia 0N35W do programa PIRATA (Figura 2) são similares. Para a área do ASPSP as imagens de satélite demonstraram um período com alta TSM (acima de  $28^{\circ}\text{C}$ ) entre Março e Maio, e com valores abaixo dos  $27^{\circ}\text{C}$  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 (Figura 2a). Ao redor da bóia 0N35W, a TSM apresentou seus menores valores também no período de Junho a Agosto (Figura 2b), enquanto que no mesmo período observaram-se os maiores valores de CSM. Padrão semelhante para a variabilidade da TSM e da CSM foi registrado em duas áreas no Equador, 0N10W e 0N25W por Pérez et al. (2005). Entretanto, os picos de TSM registrados em Julho foram inferiores ao do presente estudo em 0N10W ( $< 25^{\circ}\text{C}$ ) e os de CSM foram superiores ( $> 0,6 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ ) nas duas áreas. A diferença na amplitude dos valores pode ser decorrente da localização das áreas 0N10W e 0N25W, que estão mais sujeitas a ressurgência equatorial proposta por Berger et al. (2008) do que a área do ASPSP e da bóia 0N35W.

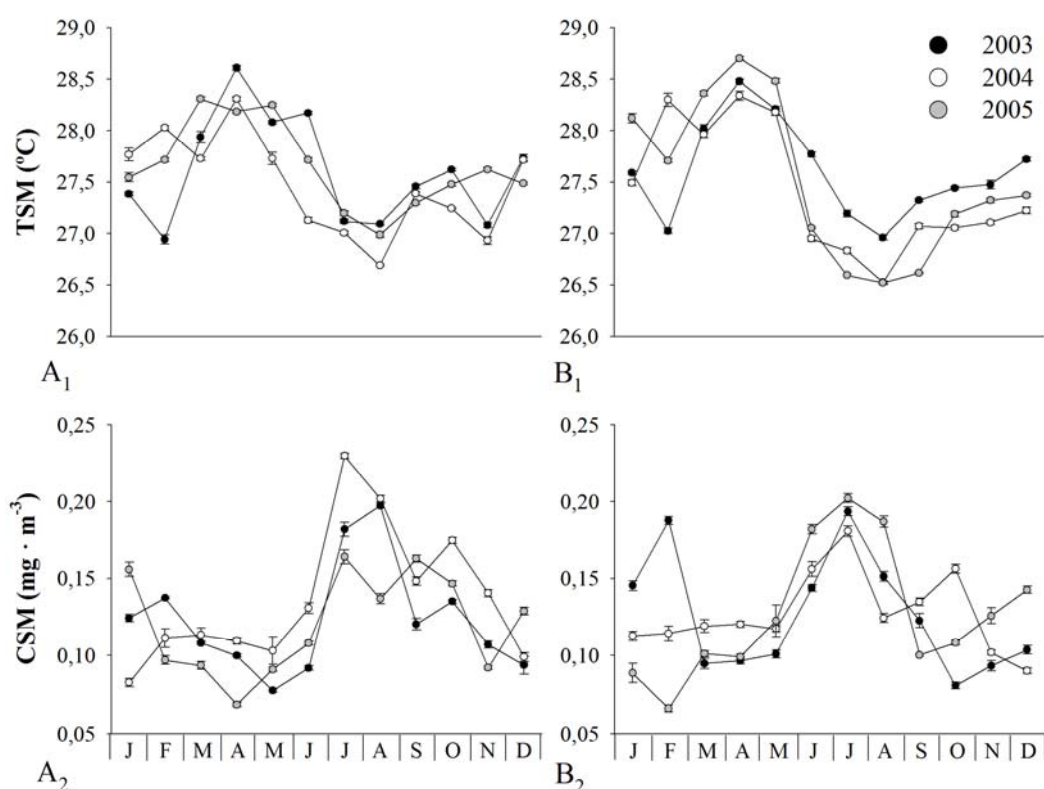


Figura 2. Média ( $\pm EP$ ) da TSM (1) e da CSM (2) obtidas a partir de imagens de satélite adquiridas do sensor MODIS/Aqua para uma área de  $25 \text{ km}^2$  ao redor da Bóia 0N35W do programa PIRATA (A) e do Arquipélago de São Pedro e São Paulo (B), no período de janeiro de 2003 a dezembro de 2005.

