



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

Patrícia Silva Basílio Dantas

**MICROPLÂNCTON NO ENTORNO DA ILHA OCEÂNICA DO ATOL DAS ROCAS,
ATLÂNTICO SUDOESTE – BRASIL**

Recife

2019

Patrícia Silva Basílio Dantas

**MICROPLÂNCTON NO ENTORNO DA ILHA OCEÂNICA DO ATOL DAS ROCAS,
ATLÂNTICO SUDOESTE – BRASIL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Doutor em Oceanografia

Área de concentração: Oceanografia Biológica

Orientadora: Profa. Dra. Sigrid Neumann Leitão

Coorientador: Dr. Rodrigo Ferreira Bastos

Recife

2019

Catálogo na fonte
Bibliotecário Gabriel Luz, CRB-4 / 2222

D192m Dantas, Patrícia Silva Basílio.
Microplâncton no entorno da ilha oceânica do Atol das Rocas, Atlântico
Sudoeste - Brasil / Patrícia Silva Basílio Dantas – Recife, 2019.
109 f.: il.

Orientadora: Profa. Dra. Sigrid Neumann Leitão.
Coorientador: Prof. Dr. Rodrigo Ferreira Bastos.
Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa
de Pós-Graduação em Oceanografia, 2019.
Inclui referências.

1. Oceanografia. 2. Oceano Atlântico. 3. Atol das Rocas. 4. Microplâncton.
5. Radiozoa. 6. Dinophyceae. I. Leitão, Sigrid Neumann (Orientadora). II.
Bastos, Rodrigo Ferreira (Coorientador. III. Título.

UFPE

551.46 CDD (22. ed.)

BCTG / 2020-144

Patrícia Silva Basílio Dantas

**MICROPLÂNTON NO ENTORNO DA ILHA OCEÂNICA DO ATOL DAS ROCAS,
ATLÂNTICO SUDOESTE – BRASIL**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Doutor em Oceanografia

Aprovada em 16 de dezembro de 2019

Profa. Dra. Sigrid Neumann Leitão – Presidente
DOCEAN-UFPE

Prof. Dr. Fernando A. do N. Feitosa – Titular Interno
DOCEAN-UFPE

Prof. Dr. Ralf Schwamborn – Titular Interno
DOCEAN-UFPE

Profa. Dra. Xiomara Francesca Garcia Diaz – Titular Externo
UFPA, PA

Dra. Renata Polyana de Santana Campelo – Titular Externo
DOCEAN-UFPE

AGRADECIMENTOS

Grandes foram as dificuldades que enfrentei nessa jornada acadêmica e maiores foram os apoios e amigos que encontrei nesse caminho. Desde o dia em que decidi ingressar no programa até o momento da defesa, contei com o suporte de pessoas incríveis que me incentivaram e subsidiaram na finalização deste trabalho.

Em 2010 meus agradecimentos começaram assim: A mim, por minha dedicação, coragem, determinação, paciência, confiança, persistência e milhares de outras características que estiveram em minha vida durante os quatro anos em que estive me aprofundando na biologia, sendo a modéstia a melhor delas. Pois, ao definir quem sou agora, após terminar essa etapa, percebi que inúmeros fatores devem ser levados em consideração e, portanto, merecem honra e agradecimentos. Agora, nove anos depois, mais uma etapa é finalizada e acredito ainda ser digna desse mérito.

Estudando genética, “Aa x Bb”, senti imensa gratidão aos senhores: Antoneilton Santos Basílio (PAI) e Edeilta Silva Basílio (MÃE e PAI também), pois, cederam de “muitíssimo bom grado” por sinal, todas as bases formadoras de meus genes, entre elas, perfeita capacidade mental e física que me permitem ter chegado até aqui, além do apoio e formação durante todo meu desenvolvimento (infância, adolescências e “fase adulta”) (Basilio, 2010). Mais que isso, hoje sendo mãe de duas preciosidades, Luna e Maya, vejo com clareza todo esforço, o exemplo de mulher, que minha mãe é, sou grata por tudo que ela deixou de ser para que eu fosse o seu melhor um dia. Ainda neste estudo posso incluir os genes dos genitores dos meus genitores, Vó Severina, Vô Severino, Vó Zezé e o meu Vô enigmático (Basilio, 2010). Hoje, depois de deixar tanto amor e sabedoria, já partiram e vivem em saudade na minha memória e no meu coração.

Meu Irmão (Daniel) também é lembrado nesse heredograma, apesar de vir depois geneticamente, veio antes, fisicamente, desmembrar os muros acadêmicos. Ele abriu para mim algumas portas e, portanto, facilitou a minha adaptação ao novo nicho (Basilio, 2010). Agora doutor em entomologia e orgulho da família.

Também tenho muito a agradecer aos meus mutantes preferidos, que, nasceram Tios e devido a algumas alterações ambientais tornaram-se pais (Tio Hamilton, Tio Mima e Tio Toinho - agora não mais aqui), e as tias (Adailza e Socorro).

Como o ciclo da vida não para, hoje passando meus genes a frente agradeço as minhas filhas Luna e Maya por me mostrar que o amor e a força que temos nessa vida é muito maior do que podemos imaginar e ao meu amor e marido (Rafael dos Santos Dantas), que comigo escolheu dividir a jornada

da vida, sendo meu companheiro em todas as áreas. Nessa nova associação posso dizer que novos pais ganhei, Dona Lucia e senhor Adilson, que trouxeram a vida meu amor e me apoiaram imensamente.

Tive que me aprofundar na ecologia durante todos esses anos, as interações ecológicas mediaram grande parte de meus movimentos, portanto, ajudaram-me a crescer e evoluir. Posso agradecer aqueles que como pedras (relações ecológicas intraespecíficas negativas) se colocaram no meu caminho e me fizeram olhar o mundo do alto. Aos amigos (relações ecológicas intraespecíficas positivas) que me deram as mãos (Basilio, 2010). Nesse tópico agradeço a todos os novos amigos que me incentivaram, me apoiaram e torceram por mim. E mais, aos amigos de laboratório, pelo auxílio nas identificações, em especial a Renata, Xiomara e Alejandro, que foi o meu braço direito durante a chegada de Luna e de Maya.

Agradeço imensamente a minha orientadora de vida e educacional professora Sigrid, nela encontrei mais uma mãe. Seu cuidado, compreensão positividade e paciência foram sem dúvida o fundamento para essa construção.

Aos professores do programa que me acrescentaram conhecimento e direcionaram aos melhores caminhos na minha pesquisa. A Héliida Philippini e Elizabeth Pastich, pelo incentivo para tentar a seleção do doutorado, onde tudo começou.

Agradeço as instituições financiadores do meu projeto e bolsa, FACEPE, CNPq, Marinha do Brasil e UFPE.

E como os últimos serão os primeiros. Muitos agradecimentos ao Pai da minha Evolução, o meu amorzinho Emanuel, pela compreensão e empenho em me manter firme e próspera sempre, pelo grande amor com que sempre me recebe em Sua vida. Pelas suas palavras que, sempre me trouxeram paz e pelos ouvidos santos “e que ouvidos”, com os quais escutou os meus desabafos, minhas reclamações, dúvida, choros e risos (Basilio, 2010). Dele o que posso falar?! Nada mudou, pois ele mesmo disse: Toda a boa dádiva e todo o dom perfeito vem do alto, descendo do Pai das luzes, em quem não há mudança nem sombra de variação (Tiago 1:17).

Pela fé entendemos que o universo foi formado pela palavra de Deus, de modo que o que se vê não foi feito do que é visível (Hebreus 11:3)

Conclusão, de todos estes é que hoje se faz Patrícia Silva Basílio, agora Dantas.

