

Universidade Federal de Pernambuco
Centro de Tecnologia e Geociências
Departamento de Oceanografia
Programa de Pós-Graduação em Oceanografia

MIGRAÇÃO VERTICAL DO MICROZOOPLÂNCTON DO ARQUIPÉLAGO DE SÃO PEDRO E SÃO PAULO

Érika Pinho Correia

Recife
2014

Érika Pinho Correia

MIGRAÇÃO VERTICAL DO MICROZOOPLÂNTON DO ARQUIPÉLAGO DE SÃO PEDRO E SÃO PAULO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco (PPGO-UFPE), como um dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Oceanografia, Área de concentração: Oceanografia Biológica.

Orientadora: Sigrid Neumann Leitão

Co-orientador: Pedro Augusto Mendes de Castro Melo

Recife
2014

Catálogo na fonte
Bibliotecária: Rosineide Mesquita Gonçalves Luz / CRB4-1361 (BCTG)

C823m Correia, Érika Pinho.

Migração vertical do microzooplâncton do Arquipélago de São Pedro e São Paulo / Érika Pinho Correia. – Recife: O Autor, 2014 .

xii, 48f., il., figs., gráfs., tabs.

Orientadora: Profa. Dra. Sigrid Neumann Leitão.

Co-orientador: Pedro Augusto Mendes de Castro Melo.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.

Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, 2014.

Inclui Referências.

1. Oceanografia. 2. Ilhas Tropicais. 3. Atlântico Tropical. 4. Distribuição Vertical. 5. Copepoda. 6. Zooplâncton. I. Leitão, Sigrid Neumann (Orientadora). II. Melo, Pedro Augusto Mendes de Castro (Co-orientador). III. Título.

551.46 CDD (22. Ed.)

UFPE/BCTG-2014 / 048

MIGRAÇÃO VERTICAL DO MICROZOOPLÂNCTON DO ARQUIPÉLAGO DE SÃO PEDRO E SÃO PAULO

Érika Pinho Correia

Folha de Aprovação – Banca Examinadora

Profa. Dra. Sigrid Neumann Leitão (Orientadora) – Presidente
(Universidade Federal de Pernambuco – UFPE)

Dr. Pedro Augusto Mendes de Castro Melo (Co-Orientador)
(Universidade Federal de Pernambuco – UFPE)

Prof. Dr. Ralf Schwamborn – Titular Interno
(Universidade Federal de Pernambuco – UFPE)

Prof. Dr. Mauro de Melo Junior – Titular Externo
(Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE – Unidade Acadêmica Serra
Talhada – UAST)

Prof. Dr. Fernando Antonio do Nascimento Feitosa – Suplente Interno
(Universidade Federal de Pernambuco – UFPE)

Profa. Dra. Tâmara de Almeida e Silva – Suplente Externo
(Universidade do Estado da Bahia – UNEB)

*“Ter na vida algum motivo pra sonhar...
Ter um sonho todo azul...
Azul da cor do mar”*
Tim Maia

“O mar não é um obstáculo: é um caminho”
Amyr Klink

Agradecimentos

Agradeço aos meus pais, Andréa e Eduardo, por sempre me incentivarem e apoiarem minhas escolhas. Ao meu irmão Duzinho por iluminar a minha vida. Aos meus avós, tios, primos e toda família que foram muito queridos e tanto me apoiaram.

A Diogo, meu branco, meu amor, meu parceiro. Obrigada por todo apoio e companheirismo nos melhores e também nos piores momentos. Com quem eu quero (e vou) continuar dividindo todos os meus sonhos.

A minha orientadora, Profa. Dra. Sigrid Neumann Leitão. Uma verdadeira mãe para todos que tem a sorte conviver com ela, um exemplo de profissional que eu vou sempre me espelhar. MUITÍSSIMO obrigada por todos os conselhos, conversas e ensinamentos que fogem bastante do ramo científico.

Ao meu co-orientador, Dr. Pedro Melo por ter tido paciência, paciência, paciência e um pouco mais de paciência. Uma pessoa que sempre me ajudou sem querer receber nada em troca. Obrigada por tanto apoio!

Ao Prof. Dr. Silvio Macedo que nunca cansou de dar tantas palavras de incentivo nos momentos em que elas foram mais necessárias.

A todos os professores e alunos do Laboratório de Zooplâncton, por todos esses anos de convivência, brincadeiras e, lógico, estudos.

Aos colegas de outros laboratórios que foram tão importantes ao longo dessa jornada, principalmente à turma do Laboratório de Carcinologia por tantos almoços descontraídos e tantas risadas. Um agradecimento especial aos meus amigos Flavio Almeida, Felipe Cavalcante e Sawana Borges por compartilharem de tantos momentos de aperreios e me ajudarem tanto nessa reta final.

A todos os funcionários e professores que fazem parte do Departamento de Oceanografia da UFPE, importantes na minha formação.

Ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia da UFPE (PPGO), representado pelas pessoas da coordenadora Profa. Dra. Tereza Cristina e da secretária Myrna Lins, sempre muito prestativa e disposta a ajudar no que era possível.

Aos meus amigos de ontem, de hoje e amanhã. Os que estiveram muito presentes nesses dois anos e os que não estiveram tão presentes assim fisicamente, mas que sempre estiveram comigo em pensamento. Muito obrigada por tanta compreensão!

Aos amigos da Graduação em Ciências Biológicas que jamais sairão dos meus agradecimentos. Sem vocês eu não teria chegado até aqui!

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de Mestrado durante esses dois anos.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Secretaria da Comissão Interministerial para os Recursos do Mar (SECIRM), pelo financiamento e apoio para a realização do Projeto TURBPLANC, do qual este trabalho faz parte.

Sumário

Introdução Geral	1
REFERÊNCIAS	5
 Manuscrito I	
RESUMO	9
INTRODUÇÃO	11
MATERIAL E MÉTODOS	12
<i>Descrição da área de estudo</i>	12
<i>Estratégia amostral e Análise em laboratório</i>	12
<i>Análise dos Dados</i>	14
RESULTADOS	15
<i>Estrutura termohalina e clorofila-a</i>	15
<i>Composição e frequência do microzooplâncton</i>	16
<i>Abundância, distribuição e migração vertical do microzooplâncton</i>	21
<i>Estrutura da comunidade</i>	24
DISCUSSÃO	28
AGRADECIMENTOS	34
REFERÊNCIAS	34
 Manuscrito II	
ABSTRACT	41
INTRODUCTION	42
MATERIALS AND METHODS	42
RESULTS	44
DISCUSSION	44
ACKNOWLEDGMENTS	45
REFERENCES	45
 Considerações Finais	 48

Lista de Figuras

Manuscript I.

Figura 1. Localização das estações de coleta a leste (S1) e oeste (S2) do Arquipélago de São Pedro e São Paulo. Os ventos alísios (W), e o ramo norte da corrente Sul Equatorial (nCSE) e a Subcorrente Equatorial (SCE) são indicadas na figura (MELO, 2013). 13

Figura 2. Perfis verticais de temperatura e salinidade médias no Arquipélago de São Pedro e São Paulo na campanha C1 em 2010. 16

Figura 3. Perfis verticais de clorofila-*a* durante as três campanhas realizadas no Arquipélago de São Pedro e São Paulo em 2010 (C1) e 2011 (C2 e C3).. 17

Figura 4. Distribuição vertical das densidades médias do microzooplâncton nos períodos diurno e noturno durante as três campanhas realizadas no Arquipélago de São Pedro e São Paulo em 2010 (C1) e 2011 (C2 e C3). 21

Figura 5. Distribuição vertical da densidade média total dos períodos diurno e noturno do microzooplâncton no Arquipélago de São Pedro e São Paulo em 2010 (C1) e 2011 (C2 e C3). 22

Figura 6. Distribuição vertical da densidade total dos principais subgrupos de organismos (Protozooplâncton, adultos de Copepoda, juvenis de Copepoda, náuplio de Copepoda e outros organismos) do microzooplâncton no Arquipélago de São Pedro e São Paulo em 2010 (C1) e 2011 (C2 e C3). 23

Figura 7. Média da profundidade ponderada (WMD) das espécies/gêneros com frequência de ocorrência maior que 90% e abundância relativa maior que 10% em alguma amostra ao longo das três campanhas realizadas no Arquipélago de São Pedro e São Paulo em 2010 (C1) e 2011 (C2 e C3). 24

Figura 8. Distribuição vertical da diversidade (bits.ind^{-1}), equitabilidade e riqueza de espécies nas três campanhas realizadas no Arquipélago de São Pedro e São Paulo em 2010 (C1) e 2011 (C2 e C3). 26

Figura 9. MDS total e por campanha das amostras coletadas no Arquipélago de São Pedro e São Paulo em 2010 (C1) e 2011 (C2 e C3). 27

Manuscript II.

Figure 1. Localization of the sample stations on East (S1) and West (S2) of the St. Peter and St. Paul Archipelago. The trady winds (W), and the North branch of South Equatorial Current (nSEC) and the Equatorial Undercurrent (EUC) are indicated at the figure (Modified from MELO, 2013). 43

Lista de Tabelas

Manuscrito I.

Tabela 1. Distribuição vertical da densidade média (ind.m^{-3}) do microzooplâncton coletado em intervalos de profundidade (L1: 0-20 m, L2: 20-40 m, L3: 40-60 m, L4: 60-80 m e L5: 80-100 m) no ASPSP. *Taxa* que apresentem as letras D (Diurno) ou N (Noturno) ao lado de seus nomes ocorreram exclusivamente no período de coleta mencionado. Valores de densidade em negrito indicam *taxa* que ocorreram em somente um estrato (Superfície: L1, L2 e L3 ou Subsuperfície: L4 e L5). 18

Tabela 2. Distribuição vertical da densidade média (ind.m^{-3}) dos Copepoda coletados em intervalos de profundidade (L1: 0-20 m, L2: 20-40 m, L3: 40-60 m, L4: 60-80 m e L5: 80-100 m) no ASPSP. *Taxa* que apresentem as letras D (Diurno) ou N (Noturno) ao lado de seus nomes ocorreram exclusivamente no período de coleta mencionado. Valores de densidade em negrito indicam *taxa* que ocorreram em somente um estrato (Superfície: L1, L2 e L3 ou Subsuperfície: L4 e L5). O * indica espécies que foram identificadas pela primeira vez para o ASPSP. 19

Resumo

A presente dissertação é composta por dois manuscritos. O primeiro foi elaborado com o intuito de responder ao objetivo principal da dissertação: caracterizar a migração vertical do microzooplâncton do Arquipélago de São Pedro e São Paulo (ASPSP). A partir das amostras analisadas, ainda foi possível obter um manuscrito adicional, registrando a primeira ocorrência de *Aetideus australis* para o Brasil e *Aetideus giesbrechti* para o ASPSP. Para isto, foram realizadas coletas diurnas e noturnas em três campanhas (C1: junho de 2010; C2: setembro de 2011; C3: outubro de 2011), em duas estações fixas, uma a leste (E1) e outra a oeste (E2) do ASPSP. Foram feitos arrastos verticais com rede de plâncton com sistema de fechamento tipo Nansen e malha com abertura de 64 μm , em cinco camadas pré-determinadas de 20 metros, até 100 m de profundidade (L1: 0-20 m, L2: 20-40 m, L3: 40-60 m, L4: 60-80 m e L5: 80-100 m). Adicionalmente, para caracterizar a estrutura termohalina, foram obtidos perfis com um CTD da superfície até 100 m; ainda, foram realizados perfis verticais através de sonda perfiladora SCAMP para obtenção de dados de clorofila-*a* em C1. Para obter os dados de clorofila-*a* em C2 e C3, foi coletada água com auxílio de uma garrafa de Niskin. Foi observado um pico subsuperficial deste parâmetro aproximadamente a 70 m de profundidade. A diversidade de espécies foi muito alta ($3,60 \pm 0,36 \text{ bits.ind}^{-1}$), sendo identificados 102 *taxa*, considerando a menor unidade taxonômica possível de se identificar. Estes *taxa* estiveram representados por 9 Filos (Dinophyta, Ciliophora, Protozoa, Cnidaria, Annelida, Mollusca, Arthropoda, Chaetognatha, Chordata), com predomínio de organismos pertencentes ao protozooplâncton (dinoflagelados, foraminíferos, radiolários e tintínídeos) e à classe dos Copepoda (náuplios, juvenis e adultos). Copepoda destacou-se com cerca de 60 espécies, dentre as quais *Aetideus australis* e *Aetideus giesbrechti* foram registradas pela primeira vez para o Brasil e o ASPSP, respectivamente. Foi observada uma estratificação na coluna d'água em duas camadas (acima e abaixo da termoclina) diferentes significativamente uma da outra: superfície (L1, L2 e L3) e subsuperfície (L4 e L5). Os organismos puderam ser separados em três grupos: os que se distribuíram por toda coluna d'água (Dinoflagelados, Copepoda (Náuplio), *Oithona* spp., *Oncaea* spp.), os que ocorreram em águas superficiais (*Clausocalanus furcatus*, *Farranula gracilis*, Appendicularia) e os que parecem evitar águas acima da termoclina média (Ostracoda, *Aetideus* spp., *Haloptilus* spp.). Através do uso da WMD (*Weighted Mean Depth*), não foi identificado um padrão típico de migração vertical

diária em nenhum *taxa* no presente estudo, fato já mencionado para organismos de classes de tamanho menores, sendo geralmente o padrão de migração vertical atribuído a organismos zooplanctônicos de classes de tamanho maior. Não foram observadas diferenças significativas entre os períodos diurno e noturno bem como não foi observada uma variação temporal nem a curto ($C2 \neq C3$) nem a longo prazo ($C1 \neq C2$ e $C3$). Deste modo, esta dissertação descreve, pela primeira vez, padrões de distribuição vertical dos principais *taxa* e constata a ausência de padrões de MVD em organismos microzooplanctônicos no ASPSP. Além disso, mostra a alta diversidade destes organismos neste ambiente oceânico tropical, destacando a necessidade do desenvolvimento de mais estudos envolvendo a estrutura básica desta comunidade.

Palavras-chave: Ilhas tropicais, Atlântico tropical, distribuição vertical, Copepoda, Zooplâncton.

Abstract

This dissertation consists of two manuscripts. The first was designed with the intuitive of answer the main objective of the dissertation: characterize the vertical migration of microzooplankton of Saint Peter and Saint Paul Archipelago (SPSPA). From the samples analysed, it was still possible to obtain an additional manuscript, recording the first occurrence of *Aetideus australis* to Brazil e *Aetideus giesbrechti* to SPSPA. For this, diurnal and nocturnal sampling were carried out in three campaigns (C1: June/2010; C2: September/2011; C3: October/2011), in two fixed stations, one in the East (S1) and another to the West (S2) from SPSPA. Vertical hauls with plankton net with a closing system Nansen type and mesh size of 64 μm were made, considering five predetermined layers of 20 m. (L1: 0-20 m, L2: 20-40 m, L3: 40-60 m, L4: 60-80 m and L5: 80-100 m). Additionally, to characterize the thermohaline structure, CTD profiles were obtained from surface to 100 m depth; and vertical profiles were carried out using a Self Contained Autonomous MicroProfiler SCAMP in C1 to obtain data of chlorophyll-a. To obtain data of chlorophyll-a in C2 and C3, water was collected with the support of a Niskin bottle. A chlorophyll-a subsurface peak of this parameter was observed at approximately at 70 m depth. Species diversity was very high ($3.60 \pm 0.36 \text{ bits.ind}^{-1}$), being identified 102 taxa, considering the smallest taxonomic unit possible to be identified. These taxa have been represented by 9 Phyla (Dinophyta, Ciliophora, Protozoa, Cnidaria, Annelida, Mollusca, Arthropoda, Chaetognatha, Chordata). Among these, predominated organisms belonging to protozooplankton (dinoflagellates, foraminiferans, radiolarians and tintinnids) and to Copepoda (nauplii, juveniles and adults). Copepoda showed highest richness with 60 species, among which *Aetideus australis* e *Aetideus giesbrechti* was register for the first time to Brazil and SPSPA, respectively. A stratification was observed in the water column separating in two layers (above and below the thermocline) significantly different from each other: surface (L1, L2 and L3) and subsurface (L4 and L5). The organisms presented three groups: those who was distributed throughout the water column (Dinoflagellates, Copepoda – nauplius –, *Oithona* spp., *Oncaea* spp.), those who occurred in superficial waters (*Clausocalanus furcatus*, *Farranula gracilis*, Appendicularia) and those that seem to avoid water above the medium thermocline (Ostracoda, *Aetideus* spp., *Haloptilus* spp.). Through the use of WMD (Weighted Mean Depth), it was not identified a typical pattern of daily vertical migration (DVM) to none taxa

in the present study. This fact was already mentioned to organisms of smaller size classes, as vertical migration pattern being generally attributed to zooplanktonic organisms of larger size. No significant differences were observed between day and night periods and it was not observed a temporal variation nor at short ($C2 \neq C3$) or long term ($C1 \neq C2$ e $C3$). Thus, this work describes, for the first time, patterns of vertical distribution of the main taxa and notes the lack of patterns of DVM in microzooplanktonic organisms in the SPSPA. Furthermore, it shows the high diversity of these organisms in this tropical ocean environment, highlighting the need to develop more studies involving the basic structure of this community.

Key-words: Tropical islands, tropical Atlantic, vertical distribution, Copepoda, zooplankton.

INTRODUÇÃO GERAL

Introdução Geral

Os oceanos servem como habitat para uma grande diversidade de seres vivos, com formas, tamanhos e cores variados. Além disso, também provem alimento aos seres humanos, representando um depósito rico em minerais e fonte de energia. Ainda, influenciam os padrões climáticos e estabilizam a temperatura em todo planeta (CASTRO; HUBER, 2012).