A variabilidade da variância mensal da TSM foi significativamente maior ( $F=16,68$ ;  $p<0,001$ ) em Fevereiro e Maio principalmente no ASPSP (Figura 3). Fevereiro apresentou um

comportamento atípico no padrão da TSM média no arquipélago (Figura 2b). Este comportamento atípico pode ter sido gerado pelo pequeno número de imagens válidas obtidas neste mês decorrente da presença da ZCIT que promove uma alta cobertura de nuvens na área (Soares et al., 2009).

Em relação aos pixels da matriz 5x5, a variância da TSM apresentou maior variabilidade ao redor do ASPSP do que ao redor da bóia 0N35W (Figura 3) e foi significativamente maior no arquipélago ( $F=26,15$ ;  $p<0,001$ ). Para a CSM a variabilidade mensal foi significativamente maior ( $F=28,52$ ;  $p<0,001$ ) em Janeiro, Julho e Agosto. No entanto, em relação aos pixels da matriz 5x5, não foi observado o mesmo padrão da TSM sendo que a variabilidade da variância média foi similar entre o ASPSP e a bóia 0N35W. De acordo com Travassos et al. (1999), estudos preliminares não detectaram elevações de isotermas e isohalinas ao redor do ASPSP, concluindo que ressurgências locais que atinjam a zona eufótica são improváveis.

