

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO**

**CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E NATURAIS**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

**Conectividade entre populações de peixes recifais ao longo da  
Cadeia Vitória-Trindade: o papel da dispersão larval**

**Luana Birchler Stocco**

**Vitória, ES**

**Fevereiro, 2015**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO**

**CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E NATURAIS**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

**Conectividade entre populações de peixes recifais ao longo da  
Cadeia Vitória-Trindade: o papel da dispersão larval**

**Luana Birchler Stocco**

**Orientador: Jean-Christophe Joyeux**

**Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas (Biologia Animal) da Universidade Federal do Espírito Santo como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre em Biologia Animal.**

**Vitória, ES**

**Fevereiro, 2015**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus pela vida e por me conceder meus bens mais preciosos: meus pais. Agradeço à minha mãe por tornar tudo isso possível com do seu amor, carinho e paciência. E ao meu pai que nunca me deixou faltar nada. Agradeço aos dois por sempre apoiarem os meus sonhos. Se hoje essa dissertação está pronta, foi graças ao apoio deles.

Agradeço imensamente ao professor Jean, meu orientador há seis anos e meio, pelo carinho e paciência. Meu crescimento dentro da universidade se deve, na maior parte, à convivência com ele. Um agradecimento especial, também, para Raphael, que durante todo esse tempo esteve presente e disposto a ajudar com as minhas inúmeras dúvidas e dificuldades. Thiony, que teve um papel especial ao longo do desenvolvimento do mestrado com suas fantásticas sugestões. Guardo um carinho enorme pelo Caio, que não esteve presente durante os últimos dois anos, mas que seu apoio foi importantíssimo no início do meu percurso. Grande parte da experiência que adquiri se deve, também, ao convívio com demais integrantes do Ictiolab: Bianca, Camila, Eric, Gabriel, Helder, Maik e Ryan. A todos vocês, muito obrigada.

Não posso deixar de agradecer ao *Posseidon*. O professor Ghisolfi, que sempre se mostrou disponível a sanar meus questionamentos, muitas vezes bobos, a respeito da dinâmica física dos oceanos. Agradeço imensamente ao Ghisolfi e à Meyre por ceder o modelo hidrodinâmico. Sem ele o desenvolvimento do mestrado não seria possível. Angelo, Ricardo e Tayná, agradeço a vocês pela paciência em responder minha dúvidas. Vocês foram essenciais ao longo desta etapa.

Agradeço à Marinha do Brasil, em especial ao comandante Otoch, pelo apoio logístico nas coletas ao longo da Cadeia Vitória-Trindade e por todo o esforço para fazer da viagem a mais proveitosa possível. Ao MCTI por proporcionar a comissão MTC III, a bordo do NOc *Antares*. Ao CNPq pelo apoio financeiro (PROTRINDADE 405426/2012-7). E à CAPES e à FACITEC pelas bolsas concedidas durante o mestrado e durante a iniciação científica, respectivamente.

*“Duas coisas são infinitas: o universo e a estupidez humana. Mas, no que respeita ao universo, ainda não adquiri a certeza absoluta.”*

**Albert Einstein**

## SUMÁRIO

Introdução Geral .....	1
Capítulo 1	
Abstract .....	5
Introduction .....	5
Material and methods .....	7
Results .....	9
Discussion .....	10
Literature Cited .....	13
Tables and Figures .....	21
Capítulo 2	
Introdução .....	35
Materiais e Métodos .....	37
Área de estudo .....	37
Modelo Hidrodinâmico .....	40
Simulação do transporte larval .....	41
Análises .....	44
Comparação com dados de coletas de ictioplâncton .....	47
Resultados .....	48
Discussão .....	50
Referências Bibliográficas .....	56
Figuras .....	66
Conclusão Final.....	73

## LISTA DE TABELAS

### Capítulo 1

Table 1.1: Ichthyoplanktonic taxa of the Vitória-Trindade Chain. Percentage of individuals in relation to total captured, P(%) in summer (Su) and winter (Wi), occurrence in the seamounts and islands of VTC (● in summer and ♦ in winter) and adult habitat (AH). Families are presented in phylogenetic order (Nelson 2006) and species in alphabetical order. The family Labridae includes Scarinae (Westneat and Alfaro 2005).  
.....21

Table 1.2: Summary of ANOVAs results for ichthyoplankton density along the VTC according to season (summer and winter) and type of environment (seamount, island or open ocean). Ichthyoplankton is categorized according to the habitat used by adults. Superscript letters indicate homogeneous groups (Tukey test) from higher (a) to lower (b) mean.....31

## LISTA DE FIGURAS

### Capítulo 1

Figure 1.1: Collection points and locations sampled along the Vitória–Trindade Chain. The circles represent the collections made in summer -December 2011 and the diamonds those made in winter -July 2013. Locations are color-coded. Note that the four collection points near Trindade Island are represented by a single symbol, as are the four points near Martin Vaz Archipelago.....32

Figure 1.2: Density (individuals.100m<sup>-3</sup>) of reef, mesopelagic and epipelagic taxa collected along the Vitória–Trindade Chain in summer (A) and in winter (B) according to location (see Table 1.1 for abbreviations). \*<sup>1</sup> Vertical axis in A was truncated; observed values are: Vit: 177 ind.100m<sup>-3</sup>; Dav: 106 ind.100m<sup>-3</sup>; Col: 118 ind.100m<sup>-3</sup>. \*<sup>2</sup> Not sampled.....33

Figure 1.3: Number of reef, mesopelagic and epipelagic taxa collected along the Vitória–Trindade Chain in summer (A) and in winter (B) according to location (see Table 1.1 for abbreviations). \* Not sampled.....34

### Capítulo 2

Figura 2.1: Matriz de conectividade. A área do círculo representa o número de larvas virtuais que foram liberados nos locais representados no eixo x e recrutados em y para tipo-Serranidae e tipo-Pomacentridae, com base em 37000 indivíduos liberados por local (não multiplicado pela área superficial do local de origem). As diagonais, em vermelho, representam o autorrecrutamento. Os índices S (sobrevivência), AR (autorrecrutamento), D (dispersão) e I (imigração) foram calculados considerando a área superficial de cada local de liberação de larvas virtuais (ver *Dispersão e Autorrecrutamento* em *Materiais e Métodos*). Locais: **Abr**: Abrolhos; **ES**: Espírito Santo; **Bes**: Besnard; **Vit**: Vitória; **Mon**: Montague; **Jas**: Jaseur; **Dav**: Davis; **Dog**: Dogaressa; **Col**: Columbia.....66

Figura 2.2: Fluxo de larvas virtuais do tipo-Serranidae entre a Cadeia Vitória-Trindade e o Espírito Santo e Abrolhos. A proporção ocupada por cada local na circunferência do mapa de fluxos está de acordo com a soma do que foi disperso e recrutado (inclusive o autorrecrutamento). Valores multiplicados pela área superficial. Em (A) Abrolhos é considerado e em (B), foi excluído para melhor visualização do fluxo entre os montes da CVT. ....67

Figura 2.3: Fluxo de larvas virtuais do tipo-Pomacentridae entre a Cadeia Vitória-Trindade e o Espírito Santo e Abrolhos. A proporção ocupada por cada local na circunferência do mapa de fluxos está de acordo com a soma do que foi disperso e recrutado (inclusive o autorrecrutamento). Valores multiplicados pela área superficial. Em (A) Abrolhos é considerado e em (B), foi excluído para melhor visualização do fluxo entre os montes da CVT. ....68

Figura 2.4: O gráfico mostra a diferença entre a dispersão a leste e a oeste do monte de origem (indicado na legenda ao lado de cada barra) para (A) tipo-Serranidae e (B) tipo-Pomacentridae. As barras em preto apontam a diferença da dispersão para locais adjacentes ao monte de origem; em cinza, a diferença na dispersão para locais dois montes distantes da fonte de propágulos e; branco, para locais três montes distantes da fonte de propágulos. Locais: **Abr**: Abrolhos; **ES**: Espírito Santo; **Bes**: Besnard; **Vit**: Vitória; **Mon**: Montague; **Jas**: Jaseur; **Dav**: Davis; **Dog**: Dogaressa; **Col**: Columbia.....69

Figura 2.5: Análise de regressão entre o tamanho relativo do local e o índice de (A – B) autorrecrutamento [AR(x)], (C – D) dispersão [D(x)] e (E – F) imigração [I(y)] para tipo-Serranidae e tipo-Pomacentridae. Espírito Santo e Abrolhos não foram considerados nas análises de dispersão e imigração. Todos os valores foram transformados em [Log<sub>10</sub>(x+1)]. Considerou-se  $\alpha=0,10$ . Locais: **Abr**: Abrolhos; **ES**: Espírito Santo; **Bes**: Besnard; **Vit**: Vitória; **Mon**: Montague; **Jas**: Jaseur; **Dav**: Davis; **Dog**: Dogaressa; **Col**: Columbia.....70

Figura 2.6: Correlação linear (Pearson; r) e não linear (Spearman; rho) entre a quantidade de larvas virtuais lançadas da plataforma continental (Espírito Santo e Abrolhos) e (A-D) a área superficial do monte receptor e (E-H) o afastamento do monte receptor da fonte de propágulos, para os tipos -Serranidae e -Pomacentridae. Considerou-se  $\alpha=0,1$ . Locais: **Abr**: Abrolhos; **ES**: Espírito Santo; **Vit**: Vitória; **Mon**: Montague; **Jas**: Jaseur; **Dav**: Davis; **Dog**: Dogaressa; **Col**: Columbia.....71

Figura 2.7: Representação esquemática dos testes de Mantel relacionando o fluxo de larvas apontado pela simulação do transporte larval (tipo-Serranidae e tipo-Pomacentridae) e a composição de larvas coletadas, agrupadas de acordo com o habitat ocupado pelo adulto (recifal, epipelágico e mesopelágico). Relações não significativas não foram indicadas. Considerou-se  $\alpha=0,10$ .....72



## RESUMO

*Peixes recifais adultos são relativamente sedentários e a fase larval pode permitir a dispersão para locais distantes. Porém, ainda há incertezas sobre o quanto da produção ictioplanctônica é retida no local de origem, o quanto é dispersa e como as diferentes populações e espécies variam neste aspecto. O transporte larval, ditado por respostas biológicas e pelas condições físicas do ambiente, permite a conectividade entre populações. A Cadeia Vitória-Trindade (CVT) é constituída por seis montes submarinos e pelas ilhas Trindade e Martin Vaz, dispostos linear e perpendicularmente à costa do Espírito Santo, que parece atuar como alpondras para peixes recifais. O trabalho objetivou analisar o fluxo de larvas ao longo da CVT. Foram feitas duas coletas na região e as larvas de peixes capturadas foram classificadas em recifal, epipelágica ou mesopelágica, de acordo com o habitat ocupado pelo adulto. Larvas de peixes mesopelágicos foram as mais abundantes e diversas em todos os locais, exceto sobre o monte submarino mais próximo à costa. Foi observado que a densidade e a riqueza de larvas de peixes recifais estão associadas a fatores como presença de locais rasos, distância de fontes externas de propágulos e dinâmica de correntes, tornando difícil o reconhecimento de algum padrão espacial. Foi realizada a simulação do transporte larval de peixes recifais no programa Ichthyop 3.2 utilizando um modelo hidrodinâmico ROMS referente à região entre a costa brasileira e o monte submarino mais distante da costa (i.e. não inclui as ilhas). A modelização do transporte foi realizada para dois tipos biológicos, com características de ampla (pelagic larval duration –PLD- de 40 a 45 dias) e de baixa (PLD de 30 a 35 dias e presença de migração vertical) capacidade dispersiva. A simulação mostrou que há fluxo de larvas ao longo da CVT e regiões adjacentes com a necessidade de etapas intermediárias para o transporte entre os extremos da cadeia, caracterizando o “modelo de alpondras modificado”. Os fluxos larvais dos dois tipos biológicos se mostraram semelhantes. Dessa forma, a dispersão larval parece exercer importante papel na conectividade de populações de peixes recifais ao longo dos montes submarinos da CVT e entre eles e a costa.*

## Introdução Geral

Dispersão é o movimento de indivíduos ou propágulos através do espaço com potenciais consequências para o fluxo gênico (Ronce 2007). A maioria dos peixes recifais é relativamente sedentária quando adultos, mas exibe uma fase larval pelágica, na qual pode haver dispersão (Fuiman e Werner 2002; Helfman *et al.* 2009). Quando as larvas estão menos desenvolvidas, o deslocamento ocorre passivamente pela movimentação da massa de água em que eclodiu. Em estágio de desenvolvimento mais avançado, as larvas são capazes de se direcionar para uma massa de água particular na qual será transportada (Leis 1991; Huebert *et al.* 2011). Até a década de 1990 acreditava-se que populações marinhas eram demograficamente abertas, com potencial de dispersão atingindo centenas a milhares de quilômetros (Cowen e Sponaugle 2009). De fato, em ilhas oceânicas, locais que nunca tiveram conexão com outra massa de terra, a dispersão larval é essencial para a colonização por peixes recifais (Cowie e Holland 2006). Estudos recentes, porém, têm demonstrado que em determinados locais a retenção larval pode ser maior do que a dispersão (Swearer *et al.* 1999; James *et al.* 2002). Dessa forma, ainda não está claro sobre como a dinâmica larval se enquadra num *continuum* de ambientes variando entre completamente fechado (retenção total das larvas) a completamente aberto (todas as larvas dispersando para fora do local de origem) e como as diferentes populações e espécies variam neste aspecto (Cowen e Sponaugle 2009). A duração da fase larval pelágica (PLD – *pelagic larval duration*), a época e local de desova, a taxa de crescimento e a migração vertical da larval são exemplos de fatores biológicos que juntamente com movimentos de massas d'água (Cowen e Sponaugle 2009) permitem a retenção de larvas próximas ao recife ou possibilitam o transporte de indivíduos entre populações geograficamente separadas, ou seja, a conectividade (Pineda *et al.* 2007).

A Cadeia Vitória-Trindade (CVT) se estende por cerca de 1160 km ao leste da costa do Espírito Santo, Brasil (*Figure 1.1*) e é formada pelos montes submersos Vitória, Montague, Jaseur,

Davis, Dogaressa e Columbia e a Ilha da Trindade e o Arquipélago Martin Vaz. Acredita-se que a CVT possa ser empregada como alpondras (*stepping-stones*; Kimura, 1953) para peixes recifais, tendo sido colonizada consecutivamente desde a área exportadora inicial de espécies (*a priori*, a plataforma continental) até a área receptora final (Trindade e Martin Vaz) e atualmente, possibilitando fluxo gênico entre as populações dos montes submarinos e ilhas (Gasparini e Floeter 2001; Simon *et al.* 2013; Macieira *et al.* 2015). Assim, a região representa uma área propícia para o estudo da dispersão do ictioplâncton.

Neste estudo, foi analisado o fluxo de larvas de peixes entre os montes da CVT a fim de testar a hipótese de que a dispersão larval promove a conectividade entre populações de peixes recifais ao longo dos montes da CVT e entre eles e a costa. O capítulo 1 apresenta uma análise sobre a distribuição dos taxa registrados em duas coletas realizadas na região e, uma no verão de 2011 e outra no inverno de 2013. No capítulo 2, utilizou-se o resultado de uma modelagem numérica de correntes oceânicas acoplado a uma plataforma que simula o transporte larval para modelizar a dispersão larval entre áreas da CVT e adjacentes. Nesse capítulo, os resultados obtidos através da simulação do transporte larval foram comparados aos padrões observados através da coleta de ictioplâncton.

## Referências Bibliográficas

- Cowen, R. K. e B. S. Holland. 2006. Dispersal is fundamental to biogeography and the evolution of biodiversity on oceanic islands. *Journal of Biogeography*. 33: 193–198.
- Cowen, R. K. e S. Sponaugle. 2009. Larval dispersal and marine population connectivity. *Annual Review of Marine Science* 1: 443–466.
- Fuiman, L. A. e R. G. Werner. 2002. *Fishery science: the unique contributions of early life stages*. Blackwell, Oxford Hare JA, Quinlan JA, Werner FE, Blanton BO, Govoni JJ, Forward.
- Gasparini, J. L. and S. R. Floeter. 2001. The shore fishes of Trindade Island, western South Atlantic. *Journal of Natural History* 35: 1639–1656.
- Helfman, G. S, B. B. Collete, D. E. Facey e B. W. Bowen. 2009. *The diversity of fishes: Biology, evolution, and ecology*. 2ª ed., Oxford: Wiley-Blackwell.
- Huebert, K. B., R. K. Cowen, S. e Sponaugle. 2011. Vertical migrations of reef fish larvae in the Straits of Florida and effects on larval transport. *Limnology and Oceanography*. 56: 1653–1666.
- James, M. K., P. R. Armsworth, L. B. Mason, L. Bode. 2002. The structure of reef fish metapopulations: modeling larval dispersal and retention patterns. *Proceedings of the Royal Society of London, Series. B*. 269: 2079–2086.
- Leis, J. M. 1991. *The pelagic stage of reef fishes: the larval biology of coral reef fishes*. Pages 183–230 in P. F. Sale, ad. *The ecology of fishes on coral reefs*. Academic Press, San Diego. 754 pp.
- Macieira, R. M., T. Simon, C. R. Pimentel and J. C. Joyeux. 2015. Isolation and speciation of tidepool fishes as a consequence of Quaternary sea-level fluctuations. *Environmental Biology of Fishes* 98: 385–393.

- Pineda, J., H. A. Jonathan e S. Sponaugle. 2007. Larval transport and dispersal in the coastal ocean and consequences for population connectivity. *Oceanography* 20:22–39.
- Ronce, O. 2007. How does it feel to be like a rolling stone? Ten Questions About Dispersal Evolution. *The Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 38: 231–253.
- Simon, T., R. M. Macieira and J. C. Joyeux. 2013. The shore fishes of the Trindade–Martin Vaz insular complex: an update. *Journal of Fish Biology* 82: 2113–2127.
- Swearer, S. E., J. E. Caselle, D. W. Lea e R. R. Warner. 1999. Larval retention and recruitment in an island population of coral-reef fish. *Nature*. 402: 799–802.

## Capítulo 1:

### Distribution of the fish larvae on the Vitória–Trindade Chain, southwestern Atlantic

Luana Birchler Stocco and Jean-Christophe Joyeux

(Accepted for publication in CheckList)

**Abstract:** This work presents a checklist of ichthyoplankton collected along the Vitória–Trindade chain with oblique bongo hauls to a depth of 20 m in the summer and in the winter. Larvae were classified according the adult habitat as reef, epipelagic or mesopelagic. The variables season, depth, sampling time, environment type and distance from the continental shelf were used to test the correlation with the larval density of each larval category. In the summer, 3,897 larvae were captured (identified at the family, genera or species level,  $n = 44, 33$  and  $82$ , respectively) and 1,026 larvae were captured in the winter ( $19, 17$  and  $25$ , respectively). Only the variables season and environment type significantly affected density, with their influence varying among larval categories.

#### Introduction

The Vitória–Trindade chain (VTC) extends for about 1,160 km east off the coast of Espírito Santo state, Brazil. It consists of about 30 seamounts (Motoki et al. 2012), several relatively shallow, reaching depths of less than 50 m. The seamounts Vitória (1,184 km<sup>2</sup> of plateau above the 120 m isobath), Montague (124 km<sup>2</sup>), Jaseur (89 km<sup>2</sup>), Davis (1,002 km<sup>2</sup>), Dogaressa (80.5 km<sup>2</sup>), and Columbia (36.5 km<sup>2</sup>), as well as the Trindade Island (85 km<sup>2</sup>) and Martin Vaz Archipelago (24

km<sup>2</sup>; Figure 1.1), are the largest and main features of the VTC. These seamounts and islands are separated by bathyal and abyssal depths and distances between 50 and 225 km (Motoki et al. 2012), the latter being the distance between Trindade and Columbia. The VTC and the Abrolhos Shelf are considered, together, a marine area ecologically and biologically significant for conservation (UNEP 2012).

The insular complex Trindade–Martin Vaz (the two islands are separated by less than 50 km) contains 154 fish species (Simon et al. 2013). While 21.6% of coastal fishes of Trindade have a circumglobal distribution, 27.5% are only found in the tropical Atlantic Ocean, 43.1% are restricted to the western Atlantic and 7.8% are endemic to the island complex (Simon *et al.* 2013). The similarity observed between the ichthyofauna of Trindade and that of the South American coast suggests that reef fishes use seamounts and island of the VTC as stepping-stones (Gasparini and Floeter 2001). Hypothetically, fishes and other organisms would have colonized the summit of seamounts in succession from the initial area of exportation of species (*a priori*, the continental shelf) to the final receiving area (in this case, Trindade and Martin Vaz). Gene flow between subpopulations could be maintained according to the same scheme (Kimura 1953). Transport over long distances of open sea is made possible by the dispersal ability characteristic of the planktonic phase. For eggs and larvae insufficiently developed, the displacement is entirely passive and promoted by the movement of water masses. Due to their swimming capacity, larvae in the most advanced stages of development are potentially able to position themselves in a particular water mass in which they can be transported or retained (Leis 1991; Huebert et al. 2010). For reef fishes, retention processes are especially important to stay close to the reef (Leis 1991). Epipelagic fish spawn off the coast or near islands, where the larvae can remain to feed (Mather et al. 1995; Alemany et al. 2010; D’Alessandro et al. 2011). Mesopelagic larvae, on the other hand, hatch at great depths and perform vertical migration according to their stage of ontogenic development (Richards 2006).