RESUMO

Esta tese foi desenvolvida no Atol das Rocas, oceano Atlântico tropical ocidental. Sua presença aumenta a produtividade por favorecer a mistura de águas nutridas em regiões iluminadas, acentuando a importância dos micro-organismos como cicladores de pequenas partículas, geralmente inacessíveis para os demais níveis tróficos. Para tanto, objetivamos ampliar o conhecimento sobre a diversidade do microplâncton, assim como os possíveis efeitos dos fatores ambientais sobre sua dinâmica espaço-temporal. Foram desenvolvidos três capítulos, o primeiro versa sobre a diversidade do microzooplâncton. Foram identificados 197 táxons e os grupos com maior riqueza foram Radiozoa (79), Copepoda (49, também o mais frequente), Tintinnina (42) e Foraminifera (12). A maior densidade total foi 63 683.3 ind m⁻³ (2010). Foi encontrado um alto índice de diversidade de Shannon (H'), variando de 3,57 a 3,81 bits ind⁻¹. Os melhores indicadores para o atol das Rocas foram *Codonellopsis orthoceros* e *Acanthodesmia viniculata* (Tintinnina), *Orbulina universa* (Foraminifera) e *Acrocalanus gracilis* (Copepoda), que são espécies características de águas tropicais oligotróficas. O segundo capítulo teve enfoque na diversidade de Radiozoa Polycystina e sua dinâmica temporal. Foram identificados 76 taxa entre as Ordens Nassellaria (12 famílias) e Spumellaria (9 famílias). Destes, 65,8% ocorreram apenas em 2014, ano de maior riqueza e densidade total, diferente do observado para o microzooplâncton total. Foi verificada diferença significativa para a densidade apenas entre anos. A temperatura foi o parâmetro mais explicativo, com maiores valores em 2010. Os nutrientes apresentaram valores mais altos em 2014, principalmente a sílica. Pode-se deduzir que a classe Polycystina foi mais bem-sucedida em 2014 onde elevados valores de nutrientes contribuíram positivamente para a maior abundância. O terceiro capítulo tratou sobre a diversidade e dinâmica espaço-temporal dos Dinoflagellata. Foram identificados 90 taxa distribuídos em seis Ordens. Gonyaulacales apresentou maior riqueza, com 34 espécies do gênero *Tripes* e 6 do gênero *Ceratium* (família Ceratiaceae). 2014 apresentou maior riqueza específica (69), enquanto, 2010 apresentou maior densidade total (19 125.17 ind m⁻³). Com destaque para *Ceratium tripes* var. *tripes*, *Ceratium horridum* var. *buceros*, *Ceratium* sp. e *Tripes candelabrus*, reforçando a importância da família Ceratiaceae, que foi mais abundante em todos os fatores (dia/noite, distância e ano). O ANOSIM indicou diferenças entre anos e período, com maior semelhança entre 2010 e 2014. 2014

foi o ano que apresentou maior riqueza, equitabilidade e diversidade. A noite apresentou maior equitabilidade e menor riqueza (79 noite/ 69 dia). 14 espécies apresentaram valor indicativo para 2010, 3 para 2014 e nenhuma pra 2012. Para o período, 2 foram indicativas do dia e 5 da noite. Os parâmetros apresentaram apenas variação anual, exceto para nitrato e fosfato. Conclui-se que a diferença anual foi mais marcante do que por período. 2014 e 2010 apresentaram maior semelhança e 2014 foi o mais favorável ao desenvolvimento dos Dinoflagellata, visto sua maior riqueza e diversidade. De um modo geral, percebemos que os grupos estudados se comportam de maneiras distintas dentro do contexto interanual, mostrando a importância desses grupos como indicadores ambientais de variações climáticas.

Palavras-chave: Oceano Atlântico. Atol das Rocas. Microplâncton. Radiozoa. Dinophyceae.

ABSTRACT

This work was conducted at the Rocas Atoll, the only one in tropical Atlantic waters. Its presence increases the primary productivity mainly because it can promote water mixing in light-up regions, emphasizing the importance of microorganisms as small particle consumers, usually unavailable to the other trophic levels. Therefore, we aim to broaden the knowledge about microplankton diversity as well as the possible effects of environmental factors on their spatio-temporal dynamics. Three parts have been developed, the first is about microzooplankton diversity. 197 taxa were identified and the richest groups were Radiozoa (79), Copepoda (49, also the most frequent), Tintinnina (42) and Foraminifera (12). The highest total density was 63 683.3 ind m⁻³ in 2010. A high Shannon diversity index (H') was found, ranging from 3.57 to 3.81 bits ind⁻¹. The best indicators for Rocas atoll were *Codonellopsis orthoceros* and *Acanthodesmia viniculata* (Tintinnina), *Orbulina universa* (Foraminifera) and *Acrocalanus gracilis* (Copepoda) which are characteristic species of oligotrophic tropical waters. The second part focused on the diversity of Radiozoa Polycystina and its temporal dynamics. 76 taxa were identified between the Nassellaria Orders (12 families) and Spumellaria Orders (9 families). Of these, 65.8% occurred only in 2014, the year of greatest richness and total density, different from that observed for total microzooplankton. A significant difference was found for density only between years. The temperature was the most descriptive parameter, with higher values in 2010. Nutrients had higher values in 2014, mainly silica. It can be deduced that the Polycystina class was most successful in 2014 where high nutrient values contributed positively to the highest abundance. The third part discusses the diversity and spatiotemporal dynamics of the Dinoflagellata. We identified 90 taxa distributed in six Orders. Gonyaulacales showed the higher richness, with 34 species of the genus *Tripos* and 6 of the genus *Ceratium* (Ceratiaceae family). 2014 presented higher specific richness (69), while 2010 presented higher total density (19 125.17 ind m⁻³). Highlighting *Ceratium tripos* var. *tripos*, *Ceratium horridum* var. *buceros*, *Ceratium* sp. and *Tripos candelabrus* augmenting the importance of the Ceratiaceae family, which was more abundant in all factors (day/night, distance and year). The ANOSIM indicated differences between years and periods, with a greater similarity between 2010 and 2014. 2014 was the year with the highest richness, equitability, and diversity. The night exhibited

higher equitability and lower richness (79 night / 69 day). 14 species presented indicative value for 2010, 3 for 2014 and none for 2012. For the period, 2 were indicative of the day and 5 of the night. The parameters presented only annual variation, except for nitrate and phosphate. It was concluded that the annual difference was more marked than the period. 2014 and 2010 were more similar and 2014 was the most favorable for the development of Dinoflagellata, given its greater richness and diversity. In general, we recognize that the groups studied behave in different ways within the temporal context, showing their importance as climatic change and environmental indicators.

Keywords: Atlantic Ocean. Rocas Atoll. Microplankton. Radiozoa. Dinophyceae.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	ESTRUTURA E OBJETIVOS DA TESE	14
3	METODOLOGIA	15
3.1	ÁREA DE ESTUDO	15
3.2	MÉTODOS DE COLETA E ANÁLISE	16
4	ARTIGO 1	19
5	ARTIGO 2	42
6	ARTIGO 3	69
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS.	92
	REFERÊNCIAS	94

1 INTRODUÇÃO

Oceanos tropicais são conhecidos como desertos azuis, isso devido a suas características oligotróficas. Eles apresentam baixa biomassa e produtividade, todavia, é possível verificar que a diversidade do plâncton é elevada (LONGHURST; PAULY, 2007), principalmente próximo a áreas com grandes estruturas topográficas e fisiográficas (MUNK et al., 1995; GONZÁLEZ-QUIRÓS et al., 2003).

Os montes submarinos, ilhas oceânicas, atóis e talude da plataforma continental são exemplos dessas estruturas. Próximo a essas áreas a produtividade é elevada, para diversos níveis tróficos (DOTY; OGURI, 1956; MUNK et al., 1995; GONZÁLEZ-QUIRÓS et al., 2003), resultado de alteração na hidrodinâmica oceânica local, que propicia a mistura de águas de profundidade (ricas em nutrientes) com as águas superficiais (zona eufótica) (DOTY; OGURI, 1956), modificando diretamente as características físicas e químicas do meio e consequentemente a estrutura das comunidades locais, fenômeno conhecido como “efeito-ilha” (BOEHLERT; GENIN, 1987; ROGERS, 1994; GENIN, 2004).