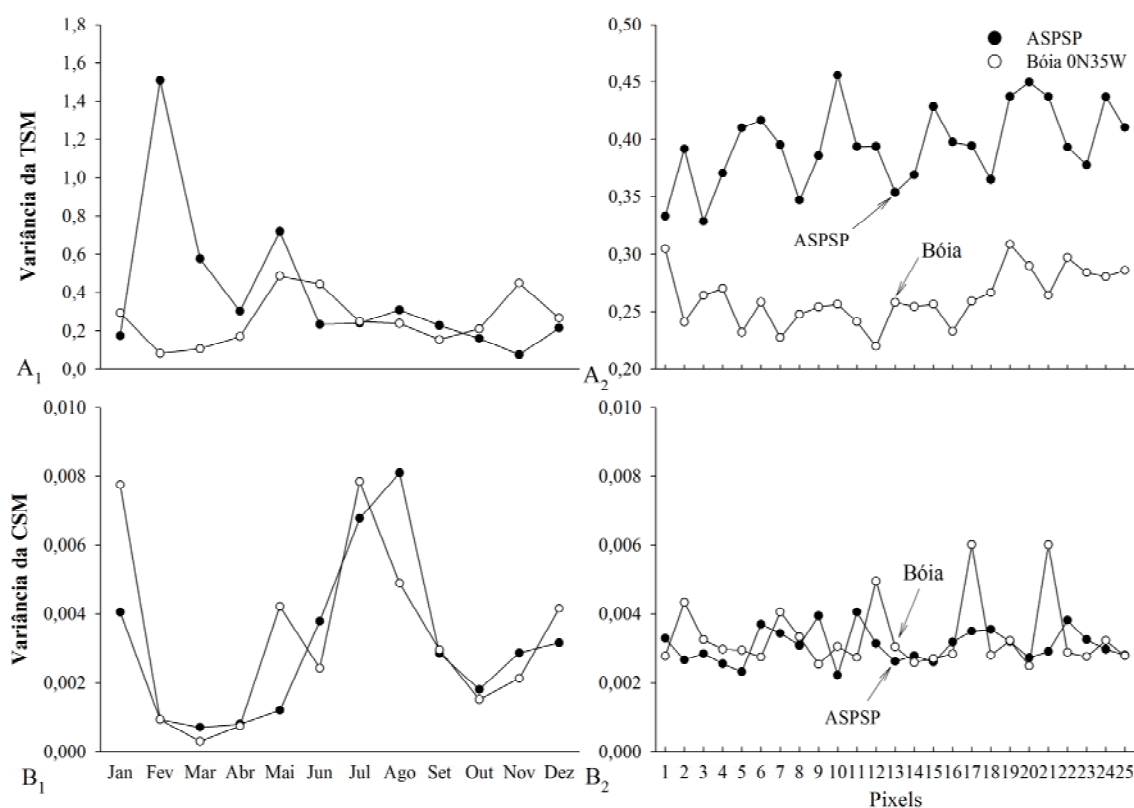


Figura 3. Distribuição da variância mensal da TSM (A) e da CSM (B) em relação aos meses (1) e em relação a cada pixel (2) da matriz 5x5 (25 km<sup>2</sup>) extraída ao redor da Bóia 0N35W do programa PIRATA e do Arquipélago de São Pedro e São Paulo. As imagens de satélite foram adquiridas do sensor MODIS/Aqua para o período entre janeiro de 2003 e dezembro de 2005.

No total, 1.285 larvas de peixes foram capturadas nas águas ao redor do ASPSP, com densidade média ( $\pm EP$ ) de  $15,9 \pm 3,0 \text{ ind.} \cdot 100\text{m}^{-3}$ . A densidade larval em Janeiro de 2005 foi mínima em D2 com  $1,02 \text{ ind.} \cdot 100\text{m}^{-3}$  e máxima em Maio de 2005 em D1 com  $307 \text{ ind.} \cdot 100\text{m}^{-3}$ . A abundância média de larvas seguiu a tendência descrita para regiões oceânicas (Ekau et al., 1999; Rodriguez et al., 2001). A maior densidade de larvas foi observada nas amostras a mais de 1200 m (D3) de distância do arquipélago nos quatro primeiros meses de coleta, principalmente em Abril de 2003 (Figura 4). 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 (Figura 4). A distribuição espacial de larvas do ictioplâncton sugere uma maior concentração próxima ao ASPSP como é relatado para outras ilhas



oceânicas (Leis, 1986; Rodriguez et al., 2001), principalmente em meses com menor TSM e maior CSM (Figura 2).

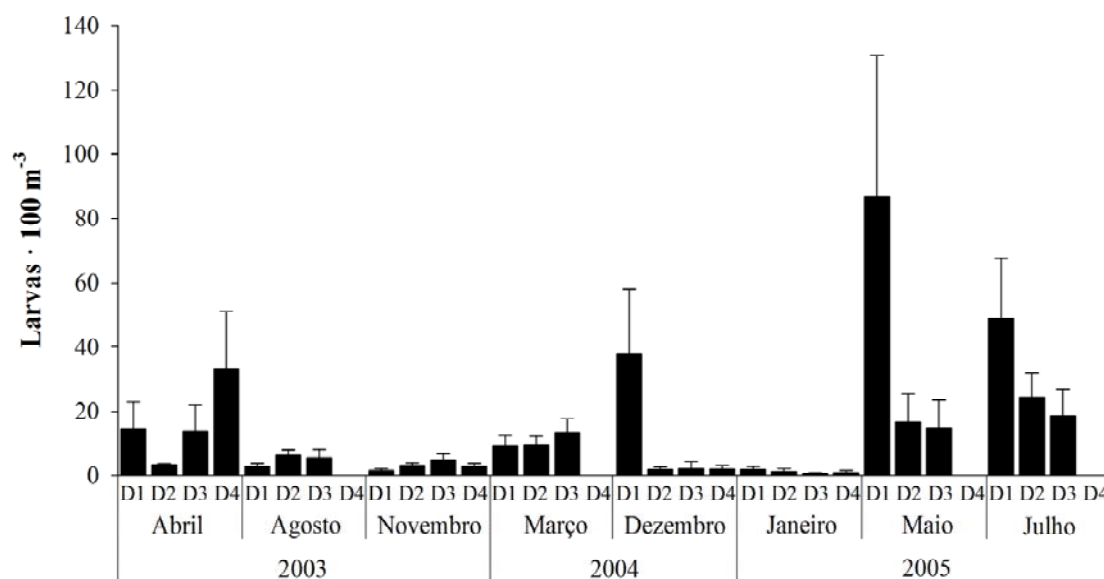


Figura 4. Densidade média ( $\pm$  EP) de larvas de peixes no ASPSP em relação às distâncias e meses de coleta.