Evidências existentes do uso dos oceanos e dos seres vivos que o habitam como fonte de alimentação vem de mais de 150.000 anos (CASTRO; HUBER, 2012). Atualmente, a pressão antrópica neste ecossistema tem aumentado devido ao constante crescimento da população mundial, sendo este ambiente bastante utilizado como uma grande fonte de recursos (GALVÃO, 2000). Desta forma, faz-se necessário o aprofundamento em estudos sobre a teia trófica de regiões oceânicas, assim como estudos sobre todos os processos ambientais que estão envolvidos.

Regiões oceânicas tropicais são consideradas oligotróficas por conter um mínimo de fluxo vertical de nutrientes e uma baixa produtividade biológica (LONGHURST; PAULY, 1987). A região oceânica do Oceano Atlântico tropical não foge a esta característica: é dominada por águas quentes oligotróficas da Corrente Sul Equatorial e correntes derivadas (EKAU; KNOPPERS, 1999). Esse caráter oligotrófico é explicado pela existência de uma termoclina permanente na região que inibe o fluxo das águas profundas frias e ricas em nutrientes, evitando que se misturem com águas da camada de mistura superficial, quentes e pobre em nutrientes (TRAVASSOS *et al.*, 1999; FLORES-MONTES, 2003; MACEDO *et al.*, 2009).

Nestes ambientes oceânicos oligotróficos, a quebra da estratificação da coluna d'água geralmente só ocorre através de mecanismos locais, como divergência de correntes, ventos e interações entre correntes oceânicas e relevo marinho (TRAVASSOS *et al.*, 1999). A hidrodinâmica nestes ambientes oceânicos pode ser fortemente modificada devido ao “efeito ilha”, causado pela presença de ilhas e/ou montes submarinos, onde uma combinação entre correntes de recirculação e ressurgência faz com que águas mais profundas atinjam a zona eufótica dos oceanos (DOTY; OGURY, 1956).

A modificação na hidrodinâmica em ambientes oceânicos pode contribuir para um incremento na biomassa planctônica ao redor de áreas onde o “efeito ilha” atua (UDA; ISHINO, 1958; BOEHLERT, 1988). Ilhas e montes submarinos tornam extremamente diversos os processos físicos e ecológicos que afetam a distribuição dos organismos

planctônicos que estão próximos à superfície, devido a suas grandes variações de topografia, fisiografia e profundidade (GENIN *et al.*, 1994). Estes processos ainda regulam as interações dentro das comunidades, determinando sua estrutura e função (ROGERS, 1994; GENIN, 2004).

Dentre os organismos planctônicos, o zooplâncton possui um papel primordial na teia trófica oceânica, constituindo o elo primário na transferência de massa e energia entre os produtores primários e os níveis tróficos mais elevados, além de atuar na ciclagem de energia (GROSS; GROSS, 1996). As interações dentro da comunidade zooplânctônica que produzem sua estrutura e função podem ser reguladas tanto pela dinâmica física do meio ambiente como pelo comportamento das espécies (HAURY *et al.*, 1990), determinando os limites e condições de seus intervalos de distribuição dessas comunidades (DOMENICI *et al.*, 2007).

Os padrões de distribuição e dos movimentos do zooplâncton são reflexos das estratégias que estão envolvidas para lidar com uma série de mudanças verticais, como na luz, temperatura, turbulência, transporte, alimento e predadores (INCZE *et al.*, 2001). Além disso, vantagens metabólicas, como respiração e reprodução, também são proporcionadas devido ao posicionamento do zooplâncton na coluna d'água, refletindo diretamente nas funções vitais destes organismos (LEVINTON, 1995), atuando em suas relações tróficas (FROST; BOLLENS, 1992) e estratégias de reprodução (EPIFANIO, 1988).

Em resposta a este ambiente variável, onde realiza suas funções vitais (INCZE *et al.*, 2001), grande parte do zooplâncton realiza a migração vertical, que se caracteriza pela ascensão dos organismos em direção à superfície ao entardecer, e um movimento descendente para águas mais profundas ao amanhecer (HEYWOOD, 1996; LALLI; PARSONS, 1997). A migração é um fenômeno global que liga as diferentes camadas dos oceanos (OCHOA *et al.*, 2013), transportando uma importante quantidade da biomassa tendo grande importância no transporte da matéria e da energia entre as diferentes camadas, influenciando diretamente os diversos níveis da cadeia trófica (ANGEL, 1985; BOURDILLON, 1989; BONECKER *et al.*, 2009; OCHOA *et al.*, 2013).

A causa da migração vertical diária (MVD) é atribuída a vários fatores, que podem atuar isoladamente ou em conjunto. Geralmente, a MVD é o resultado de uma adequação entre as necessidades de se alimentar e de evitar a predação (HEYWOOD, 1996). Descobertas recentes demonstraram uma flexibilidade considerável nos padrões desta migração quando certos predadores estão presentes. Isto sugere que o risco de predação pesa fortemente entre os fatores que influenciam esse comportamento (INCZE *et al.*, 2001). Ainda, outros autores

acreditam que a luz, modificada por outros fatores físicos e biológicos, e suas variações de intensidade, é o fator dominante a iniciar, controlar e modificar a migração vertical diária (ZARET; SUFFERN, 1976; FORWARD, 1988). Seus efeitos podem incluir o início da ascendência ou descendência, determinar a velocidade da migração e restringir a profundidade máxima atingida (HEYWOOD, 1996).

Estas migrações nas regiões tropicais dos oceanos contribuem na composição de espécies ao longo do ciclo nictemeral, e embora sejam áreas oligotróficas, apresentam altas diversidades (BOLTOVSKOY, 1981). A diversidade específica, abundância absoluta e sensibilidade ecológica fazem os organismos componentes do microzooplâncton serem especialmente úteis como traçadores de correntes oceânicas (BOLTOVSKOY, 1986). Além disso, o microzooplâncton está sendo cada vez mais visto como um dos principais componentes da dieta do mesozoplâncton, preenchendo lacunas nas exigências metabólicas deste grupo que não são atingidas somente pelo fitoplâncton ou, ainda, representando toda a fonte primária de alimento (ROMAN; GAUZENS, 1997; KLEIN BRETELER *et al.*, 1999; CALBET; LANDRY, 2004).

De acordo com a classificação de Sieburth *et al.* (1978), o microzooplâncton é um grupo de organismos que apresenta uma faixa de tamanho entre 20 e 200 μm e podem ser heterotróficos ou mixotróficos, compreendendo muitos protistas (ciliados, dinoflagelados e foraminíferos), pequenos metazoários (náuplios de Copepoda e alguns copepoditos), assim como algumas larvas meroplânctônicas.

Estes organismos desempenham um papel chave nas teias alimentares marinhas, atuando como os principais consumidores da produção primária (CALBET; LANDRY, 2004), intermediários entre os produtores primários e os Copepoda (GIFFORD, 1991; CALBET; SAIZ, 2005) e como componentes muito importantes da alça microbiana (AZAM *et al.*, 1983; SHERR; SHERR, 2002), uma vez que apenas alguns metazoários conseguem ingerir as pequenas células fitoplanctônicas disponíveis, tendo o microzooplâncton papel importante no controle da exportação do carbono biogênico (orgânico e inorgânico) para as águas superficiais em águas oceânicas tropicais (STOECKER, 1996).

A existência de poucos estudos envolvendo a densidade, migração e distribuição vertical do microzooplâncton em áreas oceânicas do Atlântico tropical, particularmente no Arquipélago de São Pedro e São Paulo, mostra a grande lacuna existente neste âmbito de pesquisa. Este tipo de estudo é imprescindível para caracterizar a comunidade

microzooplânctônica existente e fornecer informações ecológicas que venham auxiliar na gestão pesqueira.

Desta forma, o presente estudo, parte integrante do projeto “Efeito da turbulência sob a migração vertical do plâncton no Arquipélago de São Pedro e São Paulo – Brasil”, financiado pelo Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (557150/2009-4), testa a hipótese de que há migração vertical do microzooplâncton do Arquipélago de São Pedro e São Paulo.

Para testar essa hipótese, este estudo visou caracterizar a distribuição e a migração vertical do microzooplâncton do Arquipélago de São Pedro e São Paulo, tendo como objetivos específicos: (1) identificar os organismos pertencentes à comunidade microzooplânctônica nas diferentes situações amostrais, (2) verificar os padrões de migração vertical e distribuição espacial (horizontal e vertical) da comunidade, considerando ainda o estágio de desenvolvimento dos organismos e (3) relacionar os fatores ambientais (temperatura, salinidade, clorofila-*a*) com a distribuição dos organismos microzooplânctônicos no ASPSP. As amostras e os parâmetros abióticos analisados permitiram responder os objetivos citados e ainda geraram o registro de nova ocorrência de *Aetideus australis* (Vervoot, 1957) para o Brasil e *Aetideus giesbrechti* (Cleve, 1904) para o Arquipélago de São Pedro e São Paulo.

Esta dissertação é composta por dois manuscritos:

Manuscrito I: “Migração vertical do microzooplâncton do Arquipélago de São Pedro e São Paulo” – Verifica a distribuição e a ocorrência ou não de migração vertical dos principais *taxa* do microzooplâncton no ASPSP e as correlaciona com os parâmetros abióticos disponíveis (temperatura, salinidade e clorofila-*a*), atendendo a todos os objetivos.

Manuscrito II: “The first occurrence of *Aetideus australis* in Brazil and *Aetideus giesbrechti* (Calanoida: Copepoda) in the Saint Peter and Saint Paul Archipelago” – Registra pela primeira vez a ocorrência de *A. australis* para o Brasil e *A. giesbrechti* para o ASPSP, ampliando suas áreas de ocorrência do Oceano Atlântico.

REFERÊNCIAS

- ANGEL, M. V. Vertical migrations in the oceanic realm: possible causes and probable effects. In: Rankin, M.A. (Ed.). *Migration: Mechanisms and Adaptive Significance*. Port Aransas: Department of Zoology, University of Texas, v. Supplement 27. p. 45-70. 1985.
- AZAM, F.; FENCHEL, T.; FIELD, J. G.; GREY, J. S.; MEYER-REIL, L. A.; THINGSTAD, F. The ecological role of water-column microbes in the sea. *Marine Ecology Progress Series*, v. 10, p. 257-263. 1983.
- BOEHLERT, G. W. Current-topography interactions at midocean seamounts and the impact on pelagic ecosystems. *GeoJournal*, v. 1, p. 45-52. 1988.
- BOLTOVSKOY, D. *Atlas del zooplancton del Atlántico Sudoccidental y métodos de trabajo con el zooplancton marino*. Mar del Plata: INIDEP. 936 p. 1981.
- BOLTOVSKOY, D. Biogeography of the Southwestern Atlantic: current problems and prospects. In: Pierrot-Bults, A. C.; Van der Spoel, S.; Zahuranec, B. J.; Johnson, R. K. (Eds.) *Pelagic Biogeography*. UNESCO Tech. Map. Mar. Sci. v. 49, p. 14-24. 1986.
- BONECKER, A. C. T.; BONECKER, S. L.; BASSANI, C. Plâncton Marinho. In: Pereira, R. C.; Soares-Gomes, A. (Ed.). *Biologia Marinha*: Interciência p. 103-125. 2002.
- BOURDILLON, A. Les repères spatiaux et temporels des migrations verticales journalières du plancton. *Océanis*, v. 15, p. 83-113. 1989.
- CALBET, A.; LANDRY, M. R. Phytoplankton growth, microzooplankton grazing, and carbon cycling in marine systems. *Limnology and Oceanography*, v. 49, p. 51-57. 2004.
- CALBET, A.; SAIZ, E. The ciliate-copepod link in marine ecosystems. *Aquatic Microbial Ecology*, v. 38, p. 157-167. 2005.
- CASTRO, P.; HUBER, M. E. *Biologia Marinha*. Porto Alegre: AMGH Editora Ltda. 461p. 2012.
- DOMENICI, P.; CLAIREAUX, G.; MCKENZIE, D. J. Environmental constraints upon locomotion and predator-prey interactions in aquatic organisms: and introduction. *Philosophical Transactions of The Royal Society*, v. 362, 1929-1936. 2007.
- DOTY, M. S.; OGURY, M. The island mass effect. *Conseil International pour l'Exploration de la Mer*, v. 22, p. 33-37. 1956.
- EKAU, W.; KNOPPERS, B. An introduction to the pelagic system of the North-East Brazilian shelf. *Archive of Fishery and Marine Research*, v. 47, n. 2/3, p. 113-132. 1999.
- EPIFANIO, C. E. Dispersal strategies of two species of swimming crab on the continental shelf adjacent to Delaware. *Marine Ecology Progress Series*, v. 49, p. 243-248. 1988.
- FLORES-MONTES, M. J. *Fatores que influenciam na Produtividade dos Oceanos: A Importância do Fluxo de Difusão dos Nutrientes para a Biomassa do Fitoplâncton na Região*

Oceânica do Nordeste Brasileiro. Tese (Doutorado em Oceanografia). Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 179p. 2003.

FORWARD, R. B. Diel vertical migration: zooplankton photobiology and behaviour. *Oceanography and Marine Biology, An Annual Review*, v. 26, p. 361-393. 1988.

FROST, B. W.; BOLLENS, S. M. Variability of diel vertical migration in the marine planktonic copepod *Pseudocalanus newmani* in relation to its predators. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, v. 49, p. 1137-1141. 1992.

GALVÃO, I. B. *O nanoplâncton e o microplâncton da Zona Econômica Exclusiva do Nordeste do Brasil (REVIZEE-NEII)*. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 160 p. 2000.

GENIN, A.; GREENE, C.; HAURY, L.; WIEBE, P.; GAL, G.; KAARTVEDT, S.; MEIR, E.; FEY, C.; DAWSON, J. Zooplankton patch dynamics: daily gap formation over abrupt topography. *Deep-Sea Research I*, v. 41, n. 5/6, p. 941-951. 1994.

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

GIFFORD, D. J. The protozoan-metazoan trophic link in pelagic ecosystems. *Journal of Protozoology*, v. 38, p. 81-86. 1991.

GROSS, M. G; GROSS, E. *Oceanography a view of earth*. New jersey: Printice hall. 472p. 1996.

HAURY, L. R.; YAMAZAKI, H.; ITSWEIRE, E. C. Effects of turbulent shear flow on zooplankton distribution. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, v. 37, p. 447-461. 1990.

HEYWOOD, K. J. Diel vertical migration of zooplankton in the Northeast Atlantic. *Journal of Plankton Research*, v. 18, n. 2, p. 163-184. 1996.

INCZE, L. S.; HEBERT, D.; WOLFF, N.; OAKLEY, N.; DYE, D. Changes in copepod distributions associated with increased turbulence from wind stress. *Marine Ecology Progress Series*, v. 213, p. 229-240. 2001.

KLEIN BRETELIER, W. C. M.; SCHOGT, N.; BAAS, M.; SCHOUTEN, S.; KRAAY, G. W. Trophic upgrading of food quality by protozoans enhancing copepod growth: role of essential lipids. *Marine Biology*, v. 135, p. 191-198. 1999.

LALLI, C. M.; PARSONS, T. R. *Biological Oceanography: an introduction*. 2 ed. Elsevier Butterworth-Heinemann, Oxford. p. 74-111, 1997.

LEVINTON, J. S. *Marine Biology: Function, Biodiversity, Ecology*. New York. Oxford University Press. 420p. 1995.

- LONGHURST, A. R.; PAULY, D. *Ecology of Tropical Oceans*. San Diego: Academic Press, 407p. 1987.
- MACEDO, S. J.; FLORES-MONTES, M. J.; COSTA, C. M. P. Hidrologia. In: Hazin, F. H. V. (Ed.). *O arquipélago de São Pedro e São Paulo: 10 anos de estação científica*. Brasília: SECIRM, p. 100-105. 2009.
- OCHOA, J.; MASKE, H.; SHEINBAUM, J.; CANDELA, J. Diel and lunar cycles of vertical migration extending to below 1000 m in the ocean and the vertical connectivity of depth-tiered populations. *Limnology and Oceanography*, v. 58, n. 4, p. 1207-1214. 2013.
- ROGERS, A. D. The biology of seamounts. *Advances in Marine Biology*, v. 30, p. 305-350. 1994.
- ROMAN, M. R.; GAUZENS, A. L. Copepod grazing in the equatorial Pacific. *Limnology and Oceanography*, v. 42, p. 623-634. 1997.
- SHERR, E. B.; SHERR, B. F. Significance of predation by protists in aquatic microbial food webs. *Antonie van Leeuwenhoek*, v. 81, p. 293-308. 2002.
- SIEBURTH, J. M. N.; SMETACEK, V.; LENZ, J. Pelagic ecosystem structure: heterotrophic compartments of the plankton and their relationship to plankton size fractions. *Limnology and Oceanography*, v. 23, p. 1256-1263. 1978.
- STOECKER, D. K.; GUSTAFSON, D. E.; VERITY, P. G. Micro- and mesoprotozooplankton at 140°W in the equatorial Pacific: heterotrophs and mixotrophs. *Aquatic Microbial Ecology*, v. 10, p. 273-282. 1996.
- TRAVASSOS, P.; HAZIN, F. H. V.; ZAGAGLIA, J. R.; ADVINCULA, R.; SCHOBBER, J. Thermohaline structure around seamounts and islands off North-Eastern Brazil. *Archive of Fishery and Marine Research*, v. 47, p. 211-222. 1999.
- UDA, M.; ISHINO, M. Enrichment patterns resulting from eddy systems in relation to fishing grounds. *Journal of the Tokyo University of Fisheries*, v. 44, p. 105-119. 1958.
- ZARET, T. M.; SUFFERN, J. S. Vertical migration in zooplankton as a predator avoidance mechanism. *Limnology and Oceanography*, v. 21, n. 6, p. 804-813. 1976.