Variações na temperatura, salinidade, disponibilidade de nutrientes, luminosidade e taxa fotossintética afetam positiva ou negativamente a dinâmica do plâncton (MCLAREN, 1964; MARSHALL, 1973; FRANZÈ; LAVRENTYEV, P. J., 2014). Muitos autores afirmam que os processos físicos podem dominar no controle da biodiversidade e biomassa desses organismos (HOUGH; NAYLOR, 1992; FORWARD, R. B. J.; TANKERSLEY, 2001; COHEN; FORWARD, R. B., 2005), alterando as produções primárias e secundárias (BOLTOVSKOY, 1981, 1999; MELO, 2009; MELO et al., 2012) e a eficiência ótica dos predadores visuais (FERNÁNDEZ, 1977; RINGELBERG, 1995). A transferência de energia do fitoplâncton aos níveis tróficos superiores é ampliada (LENZ, 2000; NUNES, 2010), assim como, a ciclagem de nutrientes orgânicos e inorgânicos da coluna d’água (LENZ, 2000; ARAÚJO; CINTRA, 2009) e a exportação destes para os bentos (ARAÚJO; CINTRA, 2009).

Nesse ambiente modificado, podemos ver de maneira mais clara a grande importância que os micro-organismos exercem nos oceanos. O fitoplâncton, assim como os microzooplâncton mixotróficos, atuam na produção primária e sustentam uma complexa teia trófica com estes últimos também assumindo o papel de principal elo entre os produtores primários e os demais

níveis tróficos dessa teia, alimentando-se de partículas inacessíveis para as demais categorias do plâncton (CAPRIULO; CARPENTER, E., 1983; MCMANUS; EDERINGTON-CANTRELL, 1992; LAVRENTYEV, P. et al., 2015), tornando-se fonte de energia para invertebrados e vertebrados marinhos (LINLEY; NEWELL; LUCAS, 1983; GIFFORD, 1991; GAUNS; MOHAN-RAJU; MADHUPRATAP, 1996; FUKAMI et al., 1999; GODHANTARAMAN, 2001, 2002; GODHANTARAMAN; UYE, 2001; JYOTHIBABU et al., 2006), e, consequentemente, atuando para o aumento do potencial pesqueiro (HERNÁNDEZ LEÓN et al., 2001; GENIN, 2004). Essas interações tróficas conectam fortemente seus componentes com o meio, fazendo com que qualquer variação em um dos níveis afete os demais (HUNTER; PRICE, 1992).

Além da evidente importância trófica, o microplâncton contribui para estudos oceanográficos como indicadores biológicos das massas d'água, (KOENING; OLIVEIRA, 2009), corrente oceânicas (BOLTOVSKOY, 1981) e ressurgência (PIERCE; TURNER, 1994; KRSINIC; GRBEC, 2006), por serem, em sua maioria, organismos com nenhuma ou baixa capacidade locomotora, cuja posição na coluna d'água depende muito mais do fluxo da massa d'água e correntes do que sua capacidade natatória (GARRISON, 2010). Também representam uma peça fundamental em pesquisas ecológicas, principalmente em sua porção animal, sobretudo pela alta diversidade taxonômica e capacidade de colonizar diversos habitats (ORMOND; GAGE; ANGEL, 1998; TIBURCIO et al., 2011).

O Microplâncton compreende um grupo altamente diversificado de organismos, classificados assim devido à sua variação de tamanho, que está entre 20 e 200 μm , representando uma importante fração da biomassa oceânica (PIERCE; TURNER, 1994). Dentre os grupos que fazem parte dessa classificação encontramos os Tintinnina, Radiolaria, Foraminifera, Dinoflagelata e Crustacea (SHERR, E. B.; SHERR, B. F.; PAFFEENHOFER, 1986) com predominância de náuplios e juvenis de várias espécies de Copépoda (TURNER, 2004).

É necessário, portanto, avaliar de que maneira a heterogeneidade temporal, espacial e topográfica influenciam os padrões de resposta das comunidades nos ambientes marinhos tropicais, já que essas influências ainda não estão totalmente elucidadas (VISSER; STIPS, 2002). Diante deste aspecto pode-se destacar a importância de estudos que considerem e interliguem as várias áreas da oceanografia, de forma a gerar um conhecimento holístico sobre os processos físico-químicos e biológicos.

Este estudo foi realizado em uma área de grande importância ecológica para o território brasileiro, o Atol das Rocas, que é o único no sul do oceano Atlântico, faz parte da Reserva Biológica Atol das Rocas e representa um importante *hotspot* biológico (GOVE et al., 2016). Apesar disso e da atual importância do microplâncton dentro do cenário acadêmico, poucos estudos tem sido desenvolvidos na área, a maioria relacionados ao grupo Tintinnina (NOGUEIRA, E. M. S.; SASSI; CORDEIRO, 2005; NOGUEIRA, E. M. S.; SASSI; CORDEIRO, 2008; NOGUEIRA, M. E. S.; SASSI, 2011), Foraminifera (TINOCO, 1965), Fitoplâncton (JALES et al., 2015) ou relacionados ao macrozooplâncton (PINTO; MAFALDA; SANTOS, 1997).

Neste trabalho foi proposto ampliar o conhecimento científico sobre as espécies que compõem a comunidade microplanctônica do Atol das Rocas e os possíveis efeitos dos componentes físicos, químicos e biológicos presentes nesses ambientes sobre a comunidade microplanctônica, além de demonstrar a importância dessa área para a manutenção da diversidade nos oceanos oligotróficos.

Este trabalho contou com o suporte técnico dos projetos aprovados pelo Conselho Nacional de Pesquisa (CNPQ), Camadas finas I, II e IV, da Marinha do Brasil através do programa PROARQUIPELAGO, do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente (IBAMA), da Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) e da Universidade Federal de Pernambuco.

2 ESTRUTURA E OBJETIVOS DA TESE

A tese foi dividida em três manuscritos:

Artigo 1: *Rocas Atoll: An oasis supporting microzooplankton in an oceanic desert*. Que será submetido ao Journal of Marine Systems.

(<https://www.journals.elsevier.com/journal-of-marine-systems>)

- Com o objetivo de acessar a biodiversidade, além da dinâmica espacial e temporal do microzooplâncton do Atol Rocas, no Atlântico Sudoeste

Artigo 2: *Patterns of diversity and abundance of Radiozoa (Polycystina) of Rocas Atoll, Southwestern Tropical Atlantic*. Aceito pelo Tropical Journal of Fisheries and Aquatic Sciences.

(<https://cepnor.ufra.edu.br/index.php?journal=tjfas&page=index>)

- Com o objetivo de avaliar a composição e dinâmica temporal dos Radiozoa Polycystina do Atol das Rocas, Brasil

Artigo 3: *Influência dos parâmetros ambientais na distribuição de Dinoflagellata - Atol das Rocas, Brasil*. Que será submetido à Marine Environmental Research.