A análise de correspondência canônica (ACC) explicou 78,7% da variação da densidade do ictioplâncton em função das variáveis ambientais (Figura 5). 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 juntos ( $F=2,711$ ;  $p=0,002$ ), 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. Foi definido como um eixo espacial indicando que as amostras mais distantes foram coletadas principalmente a Leste do arquipélago. Por outro lado, o eixo II, que explicou 22,1%, está relacionado a um fator temporal associado positivamente a CSM ( $r=0,823$ ) e negativamente a TSM ( $r=-0,767$ ), 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 Julho de 2005 foram registradas menores temperaturas e maior valores de CSM (Figura 5a).

Em relação à distribuição das quatro espécies mais abundantes e frequentes na comunidade ictioplânctônica, todas se associaram positivamente com a CSM (Figura 5b). *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. Para *Stegastes sanctipauli* (Lubbock & Edwards, 1981) a distribuição também foi associada à amostras mais próximas, no entanto, com maiores temperaturas e menor CSM. Por outro lado, *Oxyporhamphus micropterus* (Cuvier & Valenciennes, 1847) também ocorreu em amostras com maior concentração de CSM, porém, mais distantes do ASPSP. Larvas de Myctophidae como *L. luminosa* e *C. warmingii* alimentam-se preferencialmente de crustáceos filtradores como copépodes, importantes componentes da comunidade zooplânctônica local (Conley & Hopkins, 2004; Macedo-Soares et al., 2010). A correlação destas espécies com maiores valores de CSM indicam uma sincronia entre produtividade primária, zooplâncton herbívoro e ictioplâncton e pode ser um indício de um efeito-ilha local.

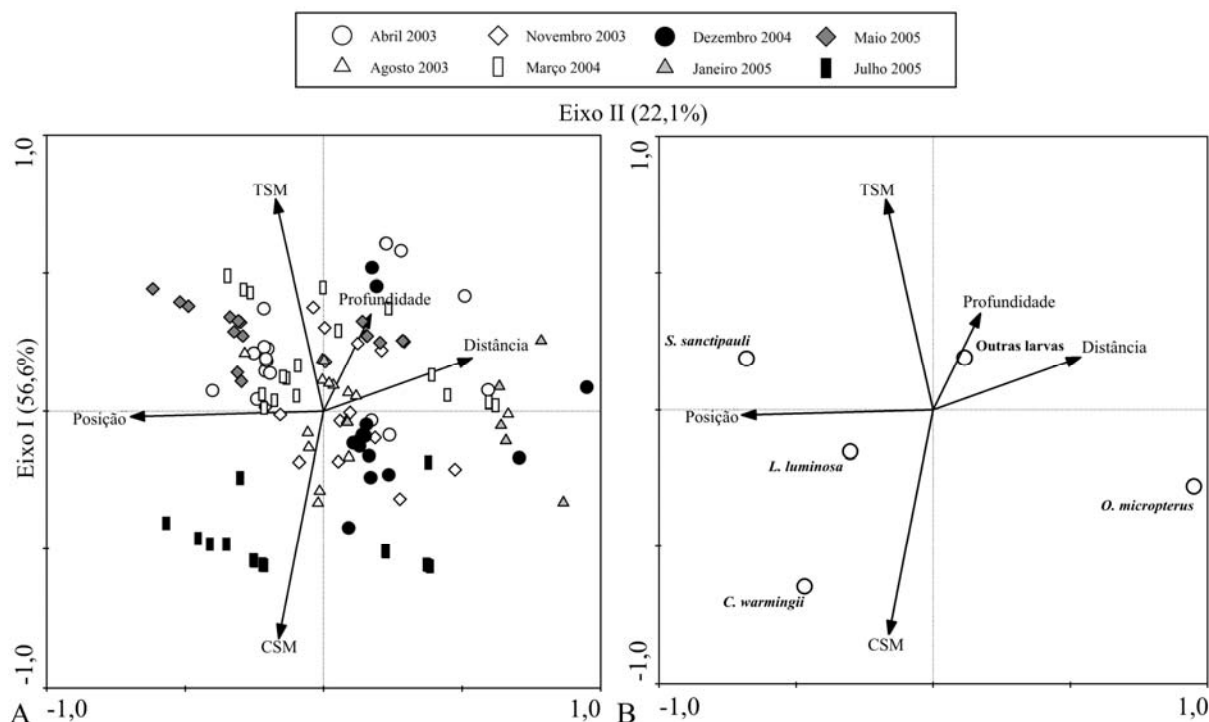


Figura 5. Diagrama fatorial resultante da análise de correspondência canônica: amostras e variáveis ambientais (A), espécies e variáveis ambientais (B).