MANUSCRITO I

DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DO MICROZOOPLÂNCTON DO ARQUIPÉLAGO DE SÃO PEDRO E SÃO PAULO

(Vertical distribution of microzooplankton of Saint Peter and Saint Paul Archipelago)

RESUMO

O presente estudo descreve pela primeira vez a distribuição e a migração vertical dos organismos microzooplancônicos no Arquipélago de São Pedro e São Paulo, em curta e longa escala. Para isto, foram realizadas coletas diurnas e noturnas em três campanhas (C1: junho de 2010; C2: setembro de 2011; C3: outubro de 2011), em duas estações fixas, uma a leste (E1) e outra a oeste (E2) do ASPSP. Foram feitos arrastos verticais com rede de plâncton com sistema de fechamento tipo Nansen e malha com abertura de 64 μm , em cinco camadas pré-determinadas de 20 metros, até 100 m de profundidade (L1: 0-20 m, L2: 20-40 m, L3: 40-60 m, L4: 60-80 m e L5: 80-100 m). Adicionalmente, para caracterizar a estrutura termohalina, durante a C1 foram obtidos perfis com um CTD da superfície até 100 m, cujos dados foram empregados como parâmetro para os dados obtidos no *WOAselect*, que foram utilizados para identificar a profundidade da termoclina em todas as campanhas; ainda, foram realizados perfis verticais através de sonda perfiladora SCAMP para obtenção de dados de clorofila-*a* em C1. Para obter os dados de clorofila-*a* em C2 e C3, foi coletada água com auxílio de uma garrafa de Niskin.. A diversidade de espécies foi muito alta ($3,60 \pm 0,36$ bits.ind⁻¹), sendo identificados 102 *taxa*, considerando a menor unidade taxonômica possível de se identificar. Copepoda destacou-se com cerca de 60 espécies. Foi observada uma estratificação na coluna d'água em duas camadas (acima e abaixo da termoclina) diferentes significativamente uma da outra: superfície (L1, L2 e L3) e subsuperfície (L4 e L5). Os organismos foram separados em três grupos: os que se distribuíram por toda coluna d'água, os que ocorriam em águas superficiais e os que parecem evitar águas acima da termoclina média. Não foi identificado qualquer padrão de migração vertical diária em nenhum *taxa* no presente estudo, fato já mencionado para organismos de classes de tamanho menores, sendo geralmente o padrão de migração vertical atribuído a organismos zooplancônicos de classes de tamanho maior. Não foram observadas diferenças significativas entre os períodos diurno e noturno, bem como não foi observada uma variação temporal nem a curto (C2 $\neq$ C3) nem a longo prazo (C1 $\neq$ C2 e C3). Este trabalho descreve os padrões de distribuição vertical dos principais *taxa* e constata a ausência de padrões de MVD nestes organismos, e destaca a necessidade do desenvolvimento de mais estudos envolvendo esta comunidade.

Palavras-chave: Ilhas oceânicas, Atlântico tropical, Copepoda, Zooplâncton.

INTRODUÇÃO

Ambientes pelágicos, como a região do Atlântico tropical, são caracterizados por mudanças verticais nos parâmetros bióticos e abióticos, como luz, temperatura, turbulência, transporte, alimento, predadores (HAURY *et al.*, 1990; INCZE *et al.*, 2001), correntes (BONECKER *et al.*, 2009), dentre outros. Como resultado, o zooplâncton vive em um ambiente altamente variável, tendo que se adaptar aos diversos processos oceanográficos (INCZE *et al.*, 2001). As estratégias envolvidas para lidar com estas variações refletem os padrões de distribuição da migração vertical e movimentos do zooplâncton (INCZE *et al.*, 2001).

A migração vertical diária do zooplâncton (MVD) é um fenômeno global ligando diferentes camadas de água, sendo o zooplâncton agente fundamental na ecologia pelágica, transferindo matéria orgânica dos produtores primários para maiores profundidades assim como para níveis tróficos mais elevados (OCHOA *et al.*, 2013). Este fenômeno é observado para a maioria das espécies e grupos do zooplâncton (HEYWOOD, 1996).

O padrão mais comum de MVD é a ascendência para próximo às camadas superficiais ao entardecer e descendência para uma camada mais profunda ao amanhecer (HEYWOOD, 1996). Este tipo de migração é comumente explicado pela teoria trófica, onde os organismos buscam um melhor suprimento de alimento perto da superfície e também evitam predadores através da migração para camadas mais profundas durante o dia, onde a detecção visual é mais difícil (OCHOA *et al.*, 2013).

A área de estudo deste trabalho, o Arquipélago de São Pedro e São Paulo (ASPSP), é um grupo de 15 pequenas ilhas rochosas localizadas aproximadamente 1.010 km de distância do litoral do estado do Rio Grande do Norte (Brasil). Devido a este isolamento geográfico, o ASPSP reúne características únicas, comparáveis a um oásis no meio das águas oligotróficas do oceano Atlântico (GARCÍA-DÍAZ *et al.*, 2009).

Estudos sobre o plâncton do ASPSP foram realizados por: Galvão (2000), Koenig e Oliveira (2009) e Tiburcio *et al.* (2011) para o fitoplâncton; Díaz (2007), García-Díaz, *et al.* (2009), Melo (2009), Melo *et al.* (2012) e Melo (2013) para o mesozooplâncton; e ainda Advíncula (1999), Araújo e Larrazabal (2003), Cavalcanti e Larrazabal (2004) para o macrozooplâncton. Contudo, pesquisas sobre a comunidade microzooplancônica são raras.

Estas comunidades são bastante relevantes, pois participam da alça microbiana e constituem o elo primário na transferência de massa e energia para os demais níveis tróficos,

atuando intensamente na ciclagem de energia, além de apresentar espécies que podem caracterizar as condições ambientais dominantes (GROSS; GROSS, 1996).

A maior parte dos estudos sobre o plâncton realizados até o momento no ASPSP esteve restrito às camadas superficiais, com informações escassas sobre densidade e distribuição vertical para espécies oceânicas. Este estudo descreve pela primeira vez a distribuição e a migração vertical dos organismos do microzooplâncton no ASPSP, visando compreender os principais táxons estruturadores da comunidade e seus padrões de deslocamento vertical.

MATERIAL E MÉTODOS

Descrição da área de estudo

O ASPSP apresenta-se como um monte submarino que se eleva da cordilheira mesoatlântica a 4000 m de profundidade (VASKE-JR *et al.*, 2006) e aflora à superfície na forma de pequenas ilhas rochosas no Atlântico Equatorial (0°55'06"N e 29°20'48"W). (Figura 1). A interação dessa topografia abrupta com as correntes atuantes no ASPSP resulta na produção de vórtices, perturbações da estrutura termohalina e possíveis mecanismos de ressurgência locais, estando a dinâmica oceânica condicionada à influência do ramo norte da Corrente Sul Equatorial (nCSE) que flui no sentido leste-oeste e da Sub-Corrente Equatorial (SCE), que flui no sentido oeste-leste logo abaixo da superfície (STRAMMA, 1991; ARAÚJO; CINTRA, 2009).

Por ter uma posição estratégica no meio do Oceano Atlântico Equatorial, o ASPSP possui uma importância fundamental na dinâmica local como rota migratória, área de reprodução e de alimentação, tornando-se, assim, uma importante área pesqueira da Zona Econômica Exclusiva (ZEE) do Nordeste do Brasil (PINHEIRO, 2004; HAZIN *et al.*, 2009).

Estratégia amostral e Análise em laboratório

Foram realizadas três campanhas para amostragem do plâncton, sendo: C1 (02 de junho de 2010 – período chuvoso), C2 (27 de setembro de 2011 – período seco) e C3 (03 de outubro de 2011 – período seco). As coletas foram realizadas em duas estações fixas, uma a Leste (E1) e outra a Oeste (E2) do ASPSP (Figura 1), nos períodos diurno (entre 8h e 14h) e noturno (entre 19h e 2h).

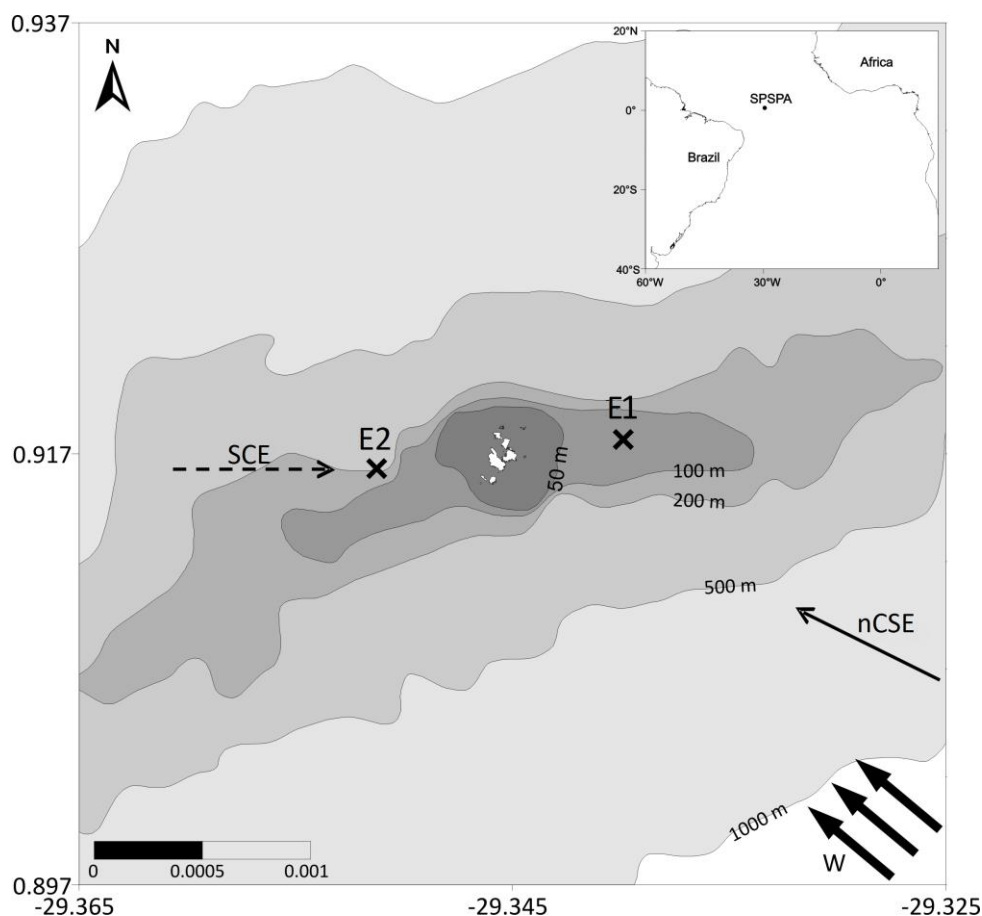


Figura 1. Localização das estações de coleta a leste (E1) e oeste (E2) do Arquipélago de São Pedro e São Paulo. Os ventos alísios (W), e o ramo norte da corrente Sul Equatorial (nCSE) e a Subcorrente Equatorial (SCE) são indicadas na figura (MELO, 2013).

Em cada uma das estações, foram feitos arrastos verticais com rede de plâncton tipo Nansen com sistema de fechamento e abertura de malha de 64 μm e 0,28 m^2 de abertura de boca, em camadas de 20 metros, até 100 m de profundidade (L1: 0-20 m, L2: 20-40 m, L3: 40-60 m, L4: 60-80 m e L5: 80-100 m). Todas as amostras foram preservadas em solução salina de formol a 4% e neutralizadas com tetraborato de sódio (1 g L^{-1}).

Durante a campanha C1, foram obtidos perfis com um CTD (*SeaBird Electronics SeaCat SBE-19*) da superfície até 100 m de profundidade, no qual foram obtidos dados de temperatura e salinidade. Para a análise da profundidade da termoclina nas outras campanhas, foram utilizados dados climatológicos obtidos a partir do *WOAselect* (World Ocean Atlas Select), disponibilizados pelo NOAA (*National Oceanic and Atmospheric Administration*). Ao comparar os dados obtidos com CTD no mês de junho com os dados fornecidos pelo *WOAselect* no mesmo mês, constatou-se que estes eram similares. Portanto, valores obtidos a partir do *WOAselect* foram utilizados para as outras campanhas.

A sonda perfiladora SCAMP foi utilizada durante C1 para obtenção de dados de clorofila-*a*. Para obtenção dos dados deste parâmetro em C2 e C3, amostras de água foram coletadas com auxílio de uma garrafa de Niskin. Em laboratório, foram filtrados 3 L de água em membrana de celulose. A clorofila-*a* foi analisada a partir do método espectrofotométrico da UNESCO (1966).

Em laboratório, foram realizadas análises quali-quantitativas dos organismos microzooplânctônicos. As amostras foram fracionadas em frações de até 1/64 utilizando um quarteador do tipo MOTODA, assumindo que um número mínimo de 300 indivíduos fosse analisado. As amostras que não atingiram esse número mínimo de indivíduos foram investigadas em sua totalidade.

As amostras foram analisadas sob microscópio composto utilizando uma lâmina do tipo Sedgwick-Rafter, para a fração total do microzooplâncton, e em um estereomicroscópio composto, para os Copepoda adultos, realizando dissecações para identificação destes últimos. A identificação foi baseada na menor unidade taxonômica possível, utilizando-se os principais manuais existentes (TREGOUBOFF; ROSE, 1957; BOLTOVSKOY, 1981, 1999). Este trabalho considerou os organismos pertencentes ao grupo dos Dinoflagellata como parte do zooplâncton, uma vez que muitas espécies que fazem parte deste grupo são heterotróficas.

Parâmetros como densidade de organismos (ind.m^{-3}), abundância relativa (%), frequência de ocorrência (%), índices de diversidade (SHANNON, 1948) e equitabilidade (PIELOU, 1966), além da similaridade de Bray e Curtis, foram calculados para avaliar os aspectos estruturais da comunidade estudada.

Análise dos Dados

Para análise estatística dos dados, estes foram primeiramente testados quanto à sua normalidade utilizando o teste de Kolmogorov-Smirnov. Dados paramétricos foram comparados através de teste-t (amostras pareadas) ou análise de variância (ANOVA, *one-way* – amostras não pareadas); já para dados não-paramétricos foram utilizados os testes de Mann-Whitney (M-W) (amostras pareadas) ou ANOVA de Kruskal-Wallis (K-W) (amostras não pareadas). Quando diferenças significativas foram constatadas, estas foram localizadas a partir do teste *a posteriori* de Student-Newman-Keuls (SNK). Ainda, foram feitos testes para verificar a existência de correlações entre a densidade de organismos (ind.m^{-3}) e parâmetros abióticos (temperatura, salinidade e clorofila-*a*), através do teste de correlação de Spearman. Estas análises foram feitas utilizando o programa SigmaPlot 12.

Para avaliar as mudanças da distribuição vertical e verificar a existência de padrões de migração vertical dos organismos foram calculadas variações na profundidade média ponderada (*WMD*, do inglês “*Weighted Mean Depth*”) nas três campanhas. A *WMD* foi calculada através da fórmula $WMD = \sum n_i d_i / \sum n_i$, onde n_i é a densidade (ind.m⁻³) da profundidade d_i , considerada como o ponto médio de cada camada (BOLLENS e FROST, 1989). Foi calculada a *WMD* dos *taxa* com frequência de ocorrência maior que 90% e abundância relativa maior que 10% em alguma amostra.

Ainda, foi calculada a similaridade das amostras a partir do índice de similaridade de Bray-Curtis. A similaridade foi representada em análise de ordenação de escalonamento multidimensional (MDS). Esta análise foi realizada a partir dos dados de densidade (ind.m⁻³) e transformados para log(x+1), a fim de balancear o peso de espécies raras e dominantes. Estas análises foram feitas utilizando o programa PRIMER 6 (*Plymouth Routines In Multivariate Ecological Research*).

Para todas as análises, valores de $p < 0,05$ foram tomados como significativos.

RESULTADOS

Estrutura termohalina e clorofila-a

Através dados coletados com o CTD, foram observadas na campanha C1 médias de temperatura de 28,34°C (± 0,08°C), 28,21°C (± 0,02°C), 27,38°C (± 0,53°C), 23,74°C (± 1,26°C) e 19,81°C (± 0,24°C) para as camadas L1, L2, L3, L4 e L5, respectivamente (Figura 2). A partir disso, foi possível detectar o início da termoclina em torno de 55 metros de profundidade.

Baseado nos dados do *WOAselect* também foi possível constatar o início da termoclina em torno dos 55 metros de profundidade nas campanhas C2 e C3. Deste modo, entende-se que, para este estudo, a termoclina divide a camada d’água em dois estratos: superfície (acima da termoclina) e subsuperfície (abaixo da termoclina). O estrato da superfície compreende as camadas L1, L2 e L3, e o da subsuperfície as camadas L4 e L5.

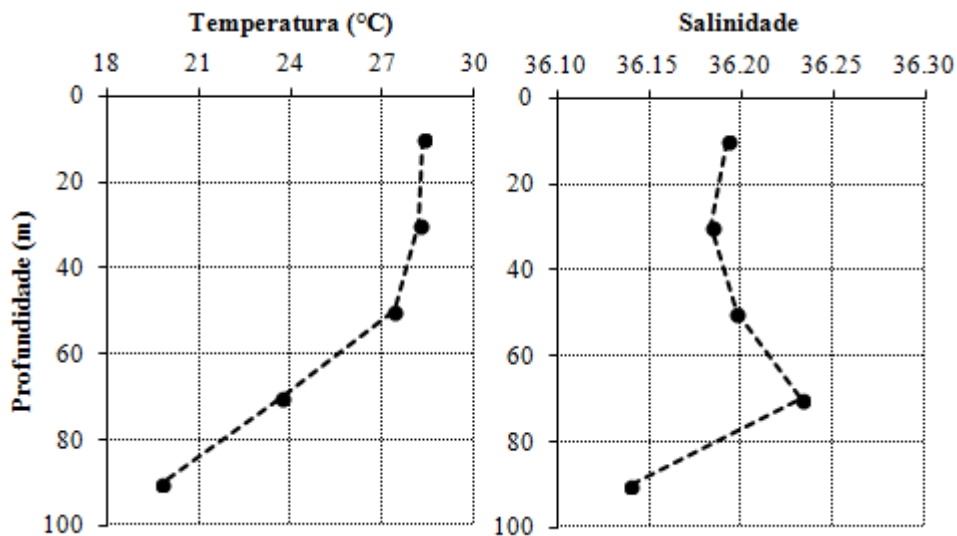


Figura 2. Perfis verticais de temperatura e salinidade médias no Arquipélago de São Pedro e São Paulo na campanha C1 em 2010.