(<https://www.journals.elsevier.com/marine-environmental-research>)

- Com o objetivo de identificar como parâmetros físicos, químicos e biológicos influenciam a dinâmica espacial e temporal do Dinoflagellata no Atol das Rocas, Brasil

3 METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho foi a que segue:

3.1 ÁREA DE ESTUDO

O Atol das Rocas é único no Brasil e no sul do oceano Atlântico ocidental; está localizado a 148 km a oeste do arquipélago de Fernando de Noronha, a 3°52'S; 33°49'W e é caracterizado como um recife de algas calcárias e elíptico, que cobre aproximadamente 5.5 km² e que possui uma abertura ligando sua lagoa central ao oceano. O eixo mais longo (E-W) mede 3.7 km e o eixo mais curto (N-S) 2.5 km (RODRIGUES, 1940; KIKUCHI, 1994; PEREIRA et al., 2010). O anel de recife que o rodeia é semi-serrado com extensão de 0.2 a 1 km e a lagoa apresenta profundidade máxima de 6 m no interior (KIKUCHI, 1994). O ciclo de maré que banha a área é semi-diurno e seu máximo pode atingir 2.7 m (KIKUCHI, 2002). Durante este evento apenas as duas ilhas, a noroeste e sudoeste do atol, continuam expostas acima do nível do mar, elas são formadas por areia grossa de algas calcárias e corais fracionados - a Ilha do Farol, com uma área de 34.637 m² e a Ilha do Cemitério com uma área de 31.513 m² (RODRIGUES, 1940; SOARES; LEMOS; KIKUCHI, 2009; PEREIRA et al., 2010).

É cercado por águas quentes oligotróficas devido à estratificação física das camadas superficiais, onde as temperaturas são superiores a 20 °C e as salinidades superiores a 35.5 (BOURLÈS; GOURIOU; CHUCHLA, 1999; TRAVASSOS et al., 1999). Elas apresentam baixa concentração de nutrientes e fluorimétrica não excedendo 50 mg² (MEDEIROS; MACEDO et al., 1999; CASTRO-FILHO et al., 2006). O atol é influenciado pela corrente equatorial sul (CSE), que apresenta velocidade média de 30 cm s⁻¹ e direção oeste constante (GOES, 2006). Já no período de inverno do hemisfério sul, em meados de junho a setembro, são comuns entre 11 e 15 cm s⁻¹ (KIKUCHI, 2002).

Um clima quente equatorial prevalece na área de estudo, com um vento frio do Sudoeste. A temperatura média do ar durante o ano varia entre 28 e 32 °C (PINTO; MAFALDA; SANTOS, 1997) e a temperatura da água superficial é de aproximadamente 27.7 °C. A estação chuvosa é entre março e julho, com picos em abril e maio (250 mm), sendo outubro o mês mais seco (6 mm). A umidade relativa do ar é alta ao longo do ano, quase sempre acima de 80%.

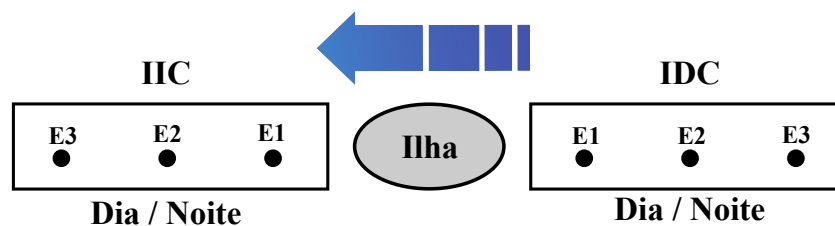
O atol faz parte da cadeia de Fernando de Noronha e junto com o arquipélago de mesmo nome compõe as partes expostas das montanhas subaquáticas que se estendem a 4000 m do fundo do mar (GORINI; BRYAN, 1974; VILLAÇA; JENSEN, 2006; SOARES; LEMOS; KIKUCHI, 2009). O afloramento observado atualmente não é mais composto por rochas vulcânicas, mas por uma camada de calcário biogênico esticada na direção leste-oeste, cuja espessura excede 11.7 m (KIKUCHI, 2002).

A área de estudo fica dentro da Reserva Biológica Atol das Rocas e Fernando de Noronha, a primeira área marinha protegida criada pela Lei Federal em 1979 (BRASIL, 2007) e atualmente é administrada pelo Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Naturais (IBAMA). É uma região de extrema importância geológica, paleontológica e ecológica, que abriga um grande número de aves oceânicas migratórias e residentes. Sua estrutura garante uma lixiviação de nutrientes disponíveis para as formas planctônicas que habitam a área (DOTY; OGURI, 1956).

3.2 MÉTODOS DE COLETA E ANÁLISE

As campanhas foram realizadas a bordo do NHO Cruzeiro do Sul (navio - hidroceanográfico da Marinha do Brasil) nos anos de 2010, 2012 e 2014. Foram realizados 2 transectos com 6 estações cada, nos períodos do dia e da noite, sendo uma do lado de influência direta da corrente (IDC) e outra no lado de influência indireta da corrente (IIC) superficial predominante, determinado através dos perfis da direção e velocidade das correntes de 0 a 200 m (Perfilador ADCP de Casco) (Figura 1).

Figura 1 – Modelo esquemático do desenho amostral aplicado no Atol das Rocas



Fonte: A Autora.

Legenda: Legenda: E – Estações de coleta; IDC – Influência direta da corrente dominante; IIC – influência indireta da corrente dominante; A seta azul indica a direção da corrente.

A profundidade máxima de coleta foi o limite de alcance do CTD e do cabo do guincho.

Em estações rasas a profundidade máxima de coleta foi de até 80% da profundidade local. Com o perfilador CTD com sensores, foram determinados a caracterização da termohalina e profundidade da termoclina obtidos dados de temperatura, salinidade, oxigênio dissolvido e fluorescência. Para a análise realizadas nesta tese foram consideradas as médias das medições realizadas na camada mais superficial acima da termoclina local.

Também foram coletadas amostras de água para análise dos nutrientes inorgânicos dissolvidos (N, P e Si), utilizando-se garrafa de Niskin e Rosette. Para análise dos nutrientes inorgânicos dissolvidos, as amostras de água coletadas foram acondicionadas em garrafas plásticas com capacidade de 300 mL, congeladas imediatamente e transportadas posteriormente ao Laboratório de Oceanografia Química do Departamento de Oceanografia da UFPE. Em laboratório, as análises foram realizadas como descrito por Strickland e Parsons (1972a) e Grasshoff e Ehrhardt (1983).

Para medição de Clorofila-a as amostras foram filtradas em membranas de celulose 0.45 μm de porosidade e 47 mm de diâmetro, imediatamente após a coleta. Após a filtração, os filtros foram imediatamente envoltos em papel alumínio e armazenados dentro de envelopes identificados. Em seguida, os filtros foram congelados e mantidos nestas condições até serem transportados ao Laboratório. A concentração de clorofila-a foi determinada após extração dos pigmentos em solução de acetona a 90%, por 24 horas a 4 °C e a medição foi realizada a partir de um espectrofotômetro GEHAKA G3410, segundo o método descrito por Richards e T. G. Thompson (1952) e modificado por Creitz e Richards (1955). Os teores de clorofila-a, expressos em mg m^{-3} , foram calculados segundo Strickland e Parsons (1972a).

A coleta do microplâncton foi realizada por arrasto oblíquo (efetuados em “V”) em rede cilíndrico-cônica (Bongo) com aberturas de malha e diâmetros de boca 64 μm / 30 cm. Os arrastos se estenderam até 200 m ou 80% da profundidade local. Após os arrastos, as amostras foram transferidas para recipientes plásticos e imediatamente fixadas em solução de formaldeído (4%), tamponado com tetraborato de sódio.

Em laboratório, as amostras foram pesadas para determinação da biomassa através do peso úmido, onde as amostras são pesadas em balança de precisão, de acordo com a técnica proposta por Beers (1981) e Omori e Ikeda (1984). Para a análise qualitativa e quantitativa dos organismos microplancetônicos, cada amostra foi diluída de acordo com o seu volume. Em

seguida, foram retiradas três subamostra de 1 mL com auxílio de uma pipeta e vertida em lâmina "Sedgwick-Rafter". A contagem do número total de taxa foi feita em microscópio na menor unidade taxonômica possível.