The study of oceanic ichthyoplankton in the Southeast and South of Brazil has intensified since the 1960s (Katsuragawa et al. 2006) with important works from the Abrolhos Shelf (Nonaka et al. 2000) to Rio Grande do Sul state (Matsuura and Kitahara 1995; Franco and Muelbert 2003), including the Cabo Frio upwelling region (Freitas and Muelbert 2004; Gasalla et al. 2007). Ichthyoplankton surveys on the VTC were conducted before by the REVIZEE program between 1998 and 2000 (Bonecker et al. 2006; Bonecker and Castro 2006; Castro 2006), but this faunal component remains poorly known despite its scientific and biological importance. This work presents a checklist for ichthyoplankton from the VTC and tests the hypotheses that larval density (1) varies between seasons, likely in response to reproductive periodicity; (2) varies with depth according to the habitat used by adults; (3) is higher during the nocturnal period, when occurs the vertical migration; (4) differs among seamount, island and deep ocean because of their distinct oceanographic, chemical and biological aspects; and (5) decreases with distance from the continental shelf following the idea that larval density of topographically associated species often decreases with increasing distance of seamounts from larger land masses (Boehlert and Mundy 1993).

## **Material and methods**

The ichthyoplankton was collected in summer (December 2011) by NOc Antares and in winter (July 2013) by NHo Cruzeiro do Sul with a bongo net (60 cm aperture, 3 m long and 570  $\mu\text{m}$  mesh in the cod-end) equipped with a mechanical flowmeter (General Oceanics). A total of 10 locations were sampled: Vitória, Montague, Jaseur, Davis, Dogaressa and Columbia seamounts, Trindade and Martin Vaz islands, and stretches of open ocean between Dogaressa and Columbia and between Columbia and Trindade. Twenty-one stations were sampled in the summer, 13 along the chain, four near Trindade and four near Martin Vaz (Figure 1.1). Two hauls were made at each station, resulting in 84 samples. In each haul, one sample was fixed in 10% formalin and the other



in alcohol 93%. Nine stations were sampled in the winter (Figure 1.1) with one oblique haul at each station, resulting in 18 samples that were fixed in alcohol 93%. Hauls in both seasons were oblique to a depth of 20 m, lasted between 10 and 20 minutes and were done at a speed of approximately 2 knots. Depth at station was recorded from the ship's sonar.

Larvae were identified to the lowest taxonomic level as per Fahay (1983), Bonecker and Castro (2006), Richards (2006) and Victor (2012). They were further classified according to the type of habitat occupied by adults (reef, epipelagic and mesopelagic) following Richards (2006) and Froese and Pauly (2012). The reef larvae are those taxa that in the adult phase are associated with the bottom, either reef or marginal areas (e.g., rhodolith beds or sand); the epipelagic larvae contains those pelagic taxa that live in the photic zone of the water column; and the mesopelagic larvae comprise those pelagic taxa that generally occupy the aphotic zone during the day and feed in the upper layers of the water column at night.

The density (larvae 100 m<sup>-3</sup>) at each station was calculated as the ratio between number of individuals and total volume filtered. The density of reef, mesopelagic and epipelagic taxa was analyzed concomitantly using type III multifactorial MANOVA. Note that conditions to apply such analysis are not optimal due, among others, to the unbalanced design and the low number of values. Fixed factors were seasons (summer and winter;  $n = 21$  and  $9$ , respectively), depth at the place of sampling (categorized in three classes: 0–100 m, 100–1000 m and 1000 m or more;  $n = 12$ ,  $5$  and  $13$ ), sampling time (day and night;  $n = 15$  and  $15$ ), environment type (three classes: seamount, island and deep ocean between seamounts and island;  $n = 17$ ,  $8$  and  $5$ ) and position according distance of the continental shelf (in the following order: Vitória, Montague, Jaseur, Davis, Dogaressa, Dogaressa-Columbia, Columbia, Columbia-Trindade, Trindade Island and Martin Vaz Archipelago;  $n = 5$ ,  $1$ ,  $4$ ,  $2$ ,  $3$ ,  $2$ ,  $2$ ,  $3$ ,  $4$  and  $4$ ). Density data were log-transformed [ $\ln(x+1)$ ] prior to analysis, and homogeneity of variance checked by Levene test. A stepwise removal of least-significant variables ( $\alpha = 0.05$ ) was performed to optimize the available number of degrees of

freedom ( $df = 29$ ) to the high number of  $df$  used (only main effects were included;  $df = 15$ ). MANOVA results indicated if the larval categories relative to the habitat of adults responded differently in respect to the independent variables inserted in the model. The best MANOVA model was further explored with ANOVAs for each dependent variable (density of reef, epipelagic and mesopelagic larvae) using MANOVA-selected explanatory variables. *A posteriori* Tukey HSD tests were applied in order to detect differences between categories. All MANOVA and ANOVA tests were run on IBM SPSS Statistic Version 20.0.

## Results

Almost four thousand (3,897) larvae were collected in summer and that were distributed in 159 taxa identified at the family ( $n = 44$ ), genus ( $n = 33$ ) or species level ( $n = 82$ ) (Table 1). Due to their poor condition or because they were in the early stages of ontogenetic development, 13.3% of larvae were not identified but classified into 38 morphogroups (UNID, i.e., unidentified). In the winter, 1,026 larvae belonging to 61 taxa were collected and identified at the family level (19), genus (17) or species (25) level. Only one winter taxon was classified as UNID.

Mesopelagic larvae were the most abundant at all locations, except for Vitória (Figure 1.2). Myctophidae and Gonostomatidae represented, respectively, 27 and 13% of total larvae in summer and Myctophidae remained the most abundant family in winter (34%) (Table 1). The family Scombridae (7% of total larvae) and the species *Ranzania laevis* (Pennant, 1776) (1%) were the most abundant epipelagic taxa in summer while the species *Gempylus serpens* Cuvier, 1829 was the most common (6%) in winter. Holocentridae (23% of total), Labridae (4%) and Serranidae (2%) were the most abundant reef taxa in summer while in winter Serranidae (18%) and Pomacanthidae (5%) dominated. About 99% of Holocentridae were collected on Vitória seamount in two summer

stations. Mesopelagic larvae had the highest number of taxa at all locations (Figure 1.3) except at Vitória (in the two seasons) and at Davis (in winter) where reef larvae were the most diverse.

The stepwise MANOVA to the density of reef, epipelagic and mesopelagic taxa was significant (Pillai's Trace test;  $P < 0.001$ ) when including season (Wilks' Lambda:  $P < 0.001$ ) and environment type ( $P = 0.01$ ). (The categorical variables depth at the place of sampling –amply redundant with environment type–, sampling time and distance from the continental shelf were not significant and removed from the model.) Thus, the three larval categories based on adult habitat behave differently in respect to the explanatory variables. Reef taxa were significantly more abundant over seamounts than in open ocean locations (ANOVA, Tukey post-hoc test;  $P = 0.021$ ) while epipelagic larvae were significantly more abundant near islands ( $P = 0.03$ ) and over seamounts ( $P = 0.043$ ) than far from such geological structures (Table 2). The density of epipelagic taxa was higher in the summer ( $P < 0.001$ ; Table 2).

## **Discussion**

Mesopelagic larvae numerically dominate the VTC ichthyoplankton community with no discernible variation in space or time. On the other hand, reef and epipelagic larvae appear dependent upon the presence of relief (seamounts or islands) and larval density of epipelagic taxa peaked in summer, likely in response to reproduction. The fish larvae community composition observed over the Vitória–Trindade chain is similar to those described for other regions of the tropical and subtropical southwestern Atlantic (Katsuragawa and Matsuura 1990; Ekau et al. 1999; Nonaka et al. 2000; Bonecker et al. 2006). However, it differs from the ichthyoneuston communities of St. Paul's Rocks (Macedo-Soares et al. 2012), the Fernando de Noronha Chain and the North Brazilian Chain (Lessa et al. 1999) likely due to sampling depth and the specificity of the ichthyoplankton compartment targeted by these studies. Only the family Holocentridae has not

been reported among the most abundant reef taxa of the VTC and adjacent areas (Ekau et al. 1999; Nonaka et al. 2000; Bonecker et al. 2006). The seasonal variation observed in abundance of reef taxa is consistent with the reproductive season of the respective taxa (Jones et al. 2006; Kelly 2006; Richards et al. 2006a, 2006b).

Seamounts cause deviations of flow that may result in upwelling currents, eddies, and Taylor cones/columns, which can lead nutrients, and possibly organisms, from the deep ocean toward the surface, promoting increased primary productivity and help to retain water masses over the top of seamount summit (White and Mohn 2002). Using numerical models, Lemos (2014) detected Taylor cones/columns above the summits of Vitória, Jaseur and Davis seamounts. These phenomena may contribute to the greater density of ichthyoplankton on seamounts compared to open ocean (Bonecker et al. 1992/93; Rezende et al. 2006; Table 2) and can extend to 30 km into the surrounding waters (Dower and Mackas 1996). . Specifically, the high density of reef taxa could be related, among other factors, to their ability to remain on the reef through horizontal and vertical swimming oriented by smell, hearing and vision (Leis 2007).

Distance (Isolation) is an important biogeographical factor for, both, terrestrial and aquatic species. For example, the richness of terrestrial taxa on islands often decreases with distance from the nearest mainland (MacArthur and Wilson 1967), the diversity of pelagic fish species decreases with distance from seamounts (Morato et al. 2010) and the density of larvae of topographically associated species decreases with increasing distance of seamount from larger land masses (Boehlert and Mundy 1993). However, the density pattern was not observed in this study ( $P > 0.05$  for the position according to the distance from the continental shelf). Nevertheless, the first seamount of the chain, Vitória, showed the highest density in both summer and winter and, also, the second-highest (in summer) or highest (in winter) number of reef taxa. Besides its proximity to mainland, its large summit area extent probably enables higher recruitment from the coast, a higher diversity of environments (H.T. Pinheiro and E.F. Mazzei, comm. pers.) and therefore a higher

richness of fish (MacArthur and Wilson 1967), acting as the first link between populations of the Brazilian coast, seamounts and remote islands.

Davis had the highest number of reef taxa in winter and the second highest density for reef taxa in both seasons (Figures 1.2 and 1.3). This seamount is characterized by its high structural complexity of large reefs (Jean-Christophe Joyeux, obs. pers.) and its ability to shelter a large number of species (Pinheiro et al. 2014). The seamount also has a truncated conical shape which favors the formation of a Taylor cone (or column, depending on water stratification; Lemos 2014) that promotes the retention of plankton and facilitates self-recruitment (Boehlert and Mundy 1993). The richness of reef fishes at the extremities of the chain, particularly remarkable at its eastern end (Figure 1.3), may be a result of the higher number of habitats available. The islands of Trindade and Martin Vaz are the only emerged locations of the chain. Therefore, they possess habitable depth ranges that are absent in the seamounts and that allow the persistence and self-recruitment of shallow-water species, including those of the intertidal zone. Currently, the VTC does not appear to act as stepping-stones for dispersal of shallow-water species (Simon et al. 2013), but the colonization of Trindade and Martin Vaz may have been facilitated by a process of stepping-stones during the Pleistocene glaciations. With the sea level 120 m below the current sea level, all seamounts were emerged during the last glacial maximum (e.g., Thomas *et al.* 2009) and therefore contained shallow-water habitat propitious to the settlement of these species (Simon et al. 2013; Macieira et al. 2015).

## **Acknowledgments**

We are grateful to the Ministry of Science, Technology and Innovation (MTCI; Comissão MTC III), the Brazilian Navy and the Interministerial Commission for Sea Resources (SECIRM) for logistical support. The vessels NOc *Antares* and NHo *Cruzeiro do Sul* and their crews offered

wonderful opportunities for science and wonderful times for visiting scientists. The National Council for Research (CNPq; grant 405426/2012-7 to JCJ) provided financial support, Fund for Science and Technology of the Vitória city hall (FACITEC) and Federal Agency for Support and Evaluation of Graduate Education (CAPES) undergraduate and graduate fellowships, respectively, to LBS. We thank Raphael Macieira for field and intellectual support, Thiony Simon for insightful comments on the manuscript and Helder Guabiroba for help onboard the NOc *Antares*.

### Literature Cited

Boehlert, G.W. and B.C. Mundy. 1993. Ichthyoplankton assemblages at seamounts and oceanic islands. *Bulletin of Marine Science* 53(2): 336–361.

Bonecker, A.C.T. and M.S. Castro. 2006. Atlas de larvas de peixes da região central da Zona Econômica Exclusiva brasileira. Museu nacional, Rio de Janeiro: Série Livros/ Documentos REVIZEE Score Central. 214 pp.

Bonecker, S.L.C., C.R. Nogueira, A.C.T. Bonecker, L.H.S. Santos, M.V. Reynier and D.R. Tenenbaum. 1992/93. Estudo hidrográfico e planctológico da região entre Cabo Frio (Rio de Janeiro) e o Arquipélago de Abrolhos (Bahia) – Brasil. *Nerítica* 7(1–2): 71–86. Bonecker, A.C.T., M.S. Castro, C. Namiki; F.T. Bonecker, F.B.A.G. Barros and W.M. Monteiro-Ribas. 2006. Ictioplâncton; pp. 141–159, in: Valentin, J. L. (ed.). *Características hidrobiológicas da região central da Zona Econômica Exclusiva brasileira (Salvador, BA, ao Cabo de São Tomé, RJ)*. Brasília: Ideal gráfica e Editora.

Castro, M.S. 2006 *Variação espacial e temporal das larvas de peixes ao norte e ao sul do banco de Abrolhos e no entorno da Cadeia Vitória–Trindade*. Phd thesis. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro. 158 pp.

D'Alessandro, E.K., S. Sponaugle, J.K. Lopez and R.K. Cowen. 2011 Larval ecology of great barracuda, *Sphyraena barracuda*, and other sphyraenids in the Strait of Florida. *Marine Biology* 158: 2625–2638. <http://dx.doi.org/10.1007/s00227-011-1771-y>

Dower, J.F. and D.L. Mackas. 1996. "Seamount effects" in the zooplankton community near Cobb Seamount. *Deep-Sea Research* 43: 837–858. [http://dx.doi.org/10.1016/0967-0637\(96\)00040-4](http://dx.doi.org/10.1016/0967-0637(96)00040-4)

Ekau, W., P. Westhaus-Ekau and C. Medeiros. 1999. Large scale distribution of fish larvae in the continental shelf waters off North-east Brazil. *Archive of Marine Research* 47(2/3): 183–200.

Fahay, M. 1983. Guide to the stages of marine fishes occurring in the Western North Atlantic, Cape Hatteras to the Southern Scotian shelf. *Journal of Northwest Atlantic Fishery Science* 4: 3–423 pp. <http://dx.doi.org/10.2960/j.v4.a1>

Franco, B.C. and J.H. Muelbert. 2003. Distribuição e composição do ictioplâncton na quebra de plataforma do sul do Brasil. *Atlântica* 25(1): 75–86.

Freitas, D.M. and J.H. Muelbert. 2004. Ichthyoplankton distribution and abundance off southeastern and southern Brazil. *Brazilian Archives of Biology and Technology* 47(4): 601–612. <http://dx.doi.org/10.1590/s1516-89132004000400014>

Froese, R. and D. Pauly. 2013. FishBase. Accessed at <http://www.fishbase.org/>, December 2013.

Gasalla, M.A., G. Velasco, C.L. D. B. Rossi-Wongtschowski, M. Haimovici and L.S.P. Madureira. 2007. Modelo de equilíbrio de biomassas do ecossistema marinho da região Sudeste-Sul do Brasil entre 100–1000 m de profundidade. São Paulo: Instituto Oceanográfico–USP / Série Documentos REVIZEE / Score Sul. 56 pp.

Gasparini, J.L. and S.R. Floeter. 2001. The shore fishes of Trindade Island, western South Atlantic. *Journal of Natural History* 35: 1639–1656. <http://dx.doi.org/10.1080/002229301317092379>

Huebert, K. B., S. Sponaugle. and R. K. Cowen. 2010. Predicting the vertical distributions of reef fish larvae in the Straits of Florida from environmental factors. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 67: 1755–1767. <http://dx.doi.org/10.1139/f10-116> [10.1139/F10-116#.VMB4VEfF-8o](http://dx.doi.org/10.1139/F10-116#.VMB4VEfF-8o)

Jones, D.L., M.R. Lara and W.J. Richards. 2006. Labridae: Wrasses; pp. 1835–1871, in: W.J. Richards (ed.). *Early stages of Atlantic fishes: an identification guide for the western central North Atlantic*. Florida: CRC Press.

Katsuragawa, M. and Y. Matsuura. 1990. Comparison of diel and spatial distribution patterns of ichthyoplankton and ichthyoneuston in the Southeastern Brazilian Bight. *Boletim do Instituto Oceanográfico* 38(2): 133–146. <http://dx.doi.org/10.1590/s1679-87591990000200003>

Katsuragawa, M., J.H. Muelbert and J.F. Dias. 2006. O ictioplâncton na região entre o Cabo de São Tomé (RJ) e o Chuí (RS); pp. 359–446, in: C.L.D.B. Rossi-Wongtschowski and L.S.P. Marureira (eds.). *O ambiente oceanográfico da plataforma continental do talude na região sudeste-sul do Brasil*. São Paulo: EDUSP.

Kelly, S. 2006. Pomacanthidae: Angelfishes; pp. 1767–1785, in: W.J. Richards (ed.). *Early stages of Atlantic fishes: an identification guide for the western central North Atlantic*. Florida: CRC Press.

Kimura, M. 1953. Stepping-stones model of population. *Annual Report of the National Institute of Genetics* 3: 62–63.



Leis, J. M. 1991. The pelagic stage of reef fishes: the larval biology of coral reef fishes; pp. 183–230, in: P.F. Sale (ed.). The ecology of fishes on coral reefs. San Diego: Academic Press.

Leis, J. M. 2007. Behaviour as input for modelling dispersal of fish larvae: behaviour, biogeography, hydrodynamics, ontogeny, physiology and phylogeny meet hydrography. *Marine Ecology Progress Series* 347: 185–193. <http://dx.doi.org/10.3354/meps06977>.

Lemos, A. T. 2014. Aspectos meteo-oceanográficos associados com a concentração de clorofila-a ao longo da Cadeia Vitória-Trindade. Thesis: Universidade Federal do Espírito Santo. 133 pp.

Lessa, R. P., P. Mafalda-Jr., R. Advíndula, R. B. Lucchesi, J. L. Bezerra-Jr., T. Vaske-Jr. and D. Hellebrandt. 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.

MacArthur, R. H. and E.O. Wilson. 1967. The theory of island biogeography. Princeton: Princeton University Press. 224 pp.

Macedo-Soares, L.C.P., A.S. Freire and J.H. Muelbert. 2012. Small-scale spatial and temporal variability of larval fish assemblages at an isolated oceanic island. *Marine Ecology Progress Series* 444: 207–222. <http://dx.doi.org/10.3354/meps09436>

Macieira, R. M., T. Simon, C. R. Pimentel and J.-C. Joyeux. 2015. Isolation and speciation of tidepool fishes as a consequence of Quaternary sea-level fluctuations. *Environmental Biology of Fishes* 98: 385–393. <http://dx.doi.org/10.1007/s10641-014-0269-0>

Mather, F. J., J. M. J. Mason and A. C. Jones. 1995. Historical document: life history and fisheries of Atlantic Bluefin Tuna. Miami: National Oceanic and Atmospheric Administration. 174 pp.

Matsuura, Y. and E. M. Kitahara. 1995. Horizontal and vertical distribution of anchovy *Engraulis anchoita* eggs and larvae off Cape Santa Marta Grande in southern Brazil. *Archive of Fishery and Marine Research* 42(3): 239–250.

Morato, T., S.D. Hoyle, V. Allain and S.J. Nicol. 2010. Seamounts are hotspots of pelagic biodiversity in the open ocean. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107: 9707–9711. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.0910290107>

Motoki, A., K.F. Motoki and D.P. Melo. 2012. Submarine morphology characterization of the Vitória–Trindade Chain and the adjacent areas, state of Espírito Santo, Brazil, based on the predicted bathymetry of the TOPO version 14.1. *Revista Brasileira de Geomorfologia* 13(2): 151–170.