Com relação à salinidade, foi observada uma pequena flutuação dos valores médios na campanha C1 (Figura 2), onde o menor valor encontrado foi de $36,14 (\pm 0,04^\circ\text{C})$ na camada L5 e o maior de $36,23 (\pm 0,03^\circ\text{C})$ em L4.

Para a clorofila-*a*, foram encontrados valores crescentes na campanha C1, da camada L1 ($0,16 \pm 0,01 \text{ mg.L}^{-1}$) para a L4 ($0,33 \pm 0,19 \text{ mg.L}^{-1}$). Durante a campanha C2, o valor máximo de clorofila-*a* foi encontrado na camada L4 ($0,47 \pm 0,38 \text{ mg.L}^{-1}$) e o mínimo na camada L2 ($0,16 \pm 0,11 \text{ mg.L}^{-1}$). Já durante a campanha C3, os valores foram aproximadamente constantes, variando de $0,23 (\pm 0,08 \text{ mg.L}^{-1})$ na camada L1, atinge seu máximo de $0,33 (\pm 0,14 \text{ mg.L}^{-1})$ em L4 e voltando a decrescer em L5 ($0,27 \pm 0,08 \text{ mg.L}^{-1}$) (Figura 3). A partir destes dados foi possível inferir a existência de um pico subsuperficial de clorofila-*a* (PSC) aproximadamente a 70 metros de profundidade.

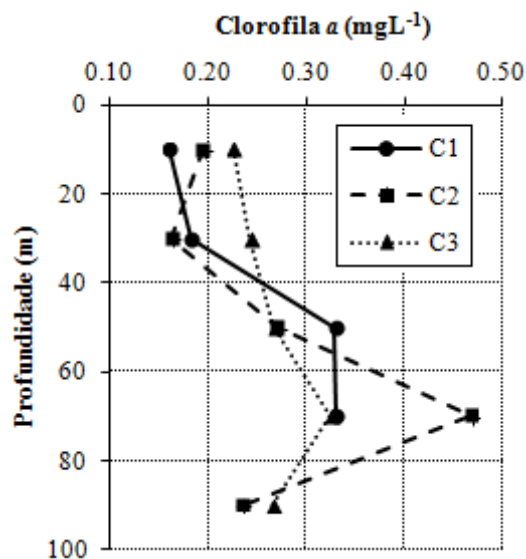


Figura 3. Perfis verticais de clorofila-*a* durante as três campanhas realizadas no Arquipélago de São Pedro e São Paulo em 2010 (C1) e 2011 (C2 e C3).

Composição e frequência do microzooplâncton

O microzooplâncton esteve representado por 102 *taxa* distribuídos por 9 Filos (Dinophyta, Ciliophora, Protozoa, Cnidaria, Annelida, Mollusca, Arthropoda, Chaetognatha, Chordata), com domínio de organismos pertencentes ao protozooplâncton (dinoflagelados, foraminíferos, radiolários e tintinídeos) (Tabela 1) e à classe dos Copepoda (náuplios, juvenis e adultos) (Tabela 2). Das espécies identificadas, duas de Copepoda foram registradas pela primeira vez para o ASPSP (*Aetideus australis* e *Aetideus giesbrechti*).

A Campanha C3 foi a que teve o maior número de *taxa* (78), seguida pela C1 (74) e C2 (67). No período diurno foram 84 *taxa* identificados e no período noturno 87. Com relação às camadas, a camada L4 apresentou uma maior riqueza de *taxa* (77), seguida pelas camadas L3 (74), L5 (68), L2 (64) e L1 (62).

Dentre todos os *taxa*, 13 ocorreram unicamente na campanha C1, 9 em C2 e 12 em C3. Ainda, alguns *taxa* ocorreram apenas em algum fotoperíodo, sendo 15 exclusivamente diurnos e 18 exclusivamente noturnos.

De modo similar, 13 *taxa* ocorreram apenas na superfície (0-60 m) e outros 16 somente na subsuperfície (60-100 m). Deste modo, é possível dividir os organismos em três grupos: os que se distribuem por toda coluna d'água (Dinoflagelados, Copepoda (Náuplio), *Oithona* spp., *Oncaea* spp.), os que preferem águas superficiais (*Clausocalanus furcatus*, *Farranula gracilis*, Appendicularia) e os que evitam águas acima da termoclina média (Ostracoda, *Aetideus* spp., *Haloptilus* spp.).

Com relação à frequência de ocorrência, 21 *taxa* apresentaram valores iguais ou acima de 60%, destacando-se *Ceratium* spp., Copepoda (Náuplio) e *Oncaea* spp. (Juvenil) que apresentaram 100% de frequência de ocorrência. Outros 50 *taxa* tiveram seus valores de frequência de ocorrência abaixo de 15% e foram considerados raros.

Tabela 1. Distribuição vertical da densidade média (ind.m⁻³) do microzooplâncton coletado em intervalos de profundidade (L1: 0-20 m, L2: 20-40 m, L3: 40-60 m, L4: 60-80 m e L5: 80-100 m) no ASPSP. *Taxa* que apresentem as letras D (Diurno) ou N (Noturno) ao lado de seus nomes ocorreram exclusivamente no período de coleta mencionado. Valores de densidade em negrito indicam *taxa* que ocorreram em somente um estrato (Superfície: L1, L2 e L3 ou Subsuperfície: L4 e L5).

Taxa	Camadas				
	L1	L2	L3	L4	L5
Dinophyta					
<i>Dinophysis</i> spp.	11.40	15.33	13.69	5.67	1.42
<i>Ornithocercus</i> spp.	81.46	77.58	68.47	29.94	44.62
<i>Ceratium</i> spp.	115.48	64.81	30.91	13.67	54.29
<i>Ceratocorys</i> spp.	3.27	2.77	0.70	0.21	0.77
<i>Protoperidinium</i> spp.	12.35	6.40	10.51	1.82	0.53
<i>Pyrocystis</i> spp.	1.63	1.83	1.51	1.10	0.14
Dinoflagellata sp.1 ^D	0.46	-	-	-	0.03
Ciliophora					
<i>Codonella</i> spp.	1.40	0.70	2.35	1.35	20.67
<i>Codonellopsis</i> spp.	1.17	0.46	1.11	3.67	1.16
<i>Dictyocysta</i> spp.	-	0.46	0.11	0.11	28.82
<i>Epiplocylis</i> spp.	62.10	48.01	13.01	10.16	24.81
<i>Cyttarocylis</i> spp.	0.94	-	0.34	0.01	1.43
<i>Petalotricha</i> spp.	1.87	0.94	2.81	2.41	2.27
<i>Rhabdonella</i> spp.	68.15	19.45	11.29	4.04	77.84
<i>Rhabdonellopsis</i> spp.	3.98	1.17	1.21	1.82	13.05
<i>Xystonellopsis</i> spp. ^D	-	0.23	-	-	-
<i>Undella</i> spp.	0.46	0.68	-	0.01	6.50
<i>Eutintinnus</i> spp. ^D	0.94	-	-	-	-
Tintinnina sp.1 ^N	-	-	-	-	0.43
Protozoa					
Foraminifera	56.54	51.50	25.21	7.14	33.35
Radiolaria	23.57	16.21	11.29	9.61	10.43
Cnidaria					
Hydrozoa ^N	-	-	0.21	0.11	-
Siphonophora	-	-	1.07	0.46	0.12
Annelida					
Polychaeta	0.23	0.24	-	-	0.12
Polychaeta (Larva)	2.82	1.15	3.05	1.93	1.77
Mollusca					
Gastropoda (Véliger)	1.18	1.39	2.22	1.22	0.35
Thecosomata	-	1.12	1.98	-	-
<i>Continua...</i>					

Taxa	Camadas				
	L1	L2	L3	L4	L5
Continuação...					
Arthropoda					
Amphipoda ^N	-	-	0.44	0.01	-
Euphausiacea	0.46	1.58	2.63	2.38	0.54
Decapoda	-	0.23	1.76	0.21	-
Crustacea (náuplio)	39.70	33.56	23.29	17.75	14.89
Chaetognatha	0.93	1.82	3.56	3.68	2.07
Chordata					
Appendicularia	52.45	39.04	29.16	12.64	8.97
Doliolida ^N	-	-	-	0.21	-
Cephalochordata	1.87	0.69	0.11	0.06	0.03
Teleostei (Ovo)	1.87	1.37	3.07	0.45	1.38
Teleostei (Larva)	-	0.45	0.53	0.45	0.21

Tabela 2. Distribuição vertical da densidade média (ind.m⁻³) dos Copepoda coletados em intervalos de profundidade (L1: 0-20 m, L2: 20-40 m, L3: 40-60 m, L4: 60-80 m e L5: 80-100 m) no ASPSP. Taxa que apresentem as letras D (Diurno) ou N (Noturno) ao lado de seus nomes ocorreram exclusivamente no período de coleta mencionado. Valores de densidade em negrito indicam taxa que ocorreram em somente um estrato (Superfície: L1, L2 e L3 ou Subsuperfície: L4 e L5). O * indica espécies que foram identificadas pela primeira vez para o ASPSP.

Taxa	Camadas				
	L1	L2	L3	L4	L5
<i>Nannocalanus minor</i> (Claus, 1863)	2.34	2.26	2.04	0.45	-
<i>Neocalanus gracilis</i> (Dana, 1852)	-	-	0.11	0.24	-
<i>Undinula vulgaris</i> (Dana, 1849)	4.42	3.43	3.00	2.05	0.23
<i>U. vulgaris</i> (juvenil)	1.63	2.10	3.57	0.94	2.41
<i>Acrocalanus longicornis</i> Giesbrecht, 1888	0.46	-	0.11	0.33	-
<i>Acrocalanus</i> spp. (juvenil)	40.76	22.70	12.44	7.32	10.13
<i>Calocalanus pavo</i> (Dana, 1852)	2.81	3.93	2.43	0.81	0.21
<i>Calocalanus</i> spp. (juvenil)	37.64	28.53	31.97	10.21	7.15
<i>Rhincalanus cornutus</i> (Dana, 1849)	-	-	1.80	0.21	-
<i>Subeucalanus pileatus</i> (Giesbrecht, 1888)	-	-	1.33	0.47	-
<i>Subeucalanus</i> spp. (juvenil) ^N	-	-	0.21	0.21	-
<i>Clausocalanus furcatus</i> (Brady, 1883)	13.54	12.68	16.31	8.88	2.08
<i>C. mastigophorus</i> (Claus, 1863) ^D	-	-	-	0.06	-
<i>C. parapergens</i> Frost & Fleminger, 1968 ^N	-	-	0.11	-	-
<i>Clausocalanus</i> spp. (juvenil)	74.52	45.14	41.36	13.68	7.40
<i>Aetideus acutus</i> Farran, 1929 ^D	-	-	-	0.06	-
<i>A. australis</i> (Vervoort, 1957) ^{D*}	-	-	-	-	0.12
<i>A. giesbrechti</i> Cleve, 1904 ^{D*}	-	-	-	-	0.12
<i>Euchirella splendens</i> Vervoort, 1963 ^N	-	-	0.21	-	-
<i>Euchaeta marina</i> (Prestandrea, 1833)	3.04	3.92	2.45	1.98	2.82
<i>Euchatea</i> spp. (juvenil)	2.80	2.33	4.64	2.94	2.03
<i>Scolecithrix danae</i> (Lubbock, 1856)	1.63	1.37	2.00	0.65	0.23
Continua...					

Taxa	Camadas				
	L1	L2	L3	L4	L5
Continuação...					
<i>Scolecithrix</i> spp. (juvenil) ^D	-	-	-	0.44	-
<i>Haloptilus longicirrus</i> Brodsky, 1950 ^D	-	-	-	-	0.22
<i>Haloptilus</i> spp. (juvenil) ^D	-	-	-	0.44	-
<i>Heterorhabdus papilliger</i> (Claus, 1863) ^N	-	-	-	0.47	-
<i>Heterorhabdus</i> sp. ^D	-	-	0.11	-	-
<i>Heterorhabdus</i> spp. (juvenil)	0.46	0.70	0.64	0.53	0.23
<i>Lucicutia flavicornis</i> (Claus, 1863)	-	0.70	0.53	0.12	0.33
<i>Lucicutia</i> spp. (juvenil)	1.86	0.69	0.44	0.88	2.34
<i>Pleuromamma gracilis</i> Claus, 1863 ^N	-	-	-	0.12	-
<i>P. piseki</i> Farran, 1929 ^N	-	-	0.44	-	-
<i>P. xiphias</i> (Giesbrecht, 1889)	-	-	0.44	0.11	0.12
<i>Pleuromamma</i> spp. (juvenil)	10.95	4.66	1.99	2.31	0.31
<i>Centropages violaceus</i> (Claus, 1863) ^D	0.47	0.46	-	-	-
<i>Candacia pachydactyla</i> (Dana, 1849)	0.70	1.14	0.11	-	0.38
<i>Candacia</i> sp. ^D	-	-	0.11	-	-
<i>Acartia (Acartia) danae</i> Giesbrecht, 1889 ^N	-	-	-	0.12	-
<i>Acartia</i> spp. (juvenil) ^D	-	0.23	-	-	-
Calanoida (juvenil)	123.97	81.09	77.15	57.08	32.26
CALANOIDA (Total)	324.00	218.06	208.08	114.09	71.13
<i>Oithona plumifera</i> Baird, 1843	13.74	23.82	27.76	14.35	3.43
<i>O. setigera</i> Dana, 1852	0.46	1.40	4.06	2.01	0.25
<i>Oithona</i> sp. ^N	-	0.47	-	-	-
<i>Oithona</i> spp. (juvenil)	79.38	57.50	85.70	93.57	49.99
<i>Oncaea media</i> Giesbrecht, 1891	24.59	2.94	5.95	2.15	0.81
<i>O. mediterranea</i> (Claus, 1863)	-	-	-	-	0.17
<i>O. scottodicarloi</i> Heron & Bradford-Grieve, 1995 ^N	-	-	-	0.12	0.12
<i>O. venusta</i> Philippi, 1843	12.17	2.52	9.00	3.73	3.83
<i>Oncaea</i> sp. ^N	-	-	0.43	-	-
<i>Oncaea</i> spp. (juvenil)	62.57	59.79	68.92	52.69	75.63
<i>Corycaeus (Agetus) flaccus</i> Giesbrecht, 1891 ^N	-	-	0.44	-	-
<i>C. (Corycaeus) speciosus</i> Dana, 1849	0.47	0.00	0.46	0.12	0.03
<i>C. (Onychocorycaeus) giesbrechti</i> Dahl F., 1894 ^D	1.17	0.23	-	0.32	-
<i>C. (Onychocorycaeus) latus</i> Dana, 1849 ^N	0.23	-	-	-	-
<i>Farranula gracilis</i> (Dana, 1849)	13.76	4.64	2.94	0.13	0.04
<i>Farranula</i> sp.	0.47	-	-	-	-
Corycaeidae (juvenil)	30.08	22.55	20.67	3.67	6.95
CYCLOPOIDA (Total)	239.09	175.84	226.34	172.87	141.25
<i>Microsetella rosea</i> (Dana, 1847)	33.85	22.17	23.34	7.73	8.57
<i>Macrosetella gracilis</i> (Dana, 1847)	5.14	4.57	3.80	1.78	1.62
Ectinosomatidae (juvenil)	3.74	1.59	1.94	0.75	0.36
<i>Miracia efferata</i> Dana, 1849	-	-	-	-	0.17
<i>Clymnestra scutellata</i> Dana, 1847 ^N	-	-	-	-	0.12
HAPARTICOIDA (Total)	42.72	28.33	29.09	10.26	10.84
Copepoda sp1. ^N	-	-	-	0.24	-
Copepoda (náuplio)	536.42	400.10	363.38	251.54	182.30
COPEPODA (Total)	1142.22	822.33	826.89	548.99	405.52

Abundância, distribuição e migração vertical do microzooplâncton

A densidade média do microzooplâncton em todas as campanhas foi de $1093,47 \pm 841,58 \text{ ind.m}^{-3}$, com aumento de C1 ($926,60 \pm 964,74 \text{ ind.m}^{-3}$) em direção à C3 ($1325,48 \pm 714,83 \text{ ind.m}^{-3}$). Não foram encontradas diferenças significativas entre as campanhas (K-W, $p = 0,266$, $H = 2,649$). A partir do teste de correlação de Spearman realizado na campanha C1, não foram encontradas correlações entre a densidade de organismos e temperatura (Spearman, $p = 0,353$), densidade e salinidade (Spearman, $p = 0,839$), e densidade e clorofila-*a* (Spearman, $p = 0,749$) na estação E1. Para a estação E2, foi encontrada uma correlação positiva entre a densidade de organismos e a salinidade (Spearman, $p = 0,033$, $r = 0,886$).