4 ARTIGO 1

ROCAS ATOLL: AN OASIS SUPPORTING MICROZOOPLANKTON IN AN OCEANIC DESERT

Highlights

- First contribution to the microzooplankton of the unique atoll of the South Atlantic Ocean
- High diversity is attributed mainly Radiozoa
- Copepoda high abundance contribute in a remarkable way as an important link in food web
- Best indicators for Rocas atoll were species characteristic of the oligotrophic tropical waters under sporadic upwelling condition
- The abrupt reduction in abundance from 2010 to 2012-2014 was mainly caused by climatic effects (El Niño – la Niña)

Southwestern Atlantic Rocas Atoll: An oasis supporting microzooplankton in oceanic desert

ARTICLE INFO

Keywords:

Protozooplankton

Copepoda

Density

Diversity

Bioindicator

Rocas Atoll

2010 MSC: 86-00

Abstract

The knowledge about the relevance of microzooplankton in marine atolls are rare. We contribute to the knowledge of the spatial and temporal biodiversity and abundance dynamics of microzooplankton from Rocas Atoll, located in the tropical oligotrophic South Western Atlantic. Three campaigns were carried out in 2010, 2012 and 2014, at diurnal and nocturnal shifts, for a total of 32, aboard the N.Oc. Cruzeiro do Sul. Sampling was performed by oblique hauls with a plankton net (Bongo) with 64 μm mesh opening. Total sestonic biomass varied from 141.4 mg m^{-3} (2014) to 752.43 mg m^{-3} (2010). The microzooplankton was represented by 197 taxa, and the main groups in terms of species richness were Radizoa (79 species), followed by Arthropoda (54 taxa) of which the Copepoda Subclass was the richest (49 taxa), Tintinnina (42 species) and Foraminifera (12 species). Eighteen taxa were the most frequent in 2010, 20 in 2012 and 30 in 2014, and Copepoda was the most representative. Highest density was registered in 2010 (63 683.3 ind m^{-3}), followed by 2014 (17 151.1 ind m^{-3}) and 2012 (11 540.3 ind m^{-3}). A high Shannon diversity index (H) was found, ranging from 3.57 to 3.81 bits ind^{-1} . The years 2010 and 2012 presented higher values during the day and 2014 during the night. Similarities occurred between 2010 and 2012 stations when a more abundant community was registered. The best indicator for Rocas atoll were the Tintinnina *Codonellopsis orthoceros*, *Acanthodesmia viniculata*, the Foraminifera *Orbulina universa* and the Copepoda *Acrocalanus gracilis* which are characteristic of oligotrophic tropical waters under sporadic upwelling condition.

1. Introduction

Microzooplankton constitute an important part of the plankton community in several marine realms (Burkill et al., 1993). They represent a highly diversified animal group with body size varying from 20 to 200 μm , which comprise numerous protozoans, such as mixotrophic and heterotrophic, as well as small metazoans, such as copepod nauplii and juveniles in addition to some meroplanktonic larvae (Thurman and Trujillo, 2003). Usually, when describing the marine systems dynamics, especially those of productive waters, the microzooplankton is referred as a secondary contributor. Additionally, its whole significance is not yet replicated in several food web models, both conceptual and predictive (e.g. Bourlès et al., 1999). Despite that, growing evidence indicates that the microzooplankton contributes substantially in aquatic geochemical cycles of bioactive elements, along with bacteria and the phytoplankton (Sherr et al., 1986; Calbet and Landry, 2004).

The microzooplankton occupies a important position in aquatic food webs, and due to its size class, it can eat small food particles, which are inaccessible to most meso and macrozooplanktonic organisms. Therefore, it functions as a trophic link between the pico-and nanoplankton and the meso and macroplankton size classes (Stoecker and Sanders, 1985; Calbet and Landry, 2004; Elangovan et al., 2012). Indeed, few of the organic matter produced by autotrophs is directly grazed by large metazoans (e.g. copepods). Instead, the greatest part of the primary production moves around different trophic levels, including the microzooplankton and the microbial loop (Lavrentyev et al., 2015). The high diversity and ability to colonize different habitats make them essential in ecological research (Ormond et al., 1998).

Recently, the microzooplankton interest in the marine realm increased due to their higher physiological rates when compared with larger zooplankton. Consequently, we should invest in understanding the microzooplankton complex role to unlock the food webs processes, allowing the production of further accurate plankton models (Bruggeman and Kooijman, 2007). Part of the heterotrophic protists of the microplankton, for example, is responsible for up to 70%

ORCID(s):

consumption of the primary production daily in the ocean (Calbet and Landry, 2004), acting directly in the control of microalgae blooms (Irigoien et al., 2005; Souza et al., 2015). They are also responsible for more than 70% of the remineralization of deep zones (up to 1000 m), stimulating microbial circuit, mediating particle transport in the ocean, acting on oceanic carbon control (Richardson, 2008; Hernández-León et al., 2019) and atmospheric greenhouse gases (Reiss et al., 2010).

The structure and taxonomic composition of the zooplanktonic community are governed by physical, chemical and biological parameters (McKinnon et al., 2007). Among these, the ones expected to be more influential are temperature (Richardson, 2008), salinity (Franzè and Lavrentyev, 2014), luminosity (Fernández, 1977; Ringelberg, 1995) and the combination of recirculating currents and upwelling (Medvinsky et al., 2001; Hillary and Bees, 2004).

The temperature can be one of the most important parameters influencing these organisms (Hinder et al., 2011). Physiological processes, such as eating, breathing and reproductive development, are highly sensitive to temperature changes (Edwards and Richardson, 2004,?). The marine systems are strongly susceptible to warming of surface waters (Richardson, 2008) and deep changes have been documented in the biology of the oceans (Edwards et al., 2002; Walther et al., 2002; Parmesan and Yohe, 2003), affecting mainly the taxonomic composition (Bernard et al., 2011).

The temperature is important in the formation of vertical stratification in the water column, called thermocline. In the western tropical Atlantic, for example, the thermocline is permanent causing oligotrophy in the environment. In areas with a thermocline (Munk et al., 1995; McClatchie, 1986; Clay et al., 2004), the presence of physical structures (seamounts, oceanic islands and continental slope) are of fundamental importance. These structures provide the formation of recirculation currents and upwelling, providing nutrients to the photic zone (Fonteneau, 1991; Neumann-Leitão et al., 1999; Morato et al., 2010; Lessa et al., 1999). As a result, raise in productivity of various trophic levels occurs (Doty and Oguri, 1956; Munk et al., 1995; González-Quirós et al., 2003), ensuring the maintenance (Rogers, 1994; Genin, 2004; Boehlert and Genin, 1987) and increase in the density of the planktonic communities (Melo et al., 2012; Boltovskoy, 1981, 1999). It can be one of the most important physico-chemical parameters influencing these organisms (Hinder et al., 2011). Physiological processes, such as eating, breathing and reproductive development, are highly sensitive to temperature changes (Edwards and Richardson, 2004). The marine systems are strongly susceptible to warming of surface waters (Richardson, 2008) and deep changes have been documented in the biology of the oceans (Edwards et al., 2002; Walther et al., 2002; Parmesan and Yohe, 2003), affecting mainly the taxonomic composition (Bernard et al., 2011).

Despite the increasing importance about microzooplankton, its structure and functions remain poorly investigated in tropical waters, particularly in the western tropical Atlantic. Within this context, the Rocas Atoll, the unique atoll in the western tropical Atlantic, is a potential area for the development of many studies on microzooplankton (Quevedo, 2003).

The knowledge about the microzooplankton in marine atolls is scarce. Most of the studies performed at the Rocas Atoll are limited to some specific groups like Tintinnina (Nogueira et al., 2008; Nogueira and Sassi, 2011), Foraminifera (Tinoco, 1965) or are related to the macrozooplankton (Pinto et al., 1997). Thus, the present study was carried out to access the spatial and temporal biodiversity and abundance dynamics of the microzooplankton from the Rocas Atoll, a unique ecosystem in the western tropical Atlantic.