#### 4. Conclusões

Travassos *et al.* (1999) relatam que apesar de ser improvável que a zona eufótica no ASPSP seja atingida por ressurgências, o complexo sistema de correntes no local pode promover uma ruptura na estabilidade vertical, ocasionar um movimento vertical das massas de água e contribuir para o transporte de nutrientes para zona eufótica com potencial enriquecimento das camadas superficiais. Para a região localizada sobre a linha do equador, entre 15° W e 30° W, Berger *et al.* (2009) sugerem a ocorrência de uma ressurgência equatorial com um padrão de ciclo anual, que pode atingir a região do ASPSP.

Os resultados mostraram maior variabilidade dos valores de TSM na área no entorno do ASPSP em comparação a outra região do Atlântico Equatorial, sugerindo um possível efeito-ilha na região. A intensidade deste efeito na escala em que foi estudado parece não contribuir significativamente para o aumento da biomassa fitoplanctônica, uma vez que não foi observada a mesma variabilidade para a CSM. Apesar disso, a ACC mostrou correlação entre a CSM e a TSM, e entre larvas de Myctophidae e CSM, podendo ser outro indício de um efeito-ilha no ASPSP.

Um estudo mais profundo, com maior frequência de dados *in situ* é necessário para a identificação do efeito-ilha e seus impactos na comunidade planctônica na região do ASPSP.

#### 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 ao 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.

## Referências bibliográficas

- 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*, São José dos Campos: INPE, v. 1. p. 6401-6408.
- 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.
- Conley, W.J.; Hopkins, T.L. 2004. Feeding ecology of lanternfish (Pisces: Myctophidae) larvae: prey preferences as a reflection of morphology. *Bulletin of Marine Science*, 75(3): 361-379.
- Edwards, A. J. & Lubbock, R. 1983. 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.
- 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, 423 pp.
- Genin, A. 2004. Bio-physical coupling in the formation of zooplankton and fish aggregations over abrupt topographies. *Journal of Marine Systems*, 50: 3-20.
- 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. *Journal of Marine Systems*, 30(1-2): 51-66.
- Leis, J. M. 1986. Vertical and horizontal distribution of fish larvae near coral reefs at Lizard Island, Great Barrier Reef. *Marine Biology*, 90: 505-516.
- Lepš, J. & Šmilauer, P. 2003. *Multivariate analysis of ecological data using CANOCO*. Cambridge University Press.
- Macedo-Soares, L.C.P.; Brandão, M.C.; Koettker, A.G.; Menezes, B.S.; Stumpf, L. & Freire, A.S. 2010. O zooplâncton no Arquipélago de São Pedro e São Paulo. In: Mohr, L.V.; Castro, J.W.A.; Costa, P.M. & Válka, R. (orgs.) *Ilhas oceânicas brasileiras: da pesquisa ao manejo*, volume II. Brasília, Ministério do Meio Ambiente, no prelo.
- O'Reilly, J.E., 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.
- 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. *Journal of Plankton Research*, 27(2): 189-197.
- Richards, W.J. 2005. *Early Stages of Atlantic Fishes. An Identification Guide for the Western Central North Atlantic*. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.
- Rodriguez, J.M.; Barton, E.D.; Eve, L. & Hernández-León, S. 2001. Mesozooplankton and ichthyoplankton distribution around Gran Canaria, an oceanic island in the NE Atlantic. *Deep-Sea Research I*, 48: 2161-2183.
- 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.
- 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): 20.863-20.883.
- Travassos, P.; Hazin, F. H. V.; Zagaglia, J. R.; Advíncula, R. & Schober, J. 1999. Thermohaline structure around seamounts and islands off North-Eastern Brazil. *Archive of Fishery and Marine Research*, 47(2-3): 211-222.
- Zar, J.H. 1996. *Biostatistical analysis*. 3 ed. Prentice Hall, Nova Jersey, 662 pp.