Observando os períodos do dia separadamente, a maior média de densidade durante o período diurno também foi na C3 ($1387,35 \pm 780,14 \text{ ind.m}^{-3}$), sendo menor em C1 ($983,68 \pm 1230,83 \text{ ind.m}^{-3}$) e em C2 ($810,52 \pm 873,28 \text{ ind.m}^{-3}$). A densidade média também foi maior em C3 no período noturno ($1263,62 \pm 679,43 \text{ ind.m}^{-3}$), seguida de perto por C2 ($1246,42 \pm 735,05 \text{ ind.m}^{-3}$) e C1 ($869,27 \pm 665,30 \text{ ind.m}^{-3}$), que apresentou o menor valor (Figura 4).

Não foram constatadas diferenças significativas quando comparados os períodos diurno e noturno de todas as campanhas (teste t, $p = 0,764$), nem entre as campanhas separadamente (C1: M-W, $p = 0,571$; C2: teste t, $p = 0,243$; C3: teste t, $p = 0,710$).

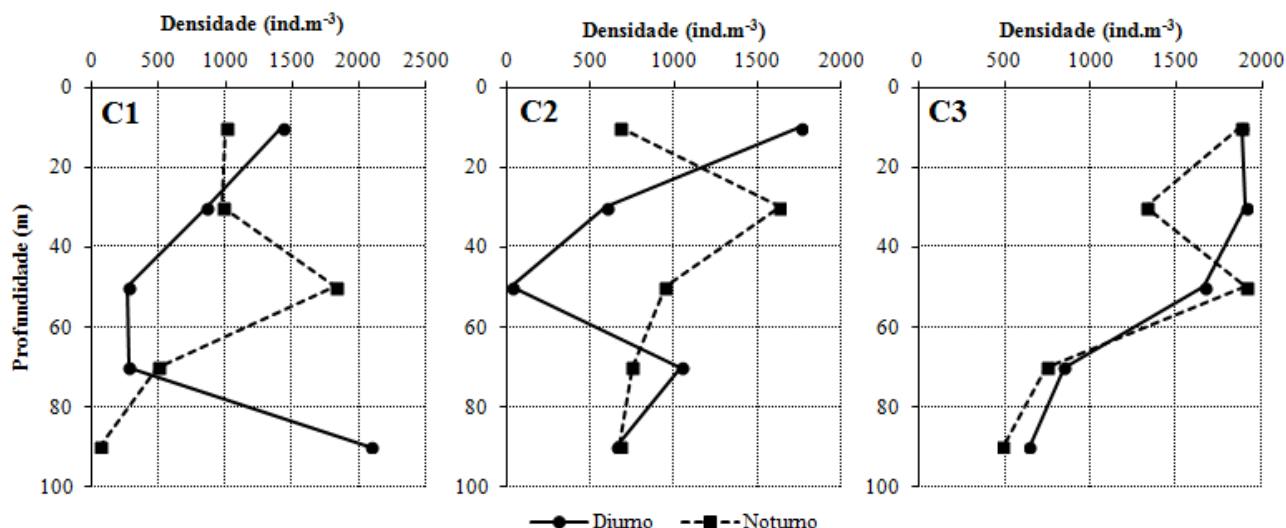


Figura 4. Distribuição vertical das densidades médias do microzooplâncton nos períodos diurno e noturno durante as três campanhas realizadas no Arquipélago de São Pedro e São Paulo em 2010 (C1) e 2011 (C2 e C3).

Durante o período diurno, a densidade média apresentou uma diminuição de L1 ($1684,71 \pm 713,16 \text{ ind.m}^{-3}$) em direção a L3 ($650,24 \pm 818,99 \text{ ind.m}^{-3}$), seguida de um

aumento até L5 ($1129,54 \pm 1510,31 \text{ ind.m}^{-3}$). No período noturno, entretanto, a média da densidade mostrou uma diminuição desde L1 ($1699,01 \pm 726,59 \text{ ind.m}^{-3}$) até L5 ($405,11 \pm 398,38 \text{ ind.m}^{-3}$), passando por um leve aumento em L3 ($1558,14 \pm 576,70 \text{ ind.m}^{-3}$) (Figura 5).

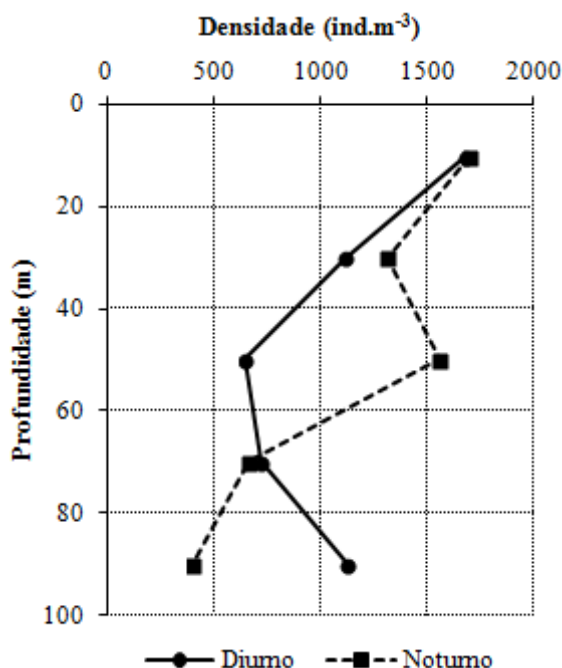


Figura 5. Distribuição vertical da densidade média total dos períodos diurno e noturno do microzooplâncton no Arquipélago de São Pedro e São Paulo em 2010 (C1) e 2011 (C2 e C3).

Quando comparadas as densidades de todas as camadas, foram encontradas diferenças significativas (ANOVA, $F = 3,106$, $p = 0,022$), com L1, L2 e L3 diferentes significativamente de L4 e L5, separando a coluna d'água em dois estratos: superfície (L1, L2 e L3) e subsuperfície (L4 e L5). Comparando estes dois estratos, encontrou-se diferenças significativas entre eles (teste t, $p < 0,001$), o que destaca a importância da termoclina.

Não foram constatadas diferenças significativas entre as camadas durante o período diurno (ANOVA, $F = 1,082$, $p = 0,386$). Quando os estratos deste fotoperíodo foram comparados, também não foram encontradas diferenças significativas (teste t, $p = 0,122$). Enquanto isso, no período noturno as diferenças significativas ficaram evidenciadas (ANOVA, $F = 7,665$, $p < 0,001$) entre as camadas L1 e L4 (SNK, $p = 0,007$), L1 e L5 (SNK, $p = 0,001$), L2 e L4 (SNK, $p = 0,034$), L2 e L5 (SNK, $p = 0,012$), L3 e L4 (SNK, $p = 0,013$), L3 e L5 (SNK, $p = 0,003$). Foram encontradas diferenças significativas também entre os estratos (teste t, $p < 0,001$) neste fotoperíodo, reforçando a importância da influência da estrutura termohalina na comunidade microzooplancônica estudada.

Com relação à distribuição vertical dos principais subgrupos, à exceção do grupo de outros organismos (fazem parte deste grupo todos os *taxa* que não são Copepoda, Dinoflagellata, Tintinnina, Foraminifera e Radiolaria) todos seguem um padrão diminuição da densidade em relação à profundidade (Figura 6). O protozooplâncton (composto por Dinoflagellata, Tintinnina, Foraminifera e Radiolaria) apresentou, ainda, um aumento da densidade da camada L5 em relação à camada L4. O subgrupo de outros organismos apresenta um padrão de manutenção da densidade independente da profundidade.

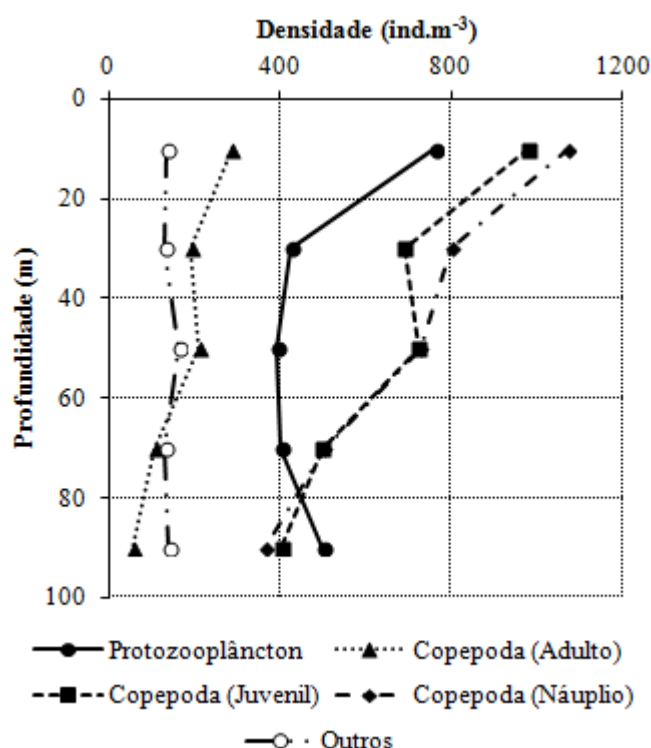


Figura 6. Distribuição vertical da densidade total dos principais subgrupos de organismos (Protozooplâncton, adultos de Copepoda, juvenis de Copepoda, náuplio de Copepoda e outros organismos) do microzooplâncton no Arquipélago de São Pedro e São Paulo em 2010 (C1) e 2011 (C2 e C3).

Os principais *taxa* apresentaram a *WMD* geral acima da termoclina média e não apresentaram um comportamento típico de migração vertical diária (MVD). De maneira geral, os *taxa* apresentaram a *WMD* diurna em uma profundidade abaixo da *WMD* noturna, o que representaria um padrão normal de MVD. O gênero *Ornithocercus* apresentou o padrão oposto, com sua *WMD* noturna em uma profundidade abaixo da *WMD* diurna (Figura 7). Entretanto, nenhum dos *taxa* apresentou diferenças significativas entre a *WMD* diurna e noturna (M-W, $p > 0,05$).

Comparando a *WMD* diurna dos *taxa*, foram encontradas diferenças significativas (K-W, $H = 32,716$, $p = 0,008$), assim como entre a *WMD* noturna (ANOVA, $F = 2,71$, $p = 0,002$).

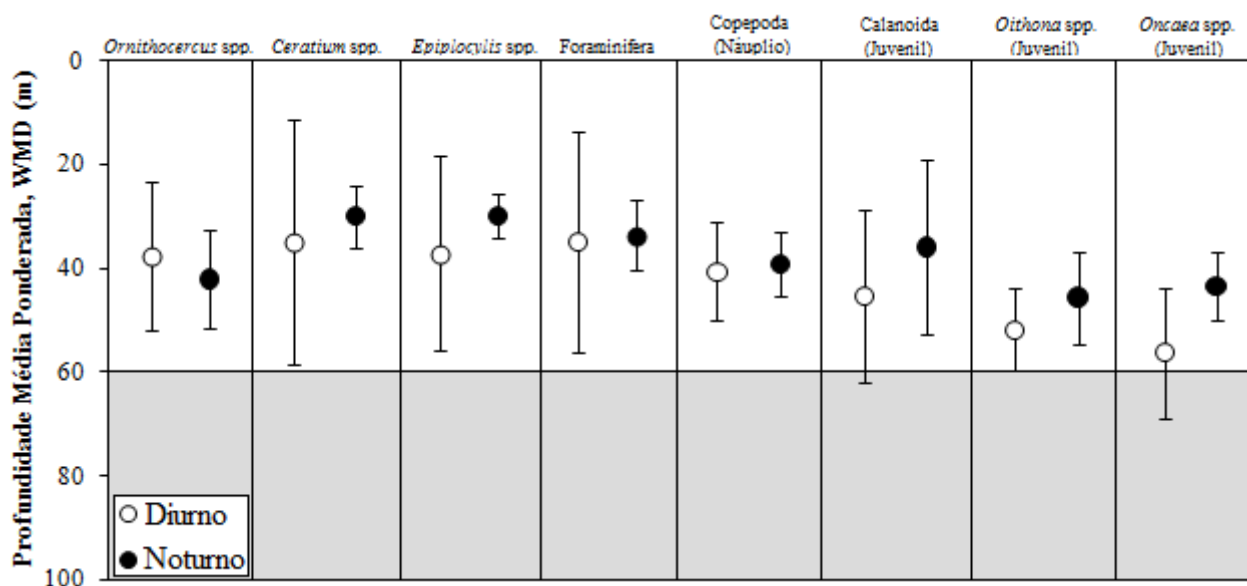


Figura 7. Média da profundidade ponderada (*WMD*) das espécies/gêneros com frequência de ocorrência maior que 90% e abundância relativa maior que 10% em alguma amostra ao longo das três campanhas realizadas no Arquipélago de São Pedro e São Paulo em 2010 (C1) e 2011 (C2 e C3).

Estrutura da comunidade

A diversidade de espécies foi bastante elevada e apresentou uma tendência de diminuição de L1 ($3,76 \pm 0,24$ bits.ind⁻¹) em direção à L5 ($3,46 \pm 0,31$ bits.ind⁻¹) (Figura 8). Com relação às campanhas, C1 foi a que apresentou a maior média de diversidade ($3,76 \pm 0,27$ bits.ind⁻¹), seguida por C3 ($3,71 \pm 0,20$ bits.ind⁻¹) e C2 ($3,33 \pm 0,43$ bits.ind⁻¹), que teve a menor média de diversidade. Em relação ao fotoperíodo, foram observadas médias de diversidade de $3,73 (\pm 0,43$ bits.ind⁻¹) para o período noturno e $3,47 (\pm 0,21$ bits.ind⁻¹) para o período diurno.

Com relação à equitabilidade, em todas as campanhas foram encontrados valores acima de 0,5 para todas as camadas, o que indica uma homogeneidade e equilíbrio na comunidade. A riqueza de espécies apresentou um padrão em função com a profundidade, onde apresentou um aumento de L1 ($4,24 \pm 0,63$) até atingir seu máximo em L4 ($5,52 \pm 1,20$), seguido de uma leve diminuição em L5 ($5,29 \pm 1,22$).

A partir da análise de escalonamento multidimensional (MDS) foi possível observar uma agregação das amostras das três campanhas e algumas das amostras das campanhas C1 e

C2 isoladas das demais (Figura 9). Na campanha C1 foi observada a separação das amostras das camadas L4 e L5 (estrato subsuperfície) das outras. Durante a campanha C3, ficou clara a separação em dois grupos distintos: um composto pelas amostras das camadas L1, L2 e L3 (estrato superfície) e outro pelas das camadas L4 e L5 (estrato subsuperfície). A separação das amostras baseado nos estratos da coluna d'água não foi observada na campanha C2, porém ficou constatada a formação de subgrupos de amostras do período diurno separadas do grupo principal.

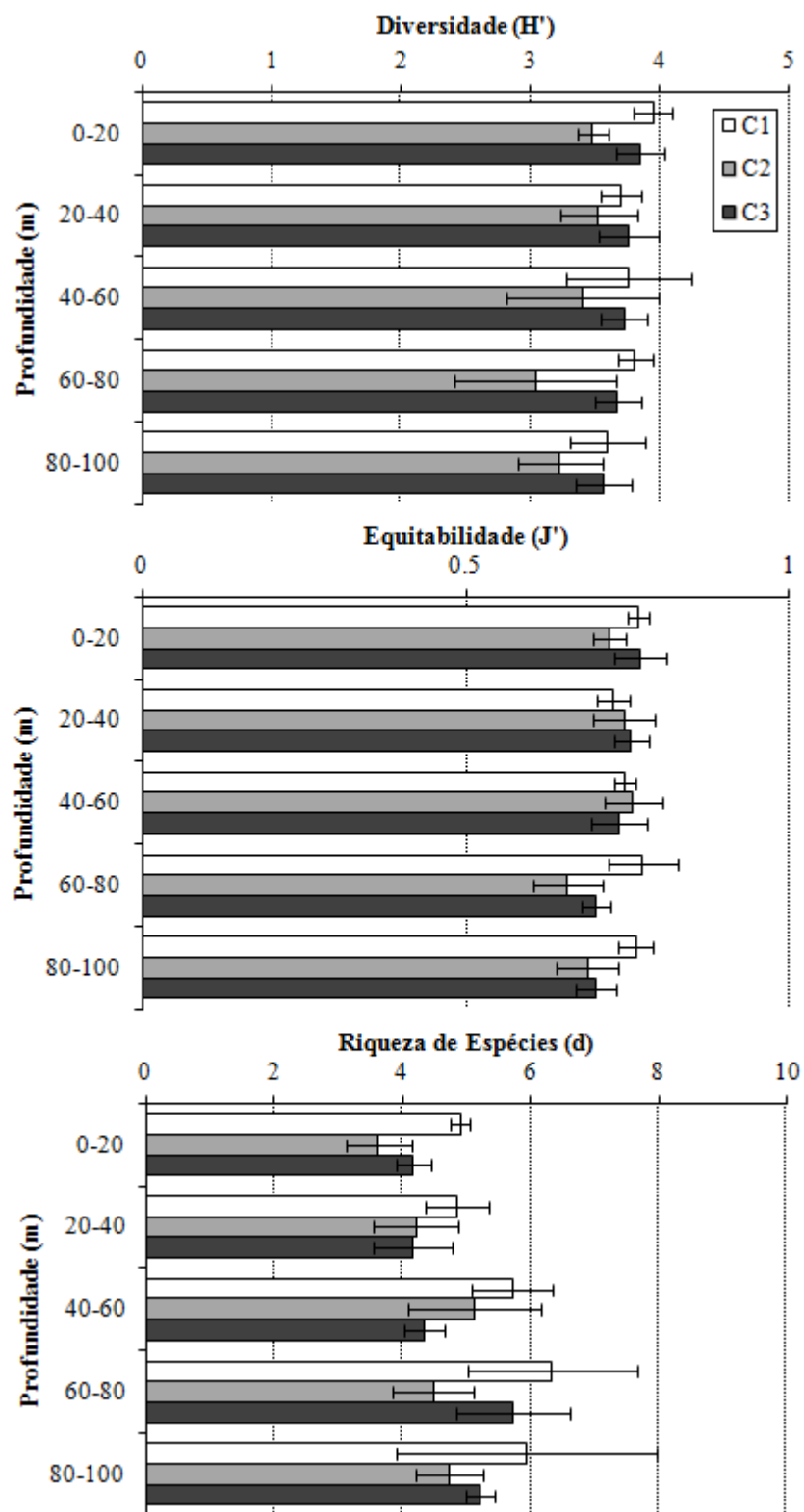


Figura 8. Distribuição vertical da diversidade (bits.ind^{-1}), equitabilidade e riqueza de espécies nas três campanhas realizadas no Arquipélago de São Pedro e São Paulo em 2010 (C1) e 2011 (C2 e C3).