Nelson, J.S. 2006. *Fishes of the world*. Hoboken: John Wiley & Sons. 601 pp.

Nonaka, R. H., Y. Matsuura and K. Suzuki. 2000. Seasonal variation in larval fish assemblages in relation to oceanographic conditions in the Abrolhos Bank region off eastern Brazil. *Fishery Bulletin* 98: 767–784.

Pinheiro, H. T., J.-C. Joyeux and R. L. Moura. 2014. Reef oases in a seamount chain in the southwestern Atlantic. *Coral Reefs* 33: 1113. <http://dx.doi.org/10.1007/s00338-014-1211-9>.

Rezende, C. E., L. Andrade, M. S. Suzuki, B. C. M.T. Faro, A. S. M. Gonzalez and R. Paranhos. 2006. Hidroquímica; pp. 31–60, in: J. L. Valentin (ed.). *Características hidrobiológicas da região central da Zona Econômica Exclusiva brasileira* (Salvador, BA, ao Cabo de São Tomé, RJ). Brasília: Ideal Gráfica e Editora.

Richards, W. J. 2006. *Early stages of Atlantic fishes: an identification guide for the western central North Atlantic*. Florida: CRC Press. 1824 pp.

Richards, W. J., C. C. Baldwin and A. Röpke. 2006a. Serranidae: Sea basses; pp. 1225–1331, in: W.J. Richards (ed.). Early stages of Atlantic fishes: an identification guide for the western central North Atlantic. Florida: CRC Press.

Richards, W. J., J. Lyezkowski-Shultz and M. Konieczna. 2006b. Holocentridae: squirrelfishes; pp. 1047–1050, in: W.J. Richards (ed.). Early stages of Atlantic fishes: an identification guide for the western central North Atlantic. Florida: CRC Press.

Simon, T., R. M. Macieira and J.-C. Joyeux. 2013. The shore fishes of the Trindade–Martin Vaz insular complex: an update. *Journal of Fish Biology* 82: 2113–2127. <http://dx.doi.org/10.1111/jfb.12126>

Thomas, A. L., G. M. Henderson, P. Deschamps, Y. Yokoyama, A. J. Mason, E. Bard, B. Hamelin, N. Durand and G. Camoin. 2009. Penultimate deglacial sea-level timing from uranium/thorium dating of Tahitian corals. *Science* 324: 1186–1189. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1168754>

UNEP. 2012. Table 2. Description of areas meeting criteria for ecologically or biologically significant marine areas (EBSAs) in wider Caribbean and western Mid-Atlantic region; pp. 190-199, in: Conference of the parties to the convention on biological diversity, Eleventh meeting Hyderabad, India, 8–19 October 2012. Report of the Eleventh Meeting of the Conference of the parties to the convention on biological diversity, UNEP/CBD/COP/11: 288p. <http://www.cbd.int/doc/meetings/cop/cop-11/official/cop-11-35-en.pdf>

Victor, B. 2012. Coral reef fish. Accessible at <http://coralreeffish.com>. Captured on December 2013.

Westneat, M. W. and M. E. Alfaro. 2005. Phylogenetic relationships and evolutionary history of the reef fish family Labridae. *Molecular Phylogenetics and Evolution* 36: 370–390. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ympev.2005.02.001>

White, M. and C. Mohn. 2002. *Seamounts: a review of physical processes and their influence on the seamount ecosystem*. Ireland: OASIS. 40 pp.



Table 1.1: Ichthyoplanktonic taxa of the Vitória-Trindade Chain. Percentage of individuals in relation to total captured, P(%) in summer (Su) and winter (Wi), occurrence in the seamounts and islands of VTC (● in summer and ◆ in winter) and adult habitat (AH). Families are presented in phylogenetic order (Nelson 2006) and species in alphabetical order. The family Labridae includes Scarinae (Westneat and Alfaro 2005). Occurrence: **Vit**: Vitória; **Mon**: Montague; **Jas**: Jaseur; **Dav**: Davis; **Dog**: Dogaressa; **Dog-Col**: between Dogaressa and Columbia seamounts; **Col**: Columbia; **Col-Tri**: between Columbia seamount and Trindade Island; **Tri**: Trindade Island; **MaV**: Martin Vaz Archipelago. **NID**: not identified.

Taxa	P(%) Su	P(%) Wi	Vit	Mon	Jas	Dav	Dog	Dog-Col	Col	Col-Tri	Tri	MaV	AH
<b>Moringuidae</b>	0.03												
<i>Moringua edwardsi</i> (Jordan & Bollman, 1889)	0.03						●						Reef
<b>Chlopsidae</b>	0.03												
<i>Kaupichthys hyoprroides</i> (Strömman, 1896)	0.03						●						Reef
<b>Muraenidae</b>	0.05												
<i>Gymnothorax moringa</i> (Cuvier, 1829)	0.03					●							Reef
Unidentified	0.03										●		Reef
<b>Nemichthyidae</b>	0.03	0.09											
<i>Avocettina</i> sp.	0.03					●							Mesopelagic
Unidentified		0.09							◆				Mesopelagic
<b>Gonostomatidae</b>	13.37	2.04											
<i>Cyclothone acclinidens</i> Garman, 1899	1.9	0.29	◆	●	●	●	●	◆◆	●	●	●	●	Mesopelagic
<i>Cyclothone braueri</i> Jespersen & Täning, 1926	0.03						●						Mesopelagic
<i>Cyclothone pseudopallida</i> Mukhacheva, 1964	0.05								●				Mesopelagic
<i>Cyclothone</i> sp.	11.31	1.46	◆◆	●	◆◆	●	◆◆	◆◆	◆◆	◆◆	●	●	Mesopelagic
<i>Diplophos taenia</i> Günther, 1873	0.05	0.29			◆				◆◆	●			Mesopelagic
<i>Gonostoma atlanticum</i> Norman, 1930	0.03						●						Mesopelagic
<b>Sternoptychidae</b>	1.77	7.89											
<i>Maurollicus stehmanni</i> Parin & Kobylansky, 1993	1.77	7.89	◆		◆	◆◆		◆◆	◆◆	●	●	●	Mesopelagic
<b>Phosichthyidae</b>	3.90	4.77											
<i>Vinciguerria nimbaria</i> (Jordan & Williams, 1895)	3.85	4.77	◆	●	◆◆	◆◆	◆◆	◆◆	●	●	●	●	Mesopelagic
<i>Vinciguerria poweriae</i> (Cocco, 1838)	0.05			●								●	Mesopelagic
<b>Stomiidae</b>	0.13	0.29											
<i>Bathophilus</i> sp.	0.03										●		Mesopelagic

Taxa	P(%) Su	P(%)Wi	Vit	Mon	Jas	Dav	Dog	Dog-Col	Col	Col-Tri	Tri	MaV	AH
<i>Melanostomias</i> sp.	0.05										•	•	Mesopelagic
Unidentified	0.08	0.29	♦				♦	•			•	•	Mesopelagic
<b>Synodontidae</b>	0.03	0.19											
<i>Synodus synodus</i> (Linnaeus, 1758)	0.03						•						Reef
<i>Synodus</i> sp.		0.19	♦										Reef
<b>Evermannellidae</b>	0.03	0.38											
<i>Evermannella melanoderma</i> Parr, 1928	0.05	0.09		•			♦				•		Mesopelagic
Unidentified		0.29	♦		♦								Mesopelagic
<b>Paralepididae</b>	0.28	0.87											
<i>Lestidium</i> sp.	0.03	0.49			•	♦	♦						Mesopelagic
<i>Lestrolepis intermedia</i> (Poey, 1868)	0.03				•								Mesopelagic
<i>Macroparalepis brevis</i> Ege, 1933	0.08	0.19					♦			•	•	•	Mesopelagic
<i>Stemonosudis intermedia</i> (Ege, 1933)	0.05									•			Mesopelagic
Unidentified	0.13	0.19	•	•	♦	•				•		•	Mesopelagic
<b>Gigantactinidae</b>	0.03												
Unidentified	0.03											•	Mesopelagic
<b>Myctophidae</b>	30.90	33.72											
<i>Benthosema suborbitale</i> (Gilbert, 1913)	0.05								•				Mesopelagic
<i>Bolinichthys</i> sp.	0.18	1.55				♦♦	♦♦	•	♦	•			Mesopelagic
<i>Centrobranchus nigroocellatus</i> (Günther, 1873)	0.03						•						Mesopelagic
<i>Ceratoscopelus warmingii</i> (Lütken, 1892)	0.98	4.67	♦		♦♦	♦♦	♦♦	•	♦♦	•	•		Mesopelagic
<i>Ceratoscopelus</i> sp.	0.05						•						Mesopelagic
<i>Diaphus metopoclampus</i> (Cocco, 1829)	0.13				•	•						•	Mesopelagic
<i>Diaphus mollis</i> Täning de, 1928	17.38	14.91	♦♦	•	♦♦	♦♦	♦♦	♦♦	♦♦	♦♦	•	•	Mesopelagic
<i>Diaphus</i> sp. (as in Richards 2006)	1.64	3.08	♦♦	•	♦♦	♦♦	♦♦	•	♦♦	•	•	•	Mesopelagic
<i>Hygophum macrochir</i> (Günther, 1864)	0.03											•	Mesopelagic
<i>Hygophum taaningi</i> Becker, 1965	0.03										•		Mesopelagic
<i>Hygophum</i> sp.	0.18	0.19							♦♦				Mesopelagic
<i>Lampadena</i> sp.	0.56	0.39	♦	•	•	•			•			•	Mesopelagic

Taxa	P(%) Su	P(%)Wi	Vit	Mon	Jas	Dav	Dog	Dog-Col	Col	Col-Tri	Tri	MaV	AH
<i>Lampanyctus nobilis</i> Tåning de, 1928	0.05				•								Mesopelagic
<i>Lepidophanes gausi</i> (Brauer, 1906)	2.31	3.12	♦♦		♦♦	•	♦♦	•	♦♦	•	•	•	Mesopelagic
<i>Lepidophanes guentheri</i> (Goode & Bean, 1896)	1.39	4.97	♦♦	•	♦♦	♦♦	♦♦		•		•	•	Mesopelagic
<i>Lepidophanes</i> sp.	0.05						•						Mesopelagic
<i>Lobianchia dofleini</i> (Zugmayer, 1911)	0.03						•						Mesopelagic
<i>Myctophum obtusirostre</i> Tåning, 1928	0.03				•								Mesopelagic
<i>Nannobranchium atrum</i> (Tåning, 1928)	0.05					•							Mesopelagic
<i>Nannobranchium</i> sp.	0.03										•		Mesopelagic
<i>Notoscopelus caudispinosus</i> (Johnson, 1863)		0.09			♦								Mesopelagic
Myctophidae 1	5.11		•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	Mesopelagic
Myctophidae 2	0.05		•								•		Mesopelagic
Myctophidae 3	0.08			•					•		•		Mesopelagic
Myctophidae 4	0.05					•						•	Mesopelagic
Myctophidae 5	0.08					•					•		Mesopelagic
Myctophidae 6	0.03								•				Mesopelagic
Myctophidae 7	0.05									•			Mesopelagic
Myctophidae 8	0.03									•			Mesopelagic
Myctophidae 9	0.28									•	•		Mesopelagic
<b>Radiicephalidae</b>	0.03												
Unidentified	0.03											•	Mesopelagic
<b>Trachipteridae</b>	0.05												
<i>Trachipterus trachipterus</i> (Gmelin, 1789)	0.03						•						Mesopelagic
<i>Zu cristatus</i> (Bonelli, 1819)	0.03											•	Mesopelagic
<b>Bregmacerotidae</b>		0.09											
<i>Bregmaceros atlanticus</i> Goode & Bean, 1886		0.09				♦							Mesopelagic
<b>Ophidiidae</b>	0.13	0.09											
<i>Spectrunculus grandis</i> (Günther, 1877)	0.03								•				Mesopelagic
Unidentified	0.11	0.09	♦♦			•				•			Mesopelagic
<b>Ceratiidae</b>	0.03												



Taxa	P(%) Su	P(%) Wi	Vit	Mon	Jas	Dav	Dog	Dog-Col	Col	Col-Tri	Tri	MaV	AH
<i>Cryptosaras couesii</i> Gill, 1883	0.03	0.09									•		Mesopelagic
Unidentified		0.09			♦								Mesopelagic
<b>Belonidae</b>	0.05												
Unidentified	0.05										•	•	Epipelagic
<b>Exocoetidae</b>	0.56												
<i>Cheilopogon exsiliens</i> (Linnaeus, 1771)	0.10				•		•	•		•			Epipelagic
<i>Cheilopogon furcatus</i> (Mitchill, 1815)	0.03											•	Epipelagic
<i>Exocoetus volitans</i> Linnaeus, 1758	0.15				•						•	•	Epipelagic
<i>Exocoetus</i> sp.	0.08				•			•				•	Epipelagic
Unidentified	0.20									•		•	Epipelagic
<b>Hemiramphidae</b>	0.08												
Unidentified	0.08		•	•								•	Epipelagic
<b>Trachichthyidae</b>	0.03												
Unidentified	0.03									•			Mesopelagic
<b>Holocentridae</b>	23.25	0.48											
Unidentified	23.25	0.48	♦♦		♦	•	•	•				•	Reef
<b>Syngnathidae</b>	0.05	0.09											
<i>Amphelikurus dendriticus</i> (Barbour, 1905)	0.03					•							Reef
<i>Micrognathus crinitus</i> (Jenyns, 1842)	0.03					•							Reef
Unidentified		0.09	♦										Reef
<b>Aulostomidae</b>	0.03												
<i>Aulostomus strigosus</i> Wheeler, 1955	0.03											•	Reef
<b>Fistulariidae</b>	0.03												
<i>Fistularia petimba</i> Lacepède, 1803	0.03			•									Reef
<b>Dactylopteridae</b>	0.21												
<i>Dactylopterus volitans</i> (Linnaeus, 1758)	0.21		•		•								Reef
<b>Scorpaenidae</b>	0.44	0.29											
Unidentified	0.44	0.29	♦♦	•	•	•	•					•	Reef
<b>Serranidae</b>	1.54	18.21											

Taxa	P(%) Su	P(%) Wi	Vit	Mon	Jas	Dav	Dog	Dog-Col	Col	Col-Tri	Tri	MaV	AH
<i>Anthias</i> sp.	0.05	0.09	•				♦♦						Reef
<i>Epinephelus</i> sp.	0.03		•										Reef
<i>Liopropoma carmabi</i> (Randall, 1963)	0.15			•			•						Reef
<i>Pseudogramma gregoryi</i> (Breder, 1927)	0.13			•			•					•	Reef
<i>Serranus</i> sp.	0.44	18.12	♦♦		♦	♦♦	♦♦				•	•	Reef
Serranidae 1	0.15					•							Reef
Serranidae 2	0.46					•							Reef
Unidentified	0.13		•		•				•		•		Reef
<b>Opistognathidae</b>	0.08	1.17											
<i>Opistognathus aurifrons</i> (Jordan & Thompson, 1905)	0.08										•		Reef
Unidentified		1.17	♦			♦	♦						Reef
<b>Apogonidae</b>	0.26	3.21	♦		♦	♦	♦						
<i>Apogon</i> sp.	0.15	2.83			♦	♦♦	♦					•	Reef
<i>Phaeoptyx</i> sp.	0.03	0.38	♦				•						Reef
Unidentified	0.08					•					•		Reef
<b>Epigonidae</b>	0.03												
Unidentified	0.03									•			Reef
<b>Coryphaenidae</b>	0.10	0.48											
<i>Coryphaena equiselis</i> Linnaeus, 1758	0.10	0.39	♦♦		♦					•		•	Epipelagic
<i>Coryphaena hippurus</i> Linnaeus, 1758		0.09			♦								Epipelagic
<b>Echeneidae</b>	0.13												
<i>Echeneis naucrates</i> Linnaeus, 1758	0.08											•	Epipelagic
Unidentified	0.05						•	•					Epipelagic
<b>Carangidae</b>	0.98	2.43											
<i>Caranx</i> sp.	0.31		•										Reef
<i>Decapterus macarellus</i> (Cuvier, 1833)	0.13	2.04	♦♦		♦	♦	♦						Reef
<i>Oligoplites saurus</i> (Bloch & Schneider, 1801)	0.03				•								Reef
<i>Pseudocaranx dentex</i> (Bloch & Schneider, 1801)	0.05		•										Reef
<i>Selar crumenophthalmus</i> (Bloch, 1793)	0.10	0.09	•				♦						Reef

Taxa	P(%) Su	P(%)Wi	Vit	Mon	Jas	Dav	Dog	Dog-Col	Col	Col-Tri	Tri	MaV	AH
<i>Seriola zonata</i> (Mitchill, 1815)	0.05		•										Reef
Unidentified	0.31	0.29	◆•			•						•	Reef
<b>Bramidae</b>	0.03												
Unidentified	0.03		•										Epipelagic
<b>Lutjanidae</b>	0.23												
<i>Lutjanus</i> sp.	0.18										•		Reef
Unidentified	0.05											•	Reef
<b>Mullidae</b>	0.26	3.70											
Unidentified	0.26	3.70	◆◆			◆	◆						Reef
<b>Chaetodontidae</b>		0.09											
Unidentified		0.09	◆										Reef
<b>Pomacanthidae</b>	0.15	5.06											
<i>Centropyge</i> sp.	0.03										•		Reef
<i>Holacanthus tricolor</i> (Bloch, 1795)	0.10	2.53	◆		◆		•		•			•	Reef
Unidentified	0.03	2.53	◆◆		◆	◆							Reef
<b>Cirrhitidae</b>	0.08												
<i>Amblycirrhitus pinos</i> (Mowbray, 1927)	0.08			•	•								Reef
<b>Pomacentridae</b>	0.26	0.58											
<i>Chromis</i> sp.	0.03	0.29	◆						•				Reef
<i>Microspathodon chrysurus</i> (Cuvier, 1830)	0.08										•	•	Reef
<i>Stegastes</i> sp.	0.10		•			•				•		•	Reef
Unidentified	0.05	0.29	◆			◆◆							Reef
<b>Labridae</b>	3.95	3.39											
<i>Cryptotomus roseus</i> Cope, 1871	1.57	2.04	◆	•	◆◆	◆◆	◆◆						Reef
<i>Doratonotus megalepis</i> Günther, 1862	0.41	0.09	◆◆			•							Reef
<i>Halichoeres</i> sp.	0.03										•		Reef
<i>Scarus</i> sp.	0.05	0.29		•	◆		◆					•	Reef
<i>Sparisoma</i> sp.	1.18	0.39	◆	•	•		◆						Reef
<i>Xyrichtys</i> sp.	0.03										•		Reef

Taxa	P(%) Su	P(%) Wi	Vit	Mon	Jas	Dav	Dog	Dog-Col	Col	Col-Tri	Tri	MaV	AH
Unidentified	0.70	0.58	♦		•	♦♦					•	•	Reef
<b>Chiasmodontidae</b>	0.05												
<i>Kali macrura</i> (Parr, 1933).	0.03											•	Mesopelagic
<i>Pseudoscopelus</i> sp.	0.03								•				Mesopelagic
<b>Gobiesocidae</b>	0.13												
Unidentified	0.13										•		Reef
<b>Callionymidae</b>		0.09											
<i>Callionymus bairdi</i> Jordan, 1888		0.09				♦							Reef
<b>Gobiidae</b>	1.08												
<i>Coryphopterus</i> sp.	0.18					•					•	•	Reef
<i>Elacatinus</i> sp.	0.08					•							Reef
<i>Gnatholepis thompsoni</i> Jordan, 1904	0.03						•						Reef
<i>Lythrypnus</i> sp.	0.18										•		Reef
Unidentified	0.62						•				•	•	Reef
<b>Ptereleotridae</b>	0.18	1.36											
<i>Ptereleotris randalii</i> Gasparini, Rocha & Floeter, 2001	0.18	1.36	♦			♦♦	♦						Reef
<b>Sphyraenidae</b>	0.33	0.68											
<i>Sphyraena barracuda</i> (Edwards, 1771)	0.08	0.09	•				♦♦				•		Epipelagic
<i>Sphyraena guachancho</i> Cuvier, 1829	0.05					•							Epipelagic
<i>Sphyraena picudilla</i> Poey, 1860	0.10	0.48	♦				•					•	Epipelagic
<i>Sphyraena</i> sp.	0.10	0.09	♦♦	•		•					•		Epipelagic
<b>Gempylidae</b>	0.51	5.94											
<i>Gempylus serpens</i> Cuvier, 1829	0.51	5.94	♦♦	•		♦♦	♦		♦♦	♦♦	•	•	Epipelagic
<b>Scombridae</b>	6.85	0.68											
<i>Acanthocybium solandri</i> (Cuvier, 1832)	0.05			•								•	Epipelagic
<i>Euthynnus alletteratus</i> (Rafinesque, 1810)	0.08		•									•	Epipelagic
<i>Katsuwonus pelamis</i> (Linnaeus, 1758)	0.90	0.29	♦♦	•	•	♦♦	•	♦		•	•		Epipelagic
<i>Scomber colias</i> Gmelin, 1789	0.03					•							Epipelagic
<i>Scomberomorus cavalla</i> (Cuvier, 1829)	0.05		•										Epipelagic