2. Material and Methods

2.1. Study area

The Rocas Atoll is unique in the western tropical Atlantic and is located 148 km west of the Fernando de Noronha Archipelago (3°52'S; 33°49'W) (Figure 1). It is characterized as an elliptic, almost circular calcareous algal reef cov-

ering approximately 5.5 km², with an opening connecting its central lagoon to the open sea; the longest axis (E-W) measures 3.7 km and the shortest axis (N-S) 2.5 km (Rodrigues, 1940; Kikuchi, 1994; Pereira et al., 2010). An equatorial warm climate prevails in the study area, with a cool trade wind from the southwest. The average air temperature varies between 28 °C and 32 °C throughout the year (Pinto et al., 1997) and the surface water temperature is approximately 27.7 °C. The rainy season is between March and July, with peaks in April (250 mm) and May; October is the driest month (7 mm). The relative humidity is high throughout the year (usually above 80 %). The study area is within the Rocas Atoll Biological Reserve, the first marine protected area created by Federal Law (Lei 83.549/79) (BRASIL, 2007), presently managed by the Brazilian Institute for the Environment and Natural Resources (IBAMA).

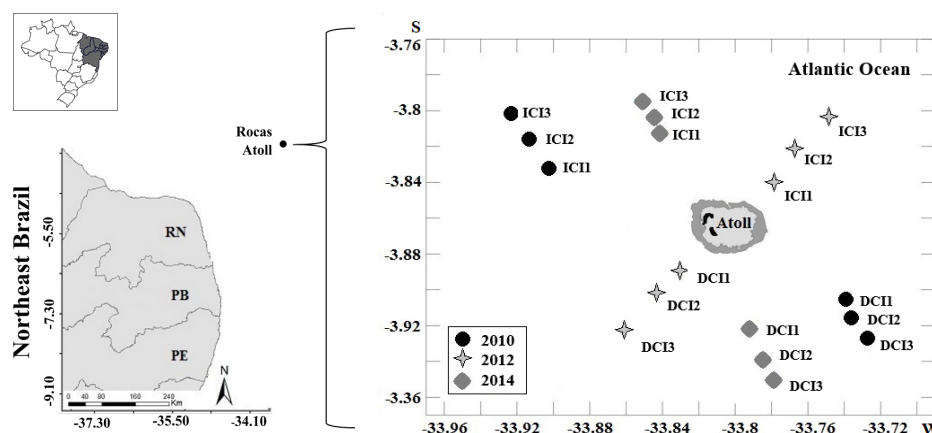


Figure 1: Study area with the three transects 2010 (current Southeast Northwest), 2012 (current Southwest Northeast) and 2014 (current South North) at Rocas atoll, western tropical Atlantic. DCI – Direct Current Influence; ICI – Indirect Current Influence

The atoll is part of the Fernando de Noronha chain and, next to the Archipelago of the same name, are the exposed parts of the underwater mountains that stretch 4000 m from the seafloor (Gorini and Bryan, 1974; Villaçã and Jensen, 2006; Soares et al., 2009). The outcropping currently observed is composed of a biogenic limestone layer stretched in East-West direction, whose thickness exceeds 11.7 m (Kikuchi, 2002; Almeida, 2015). The reef ring is continuously semi-sawed with 0.2 to 1 km extension, with the lagoon maximum depth of 6 m inside (Kikuchi, 1994). The tidal cycle bathing the area is semi-diurnal and its maximum can reach 2.7 m (Kikuchi, 2002).

The Rocas Atoll is surrounded by oligotrophic warm waters characterized by temperatures higher than 20 °C and salinity greater than 35.5 (Bourlès et al., 1999; Travassos et al., 1999), low nutrients concentration and fluorescence not exceeding 50 mg⁻² (Medeiros et al., 1999; Castro-Filho et al., 2006). The South Equatorial Current (CSE), which presents an average speed of 30 cm s⁻¹, influences the atoll and has a constant westward direction (Goes, 2006). In mid-June to September during the southern hemispheres winter season, southeast winds are more frequent and ranges in speed from 11 to 15 m s⁻¹ (Kikuchi, 2002).

The Rocas Atoll is a major place of geological, paleontological and ecological importance, harboring many migratory seabirds and residents, with structures that ensures a leaching of nutrients available to the planktonic organisms of the area (Kikuchi, 2002).

2.2. Sampling and processing

Three oceanographic campaigns were carried out in the Rocas Atoll (July and August of 2010, September and October of 2012 and July and September 2014); aboard of the NHO Cruzeiro do Sul from the Brazilian Navy. The sampling design consisted of one transect at opposite sides of the atoll (at each year of sampling); the transect began

at the side under the direct surface Current influence (DCI) and continued at the side under indirect current influence (ICI) (Figure 1). A Helmet ADCP Profiler determined the direction of the surface current.

Dissolved Oxygen (mL L^{-1}), salinity (PSU), fluorescence and temperature ($^{\circ}\text{C}$) were acquired using a CTD profiler. In the present research, we used the data that corresponded to the surface layer, above the thermocline.

2.3. Microzooplankton

The collection was performed by oblique hauls (made in "V") with a cylindrical-conical bongo plankton net with mesh openings and mouth diameters of $64\text{ }\mu\text{m}$ and 30 cm , respectively. The hauls extended to a depth of 80% of the local depth, or, at most, up to 200 m . After the hauls, a total of 32 samples were transferred to plastic bottles and immediately fixed in formaldehyde solution (4%), buffered with sodium tetraborate.

In laboratory, the samples were weighed for determination of biomass through the wet weight method according to Beers (1981) and Omori and Ikeda (1984). For the qualitative and quantitative analysis of the organisms, each sample was diluted according to the density of organisms. Then, a 1 mL aliquote was dropped into a "Sedgwick-Rafter" chamber and analyzed under a compound microscope and at least 300 individuals counted. Three aliquots of each sample were analyzed. The taxa identification was based on the smallest possible taxonomic unit.

2.4. Data analysis

The density (ind m^{-3}) was calculated for all species. The Relative abundance (RA) and frequency of occurrence (FO) of each species was also calculated, and the values were classified as: D - dominant ($\geq 70\%$ RA); A - abundant ($70\text{--}40\%$ RA); LA - less abundant ($40\text{--}10\%$ RA); R - rare ($\leq 10\%$ RA); very frequent ($> 70\%$ FO), frequent ($70\text{--}30\%$ FO), infrequent ($30\text{--}10\%$ FO), and sporadic ($\leq 10\%$ FO).

The structure of the community was described using the ecological indices Margalef's richness index (d), Pielou's evenness index (J'), and the Shannon diversity index (H') (ind bits^{-1}) using log-transformed data (Shannon, 1948), with values being classified as very high (≥ 4), high ($3 - 4$), medium ($2 - 3$), low ($1 - 2$) and very low (< 1).

The data were initially submitted to the Kolmogorov-Smirnov and Levene tests to test for normality and homoscedasticity, respectively (Zar, 2018) and when necessary transformed to $\log(X + 1)$. To compare the variables (different groups, total microzooplankton, zooplankton biomass (wet weight), ecological indices and environmental parameters) and the factors (years, current, day-night and distance from the Atoll), a one-way ANOVA test and Newman-Keuls post hoc test (SNK) were performed when normal and homoscedastic; and, Kruskal-Wallis test (KW) in the other cases.

The multivariate SIMPER analysis (percentage similarity) was used to determine the mean dissimilarity of the microzooplankton for factors (years, current and day-night) and the isolated contribution of each taxon to this mean dissimilarity and similarity.

We also used a cluster analysis to verify the similarity between factors. A Bray-Curtis similarity matrix was obtained, where the raw data for species density was log-transformed. Based on this index, a cluster analysis was carried out using the Ward Method. Multivariate analysis was used to evaluate potential patterns in the structure of community in each part of the transects. Groups formed were tested with the SIMPROF test at the 5% significance level.