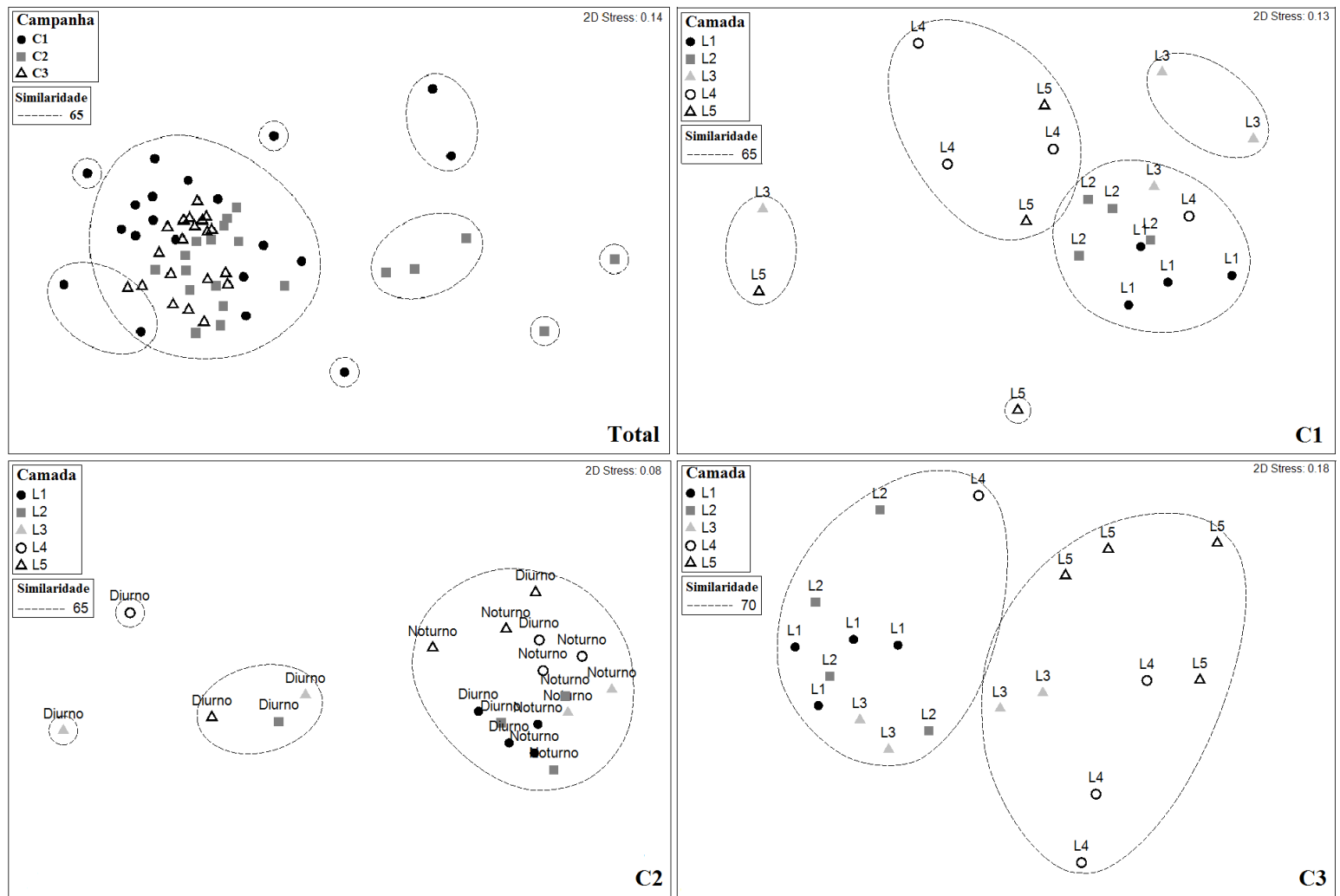


Figura 9. MDS total e por campanha das amostras coletadas no Arquipélago de São Pedro e São Paulo em 2010 e 2011 (C1) e 2011 (C2 e C3).

DISCUSSÃO

Apesar da grande variabilidade na distribuição vertical dos organismos pertencentes ao microzooplâncton no Arquipélago de São Pedro e São Paulo, um padrão geral pode ser observado: a distribuição destes organismos está intimamente relacionada à estratificação térmica do ambiente; ou seja, a termoclina exerce um papel fundamental na ecologia destes organismos planctônicos, como já sugerido por Paffenhöfer e Mazzocchi (2003).

É conhecido que no ASPSP a termoclina é permanente e tem seu início entre 50-55 m de profundidade (TRAVASSOS *et al.*, 1999; MACEDO *et al.*, 2009). Por ser permanente, esta termoclina cria um ambiente estável, proporcionando a subdivisão da coluna d'água estudada em dois estratos: superfície (composto pelas camadas L1, L2 e L3) e subsuperfície (composto pelas camadas L4 e L5). O estrato da superfície (0-60 m) funciona como a base da camada de mistura, constituindo um ambiente quase homogêneo (KARA *et al.*, 2000). Esta estratificação da coluna d'água no ASPSP também foi observada por Melo (2013), ao estudar os Copepoda epiplanctônicos.

No presente estudo, foi possível distinguir três grupos diferentes de organismos pertencentes ao microzooplâncton: os que se distribuem por toda coluna d'água, os que preferem as águas superficiais, acima da termoclina média, e os que evitam águas acima da termoclina média. Paffenhöfer e Mazzocchi (2003), estudando a comunidade zooplanctônica na região das Bermudas, também observaram a separação da comunidade nestes três grupos. Longhurst e Pauly (1987) apontam que grupos de espécies diferentes se distribuem em diferentes camadas da coluna d'água, sendo estas camadas delimitadas devido à existência de uma termoclina. Harvey *et al.* (2009) também constataram que, dentre os fatores físicos, a temperatura é o fator mais importante, interferindo nos padrões de distribuição vertical de organismos zooplanctônicos.

Os valores de clorofila-*a* encontrados no presente estudo foram compatíveis com os encontrados em outros estudos no ASPSP e áreas adjacentes (CORDEIRO *et al.*, 2013; SOUZA *et al.*, 2013). Devido ao microzooplâncton ser o principal grupo de herbívoros consumindo o fitoplâncton na maior parte dos habitats marinhos (CALBET; LANDRY, 2004), esperava-se a existência de uma relação entre a densidade destes organismos e a quantidade de clorofila-*a*, o que não foi constatado. Segundo Piontkovisk e Williams (1995) as relações entre as distribuições no tempo e no espaço entre o microzooplâncton e o fitoplâncton e sua produção são extremamente difíceis de serem verificadas estatisticamente devido a suas origens em múltiplas escalas espaço-temporais.

Todos os *taxa* apresentaram sua WMD acima do pico subsuperficial de clorofila-*a* (PSC) encontrado no presente estudo (aproximadamente a 70 m). O PSC é uma característica importante na ecologia comportamental do zooplâncton, particularmente para espécies migradoras que fazem incursões verticais extensas através da coluna d'água (HARRIS, 1988). Roman *et al.* (1995) apontaram a camada logo acima do PSC como a área onde existe um pico de densidade de zooplâncton, na região de maior produtividade primária.

Havia a expectativa de um incremento na densidade dos organismos durante o período noturno devido a sua migração vertical diária, porém isso não foi observado para o ASPSP neste estudo. Não foram encontradas diferenças significativas entre os fotoperíodos diurno e noturno; Paffenhöfer e Mazzocchi (2003) também não encontraram essa diferença e atribuíram isto a inexistência de uma migração vertical marcante. A pressão da predação durante o período noturno, causada pela migração de alguns organismos residentes de áreas de topografia abrupta, pode atuar como fator determinante para a redução da biomassa e da densidade de organismos zooplanctônicos não-migradores nestas áreas (HAURY, *et al.*, 2000).

Entre os organismos alocados no grupo do protozooplâncton, os gêneros *Ceratium*, *Ornithocercus* (Dinoflagellata), *Rhabdonella* e *Epiplocylis* (Tintinnina), e ainda os Foraminífera apresentaram destaque. Todos apresentaram uma redução de sua densidade com relação à profundidade até a camada L4 (60-80 m), seguido de um aumento na camada L5 (80-100 m). Ou seja, houve um aumento da densidade destes organismos logo abaixo do PSC. Ainda, os maiores valores de densidade, para todos os *taxa* acima citados, estiveram no estrato superfície em relação ao estrato subsuperfície, ou seja, acima da termoclina.

Algumas espécies de Dinoflagellata são heterotróficas ou mixotróficas, este último estado particularmente quando as condições dos nutrientes no ambiente são baixas (TAYLOR, 1987; LEE, 2008), como é o caso do ASPSP, localizado em águas oligotróficas. Neste caso, um aumento na densidade deste *taxa* na camada L5 (80-100 m) pode ser justificado pelo fato de que várias espécies pertenciam aos gêneros *Ornithocercus* e *Ceratium*, reconhecidamente heterotróficos (MOURITSEN; RICHARDSON, 2003; HARAGUCHI; ODEBRECHT, 2010). Estes organismos estariam se deslocando para a camada L5 (80-100 m), devido a grande densidade de tintínídeos, foraminíferos e radiolários dos quais se alimentam. Muitos dinoflagelados heterotróficos tem sido relatados como predadores de bactérias, flagelados, diatomáceas, outros dinoflagelados, ciliados e metazoários (JACOBSON; ANDERSON, 1986; HANSEN, 1991).

Dolan e Marrasé (1995), estudando os ciliados em um sistema oligotrófico, observaram que a densidade dos tintinídeos não correspondia com a quantidade máxima de clorofila-*a* no ambiente (PSC), assim como no presente estudo. Para estes autores, essa ausência de relação entre a densidade e o PSC suporta a ideia de que os tintinídeos exploram manchas com alta densidade de presas. Um máximo de densidade de tintinídeos foi encontrado por Chester (1978) quando a densidade de organismos fitoplanctônicos também foi alta. Relacionando estas observações ao presente estudo, pode-se supor que os tintinídeos estavam presentes em alta densidade nas camadas L1 (0-20 m) e L5 (80-100 m) devido à maior quantidade de presas presente também nestas camadas.

A maior parte dos indivíduos de Foraminifera é encontrada nos 50 m superficiais da coluna d'água; abaixo dessa profundidade, a concentração de foraminíferos diminui exponencialmente (MÜCHE; HEMLEBEN, 1999). As maiores densidades de Foraminifera encontradas neste estudo, estiveram acima dos 60 m de profundidade, porém um valor de densidade um pouco mais elevado se destacou na camada L5 (80-100 m). Em geral, os Foraminifera planctônicos são onívoros (BÉ, 1982; MÜCHE; HEMLEBEN, 1999), se alimentando de qualquer material orgânico que possa ficar preso em suas redes de pseudópodos. Então, os Foraminifera também estariam aproveitando o recurso alimentar disponível nesta camada.

A maior densidade de Dinoflagellata, Tintinnina e Foraminifera na camada L5 (80-100 m) pode estar também associada à presença em maior quantidade de nutrientes (nitrato e fosfato). Macedo *et al.* (2009) encontraram para o ASPSP os valores de nitrato e fosfato apresentando um gradiente positivo em relação a profundidade, com seus valores baixos na camada superficial e um nítido aumento nas camadas mais profundas.

Os náuplios de Copepoda destacaram-se no presente estudo, apresentando os maiores valores de densidade entre todos os *taxa* identificados. Segundo Turner (2001), os náuplios são extremamente abundantes no zooplâncton marinho e, quando redes de plâncton com malha fina apropriada são utilizadas, como neste estudo, a densidade de náuplios de Copepoda comumente supera a de juvenis e adultos. Estes organismos podem ingerir pico e nanofitoplâncton, assim como algumas formas do bacterioplâncton e, deste modo, podem servir como elo importante entre a alça microbiana e a teia alimentar clássica (TURNER, 2001). Apesar do importante papel como elo, não foi constatado um padrão de migração vertical diária para os náuplios de Copepoda neste estudo.

Paffenhöfer e Mazzocchi (2003) encontraram valores de densidade de náuplios de Copepoda aumentando com relação à profundidade, alcançando 1350 ind.m⁻³ próximo a 90 m. No presente estudo, a densidade de náuplios de Copepoda diminuiu em relação à profundidade, obtendo um máximo 1072 ind.m⁻³ entre a superfície e 20 m, apresentando o mesmo padrão observado por Roman *et al.* (1995) que estudou microzooplâncton no Oceano Pacífico Equatorial. Entretanto, estes autores não estudaram náuplios de Copepoda no entorno de uma ilha oceânica com topografia abrupta onde as condições hidrodinâmicas são constantemente alteradas. Araujo e Cintra (2009) destacaram que pode existir algum tipo de ressurgência eventual devido à interação das correntes com este tipo de topografia existente no ASPSP. A perturbação na estrutura termohalina causada por esses “pulsos” de ressurgência pode ter contribuição para manter a densidade de náuplios de Copepoda elevada na camada superficial.

De maneira geral, o estágio juvenil dos Copepoda apresentou-se neste trabalho seguindo o padrão dos náuplios, ou seja, diminuindo sua densidade de acordo com a profundidade. Em contraste, Paffenhöfer e Mazzocchi (2003) encontraram a densidade deste estágio de desenvolvimento de Copepoda distribuída uniformemente de acordo com a profundidade.

As comunidades zooplanctônicas em regiões tropicais e subtropicais são característica e numericamente dominadas por Copepoda de tamanho reduzido, particularmente calanoidas, das famílias Clausocalanidae e Paracalanidae, e ciclopoidas (PAFFENHÖFER; MAZZOCCHI, 2003; MCKINNON *et al.*, 2008; MIYASHITA *et al.*, 2009, SCHNACK-SCHIEL *et al.*, 2010). O estágio juvenil dos gêneros *Acrocalanus*, *Calocalanus*, *Clausocalanus*, *Oithona* e *Oncaea*, da família Corycaeidae e da ordem Calanoida tiveram destaque em termos de densidade no presente estudo.

O gênero *Clausocalanus* é um dos mais comuns e abundantes gêneros de Copepoda no oceano, principalmente em áreas tropicais e subtropicais (FROST; FLEMINGER, 1968; WEBBER; ROFF, 1995). *C. furcatus*, que foi uma das principais espécies de Copepoda identificadas no presente estudo, é uma espécie de água quente e sua distribuição é tipicamente superficial, acima da termoclina (PAFFENHÖFER; MAZZOCCHI, 2003). Esta espécie esteve presente em todas as camadas, porém houve uma evidente redução da sua densidade nas camadas L4 e L5, situadas abaixo da termoclina, com sua WMD situada em torno dos 37 m. Paffenhöfer e Mazzocchi (2003), Peralba e Mazzocchi (2004) e Melo (2013)

também verificaram a concentração desta espécie preferencialmente até os 50 m de profundidade durante todo o dia.

Outra espécie de Copepoda que merece destaque é *Oithona plumifera*. Na zona epipelágica do oceano aberto, *O. plumifera* está entre as espécies zooplancônicas dominantes (WEBBER; ROFF, 1995). Esta espécie foi encontrada distribuída ao longo de toda coluna d'água por Paffenhöfer e Mazzochi (2003). No presente estudo, apesar de sua distribuição estar preferencialmente situada acima da termoclina, a distribuição desta espécie foi similar. Este comportamento é justificado pelas espécies da família Oithonidae serem consideradas não-migrantes (KOWENBERG, 1994).

Os gêneros *Haloptilus* e *Heterorhabdus* foram encontrados apenas em águas abaixo da termoclina tanto em amostras diurnas como noturnas (BRADFORD-GRIEVE *et al.*, 1999; PAFFENHÖFFER; MAZZOCCHI, 2003; MELO, 2013). Merece destaque, ainda, a espécie *Aetideus australis*, que foi encontrada entre 80 e 100 m de profundidade. Esta espécie é típica de áreas antárticas e subantárticas (BRADFORD-GRIEVE *et al.*, 1999) e foi registrada pela primeira vez para o ASPSP. Novamente, os “pulsos” de ressurgência podem ter feito a espécie *A. australis* surgir em águas tão quentes.

Assim como também foi possível para Paffenhöfer e Mazzocchi (2003), neste estudo os organismos foram subdivididos em três subgrupos de acordo com sua distribuição na coluna d'água: os que se distribuem por toda coluna d'água, os que preferem águas superficiais e os que preferem águas abaixo da termoclina média. Estes autores também incluíram o gênero *Oithona* entre os organismos que se distribuem por toda coluna d'água, assim como *Clausocalanus furcatus* também foi colocado na mesma subdivisão, preferindo águas superficiais. Ainda segundo os autores, espécies do gênero *Haloptilus* preferem águas abaixo da termoclina média, o que corrobora o resultado encontrado neste estudo. Entretanto, o gênero *Oncaea* no presente estudo foi tido como distribuído por toda coluna d'água, enquanto no referido estudo foi colocado como distribuído preferencialmente abaixo da termoclina média, evitando quase completamente águas da camada de mistura. Paffenhöfer (1983) já encontrou que os estágios iniciais dos copepoditos de *Oncaea* ocorreram principalmente na camada mais quente e superficial, enquanto os adultos e estágios avançados dos copepoditos se distribuíram apenas nas camadas mais frias e profundas; este mesmo tipo de distribuição dos estágios de vida do gênero *Oncaea* pode ter ocorrido no presente estudo, fazendo com que o gênero se distribuísse ao longo de toda coluna d'água estudada.