Taxa	P(%) Su	P(%)Wi	Vit	Mon	Jas	Dav	Dog	Dog-Col	Col	Col-Tri	Tri	MaV	AH
<i>Thunnus alalunga</i> (Bonnaterre, 1788)	3.08		•	•	•	•	•		•	•	•	•	Epipelagic
<i>Thunnus albacares</i> (Bonnaterre, 1788)	1.51		•	•	•	•	•		•	•	•	•	Epipelagic
<i>Thunnus obesus</i> (Lowe, 1839)	0.18		•	•	•							•	Epipelagic
<i>Thunnus</i> sp.	0.13	0.09					♦				•	•	Epipelagic
Unidentified	0.85	0.29	♦♦		•		•	•		•		•	Epipelagic
<b>Istiophoridae</b>	0.05												
<i>Makaira nigricans</i> Lacepède, 1802	0.03		•										Epipelagic
Unidentified	0.03				•								Epipelagic
<b>Nomeidae</b>	0.44												
<i>Cubiceps pauciradiatus</i> Günther, 1872	0.23			•									Mesopelagic
<i>Cubiceps</i> sp.	0.10					•							Mesopelagic
<i>Psenes cyanophrys</i> Valenciennes, 1833	0.10			•		•							Mesopelagic
<b>Caproidae</b>	0.03												
Unidentified	0.03						•						Reef
<b>Bothidae</b>	0.05												
<i>Bothus lunatus</i> (Linnaeus, 1758)	0.03										•		Reef
<i>Bothus ocellatus</i> (Agassiz, 1831)	0.03											•	Reef
<b>Balistidae</b>	0.41												
<i>Balistes capriscus</i> Gmelin, 1789	0.03				•								Reef
<i>Canthidermis sufflamen</i> (Mitchill, 1815)	0.03				•								Reef
<i>Xanthichthys ringens</i> (Linnaeus, 1758)	0.30		•		•	•							Reef
Unidentified	0.10					•						•	Reef
<b>Monacanthidae</b>	0.10	0.09											
<i>Monacanthus ciliatus</i> (Mitchill, 1818)	0.08		•			•							Reef
Unidentified	0.03	0.09			♦	•							Reef
<b>Ostraciidae</b>	1.21												
Unidentified	1.21		•	•	•	•	•	•				•	Reef
<b>Tetraodontidae</b>	0.18	0.09											
<i>Sphoeroides</i> sp.		0.09			♦								

Taxa	P(%) Su	P(%)Wi	Vit	Mon	Jas	Dav	Dog	Dog-Col	Col	Col-Tri	Tri	MaV	AH
Unidentified	0.18			•			•			•	•	•	Reef
<b>Diodontidae</b>	0.15	0.09											
Unidentified	0.15	0.09	♦♦						•	•		•	Reef
<b>Molidae</b>	1.49												
<i>Ranzania laevis</i> (Pennant, 1776)	1.49		•	•	•	•	•		•	•	•	•	Epipelagic
<b>Unidentified</b>	3.13												
NID 1	0.03		•										
NID 2	0.03		•										
NID 3	0.03		•										
NID 4	0.03		•										
NID 5	0.13		•								•		
NID 6	0.03		•										
NID 7	0.03		•										
NID 8	0.03		•										
NID 9	0.08			•	•								
NID 10	0.03				•								
NID 11	0.05					•							
NID 12	0.03					•							
NID 13	0.08					•							
NID 14	0.05					•							
NID 15	0.03						•						
NID 16	0.03						•						
NID 17	0.03							•					
NID 18	0.03								•				
NID 19	0.64								•	•	•	•	
NID 20	0.13									•	•		
NID 21	0.05									•			
NID 22	0.03										•		
NID 23	0.03										•		

Taxa	P(%) Su	P(%)Wi	Vit	Mon	Jas	Dav	Dog	Dog-Col	Col	Col-Tri	Tri	MaV	AH
NID 24	0.28										•	•	
NID 25	0.10										•		
NID 26	0.41										•		
NID 27	0.05										•		
NID 28	0.03										•		
NID 29	0.26										•		
NID 30	0.18												
NID 31	0.05											•	
NID 32	0.03											•	
NID 33	0.03											•	
NID 34	0.03											•	
NID 35	0.03											•	
NID 36	0.03											•	
NID 37	0.03											•	
NID 38	0.03											•	
NID 39		1.07	♦										

Table 1.2: Summary of ANOVAs results for ichthyoplankton density along the VTC according to season (summer and winter) and type of environment (seamount, island or open ocean). Ichthyoplankton is categorized according to the habitat used by adults. Superscript letters indicate homogeneous groups (Tukey test) from higher (a) to lower (b) mean. The variables depth, sampling time and position according to distance of the continental shelf were not included because they were not significant in the MANOVA.

Source	Adult Habitat					
	Reef		Mesopelagic		Epipelagic	
	F-value	P-value	F-value	P-value	F-value	P-value
<b>Model</b>	4.471	0.012	1.353	0.279	12.433	<0.001
<b>Season</b>	3.719	NS	2.694	NS	24.137	< 0.001
					Summer <sup>a</sup>	
		–		–	Winter <sup>b</sup>	
<b>Environment type</b>	5.907	0.008	0.126	NS	3.498	0.045
		Seamounts <sup>a</sup>				Islands <sup>a</sup>
		Islands <sup>a,b</sup>		–		Seamounts <sup>a</sup>
		Open ocean <sup>b</sup>				Open ocean <sup>b</sup>



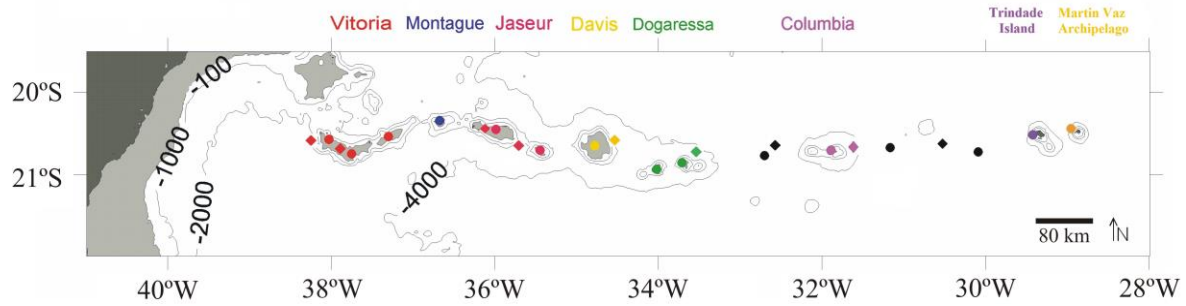


Figure 1.1: Collection points and locations sampled along the Vitória–Trindade Chain. The circles represent the collections made in summer -December 2011 and the diamonds those made in winter -July 2013. Locations are color-coded. Note that the four collection points near Trindade Island are represented by a single symbol, as are the four points near Martin Vaz Archipelago.

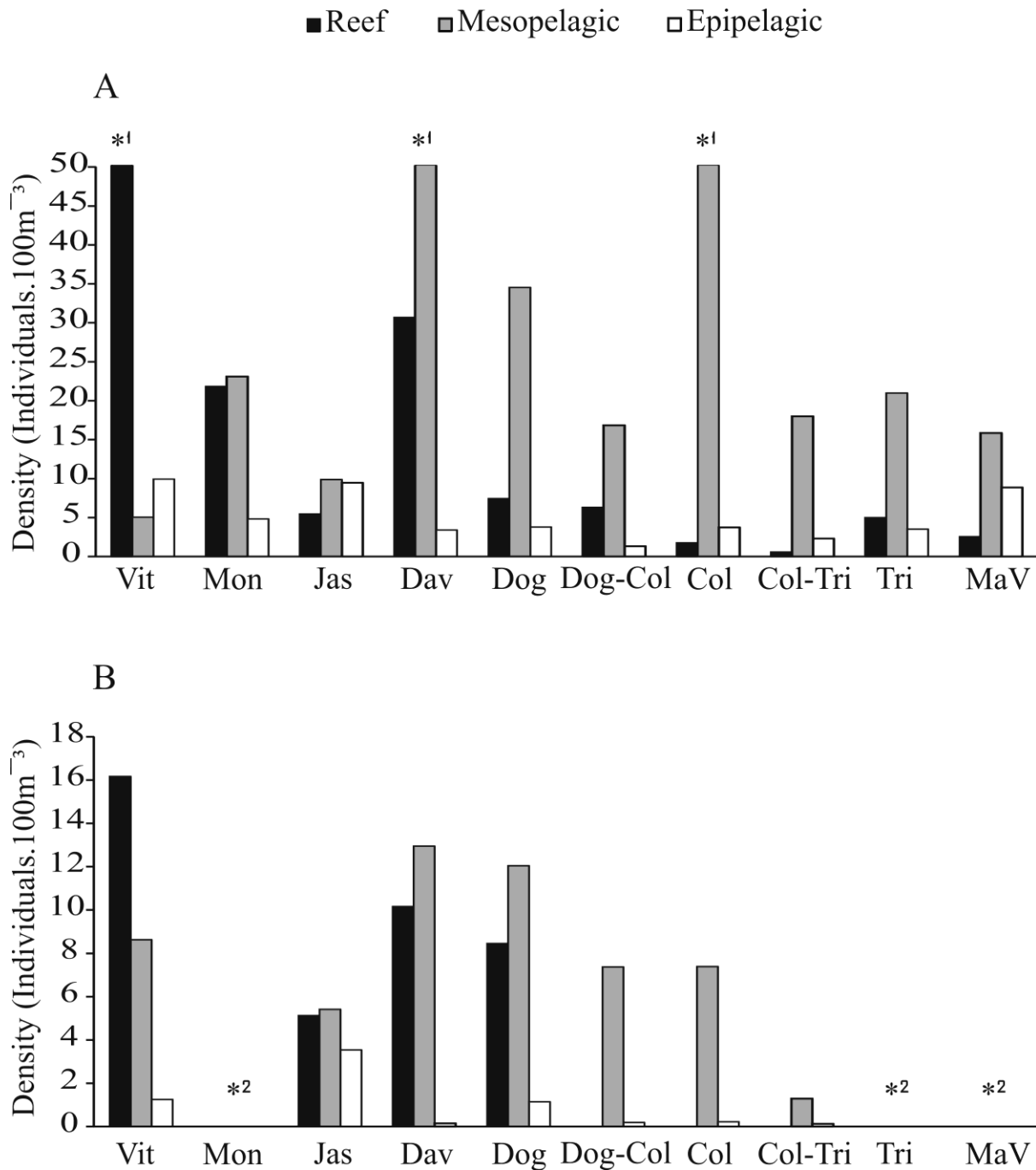


Figure 1.2: Density (individuals.100m<sup>-3</sup>) of reef, mesopelagic and epipelagic taxa collected along the Vitória-Trindade Chain in summer (A) and in winter (B) according to location (see Table 1.1 for abbreviations). \*1 Vertical axis in A was truncated; observed values are: Vit: 177 ind.100m<sup>-3</sup>; Dav: 106 ind.100m<sup>-3</sup>; Col: 118 ind.100m<sup>-3</sup>. \*2 Not sampled.

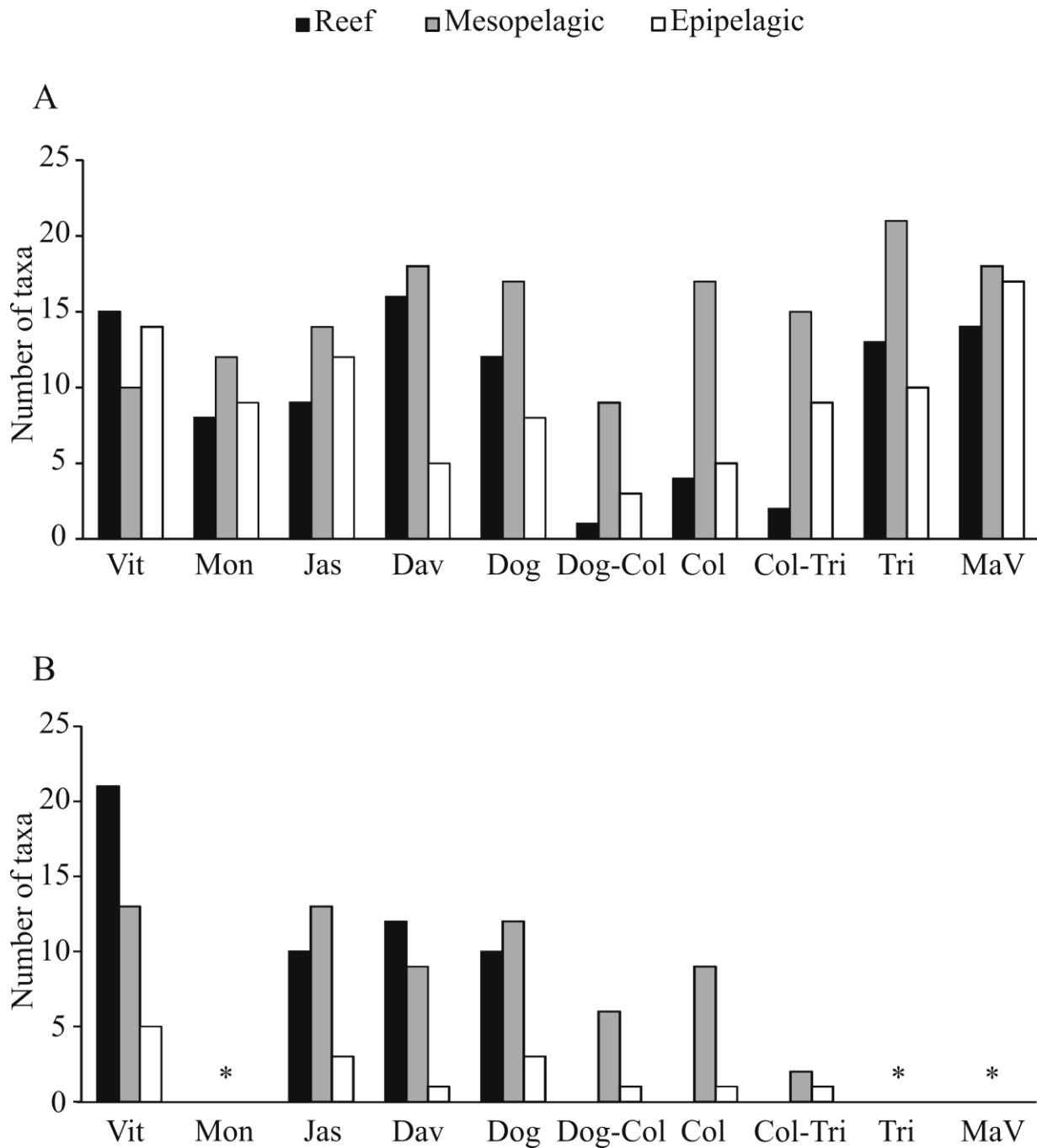


Figure 1.3: Number of reef, mesopelagic and epipelagic taxa collected along the Vitória–Trindade Chain in summer (A) and in winter (B) according to location (see Table 1.1 for abbreviations). \* Not sampled.

## Capítulo 2:

### Dispersão de larvas de peixes recifais ao longo da Cadeia Vitória-Trindade

#### Introdução

A dispersão de larvas de peixes recifais é um fator de risco: há a possibilidade de não alcançar local favorável para o estabelecimento do organismo e a mortalidade é elevada devido ao aumento da predação e inanição (Ronce 2007). No entanto, a dispersão também possibilita a busca por locais ainda não saturados, a redução da competição, a não exposição a patógenos paternos e a diminuição do risco de extinção promovida pela conectividade entre populações (Gaines *et al.* 2007). A capacidade dispersiva varia consideravelmente entre espécies. Larvas do peixe cirurgião *Acanthurus triostegus* (Linnaeus 1758), por exemplo, alcançam 34 km, as da corvina *Sciaenops ocellatus* (Linnaeus 1766), 527 km (Kilan e Gaines 2003), e as do peixe donzela *Stegastes partitus* (Poey 1868), cerca de 200 km da localidade natal (Hogan *et al.* 2012; Chittaro e Hogan 2013). A dinâmica oceânica e os aspectos biológicos guiam o transporte larval. Os comportamentos migratório e reprodutivo do adulto, por exemplo, podem ser determinantes para a conectividade e o fluxo gênico entre populações (Portnoy *et al.* 2013). Não há consenso quanto à real importância da duração da fase larval pelágica (PLD – *pelagic larval duration*) para a dispersão. Alguns estudos já sugeriram que quanto maior o PLD, maior a capacidade de dispersão (Lacson 1992; Bradbury *et al.* 2008), enquanto outros não encontraram esta relação (Bowen *et al.* 2006; Weersing e Toonen 2009). O olfato (Atema *et al.* 2002; Wright *et al.* 2005; Gerlach *et al.* 2007), a audição (Wright *et al.* 2005; Montgomery *et al.* 2006) e a visão (ver

revisão de Kingsford *et al.* 2002; Leis 2006) podem auxiliar a detecção da direção do recife relativamente cedo no desenvolvimento ontogenético larval. A migração vertical e a natação horizontal integradas com a capacidade sensorial larval possibilitam o direcionamento do organismo para uma massa de água particular (Leis 1991; Huebert *et al.* 2011) e, conseqüentemente, podem interferir significativamente no transporte (Leis 2007). Dessa forma, generalizações sobre a conectividade de populações se tornam de difícil reconhecimento, pois cada região apresenta uma dinâmica oceanográfica diferente e cada espécie é única, com diferentes características que interferem na capacidade dispersiva (Mora e Sale 2002).

O estudo da dispersão larval tem sido comumente realizado por meio de análises genéticas em indivíduos adultos (Lester *et al.* 2007; Salas *et al.* 2010; Eble *et al.* 2011; Hogan *et al.* 2012; Simon 2014), marcações naturais e artificiais em larvas (Thorrold *et al.* 2002; Chittaro e Hogan 2013) e simulação do transporte larval (Baums *et al.* 2006; Cowen *et al.* 2006; Lett *et al.* 2007; Brochier *et al.* 2008; Kool *et al.* 2011; Robins *et al.* 2013; Dias *et al.* 2014; Wood *et al.* 2014). A última técnica utiliza o resultado de um modelo numérico que reproduz as condições de um ambiente marinho (*i.e.*, batimetria, circulação, temperatura e salinidade), como o ROMS (Shchepetkin e McWilliams 2005), o HYCOM (Chassignet *et al.* 2007) e o MICOM (Garraffo *et al.* 2001), e traça a trajetória larval considerando os parâmetros biológicos inseridos. Aspectos biológicos incluem o PLD e a migração vertical. Porém, essa técnica apresenta limitações como a não inclusão de comportamentos larvais derivados da percepção do ambiente e a ausência de informações na literatura sobre a biologia reprodutiva. Ainda assim, a simulação do transporte larval torna-se atrativa diante das dificuldades financeiras e logísticas encontradas em análises genéticas e de marcadores.

Neste trabalho, foi realizada a simulação do transporte larval para analisar a dispersão de larvas de peixes recifais ao longo da Cadeia Vitória-Trindade (CVT). Foram utilizados dois tipos biológicos, um com ampla capacidade dispersiva e outro com capacidade dispersiva mais restrita. Os objetivos foram verificar se: (1) pode ocorrer um fluxo de larvas de peixes recifais entre os montes da CVT e entre eles e a costa; (2) o transporte ocorre de forma simétrica; (3) há relação entre o tamanho do local de liberação de larvas e a quantidade de indivíduos autorrecrutados e dispersos; (4) há relação entre o tamanho do local e a quantidade de larvas que imigram, (5) o tamanho do monte e o afastamento do continente interferem no número de recrutas provindos da costa, e (6) há diferenças no transporte larval entre os dois tipos biológicos analisados.