An indicator value analysis (IndVal), which computes a single value for each species, was performed based on fidelity and specificity of the species in relation to groups of sites, and statistically tests significance of relations by permutation (Dufrêne and Legendre, 1997). The IndVal of a species has been used to express species importance as indicators in community categorizations. To calculate IndVal it was used the PC-ORD Version 6.08 (MJM software).

In order to verify the relationship between the environmental variables (Temperature, Fluorescence, Dissolved Oxygen and Salinity), spatio-temporal factors (Years, Local depth, Current, Day-Night and Distance from the archipelago)

and the pattern presented by the microzooplankton community, a canonical correlation analysis (CCA) was performed. The community was evaluated only for the groups with at least 80% of frequency of occurrence (FO). We calculated the variance inflation factor (VIF) to identify and eliminate redundant explanatory variables. A threshold VIF value of 10 was adopted. A parcimonious CCA was performed after the exclusion of redundant variables. All the calculations used the R language (R Core Team 2017) and the RStudio environment version 1.1.42 (RStudio Team 2016).

3. Results

3.1. Environmental Parameters

The minimum, maximum and mean data for temperature, salinity, dissolved oxygen and fluorescence are presented in Table 1. The year 2010 presented the highest maximums among all the observed parameters, as well as the higher averages between the years for temperature (27.86 ± 0.44 °C), fluorescence (0.60 ± 0.34) and dissolved oxygen (4.83 ± 0.47 mL L⁻¹), however with high standard deviations. Only salinity presented lower mean for this year, with 2012 being the year with the highest mean salinity (36.20 ± 0.01). The Kruskal-Wallis nonparametric statistical test showed significant differences ($p \geq 0.05$) only in relation to the years for all observed parameters.

Table 1

Environmental parameters of the oceanic surface layer around the Atoll das Rocas.

Environmental parameters	2010				2012				2014			
	Máx.	Mín.	Mean	SD	Máx.	Mín.	Mean	SD	Máx.	Mín.	Mean	SD
Temperature (°C)	28.17	25.51	27.86	0.44	26.50	25.51	26.27	0.11	26.67	25.51	26.51	0.18
Fluorescence	2.19	0.08	0.60	0.34	0.88	0.01	0.24	0.15	0.72	0.03	0.19	0.10
Oxygen (mL L ⁻¹)	9.79	0.18	4.83	0.47	4.15	3.78	4.10	0.03	4.40	3.59	3.86	0.06
Salinity (PSU)	36.97	34.02	36.04	0.36	36.29	36.11	36.20	0.01	36.49	36.07	36.12	0.05

3.2. Microzooplankton Composition

The microzooplankton community was represented by 197 taxa, and the richest were Radiozoa (79 species), followed by Copepoda (49 species), Tintinnina (42 species) and Foraminifera (12 species). The frequency of occurrence for each year showed 18 taxa very frequent in the year 2010, 20 in 2012 and 30 in 2014 of these, most representatives were Copepoda (Table 2).

Table 2: Average density (AD) of the identified taxa in Rocas Atoll per year. Frequency of occurrence (FO) (VF - very frequent (>70%); F - frequent (70-30%); IF - infrequent (30-10%); and S - sporadic ($\leq 10\%$)). Relative abundance (RA) (D - dominant ($\geq 70\%$); A - abundant (70-40%); LA - low abundant (40-10%); R - rare ($\leq 10\%$)). NO - no occurrence.

TAXON	2010			2012			2014		
	AD	FO	RA	AD	FO	RA	AD	FO	RA
CILIOPHORA									
TINTINNINA									
<i>Amphorellopsis</i> sp.	0.67	IF	R	0.79	IF	R	16.53	IF	R
<i>Amphorides quadrilineata</i>	9.3	IF	R	2.24	IF	R	0.3	IF	R
<i>Amphorides</i> sp.	7.33	IF	R	0.69	IF	R	9.46	F	R
<i>Codonaria cistellula</i>	0.17	IF	R	1.63	S	R	1.1	F	R
<i>Codonella acuta</i>	0.71	IF	R	6.37	IF	R	0.86	F	R

Table 2 - Continued from previous page

TAXON	2010			2012			2014		
	AD	FO	RA	AD	FO	RA	AD	FO	RA
<i>Codonella amphorella</i>	4.19	IF	R	6.3	IF	R	10.17	F	R
<i>Codonella apicata</i>	133.58	F	R	10.42	F	R	26.86	VF	R
<i>Codonella galea</i>	29.79	F	R	9.57	F	R	43.64	VF	R
<i>Codonella</i> sp.	46.14	VF	R	26.1	VF	R	19.92	VF	R
<i>Codonellopsis orthoceras</i>	0	NO	NO	0.03	S	R	7.26	F	R
<i>Codonellopsis</i> sp.	0.13	IF	R	0.28	S	R	0.11	S	R
<i>Coxiella</i> sp.	0.03	IF	R	0.47	IF	R	4.54	F	R
<i>Cyttarocylis cassis-plagiostoma</i>	0	NO	NO	0	NO	NO	0.49	IF	R
<i>Cyttarocylis</i> sp.	0.03	IF	R	0.44	IF	R	0.39	IF	R
<i>Dadayiella ganymedes</i>	7.42	IF	R	1.53	IF	R	3.37	IF	R
<i>Dadayiella</i> sp.	2.62	IF	R	1.12	IF	R	3.35	IF	R
<i>Dictyocysta lépida</i>	41.86	F	R	8.19	F	R	23.53	IF	R
<i>Epiplocylis blanda</i>	0.06	IF	R	0.85	IF	R	1	IF	R
<i>Epiplocylis reticulata</i>	2.99	IF	R	1.42	IF	R	6.38	S	R
<i>Epiplocylis undella</i>	233.46	VF	R	60.47	VF	R	171.86	VF	LA
<i>Epiplocylis</i> sp.	19.26	F	R	5.64	F	R	6.7	IF	R
<i>Eutintinnus tubulosus</i>	0.34	IF	R	0.44	IF	R	8.06	S	R
<i>Eutintinnus fraknoi</i>	42.14	IF	R	3.03	IF	R	0.74	F	R
<i>Eutintinnus lusus-undae</i>	0	NO	NO	0.15	NO	NO	0.66	IF	R
<i>Eutintinnus</i> sp.	0.12	IF	R	0.89	F	R	1.06	S	R
<i>Favella</i> sp.	0.12	IF	R	2.15	F	R	0.49	IF	R
<i>Protorhabdonella simplex</i>	0	S	R	0	S	R	0.39	IF	R
<i>Rabdonella amor</i>	2.76	F	R	9.19	VF	R	43.11	F	R
<i>Rabdonella elegans</i>	140.5	F	R	20.51	F	R	24.23	VF	R
<i>Rabdonella brandti</i>	27.21	F	R	5.82	F	R	3.57	F	R
<i>Rabdonella henseni</i>	4.17	F	R	25.96	F	R	32.88	IF	R
<i>Rabdonella</i> sp.	27.21	F	R	5.82	F	R	3.7	F	R
<i>Rabdonellopsis apophysata</i>	84.92	F	R	14.22	F	R	47.75	VF	R
<i>Rabdonellopsis</i> sp.	0	NO	NO	0	NO	NO	0.72	IF	R
<i>Salpingella acuminata</i>	0	NO	NO	0	NO	NO	0.18	IF	R
<i>Salpingella gracilis</i>	0	NO	NO	0	NO	NO	0.32	IF	R
<i>Salpingella subconica</i>	0	NO	NO	0	NO	NO	0.17	S	R
<i>Undella claparedei</i>	12.08	F	R	1.33	F	R	6.29	VF	R
<i>Undella hyalina</i>	0.03	IF	R	0.17	IF	R	0	NO	NO
<i>Xystonella treforti</i>	0.06	IF	R	0.81	S	R	0	NO	NO
<i>Xystonellopsis heros</i>	0.37	IF	R	0.4	S	R	3.19	S	R
<i>Xystonellopsis paradoxa</i>	0.03	IF	R	0.47	IF	R	0.57	IF	R
Tintinnina (others)	16.93	F	R	3.89	F	R	3.28	F	R
RADIOZOA									
POLYCYSTINA									
<i>Acanthodesmia viniculata</i>	0	NO	NO	0	NO	NO	3.93	F	R
<i>Acanthosphaera actinota</i>	0	NO	NO	0	NO	NO	0.56	IF	R
<i>Acanthosphaera dodecastyla</i>	0	NO	NO	0	NO	NO	0.33	IF	R