Não foi encontrado nenhum padrão de MVD para nenhuma espécie/gênero ou estágio de vida de Copepoda. Os Copepoda (adultos e juvenis) mais abundantes e numericamente relevantes neste estudo, pertencentes às famílias Paracalanidae (NISHIKAWA *et al.*, 2007), Clausocalanidae, Oithonidae e Oncaeididae, são tipicamente epipelágicos (0-100 m) e não migradores (KOWENBERG, 1994).

A utilização da *WMD* no presente estudo foi conclusiva, com os principais *taxa* estudados apresentando-se acima da termoclina média, gerando informações importantes a cerca da distribuição vertical destes organismos. Melo (2013) calculou a *WMD* para as principais espécies de Copepoda planctônicos epipelágicos no ASPSP e não encontrou resultados que levassem a observação de padrões claros de MVD destes organismos. O referido autor sugere que os resultados encontrados ajudam a incrementar o conhecimento sobre a ecologia das espécies estudadas. Longhurst (1976) já sugeriu que os organismos zooplantônicos pertencentes a classes de tamanho maiores são nadadores mais velozes e exibem uma MVD maior do que os organismos de classes de tamanho menores.

Águas oligotróficas de regiões tropicais apresentam uma alta diversidade de organismos e uma teia trófica complexa (FINENKO *et al.*, 2003), sendo a maioria das espécies destes ambientes consistentemente rara (PIONTKOVSKI *et al.*, 2003). Sabe-se, ainda, que em vastas áreas dos oceanos tropicais, a distribuição horizontal dos organismos planctônicos é praticamente irrestrita por barreiras e as espécies possuem amplas faixas latitudinais de distribuição (SCHNACK-SCHIEL *et al.*, 2010). Entretanto, a partir dos resultados obtidos, é possível inferir que no ASPSP, área de forte estratificação da coluna d'água, a diversidade e a riqueza de espécies sofrem intensa influência da profundidade. A resposta de espécies à estável estrutura vertical da termoclina oceânica é uma importante causa da diversidade regional do plâncton (LONGHURST, 1985), assim como a pressão por predação também pode ser uma das principais causas de altas diversidades nestas áreas (MCGOWAN; WALKER, 1985).

Apesar de outros autores terem constatado que as variações em curta escala são comumente observadas em áreas de grandes variações topográficas (MELO *et al.*, 2012; MELO, 2013), devido a processos físicos serem amplificados (GENIN, 2004), esta variação não foi observada para a comunidade microzooplantônica. Não foi possível observar uma variação na comunidade microzooplantônica a curto (C2 e C3 – 2 semanas) nem a longo (C1, C2 e C3 – 1 ano e 3 meses) prazo, mostrando uma grande estabilidade temporal na comunidade microzooplantônica no ASPSP. Já foi observado para a comunidade de

Copepoda de áreas oceânicas tropicais a ausência de uma variabilidade sazonal definida devido a estabilidade desses ambientes (WEBBER; ROFF, 1995).

Este trabalho descreve os padrões de distribuição vertical dos principais *taxa* e constata a ausência de padrões de MVD dos organismos microzooplânctônicos para as profundidades e momentos estudados, além de destacar a ausência da variabilidade temporal existente na estrutura desta comunidade no ASPSP. Ainda, mostra a alta diversidade dos organismos microzooplânctônicos neste ambiente, destacando a necessidade do desenvolvimento de mais estudos envolvendo esta comunidade.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pelo financiamento do projeto desenvolvido no ASPSP (CNPq 557150/2009-4) e pela bolsa de mestrado concedida à autora EPC (131268/2012-0). À Marinha do Brasil pelo apoio nas coletas no ASPSP.

REFERÊNCIAS

ADVINCULA, A. C. C. *Distribuição especial do macrozooplâncton nas áreas do Arquipélago de São Pedro e São Paulo, Arquipélago de Fernando de Noronha e Cadeia Norte Brasileira*. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 61 p. 1999.

AMBLER, J. W.; MILLER, C. B. Vertical habitat-partitioning by copepodites and adults of subtropical oceanic copepods. *Marine Biology*, v. 94, p. 561-577. 1987.

ARAÚJO E. M.; LARRAZÁBAL, M. E. *Macrozooplâncton da zona econômica exclusiva do Nordeste do Brasil em ênfase em Siphonophora da cadeia Rocas/Noronha e do Arquipélago de São Pedro e São Paulo (REVIZEE NE II)*. Monografia (Graduação), Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 79 p. 2003.

ARAÚJO, M.; CINTRA, M. Modelagem matemática da circulação oceânica na região equatorial do Arquipélago de São Pedro e São Paulo. In: Hazin, F. H. V. (Ed.), *O Arquipélago de São Pedro e São Paulo: 10 anos de Estação Científica*. SECIRM, Brasília, p. 106-113. 2009.

BÉ, A. W. H. Biology of planktonic Foraminifera. In: Broad-Head, T. W. (Ed.), *Foraminifera – Notes For a Short Course*. University of Tennessee Studies in Geology, Knoxville, TN, p. 51-89. 1982.

BRADFORD-GRIEVE, J. M.; MARKHASEVA, E. L.; ROCHA, C. E. F.; ABIAHY, B. Copepoda. In: Boltovskoy, D. (Ed.). *South Atlantic Zooplankton*. Leiden: Backhuys Publishers, v. 2. p. 869-1098. 1999.

- BOLLENS, S. M.; FROST, B. W. Predator-induced diet vertical migration in a planktonic copepod. *Journal of Plankton Research*, v. 11, p. 1047-1065. 1989.
- BOLTOVSKOY, D. *Atlas del zooplancton del Atlántico Sudoccidental y métodos de trabajo com el zooplancton marino*. INIDEP, Mar del Plata, 936 p, 1981.
- BOLTOVSKOY, D. *South Atlantic Zooplankton*. Leiden: Backhoys Publishers, 1999.
- BONECKER, A. C. T.; BONECKER, S. L.; BASSANI, C. Plâncton Marinho. In: PEREIRA, R. C.; SOARES-GOMES, A. (Eds.). *Biologia Marinha*. Editora Interciência. p. 213-239. 2009.
- CALBET, A.; LANDRY, M. R. Phytoplankton growth, microzooplankton grazing, and carbon cycling in marine systems. *Limnology and Oceanography*, v. 49, n. 1, p. 51-57. 2004.
- CAVALCANTI, E. A. H.; LARRAZÁBAL, M. E. L. Macrozooplâncton da Zona Econômica Exclusiva do Nordeste do Brasil (segunda expedição oceanográfica – REVIZEE / NE II) com ênfase em Copepoda (Crustacea). *Revista Brasileira de Zoologia*, v. 21, n. 3, p. 467-475. 2004.
- CHESTER, A. J. Microzooplankton in the Surface Waters of the Strait of Juan de Furca. *NOAA Technical Report ERL 403-PMEL 30*, Pacific Marine Environmental Laboratory. Seattle, Washington. 1978.
- CORDEIRO, T. A.; BRANDINI, F. P.; ROSA, R. S.; SASSI, R. Deep Chlorophyll Maximum in Western Equatorial Atlantic – How does it Interact With Islands Slopes and Seamounts? *Marine Science*, v. 3, n. 1, p. 30-37. 2013.
- DÍAZ, X. F. *Zooplâncton do Arquipélago de São Pedro e São Paulo*. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 84 p. 2007.
- DOLAN, J. R.; MARRASÉ, C. Planktonic ciliate distribution relative to a deep chlorophyll maximum: Catalan Sea, N. W. Mediterranean, June 1993. *Deep-Sea Research II*, v. 42, n. 11-12, p. 1965-1987. 1995.
- FINENKO, Z. Z.; PIONTKOVSKI, S. A.; WILLIAMS, R.; MISHONOV, A. V. Variability of phytoplankton and mesozooplankton biomass in the subtropical and tropical Atlantic Ocean. *Marine Ecology Progress Series*, v. 250, p. 125-144. 2003.
- FROST, B.; FLEMINGER, A. *A revision of the genus Clausocalanus (Copepoda: Calanoida) with remarks on distributional patterns in diagnostic characters*. Berkeley: University of California Press, 235 p. 1968.
- GALVÃO, I. B. *O nanoplâncton e o microplâncton da Zona Econômica Exclusiva do Nordeste do Brasil (REVIZEE-NEII)*. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 160 p. 2000.

- GARCÍA-DÍAZ, X. F.; GUSMÃO, L. M. O.; NEUMANN-LEITÃO, S. Biodiversidade e dinâmica espaço-temporal do zooplâncton. In: Hazin, F. H. V. (Ed.), *O Arquipélago de São Pedro e São Paulo: 10 anos de Estação Científica*. SECIRM, Brasília: p. 138-147. 2009.
- GROSS, M. G; GROSS, E. *Oceanography a view of earth*. New jersey: Printice hall. 472p. 1996.
- HANSEN, P. J. Quantitative importance and trophic role of heterotrophic dinoflagellates in a coastal pelagial food web. *Marine Ecology Progress Series*, v. 73, p. 253-261, 1991.
- HARAGUCHI, L.; ODEBRECHT, C. Dinophysiales (Dinophyceae) no extremo Sul do Brasil (inverno de 2005, verão de 2007). *Biota Neotropica*, v. 10, n. 3. 2010.
- HARRIS, R. P. Interactions between diel vertical migratory behavior of marine zooplankton and the subsurface chlorophyll maximum. *Bulletin of Marine Science*, v. 43, n. 3, p. 663-674. 1988.
- HARVEY, M.; GALBRAITH, P.S.; DESCROIX, A. Vertical distribution and diel migration of macrozooplankton in the St. Lawrence marine system (Canada) in relation with the cold intermediate layer thermal properties. *Progress In Oceanography*, v. 80, p. 1-21. 2009.
- HAURY, L.R.; YAMAZAKI, H.; ITSWEIRE, E.C. Effects of turbulent shear flow on zooplankton distribution. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, v. 37, p. 447-461. 1990.
- HAURY, L.; FEY, C.; NEWLAND, C.; GENIN, A. Zooplankton distribution around four eastern North Pacific seamounts. *Progress In Oceanography*, v. 45, p. 69-105. 2000.
- HAZIN, F. H. V.; VIANA, D.; PINHEIRO, P.; FISCHER, A.; MACENA, B. C. L.; VERAS, D.; OLIVEIRA, P. G. V.; CARVALHO, F.; VASKE JR., T.; BRANCO, I. Ecologia dos grandes peixes pelágicos. In: Hazin, F. H. V. (Ed.). *O arquipélago de São Pedro e São Paulo: 10 anos de estação científica*. Brasília: SECIRM, p. 227-234. 2009.
- INCZE, L. S.; HEBERT, D.; WOLFF, N.; OAKLEY, N.; DYE, D. Changes in copepod distributions associated with increased turbulence from wind stress. *Marine Ecology Progress Series*, v. 213, p. 229-240. 2001.
- JACOBSON, D. M.; ANDERSON, D. M. Thecate heterotrophic dinoflagellates: Feeding behavior and mechanisms. *Journal of Phycology*, v. 22, p. 249-58, 1986
- KARA, A. B.; ROCHFORD, P. A.; HURLBURT, H. E. An optimal definition for ocean mixed layer depth. *Journal of Geophysical Research*, v. 105, p. 16803-16821. 2000.
- KOENING, M. L.; OLIVEIRA, M. S. D. Estrutura da comunidade fitoplanctônica. In: Hazin, F. H. V. (Ed.). *O Arquipélago de São Pedro e São Paulo: 10 anos de Estação Científica*. Brasília: SECIRM, p. 116-127. 2009.

- KOUWENBERG, J. H. M. Copepod Distribution in Relation to Seasonal Hydrographics and Spatial Structure in the North-western Mediterranean (Golfe du Lion). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 38, p. 69-90. 1994.
- LEE, R. E. *Phycology*. Nova Iorque, Cambridge University Press, p. 262-309, 2008.
- LONGHURST, A. R. Relationship between diversity and the vertical structure of the upper ocean. Deep Sea Research Part A. *Oceanographic Research Papers*, v. 32, p. 1535-1570. 1985.
- LONGHURST, A. R.; PAULY, D. *Ecology of Tropical Oceans*. San Diego: Academic Press, 407 p. 1987.
- MACEDO, S. J.; FLORES-MONTES, M. J.; COSTA, C. M. P. Hidrologia. In: Hazin, F. H. V. (Ed.). *O arquipélago de São Pedro e São Paulo: 10 anos de estação científica*. Brasília: SECIRM, p. 100-105. 2009.
- MOURITSEN, L. T.; RICHARDSON, K. Vertical microscale patchiness in nano- and microplankton distributions in a stratified estuary. *Journal of Plankton Research*, v. 25, n. 7, p. 783-797. 2003.
- MCGOWAN, J. A.; WALKER, P. W. R. Dominance and diversity maintenance in an oceanic ecosystem. *Ecological Monographs*, v. 55, p. 103-118. 1985.
- MCKINNON, A. D.; DUGGAN, S.; CARLETON, J. H.; BÖTTGER-SCHNACK, R. Summer planktonic copepod communities of Australia's North West Cape (Indian Ocean) during the 1997-99 El Niño/La Niña. *Journal of Plankton Research*, v. 30, n. 7, p. 839-855. 2008.
- MELO, P. A. M. C. *Dinâmica em microescala do mesozooplâncton do Arquipélago de São Pedro e São Paulo – NE, Brasil*. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 50 p. 2009.
- MELO, P. A. M. C.; DIAZ, X. F. G.; MACEDO, S. J. D.; NEUMANN-LEITÃO, S. Diurnal and spatial variation of the mesozooplankton community in the Saint Peter and Saint Paul Archipelago, Equatorial Atlantic. *Marine Biodiversity Records*, v. 5, p. 1-14. 2012.
- MELO, P. A. M. C. *Efeito da turbulência sobre a migração vertical dos Copepoda no Arquipélago de São Pedro e São Paulo*. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 72 p. 2013.
- MIYASHITA, L. K.; DE MELO, J. M.; LOPES, R. M. Estuarine and oceanic influences on copepod abundance and production of a subtropical coastal area. *Journal of Plankton Research*, v. 31, n. 8, p. 815-826. 2009.
- MÜCKE, S. K.; HEMLEBEN, C. Foraminifera. In: Boltovskoy, D. (Ed.). *South Atlantic Zooplankton*. Leiden: Backhuys Publishers, v. 1. p. 43-73. 1999.

- NISHIKAWA, J.; MATSUURA, H.; CASTILLO, L. V.; CAMPOS, W. L.; NISHIDA, S. Biomass, vertical distribution and community structure of mesozooplankton in the Sulu Sea and its adjacent waters. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, v. 54, p. 114-130. 2007.
- OCHOA, J.; MASKE, H.; SHEINBAUM, J.; CANDELA, J. Diel and lunar cycles of vertical migration extending to below 1000 m in the ocean and the vertical connectivity of depth-tiered populations. *Limnology and Oceanography*, v. 58, n. 4, p. 1207-1214. 2013.
- PAFFENHÖFER, G. A. Vertical zooplankton distribution on the northeastern Florida shelf and its relation to temperature and food abundance. *Journal of Plankton Research*, v. 5, n. 1. 1983.
- PAFFENHÖFER, G. A.; MAZZOCCHI, M. G. Vertical distribution of subtropical epipelagic copepods. *Journal of Plankton Research*, v. 25, p. 1139-1156. 2003.
- PERALBA, A.; MAZZOCCHI, M. G. Vertical and seasonal distribution of eight *Clausocalanus* species (Copepoda: Calanoida) in oligotrophic waters. *ICES Journal of Marine Science: Journal du Conseil*, v. 61, p. 645-653. 2004.
- PIELOU, E. C. The measurement of diversity in different types of biological collections. *Journal of Theoretical Biology*, v. 13, p. 131-44. 1966.
- PINHEIRO, P. B. *Biologia do peixe-rei, Elagatis bipinnulatus (Quoy e Gaimard, 1824) capturado na Zona Econômica Exclusiva (ZEE) do Nordeste do Brasil*. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 62p. 2004.
- PIONTKOVSKI, S. A.; WILLIAMS, R. Multiscale variability of tropical ocean zooplankton biomass. *ICES Journal of Marine Science*, v. 52, p. 643-656. 1995.
- PIONTKOVSKI, S. A.; LANDRY, M. R.; FINENKO, Z. Z.; KOVALEV, A. V.; WILLIAMS, R.; GALLIENNE, C. P.; MISHONOV, A. V.; SKRYABIN, V. A.; TOKAREV, Y. N.; NIKOLSKY, V.N. Plankton communities of the South Atlantic anticyclonic gyre. *Oceanologica Acta*, v. 26, p. 255- 268. 2003.
- ROMAN, M. R.; HANS, G. D.; GAUZENS, A. L.; URBAN-RICH, J.; FOLEY, D. G.; DICKEY, T. D. Zooplankton variability on the Equator at 140°W during the JGOFS EqPac study. *Deep-Sea Research II*, v. 42, n. 2-3, p. 673-693. 1995.
- SCHNACK-SCHIEL, S. B.; MIZDALSKI, E.; CORNILS, A. Copepod abundance and species composition in the Eastern subtropical/tropical Atlantic. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, v. 57, p. 2064-2075. 2010.
- SHANNON, C. E. A mathematical theory of communication. *Bulletim of System Technology Journal*. v. 27, p. 379-423, 1948.