## **Materiais e Métodos**

### *1 – Área de Estudo*

A CVT é composta por aproximadamente mais de 30 edifícios com altura relativa superior a 1000 m (Motoki *et al.* 2012), em sequência linear, se estendendo perpendicularmente à costa do Espírito Santo por cerca de 1000 km. Motoki *et al.* (2012) sugerem que o primeiro monte, Vitória, seria uma extensão do banco Besnard. Estas duas estruturas seriam fragmentos continentais desintegrados da Plataforma dos Abrolhos durante a separação dos continentes sul-americano e africano, enquanto todos os outros edifícios teriam origem vulcânica. Os montes submarinos Jaseur, Davis, Dogaressa e Columbia e a Ilha da Trindade e o Arquipélago Martin Vaz são as elevações vulcânicas maiores e mais rasas, sendo Jaseur, Dogaressa, Columbia e,

possivelmente, Davis, formados por mais de um edifício vulcânico (Motoki *et al.* 2012). Motoki *et al.* (2012) sugerem que Montague, monte submarino entre Vitória e Jaseur, também apresenta formação vulcânica. Os topos destes montes submarinos variam entre 50 e 80 m em Davis e Columbia, respectivamente, com alguns recifes biogênicos atingindo 33 e 17 m em Vitória e Davis, respectivamente (Jean-Christophe Joyeux, com. pes.). As feições vulcânicas são mais jovens de acordo com o afastamento da costa: Jaseur foi formado há aproximadamente 30 milhões de anos (Ma), Davis e Dogaressa, 19-24 Ma (Skototnev *et al.* 2011), Columbia, 10 Ma (Fodor e Hanan 2000), a Ilha da Trindade, 3,4 Ma (Ferrari e Riccomini, 1999) e o Arquipélago Martin Vaz, 1,1 Ma (Hansen *et al.* 1998). Inicialmente, foi sugerida que a formação das elevações vulcânicas da CVT se deu devido ao deslocamento da placa tectônica Sul-Americana em sentido leste-oeste, e pela existência da zona de fratura Vitória-Trindade que atravessaria um *hot spot* (Herz 1977; Ferrari e Riccomini 1999; Skolotnev *et al.* 2011; Almeida 2006). Contudo, estudos têm apontado fatores que contradizem a hipótese de *hot spot* (Motoki e Motoki 2011; Motoki *et al.* 2012) e sugerem que a formação da CVT pode estar relacionada com o manto litosférico hidratado ao longo da zona de fratura Vitória-Trindade (Motoki e Motoki 2011).

A porção da CVT mais próxima à costa é banhada pela Corrente do Brasil (CB), corrente de contorno oeste. A CB se origina em torno de 15°S e flui para sul, compreendendo a Água Tropical (AT), massa d'água superficial com temperatura superior a 20°C e salinidade superior a 36, que se estende 200 m de profundidade. Soutelino *et al.* (2011) observaram que, na profundidade de 50 m próximo de 15, 17 e 19°S ocorrem giros anti-ciclônicos próximos a costa, denominados Vórtice de Ilhéus, Vórtice de Royal Charlotte e Vórtice de Abrolhos, respectivamente (Soutelino *et al.* 2013). A Água Central do Atlântico Sul (ACAS), massa d'água de sub-superfície (200-1000 m de profundidade), de temperatura entre 6 e 20°C e de salinidade

entre 34,6 e 36, é formada na região da Convergência Subtropical, entra como parte do Giro Subtropical e se bifurca quando atinge a costa próximo a 20°S, com o seu ramo norte fluindo em sentido contrário ao da AT e o ramo sul sendo incorporado à CB após esta passar pela região da CVT (Silveira *et al.* 2000). A CB se depara com a CVT em 20,5°S, podendo fluir por três canais: (1) entre a plataforma continental e o banco Besnard, (2) entre o banco Besnard e o monte Vitória e (3) entre o monte Vitória e o monte Jaseur (Evans e Signorini 1985; Passos 2011; Pimentel 2012). Pimentel (2012) sugere que não existe um padrão dominante de ramificação da CB nesta região, podendo: esta se trifurcar; se bifurcar entre os canais 1 e 2 ou entre os canais 2 e 3; ou passar unicamente pelo canal 2 ou 3. Servino (2014), por meio de modelagem numérica, verificou a ocorrência de dois vórtices ciclônicos no Embaiamento de Tubarão (região a frente de Vitória, Espírito Santo), denominados VC1 e VC2, sendo a formação de cada vórtice associada à passagem diferenciada da CB pelos canais 3 e 2, respectivamente. A partir de 21°S a CB se reorganiza e retorna em direção à costa fluindo para sul.

Imediatamente ao sul da CVT pode-se observar o Vórtice de Vitória (VV), giro ciclônico semi-permanente associado à CB (Schmid *et al.* 1995). O VV tem 50-60 km de diâmetro, se estende até 400 m de profundidade e é caracterizado por um núcleo mais frio e menos salino que a massa d'água circundante (Schmid *et al.* 1995) e que provoca o aumento de biomassa fitoplanctônica na região (Gaeta *et al.* 1999). O VV é geralmente reabsorvido pela CB após passar pela CVT, porém Arruda *et al.* (2013) observaram eventuais deslocamentos do VV para norte-nordeste, atravessando a CVT e podendo orbitar o vórtice de Abrolhos ou seguir pela linha batimétrica da costa do nordeste.

Além dos montes da CVT, a área de estudo compreende o banco Besnard, a Plataforma dos Abrolhos e a plataforma continental delimitada entre a foz do Rio Doce (Espírito Santo) e o



norte fluminense, aqui denominada por Espírito Santo. A Ilha da Trindade e o Arquipélago Martin Vaz não estão incluídos no presente estudo devido a limites computacionais na elaboração do modelo hidrodinâmico (Meyre da Silva, com. pes.).

## 2- Modelo Hidrodinâmico

Foi utilizado a versão do modelo hidrodinâmico *Regional Ocean Modeling System* desenvolvida pelo *Institut de Recherche pour le Development* (ROMS-AGRIF). O ROMS é um modelo geral da circulação oceânica em coordenadas verticais sigma, desenhado para o estudo de regiões costeiras ou regiões com topografia de fundo variável e nas quais os processos de interação com a camada-limite de fundo são importantes (Shchepetkin e McWilliams 2005). O modelo resolve as equações de movimento de fluidos de Navier-Stokes fazendo uso das aproximações de Boussinesq, hidrostática e equação de estado simplificada. O ROMS-AGRIF foi implementado para a Plataforma Leste e Sudeste do Brasil entre as latitudes 10°S e 26°S e longitudes 49°O e 30°O, com resolução horizontal de 1/30° (aproximadamente 4,6 km) e vertical de 20 níveis sigma. O raio de deformação interna de Rossby para a região varia entre 20 e 50 km, assim, o modelo tem resolução suficiente para resolver a escala dominante das ondas mais instáveis e processos baroclínicos de mesoescala. A topografia, derivada do ETOPO1, foi levemente alisada para garantir uma simulação acurada e estável e, posteriormente, foi interpolada para a grade do modelo.

O modelo foi integrado a partir de uma estrutura termohalina climatológica, utilizando-se as climatologias mensais de fluxos de calor, evaporação-precipitação e ventos obtidos do *Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set* (COADS), que disponibiliza os dados numa

resolução espacial de  $1/2^\circ$  (Da Silva *et al.* 1994). Um termo de relaxamento newtoniano à climatologia mensal da temperatura da superfície do mar do AVHRR/Pathfinder de resolução de 9,28 km (Casey e Cornillon, 1999) foi aplicado na computação do fluxo de calor. Nos contornos laterais abertos a estrutura termohalina foi relaxada para a climatologia World Ocean Atlas 2005 (Conkright *et al.* 2002). O modelo hidrodinâmico foi rodado por 10 anos e médias diárias das variáveis temperatura, salinidade e velocidade foram armazenados. Os primeiros 3 anos da solução do modelo foram considerados como períodos de *spin-up*. Apenas o último ano foi considerado. O resultado gerado foi validado por imagens de temperatura por satélite e de clorofila (Meyre da Silva, com. pes.).

A implementação do ROMS-AGRIF para a Plataforma Leste e Sudeste do Brasil foi feita dentro do projeto “Estudo Numérico da Interação entre a Corrente do Brasil e Águas da Plataforma Continental do Espírito Santo: Variabilidade Sazonal e Interanual” (processo número 55108385/2011, financiado pela FAPES/CNPq). Os dados foram gentilmente cedidos pela Dra. Meyre Da Silva, Laboratório de Dinâmica Física dos Oceanos (*Posseidon*) da Universidade Federal do Espírito Santo.

### 3- Simulação do Transporte Larval

A plataforma de modelagem Ichthyop 3.2 (Lett *et al.* 2008) foi utilizada para traçar as trajetórias das *larvas virtuais* (terminologia de acordo com Cowen *et al.* 2000; Cowen *et al.* 2006 e Cowen e Sponaugle 2009). O *Ichthyop* é um modelo lagrangeano com abordagem baseada no indivíduo (*Individual-based model*, IBM). Para simular o transporte larval, esta ferramenta utiliza o resultado do modelo hidrodinâmico ROMS incorporado a ele, tal como velocidade e

direção de correntes oceânicas, salinidade e temperatura, além de aspectos biológicos. Os parâmetros considerados foram: (1) movimento horizontal advectivo, (2) tipo de desova, (3) migração vertical e (4) duração da fase larval (PLD - *pelagic larval duration*). O movimento horizontal advectivo utiliza o *Forward Euler scheme*, que é baseado nas componentes zonal e meridional de velocidade horizontal ( $u$  e  $v$ ), de acordo com as equações:

$$xp_{t + \Delta t} = xp_t + u\Delta t$$

$$yp_{t + \Delta t} = yp_t + v\Delta t$$

onde,  $xp$  e  $yp$  são a posição horizontal da partícula (m);  $u$  e  $v$ , as componentes zonal e meridional da velocidade da corrente ( $m\ s^{-1}$ ); e  $\Delta t$ , o tempo (s).

Dois experimentos foram realizados na plataforma de modelagem IBM: o primeiro para táxons com ampla capacidade de dispersão e o segundo para táxons com capacidade de dispersão mais restrita, denominados tipo-Serranidae e tipo-Pomacentridae, respectivamente. Para o tipo-Serranidae, a desova é pelágica, sendo que a fase de ovo dura pouco mais de um dia [referência de *Mycteroperca marginata* (Lowe, 1834), por falta de mais informações sobre a família; Glamuzina *et al.* 1998] e após a eclosão a larva é transportada pela corrente por volta de 40 dias, idade à qual a larva está apta para o assentamento. Larvas de Serranidae, de forma geral, realizam migração vertical de acordo com a ontogenia, estando em camadas mais rasas da coluna d'água quando mais jovens (Huebert *et al.* 2011). Dessa forma, a migração vertical para este tipo não foi ativada na simulação do transporte larval, pois o programa permite apenas a inclusão de migração vertical nictemeral. Além de Serranidae, outros táxons como Labridae e Holocentridae apresentam características de dispersão larval ampla. O tipo-Pomacentridae apresenta a desova aderida ao substrato. Após a eclosão, a larva virtual do tipo-Pomacentridae passa a ser

transportada pela corrente por volta de 30 dias e realiza migração vertical estando em maiores profundidades da coluna d'água (50m) durante o dia e mais rasas a noite (33m; Huebert *et al.* 2011). Algumas espécies da família Gobiidae tendem a apresentar características de dispersão larval menos ampla. Para os dois tipos biológicos, a simulação do transporte larval ocorreu para mais 5 dias além do tempo mínimo para o assentamento; as larvas recrutaram se alcançam a *área de recrutamento* no intervalo entre tempo mínimo e este mais cinco dias (40-45 dias para tipo-Serranidae e 30-35 dias para tipo-Pomacentridae).

Foram delimitadas nove regiões que atuaram tanto como *área de liberação* quanto como *área de recrutamento*: Espírito Santo (área superficial delimitada no modelo: 14162 km<sup>2</sup>), Abrolhos (33865 km<sup>2</sup>), Besnard (1908 km<sup>2</sup>), Vitória (1332 km<sup>2</sup>), Montague (102 km<sup>2</sup>), Jaseur (697 km<sup>2</sup>), Davis (978 km<sup>2</sup>), Dogaressa (103 km<sup>2</sup>) e Columbia (5 km<sup>2</sup>). A simulação do transporte larval para cada tipo biológico foi iniciada com “desovas” (lançamentos) a cada 10 dias durante um ano, de agosto de 2010 a julho de 2011, sendo liberados 1000 indivíduos (para fins probabilísticos) aleatoriamente e homogeneamente distribuídos dentro de cada área de liberação em cada evento. Dessa forma, ocorreu a liberação de 37000 larvas virtuais de cada tipo de dispersão em cada local, 333000 no total para cada tipo.

Para cada local de liberação, o número de larvas virtuais foi multiplicado pela área superficial relativa do local, esta sendo a razão entre as áreas superficiais do local considerado e a do monte Columbia, localidade de menor tamanho. Dessa forma, obteve-se uma aproximação da real contribuição de lançamento de larvas de cada localidade. Quando as larvas virtuais saem da grade de domínio do modelo, elas são eliminadas da computação.

O transporte larval compreende o caminho percorrido pela larva entre dois pontos enquanto que a dispersão larval significa o seu deslocamento a partir do local de desova até o local de assentamento (Pineda *et al.* 2007). Dessa forma, neste trabalho, o objeto de estudo é restrito á dispersão larval.

### 3- Análises

#### 3.1- Dispersão e Autorrecrutamento

Vários índices foram calculados para cada tipo biológico e para cada local:

Sobrevivência  $[S(x)]$ : representa a porcentagem de larvas virtuais que foram liberadas no local x e que se dispersaram ou autorrecrutaram,

$$S(x) = \frac{s_x}{37000} \times 100;$$

Autorrecrutamento  $[AR(x)]$ : a porcentagem de larvas virtuais que foram liberadas do local x e recrutaram no mesmo local,

$$AR(x) = \frac{ar_x}{s_x} \times 100;$$

Dispersão  $[D(x)]$ : a porcentagem de larvas virtuais liberadas do local x e recrutaram em outro local (*i.e.*, não autorrecrutaram),

$$D(x) = \frac{d_x}{s_x} \times 100; e$$

Imigração [ $I(x)$ ]: a percentagem de larvas virtuais que imigrou para x sobre o total recrutado no mesmo local,

$$I(y) = \frac{\sum_{x=1}^8 d_{xy}t_x}{\sum_{x=1}^8 d_{xy}t_x + ar_y t_y} \times 100 ;$$

onde:

$t_x, t_y$  representam as áreas relativas dos locais x e y, respectivamente;

$s_x$  é o número de larvas virtuais sobreviventes liberadas do local x;

$ar_x, ar_y$ , o número de larvas virtuais autorrecrutadas nos locais x e y, respectivamente (*i.e.*, liberadas e recrutadas em x ou y);

$d_x$ , o número de larvas virtuais dispersas a partir do local x (*i.e.*, liberadas em x e recrutadas em outros locais); e

$d_{xy}$ , o número de larvas virtuais dispersas a partir do local x e recrutadas no local y.

Para analisar a simetria do transporte, para cada local de origem foi calculada a diferença entre o que é disperso para leste e para oeste. A hipótese nula é que o transporte é simétrico, ou seja, a diferença é igual a zero. Foram desconsiderados os locais de liberação na borda da área estudada: Espírito Santo, Abrolhos e Columbia.

Foi realizada correlação linear (Pearson) e não linear (Spearman) com 950 reamostragens (tipo bootstrap) a fim de verificar se há relação entre a área das localidades e a quantidade de

larvas virtuais autorrecrutadas,  $AR(x)$ , dispersas,  $D(x)$ , e imigradas,  $I(y)$ . Para avaliar a dispersão e a imigração, as localidades Espírito Santo e Abrolhos foram desconsideradas já que em situações reais estas sofrem elevada influência de regiões fora da grade de domínio do modelo. Os valores foram transformados em  $\log(x+1)$ . Também foi utilizada correlação linear (Pearson) e não linear (Spearman) com 950 reamostragens (bootstrap) a fim de verificar o efeito do afastamento da costa e do tamanho do monte receptor sobre o recrutamento de larvas originadas do continente. Espírito Santo e Abrolhos, as duas fontes costeiras de propágulos, foram analisados separadamente. Como montes receptores, foram considerados somente os montes da CVT devido a linearidade (*i.e.*, Besnard não foi incluído). As análises foram realizadas para cada tipo biológico no programa SPSS versão 20. Devido ao baixo número de dados foi utilizado  $\alpha = 0,10$ .

### 3.2- Tipos biológicos

Matrizes de dispersão (dados relativizados à superfície do local) obtidas da simulação do transporte larval foram utilizadas para verificar a similaridade entre os tipos biológicos. Foi realizado um teste de Mantel (999 permutações, coeficiente de Spearman) no programa R, que utiliza apenas matrizes de distância. (Nestas, a diagonal somente comporta zeros e a semi-matriz inferior é simétrica à semi-matriz superior; as computações usam somente uma semi-matriz.) Assim, cada matriz de transporte foi desmembrada em duas semi-matrizes denominadas *matriz de dispersão a oeste* e *matriz de dispersão a leste*. As diagonais, que representam o autorrecrutamento, foram comparadas por correlação não paramétrica de Spearman, também no programa R.

#### *4-Comparação com dados de coletas de ictioplâncton*

Pressupõe-se que locais com mais espécies de peixes recifais em comum apresentem maior troca de indivíduos entre si. Dessa forma, é esperado que locais com maior troca de larvas virtuais na simulação do transporte larval apresente maior compartilhamento de espécies de peixes recifais registradas em coletas; e que esta associação seja menos evidente em espécies epipelágicas e mesopelágicas. Para verificar esta relação, as matrizes de dispersão obtidas da simulação do transporte larval foram comparadas com resultados de duas coletas de ictioplâncton realizadas na CVT, em dezembro de 2011 e em julho de 2013. Os táxons encontrados foram classificados de acordo com o habitat ocupado pelo adulto em recifal, epipelágico e mesopelágico. A metodologia e os resultados das coletas estão descritos no capítulo 1.

A partir dos dados de presença/ausência de espécies obtidos das coletas de ictioplâncton, foram construídas matrizes de similaridade para cada grupo utilizando o coeficiente binário de Jaccard. Para os resultados obtidos através da simulação do transporte larval, foram construídas matrizes de similaridade (dados relativizados à superfície do local) para cada tipo biológico, tipo-Serranidae e tipo-Pomacentridae, utilizando coeficiente de Bray Curtis. Foram comparadas entre si por teste de Mantel utilizando correlação de Spearman. Foram considerados os montes Vitória, Montague, Jaseur, Davis, Dogaressa e Columbia, localidades com dados disponíveis tanto de coletas, quanto de modelagem. As análises foram realizadas no Primer 6 (Clarke e Gorley 2006) e devido ao baixo número de permutações possíveis dos dados (720) foi utilizado  $\alpha = 0,10$ .



## Resultados

### *Dispersão e autorrecrutamento*

Do total de larvas virtuais liberadas no modelo (333000 de cada espécie), apenas 9,5% e 16,3% dos tipos-Serranidae e -Pomacentridae, respectivamente, recrutaram em algum dos locais considerados. A simulação do transporte larval mostrou que é possível, ao longo de um ano, a dispersão de larvas de peixes recifais entre os montes da CVT, Besnard, Espírito Santo e Abrolhos, tanto para leste quanto para oeste do local de origem, podendo ocorrer entre locais separados por centenas de quilômetros (*e.g.*, dispersão entre Espírito Santo e Jaseur e entre Vitória e Dogaressa; Figuras 2.1-2.3). Apesar de bidirecional, a dispersão não foi simétrica (Figura 2.4). O transporte a curta distância (1 alpondra) ocorreu preferencialmente para sul e para oeste no início da cadeia e para leste no centro; enquanto que o transporte de longa distância (2 ou 3 alpondras), somente observável no centro da cadeia, tendeu a transportar para o oeste.

Observou-se elevada dispersão de larvas virtuais de Abrolhos para o Espírito Santo e para os montes da CVT, exceto para o último monte, Columbia (Figuras 2.1-2.3). A taxa de autorrecrutamento e de sobrevivência de larvas virtuais de Abrolhos foi superior para o tipo-Pomacentridae (67 e 54%, respectivamente, e 34 e 30% para tipo-Serranidae; Figura 2.1). Para os dois tipos biológicos houve maior autorrecrutamento no Espírito Santo do que dispersão. Propágulos liberados do Espírito Santo foram capazes de alcançar até o monte Jaseur, terceiro monte da cadeia. Os montes Vitória, Besnard e Jaseur se destacam no papel de intermediários no transporte, apresentando elevado recebimento de propágulos de Abrolhos e do Espírito Santo e

elevada taxa de sobrevivência e de dispersão para montes mais distantes, alcançando o penúltimo monte da cadeia, Dogaressa (Figuras 2.1-2.3).