SOUZA, C. S.; LUZ, J. A. G.; MACEDO, S. J.; FLORES-MONTES, M. J.; MAFALDA JR, P. Chlorophyll *a* and nutrient distribution around seamounts and islands of the tropical southwestern Atlantic. *Marine and Freshwater Research*, v. 64, p. 168-184. 2013.

STRAMMA, L. Geostrophic transport of the South Equatorial Current in the Atlantic. *Journal of Marine Research*. v. 49, p. 281-294. 1991.

TAYLOR, F. J. R. *The Biology of Dinoflagellates*. Botany Monographys, p. 1–785, 1987.

TIBURCIO, A. S. X. D. S.; KOENING, M. L.; MACÊDO, S. J. D.; MELO, P. A. M. C. A comunidade microfitoplanctônica do Arquipélago de São Pedro e São Paulo (Atlântico Norte-Equatorial): variação diurna e espacial. *Biota Neotropica*, v. 11, p. 203-215. 2011.

TRAVASSOS, P.; HAZIN, F. H. V.; ZAGAGLIA, J. R.; ADVINCULA, R.; SCHOBER, J. Thermohaline structure around seamounts and islands off North-Eastern Brazil. *Archive of Fishery and Marine Research*, v. 47, p. 211-222. 1999.

TRÉGOBOUFF, G.; ROSE, M. *Manuel de planctonologie méditerranéenne*. Paris: Centre National de la Recherche Scientifique, 1957.

TURNER, J. T.; LEVINSEN, H.; NIELSEN, T. G.; HANSEN, B. W. Zooplankton feeding ecology: grazing on phytoplankton and predation on protozoans by copepod and barnacle nauplii in Disko Bay, West Greenland. *Marine Ecology Progress Series*, v. 221, p. 209-219. 2001.

UNESCO. Determination of photosynthetic pigments in sea water. Raport of SCOR/UNESCO, working group 17 with meet from 4 to 6 June 1964. Monography on Oceanography Methodology, 1), Paris. 69 p. 1966.

VASKE-JR, T. Representantes da fauna. In: Vaske-Jr., T.; Lessa, R. P.; Nóbrega M. F.; Amaral, F. M. D.; Silveira, S. R. M. *Arquipelago de São Pedro e São Paulo: Histórico e recursos naturais*. Olinda, p. 25-35. 2006.

WEBBER, M. K.; ROFF, J. C. Annual structure of the copepod community and its associated pelagic environment off Discovery Bay, Jamaica. *Marine Biology*, v. 123, p. 467-479. 1995.

MANUSCRITO II

**THE FIRST OCCURENCE OF *Aetideus australis* IN BRAZIL AND *Aetideus giesbrechti*
(CALANOIDA: COPEPODA) IN THE SAINT PETER AND SAIT PAUL
ARCHIPELAGO**

*(Primeira ocorrência de Aetideus australis no Brasil e Aetideus giesbrechti no Arquipélago
de São Pedro e São Paulo)*

ABSTRACT

This work is the first occurrence citation of *Aetideus australis* in Brazil and *Aetideus giesbrechti* (Calanoida: Copepoda) in the Archipelago of St. Peter and St. Paul, Northeastern Brazil. Individuals of both species were found between 80 and 100 m depth, in the epipelagic layer around this archipelago, located in the Equatorial Atlantic. This study extends the area of occurrence of the two species in the Atlantic Ocean.

Key-words: Copepoda, Aetideidae, Equatorial Atlantic Ocean

INTRODUCTION

The genus *Aetideus* was first described by Brady in 1883 and is inserted in the family Aetideidae. This family consists of 30 genera and a total of 213 known species around the world (RAZOULS *et al.*, 2005-2014). The species of this family are of relatively large size and found mainly in great depths, between layers meso and batipelagics, despite the existence of a few species epipelagics (BOXSHALL; HALSEY, 2004). The species of the genus *Aetideus* are widely distributed in oceanic waters, between the surface and 4000 m depth (BRADFORD-GRIEVE *et al.*, 1999).

Among the species of the genus *Aetideus* are *Aetideus australis* (Vervoot, 1957) and *A. giesbrechti* (Cleve, 1904). The species *A. australis* was first recorded by Vervoot (1957) for the Pacific Southwest region. According to the portal WoRMS (World Register of Marine Species), there are records of this species to the South Atlantic Ocean, and Antarctic and Sub-Antarctic (KOWENBERG, 2013).

The first time that *Aetideus giesbrechti* was registered for the Atlantic Ocean was in 1911 by Wolfenden, in the region of the Faroe Islands and also at 30°S. There are also records for the Mediterranean and the Caribbean seas (ROSE, 1937), Gulf of Mexico (PARK, 1970), European waters (BOXSHALL, 2001) and Economic Exclusive Zone of United Kingdom (MEDIN, 2011). According to Cleve (1904) the typical location for this species is the west sea of South Africa.

In the database created by Razouls *et al.* (2005-2014), *Aetideus australis* is not cited to the geographical area Brazil-Argentina. According to these authors, this is a species found between the surface and 3000 m in Antarctic and sub-Antarctic waters. In the same database, *A. giesbrechti* was cited for this same area and is considered a epi and bathypelagic species, cosmopolitan and distributed also between the surface and 3000 m depth.

Thus, the objective of this work is to register the first occurrence of the species *Aetideus australis* (Vervoot, 1957) in Brazil and *Aetideus giesbrechti* (Cleve, 1904) in the St. Peter and St. Paul Archipelago, located in the equatorial Atlantic.

MATERIAL AND METHODS

The St. Peter and St. Paul Archipelago (SPSPA) is located in the equatorial Atlantic Ocean (0°55'06"N and 29°20'48"W) (Figure 1). The SPSPA emerges from a depth of 4000 m at the Mid-Atlantic Ridge in the equatorial region. This isolated oceanic equatorial area is a

particularly attractive region to biodiversity studies because currents and counter-currents interact with surface thermal forcing and Ekman induced upwelling (Araújo & Cintra, 2009).

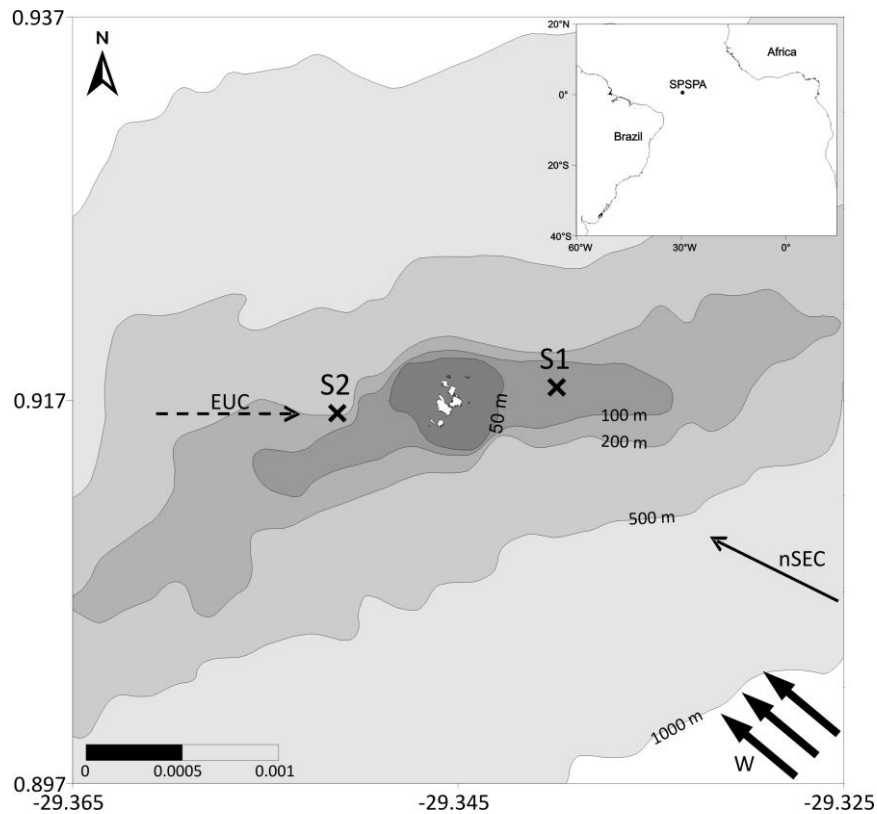


Fig. 1. Localization of the sample stations on East (S1) and West (S2) of the St. Peter and St. Paul Archipelago. The trade winds (W), and the North branch of South Equatorial Current (nSEC) and the Equatorial Undercurrent (EUC) are indicated at the figure (Modified from MELO, 2013).

Individuals of *Aetideus australis* and *Aetideus giesbrechti* were collected in the SPSPA, through vertical hauls with a plankton net with a closure system Nansen type and 64 μm mesh size.

The specimens collected were deposited in the collection of Crustacea of the Oceanographic Museum Petrônio Alves Coelho (MOUFPE), at the Universidade Federal de Pernambuco, Brazil (MOUFPE No. 15196 and 15197).

RESULTS

The individuals of *Aetideus australis* and *Aetideus giesbrechti* were identified in a sample of depth between 80 and 100 m. It was registered one female adult of each species, which occurred in the dry season (October 2011), both with average density of 0.12 ind.m⁻³.

DISCUSSION

Although *Aetideus australis* being considered a species typical of Antarctic and Sub-Antarctic waters (RAZOULS *et al.*, 2005-2014; KOWENBERG, 2013), individuals of this species were collected in the archipelago of St. Peter and St. Paul, located in the Equatorial Atlantic Ocean. The presence of this species in an oceanic area so geographically different from what has already been registered in the literature may be related to the presence of "pulses" of existing resurgence in archipelago of St. Peter and St. Paul, that could make cold and deep water masses arise near the surface layer in certain periods. Araújo and Cintra (2009) highlighted that some kind of eventual resurgence can be formed due to the interaction of currents with the abrupt topography of the archipelago, breaking the termohaline stable structure and generating internal waves and vortices.

Aetideus giesbrechti is found mainly above 500 m in tropical and subtropical areas of all oceans (MARKHASEVA, 1996). Bradford (1971), studying the Southwest Pacific Ocean, found this species in hauls between the surface and 88 m depth, confirming with the result of this study, where *A. giesbrechti* was identified between 80 and 100 m depth. The distribution near the surface layer found in this study corroborates the pre-existing literature, where this species is classified as epi and/or mesopelagic (BRADFORD-GRIEVE *et al.*, 1999).

Bradford-Grieve *et al.* (1999) classified *Aetideus giesbrechti* as very widespread in tropical and subtropical waters of the Atlantic, Pacific and Indian Oceans, and Grice (1962) recorded the existence of this species to the equatorial Pacific Ocean. This shows that the occurrence of *A. giesbrechti* in Equatorial areas of the Atlantic Ocean, as is the case of the Archipelago, agrees with the literature.

It is important to highlight that when using a smaller mesh size nets (64 µm) like in the present study, a higher density of smaller organisms are found. This explain the very low density of the two species in question (size average: *A. australis* 1780-2040 µm; *A. giesbrechti* 1800-2200 µm), typical of the meso and macrozooplankton that should be collected in higher density with plankton nets >200 µm.

Therefore, the present study enlarges the area of occurrence of the species *Aetideus australis*, to Brazilian waters, and *Aetideus giesbrechti*, to the Archipelago of St. Peter and St. Paul, in Equatorial Atlantic.

ACKNOWLEDGMENTS

To the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq for financing of the project developed in archipelago of St. Peter and St. Paul (ASPSP) (CNPq 557150/2009-4), the masters scholarship granted to the first author (CNPq 131268/2012-0). To the Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE) for financing the masters scholarship granted to the third autor (FACEPE - IBPG-1376-1 07/2012). The Navy of Brazil for their support in the collections carried out in SPSPA.

REFERENCES

- ARAÚJO, M.; CINTRA, M. Modelagem matemática da circulação oceânica na região equatorial do Arquipélago de São Pedro e São Paulo. In: Hazin, F. H. V. (Ed.), *O Arquipélago de São Pedro e São Paulo: 10 anos de Estação Científica*. SECIRM, Brasília, p. 106-113. 2009.
- BOXSHALL, G. Copepoda (excl. Harpacticoida). In: Costello, M. J.; Embrow, C.; White, R. (Eds.) *European register of marine species: a check-list of the marine species in Europe and a bibliography of guides to their identification*. Collection Patrimoines Naturels, v. 50, p. 252-268. 2001.
- BOXSHALL, G. A.; HALSEY, S. H. *An introduction to copepod diversity*. Part1, The Ray Society, London, p. 1-421. 2004.
- BRADFORD, J. M. *Aetideus* and *Euaetideus* (Copepoda: Calanoida) from the Atlantic and Pacific oceans. *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, v. 5, n. 1, p. 12-40. 1971.
- BRADFORD-GRIEVE, J. M.; MARKHASEVA, E. L.; ROCHA, C. E. F.; ABIAHY, B. Copepoda. In: Boltovskoy, D. (Ed.). *South Atlantic Zooplankton*. Leiden: Backhuys Publishers, v. 2. p. 869-1098. 1999.
- BRADY, G.S. Report on the Copepoda collected by H.M.S. "Challenger" during the years 1873-1876. *Rep. scient. Results Voy. Challenger, Zool.*, v. 8, n. 23, 142 p. 1883.

- CLEVE, P. T. The plankton of the South African seas. 1. Copepoda. *Mar. Invest. S. Afr.*, v. 3, p. 177-210. 1904.
- GRICE, G. D. Calanoid copepods from equatorial waters of the Pacific Ocean. *Fishery Bulletin of the Fish and Wildlife Service*, v. 61, p. 171-246. 1962.
- KOWENBERG, J. *Aetideus australis* (Vervoort, 1957). In: Walter, T.C.; Boxshall, G. *World of Copepods database*. Accessed through: World Register of Marine Species at <http://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=341238> . 2013.
- MARKHASEVA, E. L. Calanoid Copepods of the Family Aetideidae of the World Ocean. *Trudy Zoologicheskogo Instituta Rossiiskoi Akademii Nauk*, v. 268, p. 1-331. 1996.
- MEDIN. *UK checklist of marine species derived from the applications Marine Recorder and UNICORN*, version 1.0. 2011.
- MELO, P. A. M. C. *Efeito da turbulência sobre a migração vertical dos Copepoda no Arquipélago de São Pedro e São Paulo*. Tese (Doutorado em Oceanografia), Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 72 p. 2013.
- PARK, T. S. Calanoid copepods from the Caribbean Sea and Gulf of Mexico. 2. New species and new records from plankton samples. *Bulletin of Marine Science*, v. 27, p. 272-546. 1970.
- RAZOULS, C.; DE BOVÉE, F.; KOUWENBERG, J.; DESREUMAUX, N. (2005-2014) *Diversity and Geographic Distribution of Marine Planktonic Copepods*. <http://copepodes.obs-banyuls.fr/en> .
- ROSE, M. Copépodes bathypélagiques de la baie d'Alger. Descriptions d'espèces nouvelles. *Annls. Inst. océanogr. Monaco. (Nouv. Ser.)*, v. 17, n. 2, p. 151-174. 1937.
- VERVOOT, W. Copepods from Antarctic and sub-antarctic plankton samples. Rep. B.A.N.Z. *Antarctic Res. Exped.* 1929-1931 (ser. B), v. 3, 160 p. 1957.
- WOLFENDEN, R. N. Die marinen Copepoden der Deutschen Südpolar Expedition 1901-1903. *Dt. Südpolar Exped., Zoology*, v. 4, p. 181-380. 1911.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Considerações Finais

A presente dissertação foi desenvolvida com o objetivo inicial de verificar a existência de padrões de migração vertical assim como a distribuição microzooplâncton do Arquipélago de São Pedro e São Paulo (ASPSP). A partir da análise das amostras foi possível responder este objetivo e, ainda, gerar novas informações a cerca da composição desta comunidade.

Primeiramente, destaca-se a alta diversidade encontrada no presente estudo, típica de áreas oceânicas. Foi possível registrar a nova ocorrência de duas espécies de Copepoda: *Aetideus australis* (Vervoot, 1957), registrada pela primeira vez para o Brasil, e *A. giesbrechti* (Cleve, 1904), para o ASPSP. Pode-se atribuir a ocorrência no ASPSP de *A. australis*, típica de águas antárticas e subantárticas, a “pulsos” de ressurgência existentes nesta área que fazem com que massa d’água frias e profundas aflorem na superfície em determinadas épocas. *Aetideus giesbrechti* é uma espécie típica de todos os oceanos tropicais e subtropicais, o que corrobora seu registro no ASPSP.

Os resultados encontrados evidenciaram que a termoclina é o principal fator atuante no microzooplâncton e explica a distribuição vertical desta comunidade no ASPSP. A partir disso, foi possível separar os organismos em três grupos de acordo com sua posição na coluna d’água (entre a superfície e 100 m de profundidade): acima da termoclina, abaixo da termoclina e por toda coluna d’água.

Com relação à distribuição vertical, a densidade dos organismos foi geralmente maior nas camadas superficiais do que nas camadas mais profundas. Ainda, não foi constatado um incremento nesta densidade no período noturno, como se esperaria devido à migração vertical dos organismos. Entretanto, a partir da utilização da *WMD* (*Weighted Mean Depth*), não foi possível constatar nenhum padrão de migração vertical para nenhum *taxa* estudado nesta dissertação. Portanto, a hipótese deste estudo, de que “há migração vertical do microzooplâncton do Arquipélago de São Pedro e São Paulo” foi rejeitada.

Ademais, esta dissertação ressalta a importância da amplificação dos estudos envolvendo a estrutura básica da comunidade microzooplanctônica em áreas oceânicas tropicais, bem como seus padrões de distribuição e migração vertical. Ainda, é importante destacar a necessidade de estudos em áreas mais profundas no entorno do ASPSP, que possibilitariam uma melhor caracterização da comunidade microzooplanctônica.