Todas as larvas virtuais do tipo-Pomacentridae que recrutaram no monte Columbia foram liberadas deste mesmo local, ou seja, 100% do que recrutou, proveio de autorrecrutamento. Para o tipo-Serranidae, houve dispersão de propágulos de Columbia para os montes mais próximos, Davis e Dogaressa. Larvas virtuais do tipo-Serranidae foram capazes de dispersar para o monte Columbia a partir dos montes Davis e Dogaressa.

Autorrecrutamento (tipo-Serranidae), dispersão (tipo-Pomacentridae) e imigração (ambos os tipos) aumentaram significativamente com a área superficial (Figura 2.5). Porém, a influência da distância (Figure 2.6 E-H) foi superior à do tamanho do monte receptor (Figure 2.6 A-D) na imigração de larvas provenientes da costa.

### *Tipos biológicos*

Os testes de Mantel para as matrizes de dispersão a leste e a oeste indicaram elevada relação entre tipo-Serranidae e tipo-Pomacentridae ( $r=0,883$ ,  $p=0,001$ ;  $r=0,947$ ,  $p=0,001$ , respectivamente). O teste de correlação também mostrou elevada similaridade no autorrecrutamento das duas espécies ( $r=0,8167$ ,  $p=0,01$ ).

### *Comparação com dados de coleta de ictioplâncton*

O padrão de troca de larvas virtuais observada na simulação do transporte larval se mostrou mais similar com a distribuição de larvas de peixes recifais do que com larvas de peixes epipelágicos e mesopelágicos coletadas (Figura 2.7), como esperado.

### **Discussão**

O modelo hidrodinâmico ROMS é um modelo específico para regiões costeiras e já foi empregado para estudos de simulação do transporte larval na costa sul do Brasil (Dias *et al.* 2014), sul da África (Garavelli *et al.* 2012) e Chile (Parada *et al.* 2012; Soto-Medoza *et al.* 2012). A validação da solução do modelo hidrodinâmico utilizado (Meyre da Silva, com. pes.) mostrou que foram reproduzidas adequadamente as principais características da dinâmica da região. A resolução batimétrica utilizada não foi suficiente para reproduzir as reais profundidades dos montes rasos. Ainda assim, este aspecto não impede o recrutamento da larva virtual, já que o recrutamento ocorre quando o organismo chega à região delimitada, ou seja, independe da profundidade local. As maiores limitações são o modelo ser forçado apenas pela climatologia de ventos e por fluxo de calor e, assim, não considerar as marés, que exercem importantes impactos sobre a biota (Meincke 1971; Queiroga *et al.* 2006; Robins *et al.* 2013) e a simulação ser restrita a apenas um ano de modelagem hidrodinâmica. Além de não incluir a Ilha da Trindade e o Arquipélago Martin Vaz, a grade de domínio do modelo está próxima do monte Columbia, para o qual as condições reais podem não ser bem representadas devido à alta viscosidade da região (*sponge layer*) e a ausência de vórtices formados ao leste, que não foram

calculados pelo modelo. Apesar das limitações apresentadas, o modelo hidrodinâmico está de acordo com a dinâmica física da região e se mostra eficaz para esta primeira análise da dispersão larval ao longo dos montes submarinos da CVT.

De maneira geral, a boa representatividade do IBM é dependente da capacidade do modelo hidrodinâmico de reproduzir as condições físicas reais do ambiente. A comparação entre os resultados da simulação do transporte larval e resultados de coleta de ictioplâncton mostrou que a proporção do fluxo de propágulos entre os locais condiz com a realidade, apontando elevada confiabilidade. Porém, o IBM também apresenta limitações: ele não considera a inanição, a predação e alguns fatores comportamentais larvais. Variações sazonais da produtividade primária no oceano e da presença de predadores, que consequentemente afetam a inanição e a predação, não são incluídas na modelagem e, dessa forma, espera-se que a taxa de sobrevivência real seja menor que a encontrada. Outros fatores como qualidade dos ovos e larvas, influenciada por fatores parentais, também interferem na real taxa de sobrevivência (Fuiman e Werner 2002) e não são considerados. A capacidade de natação horizontal e de percepção do ambiente são adquiridas relativamente cedo durante a fase pelágica (Kingsford *et al.* 2002; Gerlach *et al.* 2007; Leis 2007) e interferem na dispersão larval (Leis 2007), mas também não são incluídas. Assim, apesar de indicações de boa confiabilidade nos resultados obtidos através da plataforma de modelagem do transporte larval, ainda há limitações e variáveis a serem melhoradas ou acrescentadas.

O fluxo de propágulos em diferentes direções implica em constante troca gênica entre os locais, podendo acarretar em consequências ecológicas e, em uma escala temporal maior, evolutivas (Morrison e Sandin 2011). Os montes da CVT parecem atuar tanto como dispersores quanto como receptores de propágulos, com exceção do monte Columbia, onde as populações de

espécies de menor capacidade dispersiva (*i.e.*, desova demersal e menor PLD) podem estar isoladas de populações dos outros montes. Nas condições estabelecidas para este trabalho, o transporte direto entre os locais mais extremos da cadeia parece não ser possível. Apesar da possibilidade de dispersão para montes além do vizinho mais próximo, podem ser necessárias etapas intermediárias para o transporte entre os extremos. A atuação da CVT como alpondras (*stepping-stones*; Kimura 1953) para peixes recifais já foi sugerida por Gasparini e Floeter (2001) e Simon *et al.* (2013) e apoiada por Macieira *et al.* (2015) e Mazzei *et al.* (em preparação). Acredita-se que o processo tenha sido mais intenso durante a última era glacial (entre 30 e 19 mil anos atrás), quando o nível do mar chegou a cerca de 130 metros abaixo do atual. Nestas condições, o topo dos montes ficou emerso, criando habitats entremarés que puderam ser colonizados, e a posterior elevação do nível do mar provavelmente extinguiu as populações nos montes e provocou o isolamento das populações das ilhas (Macieira *et al.* 2015). Na situação proposta por Kimura (1953), o fluxo de propágulos ocorre apenas entre regiões adjacentes. Wright (1943) propôs o modelo de isolamento por distância, em que o fluxo gênico tem uma relação inversa com a distância geográfica. Sugere-se que o padrão de fluxo de larvas de peixes recifais na CVT tenha elementos tanto do modelo de alpondras quanto do modelo de isolamento por distância, ou seja, o “modelo de alpondras modificado” proposto por Gold *et al.* (2001). Assim, a CVT parece ainda atuar auxiliando na troca gênica entre populações distantes através de etapas intermediárias, apesar de possivelmente não exercer o mesmo efeito sobre populações de espécies de menor capacidade dispersiva presentes no monte Columbia.

A dispersão bidirecional de larvas indica que a plataforma continental pode não ser a única fonte de propágulos para os montes da CVT. Apesar de ausente no presente trabalho, já foi sugerido que a Ilha da Trindade e o Arquipélago Martin Vaz também atuam como fonte, o que

possibilitou a colonização dos montes da CVT por espécies que podem ter surgido nas ilhas (Mazzei *et al.* em preparação). O transporte bidirecional e assimétrico de larvas entre os montes da CVT, com os fluxos maiores sem uma orientação predominante (leste ou oeste), e a atuação de todos os montes como dispersores e receptores de propágulos tornam a cadeia, como um todo, importante para o fluxo larval. Nenhum monte parece ser crucial no papel de intermediário do fluxo de propágulos entre os extremos da cadeia de montes submarinos. Os montes Vitória, Besnard e Jaseur apresentaram elevado recebimento de larvas virtuais da costa e dispersão para outros montes, porém não são essenciais. As populações presentes nos montes da cadeia parecem ser mantidas principalmente por imigração, com elevado fluxo entre si e, em Besnard e nos três primeiros montes, por fluxo provindo de Abrolhos, principalmente. Dessa forma, os montes da CVT parecem ser interdependentes e igualmente importantes para o fluxo gênico entre os extremos.

O monte Columbia parece atuar como um filtro, permitindo o transporte de larvas com maior capacidade dispersiva (*i.e.*, desova pelágica e maior PLD) para/a partir de montes a oeste, mas não exercendo o mesmo efeito sobre o fluxo de larvas de menor capacidade dispersiva. Apesar das limitações (já discutidas) do modelo hidrodinâmico sobre esta região, esta hipótese está suportada por evidências genéticas. Em uma escala evolutiva, *Cephalopholis fulva* (Linnaeus, 1758), um Epinephelidae, apresenta ampla conectividade ao longo da CVT, enquanto que populações do Pomacentridae *Stegastes pictus* (Castelnau, 1855) do Columbia, Ilha da Trindade e Arquipélago Martin Vaz apresentam uma história evolutiva distinta das populações do restante da cadeia (Simon 2014).

A Plataforma dos Abrolhos parece exercer maior influência sobre a CVT do que o Espírito Santo. A Corrente do Brasil passa pelo banco de Abrolhos e flui para sul, podendo se

trifurcar e passar entre as três primeiras feições da CVT (Soares 2007; Passos 2011) e assim, favorecer a dispersão para todos os montes, exceto Columbia. Na costa do Espírito Santo, a Corrente do Brasil se apresenta no sentido sul, transportando os propágulos para região fora do modelo. Apesar do fluxo dominante para sul, é possível ocorrer dispersão de propágulos do Espírito Santo para os montes Besnard, Vitória, Montague e Jaseur. Os montes mais próximos parecem ser importantes para a conexão da CVT com a costa. Para montes submarinos é esperado que a densidade de larvas associadas ao fundo diminua com o afastamento da fonte de propágulos (Boehlert & Mundy 1993). Sugere-se que, além do afastamento da costa, outros fatores atuem interferindo na riqueza e na densidade encontrada acima de montes. Os montes Vitória, Jaseur e Davis já foram relacionados com a formação de cone/coluna de Taylor sobre o topo (Lemos 2014), auxiliando a retenção de partículas orgânicas e inorgânicas e, conseqüentemente, afetando a biota. Além do transporte a partir da costa, o transporte entre montes, possivelmente, também afeta a riqueza e densidade, com a imigração de propágulos aumentando em função do tamanho do local. No capítulo 1, as elevadas riqueza e densidade de táxons recifais encontradas sobre o monte Vitória foram associadas à proximidade do monte com a costa e à elevada complexidade estrutural do ambiente. Davis, o quarto monte da cadeia, também apresentou elevada riqueza de táxons recifais, possivelmente associado à ocorrência de cone/coluna de Taylor sobre o monte e à complexidade estrutural do ambiente (Capítulo 1). Assim, possivelmente a densidade e a riqueza de larvas de peixes recifais em montes submarinos estejam associadas a um conjunto de fatores (*e.g.*, distância da plataforma continental e de outras fontes de propágulos, complexidade estrutural do ambiente, dinâmica de correntes e outros fenômenos oceanográficos), que torna difícil o reconhecimento de algum padrão espacial.

Mazzei *et al.* (em preparação) não encontraram evidências de que características dispersivas de larvas influenciam na distribuição de peixes recifais na CVT e, de fato, o transporte dos dois tipos biológicos estudados no presente trabalho foi semelhante. Porém, duas particularidades podem ser observadas: (1) diferenças na dispersão dos dois tipos biológicos a partir de/para o monte Columbia, como discutido anteriormente e (2) a sobrevivência e o autorrecrutamento foram, de forma geral, maiores para o tipo biológico de menor capacidade dispersiva, com tendência de dispersão para locais mais próximos. Além do PLD, a migração vertical influencia significativamente no transporte (Leis 2007) e pode ter sido determinante para as diferenças observadas.

Com base na simulação do transporte larval, pode-se afirmar que ocorre elevado fluxo de larvas de peixes recifais ao longo dos montes submarinos da CVT e regiões adjacentes, com a necessidade de etapas intermediárias para o transporte entre os extremos. Contudo, a dispersão larval pode ocorrer para além do vizinho mais próximo, sendo que a quantidade de larvas dispersas diminui com o aumento distância entre a fonte e o local receptor, caracterizando o “modelo de alondras modificado”. Os fluxos de larvas de ampla e de baixa capacidade dispersiva se mostraram semelhantes, com particularidades associadas, possivelmente, às diferenças no PLD e na migração vertical. É possível que Columbia possa exercer papel crucial para populações de peixes recifais com larvas de baixa capacidade dispersiva, mantendo-as isoladas do restante dos montes, mas esta hipótese precisa ser melhor testada. Assim, o aprimoramento do modelo hidrodinâmico e a inclusão de outras variáveis biológicas na simulação do transporte larval ficam necessários para tornar os resultados mais realísticos.



## Referências Bibliográficas

- Almeida, F. F. M. 2006. Ilhas Oceânicas brasileiras e suas relações com a tectônica atlântica. *Terrae Didactica* 2: 3–18.
- Arruda, W. Z., E. J. D. Campos, V. Zharkov, R. G. Soutelino e I. C. A da Silveira. 2013. Events of equatorward translation of the Vitoria Eddy. *Continental Shelf Research* 70: 61–73.
- Atema J., M. J. Kingsford e G. Gerlach. 2002. Larval fish could use odour for detection, retention and orientation to reefs. *Marine Ecology Progress Series* 241:151–160.
- Baums, I. B., C. B. Paris e L. M. Chérubin. 2006. A bio-oceanographic filter to larval dispersal in a reef-building coral. *Limnology and Oceanography* 51: 1969–1981.
- Boehlert, G. W. e B. C. Mundy. 1993. Ichthyoplankton assemblages at seamount and oceanic islands. *Bulletin of Marine Science* 53: 336–361.
- Bowen, B. W., A. L. Bass, A. Muss, J. Carlin e D. R. Robertson. 2006. Phylogeography of two Atlantic squirrelfishes (Family Holocentridae): Exploring links between pelagic larval duration and population connectivity. *Marine Biology* 149: 899–913.
- Bradbury, I. R., B. Laurel, P. V. R. Snelgrove, P. Bentzen e S. E. Campana. 2008. Global patterns in marine dispersal estimates: The influence of geography, taxonomic category and life history. *Proceedings of the Royal Society B* 275: 1803–1809.
- Brochier, T; A. Ramzi, C. Lett, E. Machu, A. Berraho, P. Fréon e S. Hernández-Léon. 2008. Modelling sardine and anchovy ichthyoplankton transport in the Canary Current System. *Journal of Plankton Research* 30: 1133–1146.
- Casey, K. S. e P. Cornillon. 1999. A comparison of satellite and in situ based sea surface temperature climatologies. *Journal of Climate* 12: 1848–1863.

- Chassignet, E. P., H. E. Hurlburt, O. M. Smedstad, G. R. Halliwell, P. J. Hogan, A. J. Wallcraft, R. Baraille, e R. Bleck. 2007. The HYCOM (Hybrid Coordinate Ocean Model) data assimilative system. *Journal of Marine Systems* 65: 60–83.
- Chittaro, P. M. e J. D. Hogan. 2013. Patterns of connectivity among populations of a coral reef fish. *Coral Reefs* 32: 341–354.
- Clarke, K. R. e R. N. Gorley. 2006. PRIMER v6: *User Manual/Tutorial*. PRIMER-E, Plymouth.
- Conkright, M. E., R. A. Locarnini, H. E. Garcia, T. D. O'Brien, T. P. Boyer, C. Stephens e J. I. Antonov. 2002. *World Ocean Atlas 2001: Objective Analyses, Data Statistics, and Figures*, CD-ROM Documentation. National Oceanographic Data Center, Silver Spring, MD, 17 pp.
- Cowen, R. K., C. B. Paris e A. Srinivasan. 2006. Scaling of connectivity in Marine Populations. *Science* 311: 522–527.
- Cowen, R. K., K. M. M. Lwiza, S. Sponaugle, C. B. Paris e D. B. Olson. 2000. Connectivity of Marine Populations: open or closed? *Science* 287: 857–859.
- Cowen, R. K. e S. Sponaugle. 2009. Larval dispersal and marine population connectivity. *Annual Review of Marine Science* 1: 443–466.
- daSilva A., A. C. Young e S. Levitus. 1994. *Atlas of surface marine data 1994*, volume 1: Algorithms and procedures. Tech. Rep. 6, U.S. Department of Commerce, NOAA, NESDIS.
- Dias, D. F., L. P. Pezzi, D. F. M. Gherardi e R. Camargo. 2014. Modelling the spawning strategies and larval survival of the Brazilian sardine (*Sardinella brasiliensis*). *Progress in Oceanography* 123: 38–53.

- Eble, J. A., L. A. Rocha, M. T. Craig e B. W. Bowen. 2011. Not all larvae stay close to home: insights into marine population connectivity with a focus on the brown surgeonfish (*Acanthurus nigrofuscus*). *Journal of Marine Biology* 2011: 1–12.
- Evans, D. e S. R. Signorini. 1985. Vertical structure of the Brazil Current. *Nature* 315: 48–50.
- Ferrari, A. L. e C. Riccomini. 1999. Campo de esforços Plio-Pleistocênico na Ilha da Trindade (Oceano Atlântico Sul, Brasil) e sua relação com a tectônica regional. *Revista Brasileira de Geociências* 29: 195–202.
- Fodor, R. V. e B. B. Hanan. 2000. Geochemical evidence for the Trindade hotspot trace: Columbia seamount ankaramite. *Lithos* 51: 293–304.
- Fuiman, L. A. e R. G. Werner. 2002. Fishery science: the unique contributions of early life stages. Blackwell, Oxford Hare JA, Quinlan JA, Werner FE, Blanton BO, Govoni JJ, Forward.
- Gaeta, S. A.; J. A. Lorenzetti, L. B. Miranda, S. Susini-Ribeiro; M. Pompeu, e C. E. S. Araujo. 1999. The Vitória Eddy and its relation to the phytoplankton biomass and primary productivity during the austral fall of 1995. *Archive of Fishery and Marine Research* 47: 253–270.
- Gaines, S. D., B. Gaylord, L. R. Gerber, A. Hastings e B. P. Kinlan. 2007. Connecting Places: The Ecological Consequences of Dispersal in the Sea. *Oceanography* 20: 90–99.
- Garavelli, L., A. Gruss, B. Grote, N. Chang, M. Smith, P. Verley, E. K. Stenevik, D. M. Kaplan e C. Lett. 2012. Modeling the dispersal of Cape hake ichthyoplankton. *Journal of Plankton Research* 34: 655–669.

- Garrafo, Z. D., A. J. Mariano, A. Griffa, C. Veneziani e E. P. Chassignet. 2001. Lagrangian data in a high resolution numerical simulation of the North Atlantic. I: Comparison with in-situ drifter data. *Journal of Marine. Systems* 29: 157–176.
- Gasparini, J. L. and S. R. Floeter. 2001. The shore fishes of Trindade Island, western South Atlantic. *Journal of Natural History* 35: 1639–1656.
- Gerlach, G., J. Atema, M. J. Kingsford, K. P. Black e V. Miller-Sims. 2007. Smelling home can prevent dispersal of reef fish larvae. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 104: 858–863.
- Glaumuzina, B., B. Skaramuca, N. Glavic, V. Kozul, J. Dulcic e M. Kraljevic. 1998. Egg and early larval development of laboratory reared dusky grouper, *Epinephelus marginatus* (Lowe, 1834)(Picies, Serridae). *Scientia Marina* 62: 373–378.
- Gold, J. R., C. P. Burrige and T. F. Turner. 2001. A modified stepping-stone model of population structure in red drum, *Sciaenops ocellatus* (Sciaenidae), from the northern Gulf of Mexico. *Genetica* 111: 305–317
- Hasen M.A.F., J. G. Viramonte, F. L. Troian, A. M. P. Mizusaki, R. Becchio e H. C. Fensterseifer. 1998. Nuevas edades para el volcanismo de las islas Trindade y Martin Vaz, Brasil. *Sixth International Meeting: Colima Volcano, México*: 26:1–28.
- Herz, N. 1977. Timing of spreading in the South Atlantic: Information from Brazilian alkalic rocks. *Geological Society of America Bulletin* 88: 101–112.
- Hogan, J. D., R. J Thiessen, P. F. Sale e D. D. Heath. 2012. Local retention, dispersal and fluctuating connectivity among populations of a coral reef fish. *Oecologia* 168: 61–71.

- Huebert, K. B., R. K. Cowen, S. e S. Sponaugle. 2011. Vertical migrations of reef fish larvae in the Straits of Florida and effects on larval transport. *Limnology and Oceanography* 56: 1653–1666.
- Kimura, M. 1953. "Stepping Stone" model of population. *Annual Report of the National Institute of Genetics* 3: 62–63.
- Kingsford M. J, J. M. Leis, A. Shanks, K. Lindeman, S. Morgan e J. Pineda. 2002. Sensory environments, larval abilities and local self-recruitment. *Bulletin of Marine Science* 70: 309–340.
- Kilan, B. e S. D. Gaines. 2003. Popagule Dispersal in Marine and Terrestrial Environments: a Community Perspective. *Ecology* 84(8): 2007–2020.
- Kool, J. T., C. B. Paris, P. H. Barber e R. K. Cowen. 2011. Connectivity and the development of population genetic structure in Indo-West Pacific coral reef communities. *Global Ecology and Biogeography* 20: 695–706.
- Lacson, J. M. 1992 Minimal genetic variation among samples of six species of coral reef fishes collected at La Parguera, Puerto Rico, and Discovery Bay, Jamaica. *Marine Biology* 112: 327–331.
- Leis, J. M. 1991. The pelagic stage of reef fishes: the larval biology of coral reef fishes. Pages 183-230 in P. F. Sale, ad. The ecology of fishes on coral reefs. Academic Press, San Diego. 754 p.
- Leis J. M. 2006. Are larvae of demersal fishes plankton or nekton? *Advances in Marine Biology* 51: 59–141.

- Leis, J. M. 2007. Behaviour as input for modelling dispersal of fish larvae: behaviour, biogeography, hydrodynamics, ontogeny, physiology and phylogeny meet hydrography. *Marine Ecology Progress Series* 347: 185–193.
- Lemos, A. T. 2014. Aspectos Meteo-oceanográficos associados com a Concentração de Clorofila-*a* ao longo da Cadeia Vitória-Trindade. Tese de doutorado - Oceanografia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, 133pp.
- Lester, S. E., B. I. Ruttenberg, S. D. Gaines e B. P. Kinlan. 2007. The relationship between dispersal ability and geographic range size. *Ecology Letters* 10: 745–758.
- Lett, C., P. Verley, C. Mullon, C. Parada, T. Brochier, P. Penven e B. Blanke. 2008. A Lagrangian tool for modelling ichthyoplankton dynamics. *Environmental Modelling & Software* 23: 1210–1214.
- Macieira, R. M., T. Simon, C. R. Pimentel and J.-C. Joyeux. 2015. Isolation and speciation of tidepool fishes as a consequence of Quaternary sea-level fluctuations. *Environmental Biology of Fishes* 98: 385–393.
- Meincke, J. 1971. Observations of an anticyclonic vortex trapped above a seamount. *Journal of Geophysical Research* 76: 7432–7440.
- Montgomery J. C., A. Jeffs, S. D. Simpson, M. Meekan e C. Tindle. 2006. Sound as an orientation cue for the pelagic larvae of reef fishes and decapod crustaceans. *Advances in Marine Biology* 51: 143–196.
- Mora, C. e P. F. Sale. 2002. Are populations of coral reef fish open or closed? *Trends in Ecology & Evolution* 17: 422–428.

- Morrison, R. A. e S. A. Sandin. 2011. Biogeography and Population Connectivity of Coral Reef Fishes. In: O. Grillo and G. Venora (eds). *Changing Diversity in a Changing Environment*, InTech, pp. 299-322.
- Motoki, A. e K. F. Motoki. 2011. Origem dos relevos do maciço Mendanha, RJ, movimento de falhas ou erosão diferencial? Análises geomorfológicas por seppômen e sekkokumen com base do ASTER GDEM. *Anais do 13º Simpósio Nacional de Estudos Tectônicos, Campinas, SB*: 1–4.
- Motoki, A., K. F. Motoki e D. P. Melo. 2012. Submarine Morphology Characterization of the Vitória–Trindade Chain and the Adjacent Areas, State of Espírito Santo, Brazil, Based on the Predicted Bathymetry of the TOPO Version 14.1. *Revista Brasileira de Geomorfologia* 13:151–170.
- Parada, C., F. Colas, S. Soto-Mendoza e L. Castro. 2012. Effects of seasonal variability in across- and alongshore transport of anchoveta (*Engraulis ringens*) larvae on model-based pre-recruitment indices off central Chile. *Progress in Oceanography* 92–95: 192–205.
- Passos, L. 2011. Padrões de escoamento baroclínico de mesoescala ao largo do Embaiamento de Tubarão e do Banco de Abrolhos. Dissertação de Mestrado – Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, 105 p.
- Pimentel, F. P. 2012. A Corrente do Brasil e a Corrente de Contorno Intermediária na região da Cadeia Vitória-Trindade. Dissertação de Mestrado – COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 90 p.
- Pineda, J., J. A. Hare e S. Sponaugle. 2007. Larval transport and dispersal in the coast ocean and consequences for population connectivity. *Oceanography* 20: 22–39.

- Portnoy, D. S., C. M. Hollenbeck, M. A. Renshaw, N. J. Cummings e J. R. Gold. 2013. Does mating behaviour affect connectivity in marine fishes? Comparative populations genetics of two protogynous groupers (Family Serranidae). *Molecular Ecology* 22: 301–313.
- Queiroga, H., M.-J. Almeida, T. Alpuim, A. V. Flores, S. Francisco, I. Gonza` Lez-Gordillo, A. I. Miranda, I. Silva e J. Paula. 2006. Tide and wind control of megalopal supply to estuarine crab populations on the Portuguese west coast. *Marine Ecology Progress Series* 307: 21–36.
- R Development Core Team. 2011. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org/>.
- Robins, P. E., S. P. Neill, L. Giménez, S. R. Jenkins e S. K. Malham. 2013. Physical and biological controls on larval dispersal and connectivity in a highly energetic shelf sea. *Limnology and Oceanography* 58: 505–524.
- Ronce, O. 2007. How Does It Feel to Be Like a Rolling Stone? Ten Questions About Dispersal Evolution. *The Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 38: 231–253.
- Salas, E., H. Molina-Ureña, R. P. Walter e D. D. Heath. 2010. Local and regional genetic connectivity in a Caribbean coral reef fish. *Marine Biology* 157: 437–445.
- Schmid, C., H. Schafer, G. Podestá e W. Zenk. 1995. The Vitória Eddy and its relation to the Brazil Current. *Journal of Physical Oceanography* 25: 2532–2546.
- Servino, R. N. 2014. A bifurcação da Corrente do Brasil no Embaiamento de Tubarão e seu papel na formação de vórtices ciclônicos. Dissertação de Mestrado – Oceanografia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, 102 p.



- Shchepetkin A. F., J. C. McWilliams. 2005. The regional oceanic modeling system (ROMS): a split-explicit, free-surface, topography-following-coordinate oceanic model. *Ocean Model* 9: 347–404.
- Silveira, I. C. A., A. C. K. Schmidt, E. J. D. Campos, S. S. de Godoi e Y. Ikeda. 2000. A Corrente do Brasil ao largo da costa leste brasileira. *Revista Brasileira de Oceanografia* 48: 171–183.
- Simon, T., R. M. Macieira and J.-C. Joyeux. 2013. The shore fishes of the Trindade–Martin Vaz insular complex: an update. *Journal of Fish Biology* 82: 2113–2127.
- Skolotnev, S. G., M. E. Bylinskaya, L. A. Golovina e I. S. Ipat'eva. 2011. First data on the age of rocks from the central part of the Vitoria–Trindade Ridge (Brazil Basin, South Atlantic). *Geology* 437: 316–322.
- Soares, S. M. 2007. Ondas instáveis no sistema de correntes de contorno oeste ao largo de Abrolhos. Dissertação de Mestrado – Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, 98 p.
- Soto-Mendoza, S., C. Parada, L. Castro, F. Colas e W. Schneider. 2012. Modeling transport and survival of anchoveta eggs and yolk–sac larvae in the coastal zone off central-southern Chile: Assessing spatial and temporal spawning parameters. *Progress in Oceanography* 92–95: 178–191.
- Soutelino, R. G., I. C. A. da Silveira, A. Gangopadhyay e J. A. Miranda. 2011. Is the Brazil Current eddy-dominated to the north of 20°S? *Geophysical Research Letters* 38: 1–5.

- Soutelino, R. G., A. Gangopadhyay e I. C. A. da Silveira. 2013. The roles of vertical shear and topography on the eddy formation near the site of origin of the Brazil Current. *Continental Shelf Research* 70: 46–60.
- Thorrold, S. R., G. P. Jones, M. E. Hellberg, R. S. Burton, S. E. Swearer, J. E. Neigel, S. G. Morgan e R. R. Warner. 2002. Quantifying larval retention and connectivity in marine populations with artificial and natural markers. *Bulletin of Marine Science* 70: 291–308.
- Weersing, K e R. J Toonen. 2009. Population genetics, larval dispersal, and connectivity in marine systems. *Marine Ecology Progress Series* 393: 1–12.
- Wood, S., C. B. Paris, A. Ridgwell e E. J. Hendy. 2014. Modelling dispersal and connectivity of broadcast spawning corals at the global scale. *Global Ecology and Biogeography* 23: 1–11.
- Wright K. J., D. M. Higgs, A. J. Belanger e J. M. Leis. 2005. Auditory and olfactory abilities of pre-settlement larvae and postsettlement juveniles of a coral reef damselfish (Pisces: Pomacentridae). *Marine Biology* 147: 1425–1434.
- Wright, S. 1943. Isolation by distance. *Genetics* 28: 114–138.

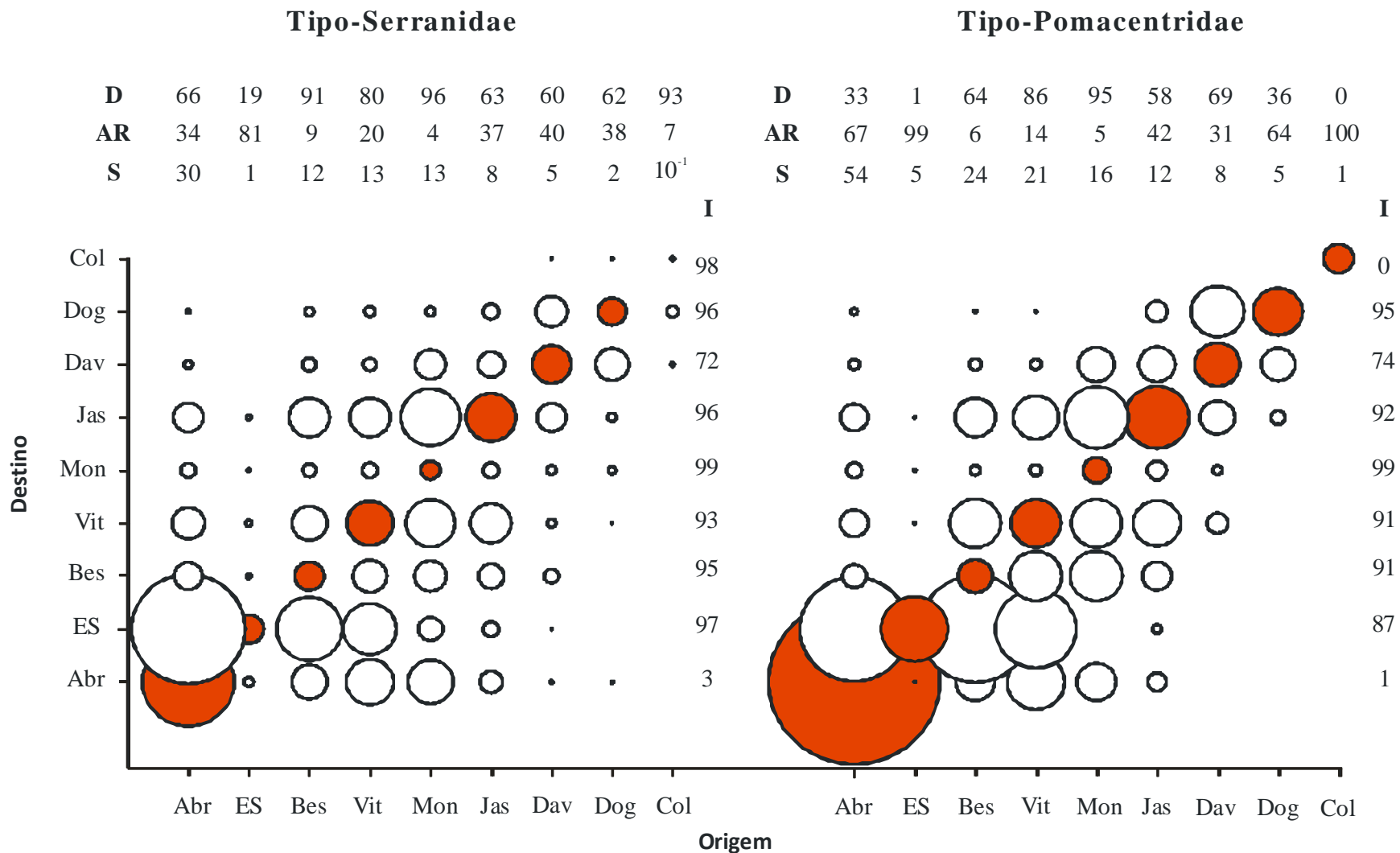


Figura 2.1: Matriz de conectividade. A área do círculo representa o número de larvas virtuais que foram liberados nos locais representados no eixo x e recrutados em y para tipo-Serranidae e tipo-Pomacentridae, com base em 37000 indivíduos liberados por local (não multiplicado pela área superficial do local de origem). As diagonais, em vermelho, representam o autorrecrutamento. Os índices S (sobrevivência), AR (autorrecrutamento), D (dispersão) e I (imigração) foram calculados considerando a área superficial de cada local de liberação de larvas virtuais (ver *Dispersão e Autorrecrutamento* em *Materiais e Métodos*). Locais: **Abr**: Abrolhos; **ES**: Espírito Santo; **Bes**: Besnard; **Vit**: Vitória; **Mon**: Montague; **Jas**: Jaseur; **Dav**: Davis; **Dog**: Dogaressa; **Col**: Columbia. Exemplo: Para o tipo-Serranidae, uma maior quantidade de larvas virtuais liberadas em Abrolhos foi dispersa para o Espírito Santo do que autorrecrutada; enquanto que para tipo-Pomacentridae, foi obtido maior autorrecrutamento em Abrolhos do que dispersão para o Espírito Santo.

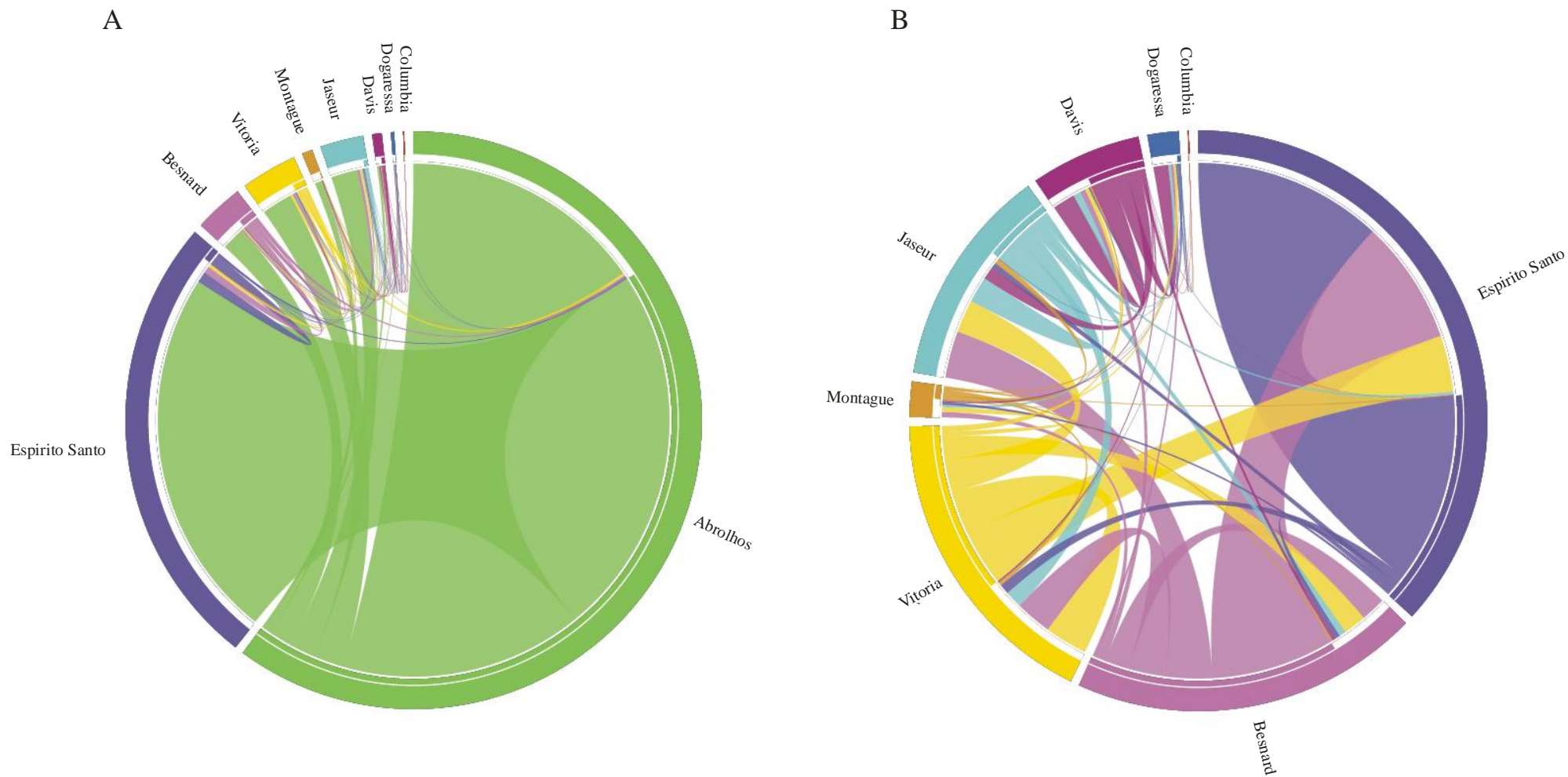


Figura 2.2: Fluxo de larvas virtuais do tipo-Serranidae entre os montes da Cadeia Vitória-Trindade e o Espírito Santo e Abrolhos. A proporção ocupada por cada local na circunferência do mapa de fluxos está de acordo com a soma do que foi disperso e recrutado (inclusive o autorrecrutamento). Cada cor representa o local de origem; exemplo: larvas virtuais liberadas do Vitória estão em amarelo, e do Jaseur, em azul claro. Valores multiplicados pela área superficial. Em (A) Abrolhos é considerado e em (B), foi excluído para melhor visualização do fluxo entre os montes da CVT.

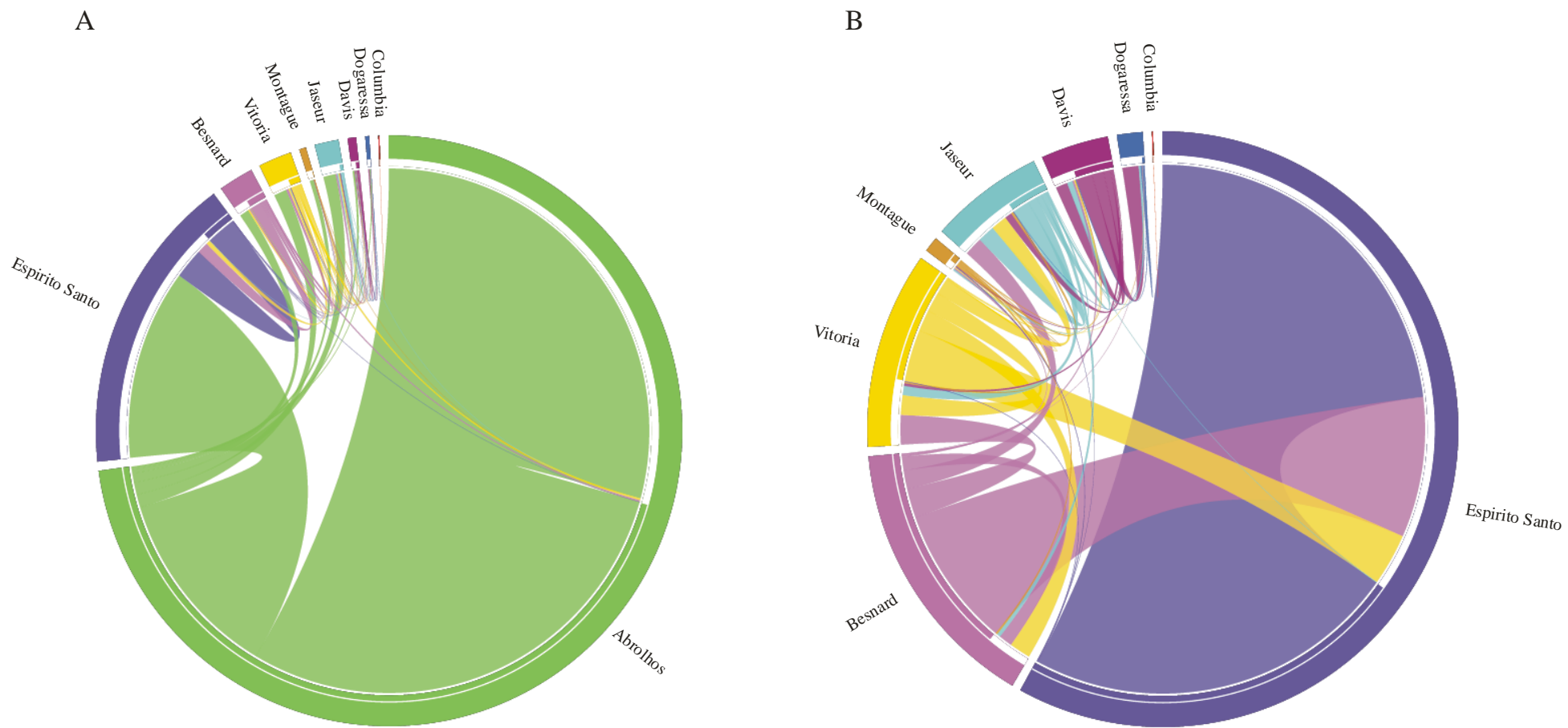


Figura 2.3: Fluxo de larvas virtuais do tipo-Pomacentridae entre os montes da Cadeia Vitória-Trindade e o Espírito Santo e Abrolhos. A proporção ocupada por cada local na circunferência do mapa de fluxos está de acordo com a soma do que foi disperso e recrutado (inclusive o autorrecrutamento). Cada cor representa o local de origem; exemplo: larvas virtuais liberadas do Vitória estão em amarelo, e do Jaseur em azul claro. Valores multiplicados pela área superficial. Em (A) Abrolhos é considerado e em (B), foi excluído para melhor visualização do fluxo entre os montes da CVT.

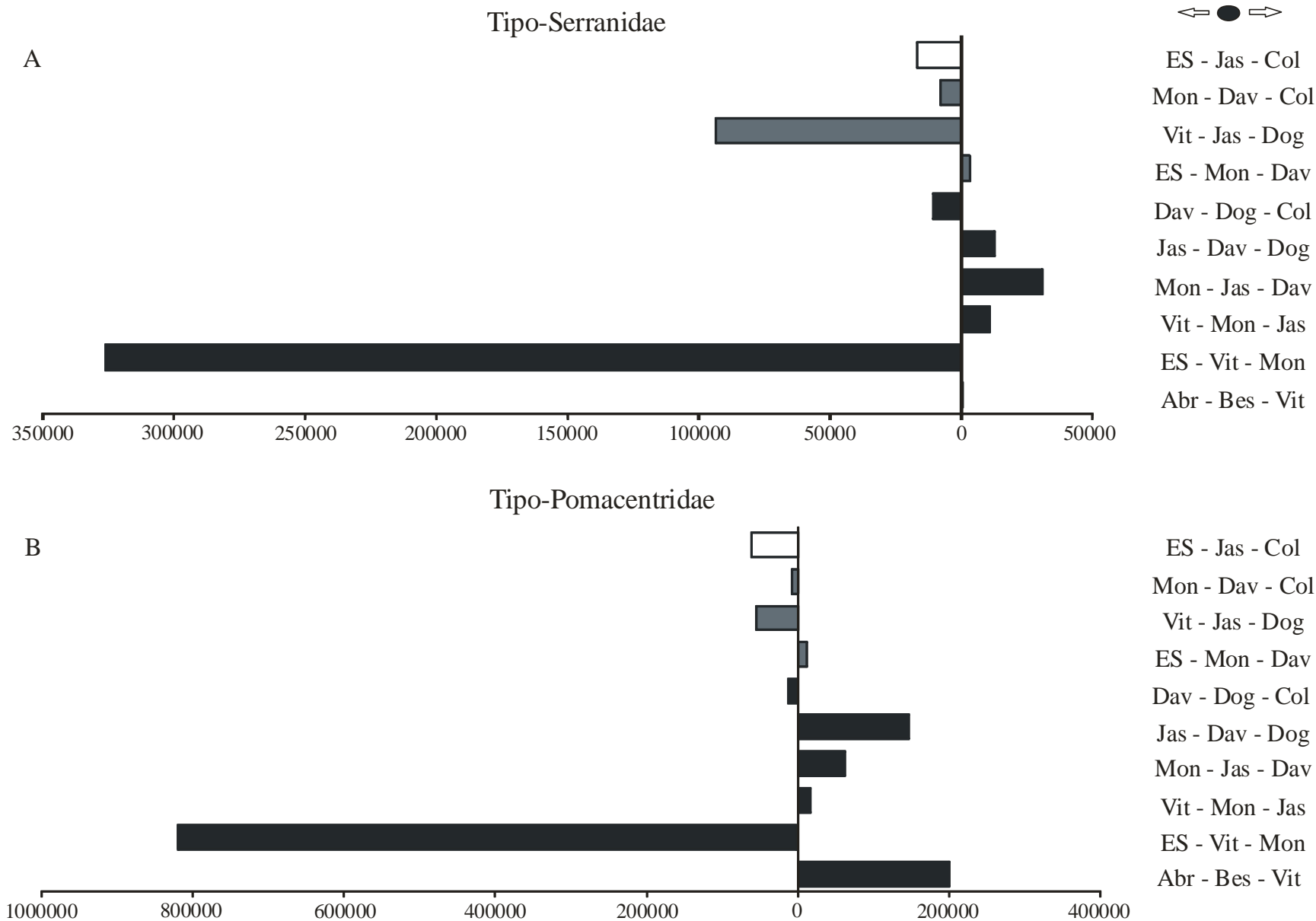


Figura 2.4: O gráfico mostra a diferença entre a dispersão a leste e a oeste do monte de origem (indicado na legenda ao lado de cada barra) para (A) tipo-Serranidae e (B) tipo-Pomacentridae. As barras em preto apontam a diferença da dispersão para locais adjacentes ao monte de origem; em cinza, a diferença na dispersão para locais dois montes distantes da fonte de propágulos e; branco, para locais três montes distantes da fonte de propágulos. Locais: **Abr**: Abrolhos; **ES**: Espírito Santo; **Bes**: Besnard; **Vit**: Vitória; **Mon**: Montague; **Jas**: Jaseur; **Dav**: Davis; **Dog**: Dogaressa; **Col**: Columbia.

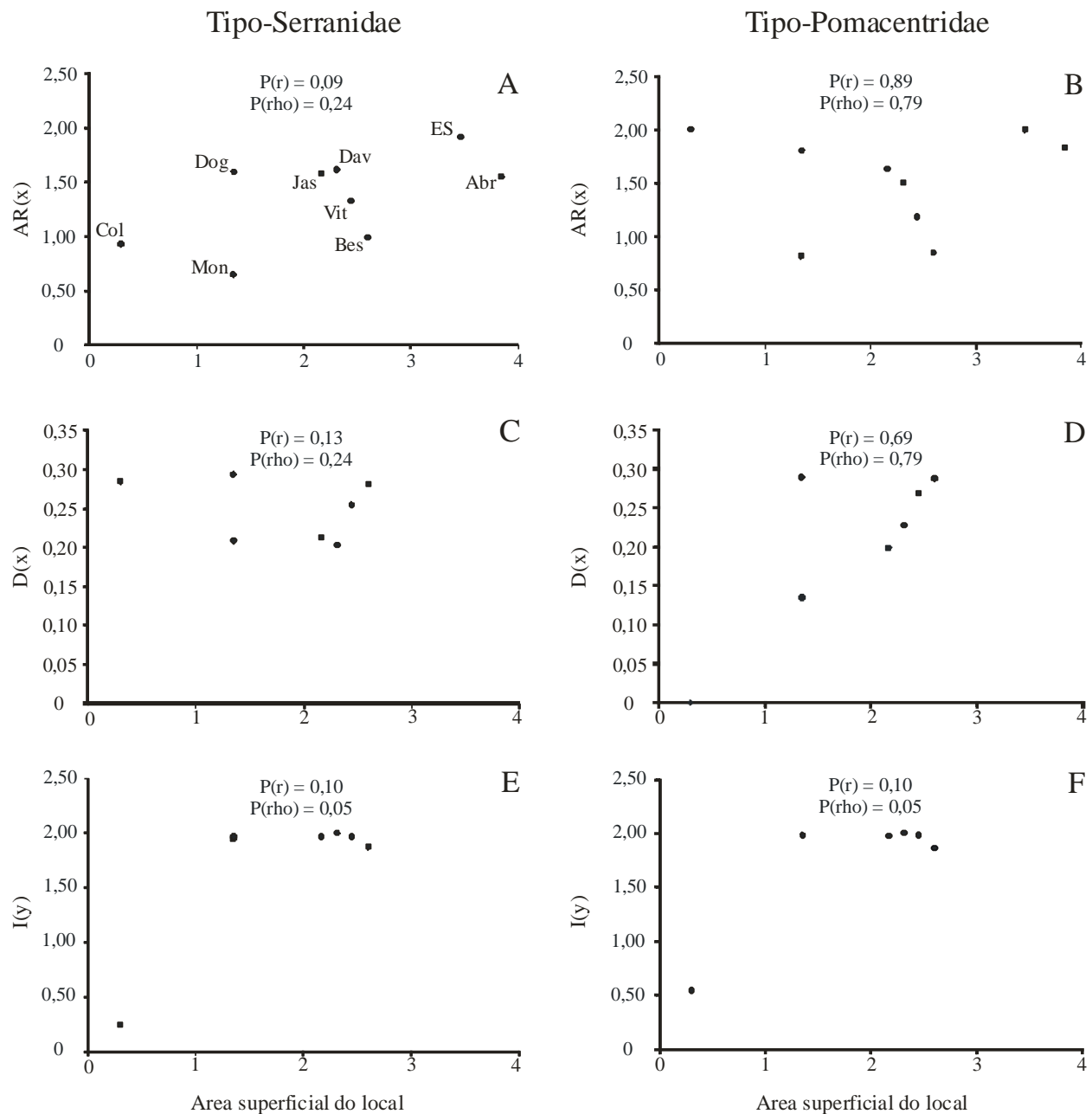


Figura 2.5: Correlação linear (Pearson;  $r$ ) e não linear (Spearman;  $\rho$ ) com reamostragem (tipo bootstrap) entre o tamanho relativo do local e o índice de (A – B) autorrecrutamento [ $AR(x)$ ], (C – D) dispersão [ $D(x)$ ] e (E – F) imigração [ $I(y)$ ] para tipo-Serranidae e tipo-Pomacentridae. Espírito Santo e Abrolhos não foram considerados nas análises de dispersão e imigração. Todos os valores foram transformados em  $[\text{Log}_{10}(x+1)]$ . Considerou-se  $\alpha=0,10$ . Locais: **Abr**: Abrolhos; **ES**: Espírito Santo; **Bes**: Besnard; **Vit**: Vitória; **Mon**: Montague; **Jas**: Jaseur; **Dav**: Davis; **Dog**: Dogaressa; **Col**: Columbia.

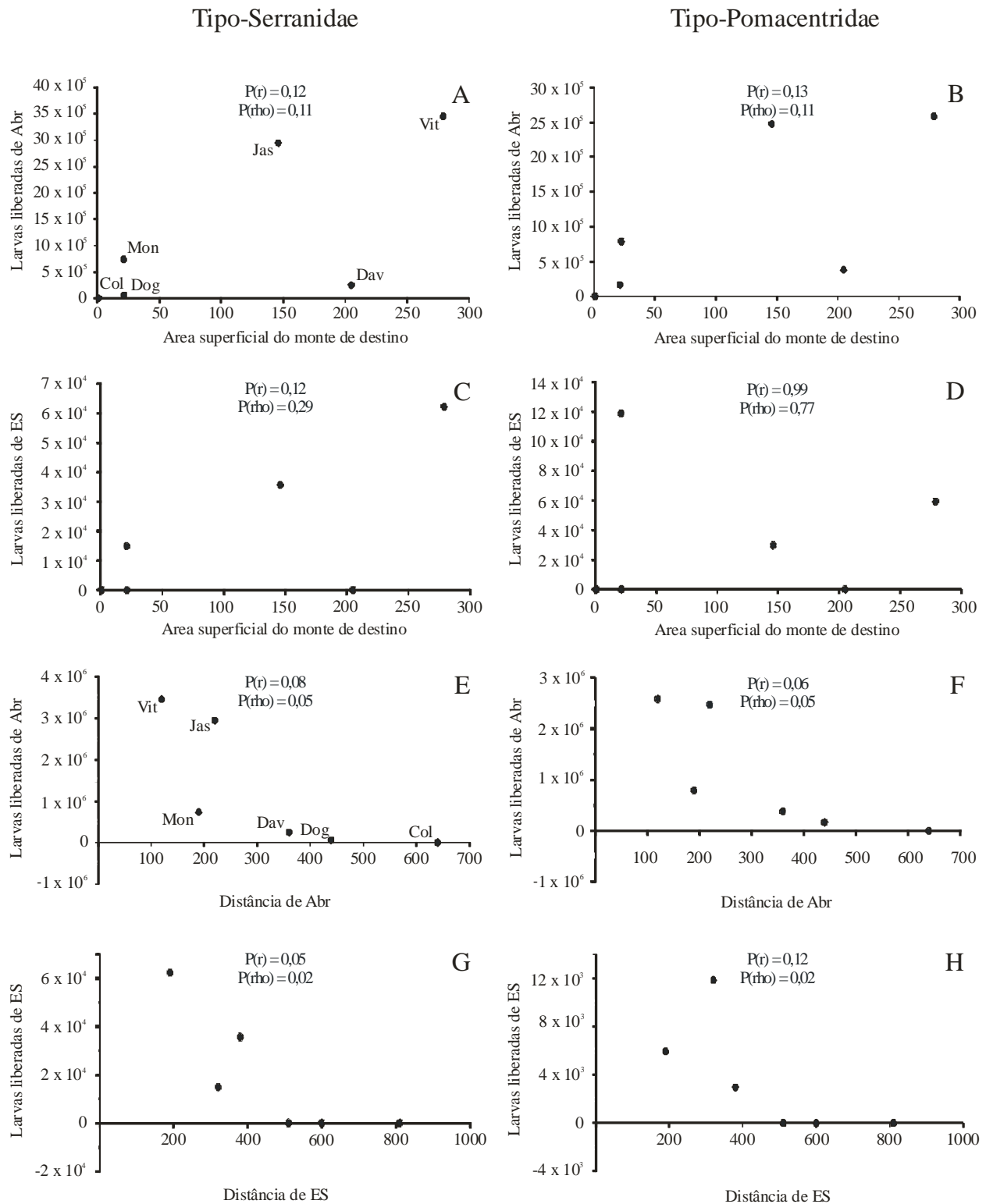


Figura 2.6: Correlação linear (Pearson;  $r$ ) e não linear (Spearman;  $\rho$ ) com reamostragem (tipo bootstrap) entre a quantidade de larvas virtuais lançadas da plataforma continental (Espírito Santo e Abrolhos) e (A-D) a área superficial do monte receptor e (E-H) o afastamento do monte receptor da fonte de propágulos, para os tipos -Serranidae e -Pomacentridae. Considerou-se  $\alpha=0,10$ . Locais: **Abr**: Abrolhos; **ES**: Espírito Santo; **Vit**: Vitória; **Mon**: Montague; **Jas**: Jaseur; **Dav**: Davis; **Dog**: Dogaressa; **Col**: Columbia.



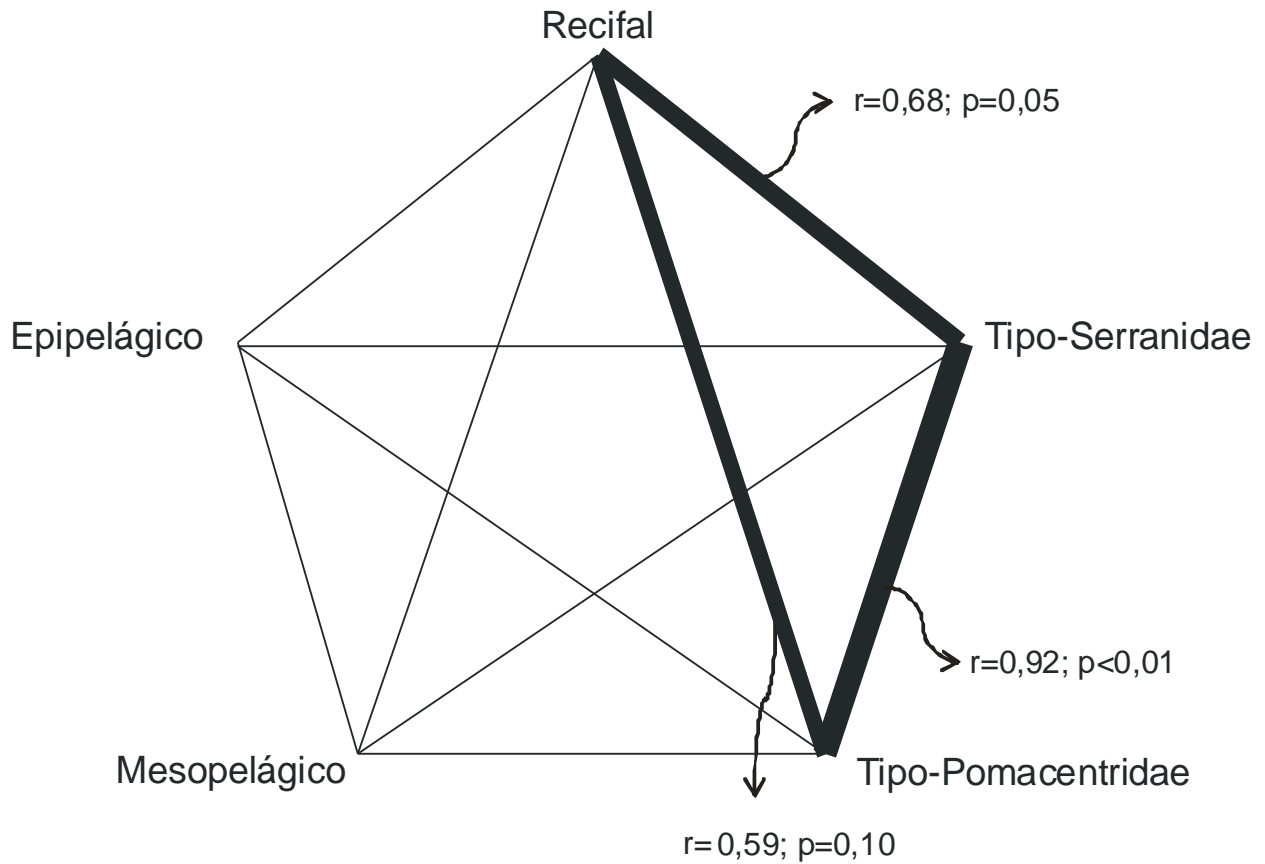


Figura 2.7: Representação esquemática dos testes de Mantel relacionando o fluxo de larvas apontado pela simulação do transporte larval (tipo-Serranidae e tipo-Pomacentridae) e a composição de larvas coletadas, agrupadas de acordo com o habitat ocupado pelo adulto (recifal, epipelágico e mesopelágico). Relações não significativas não foram indicadas. Considerou-se  $\alpha=0,10$ .

## Conclusão Final

Montes submarinos são tidos como ambientes isolados caracterizados pelo elevado nível de endemismo. Estudos recentes, porém, tem sugerido que a dispersão larval, o *rafting* pelas formas juvenis e a mobilidade do adulto possibilitam certo fluxo de indivíduos entre locais isolados. Os resultados obtidos corroboraram a hipótese de que a dispersão de larvas promove a conectividade entre populações de peixes recifais ao longo dos montes submarinos da Cadeia Vitória-Trindade e entre eles e a costa, mostrando a importância da fase larval.

A densidade e a riqueza de peixes recifais estão associadas a fatores biológicos, geográficos e oceanográficos como a presença de locais rasos e de recifes, a distância de fontes externas de propágulos e dinâmica de correntes, tornando difícil o reconhecimento de algum padrão espacial. Larvas de peixes mesopelágicos são, na maioria dos casos, os mais diversos e abundantes em coletas de ictioplâncton sobre montes submarinos e ilhas oceânicas. Larvas de peixes epipelágicos são consideravelmente mais abundantes no verão do que no inverno e mais comuns sobre montes submarinos e ao redor de ilhas oceânicas do que em regiões distantes destes edifícios.

A taxa de imigração larval tende a aumentar com a área superficial do local receptor. Além disso, para larvas originárias da costa, a distância da fonte de propágulos parece influenciar mais do que o tamanho do monte de destino, apresentando uma diminuição no número de recrutas com o afastamento do continente. A dispersão larval pode ser bidirecional e assimétrica, possibilitando ampla conectividade gênica entre populações distantes, ou pode ser limitada para algumas espécies, caracterizando a existência de filtros de dispersão larval. A dispersão larval é,

então, ditada por diferentes fatores biológicos e oceanográficos que tornam a distribuição de cada espécie em cada região única.