Table 2 - Continued from previous page

TAXON	2010			2012			2014		
	AD	FO	RA	AD	FO	RA	AD	FO	RA
<i>Acanthosphaera pinchuda</i>	0	NO	NO	0	NO	NO	1.88	IF	R
<i>Acanthosphaera</i> sp.	0	NO	NO	0	NO	NO	0.98	IF	R
<i>Actinomma</i> sp.	0	NO	NO	0	NO	NO	0.27	IF	R
<i>Amphiplecta</i> sp.	0	NO	NO	0	NO	NO	0.52	IF	R
<i>Amphispyris</i> sp.	0	NO	NO	0	NO	NO	3.51	F	R
<i>Botryopyle dictyocephalus</i>	0	NO	NO	0	NO	NO	0.26	IF	R
<i>Carpocanistrum</i> sp.	0.25	IF	R	4.34	F	R	0.61	IF	R
<i>Centrocubus</i> sp.	0	NO	NO	0	NO	NO	0.14	S	R
<i>Ceratospyris</i> sp.	0	NO	NO	0	NO	NO	0.3	IF	R
<i>Challengeranium</i> sp.	0	NO	NO	0	NO	NO	0.14	S	R
<i>Challengeria xiphodon</i>	0	NO	NO	0	NO	NO	0.83	S	R
<i>Clathrocircus stapedius</i>	0	NO	NO	0	NO	NO	0.41	S	R
<i>Clathrocorys</i> sp.	0	NO	NO	0	NO	NO	0.98	IF	R
<i>Collosphaeridae</i>	0	NO	NO	0	NO	NO	0.14	S	R
<i>Collosphaera tuberosa</i>	0	NO	NO	0	NO	NO	0.21	S	R
<i>Collosphaera macropora</i>	2.25	IF	R	1.93	IF	R	0.42	IF	R
<i>Collosphaera</i> sp.	0	NO	NO	0	NO	NO	0.05	S	R
<i>Conchophacus diatomeum</i>	0	NO	NO	0	NO	NO	1.6	IF	R
<i>Corocalyptra cervus</i>	0.03	IF	R	0	S	R	1.21	IF	R
<i>Corocalyptra columba</i>	0	NO	NO	0.03	S	R	0.14	S	R
<i>Corocalyptra</i> sp.	0.12	IF	R	2.12	IF	R	0	NO	NO
<i>Cycladophora</i> sp.	7.05	IF	R	0.45	IF	R	0.73	S	R
<i>Dictyocoryne profunda</i>	0.74	IF	R	0.8	S	R	6.38	S	R
<i>Dictyocoryne truncatum</i>	0	NO	NO	0	NO	NO	1.5	IF	R
<i>Dictyocoryne</i> sp.	35.61	NO	NO	7.9	NO	NO	19.28	VF	R
<i>Dictyophimus infabricatus</i>	0	NO	NO	0	NO	NO	0.28	S	R
<i>Dictyophimus</i> sp.	0	S	R	0	S	R	3.64	F	R
<i>Discopyle</i> sp.	10.13	F	R	7.46	IF	R	1.16	F	R
<i>Euchitonia elegans-furcata</i>	0	NO	NO	0	NO	NO	0.12	S	R
<i>Eucyrtidium acuminatum</i>	0	NO	NO	0	NO	NO	0.97	IF	R
<i>Eucyrtidium hexastichum</i>	0	NO	NO	0	NO	NO	0.28	S	R
<i>Eucyrtidium</i> sp.	0.12	IF	R	2.12	IF	R	0	NO	NO
<i>Hexacontium aristarchi</i>	0	NO	NO	0.03	S	R	0.07	S	R
<i>Hexacontium armatum-hostile</i>	0	NO	NO	0	NO	NO	0.41	S	R
<i>Hexacontium</i> sp.	0	NO	NO	0	NO	NO	0.61	IF	R
<i>Hexastylus</i> sp.	0	NO	NO	0	NO	NO	0.06	S	R
<i>Lamprocyclas</i> sp.	0	NO	NO	0	NO	NO	0.83	IF	R
<i>Lampromitra</i> sp.	0	NO	NO	0	NO	NO	0.39	IF	R
<i>Larcopele butschlii</i>	0.25	IF	R	4.25	IF	R	0	NO	NO
<i>Lipmanella bombus</i>	0	NO	NO	0	NO	NO	0.06	S	R
<i>Litharacnium tentorium</i>	0.25	IF	R	4.25	IF	R	0.38	IF	R
<i>Lithelius minor</i>	0	NO	NO	0	NO	NO	0.28	S	R
<i>Lithelius</i> spp.	0	NO	NO	0	NO	NO	0.17	S	R

Table 2 - Continued from previous page

TAXON	2010			2012			2014		
	AD	FO	RA	AD	FO	RA	AD	FO	RA
<i>Lophophaena hispida</i>	0	NO	NO	0	NO	NO	17.98	F	R
<i>Lophophaena buetschlii</i>	0	NO	NO	0	NO	NO	0.25	IF	R
<i>Octopyle stenozona</i>	0.03	IF	R	0.41	S	R	1.49	F	R
<i>Octopyle</i> sp.	0	NO	NO	0	NO	NO	0.55	S	R
<i>Peromelissa</i> sp.	0	NO	NO	0	NO	NO	0.81	IF	R
<i>Phortidium clevei</i>	0	NO	NO	0	NO	NO	0.33	S	R
<i>Phortidium</i> sp.	0.37	IF	R	0.4	S	R	3.19	S	R
<i>Plegmosphaera</i> sp.	0.25	IF	R	4.31	F	R	2.71	IF	R
<i>Pseudocubus obeliscus</i>	0.06	IF	R	1.16	IF	R	0.17	S	R
<i>Pterocanium trilobum</i>	0	NO	NO	0.14	S	R	0.53	IF	R
<i>Pterocorys minythorax</i>	0	NO	NO	0	NO	NO	0.14	S	R
<i>Pterocorys zancleus</i>	0.03	IF	R	0	NO	NO	0.1	S	R
<i>Pteroscenium pinnatum</i>	0	NO	NO	0	NO	NO	0.1	S	R
<i>Pylonidae</i>	0.12	IF	R	2.15	F	R	0.27	IF	R
<i>Pyrolena</i> sp.	0	NO	NO	0	NO	NO	0.52	IF	R
<i>Sethophormis rotula</i>	0	NO	NO	0	NO	NO	0.28	S	R
<i>Siphonosphaera polysiphonia</i>	0	NO	NO	0	NO	NO	0.05	S	R
<i>Siphonosphaera</i> sp.	0	NO	NO	0.17	S	R	0.17	S	R
<i>Solenosphaera zanguebarica</i>	0	NO	NO	0	NO	NO	0.25	IF	R
<i>Solenosphaera</i> sp.	0	NO	NO	0	NO	NO	0.24	IF	R
<i>Spirocyrtis scalaris</i>	0	NO	NO	0	NO	NO	0.2	IF	R
<i>Spongotrochus</i> sp.	0.49	IF	R	3.35	F	R	0	NO	NO
<i>Spongodiscus resurgens</i>	14.5	F	R	0	NO	NO	1.66	F	R
<i>Spongosphaera streptacantha</i>	2.25	IF	R	1.87	S	R	4.22	IF	R
<i>Spongaster tetras</i>	8.37	F	R	2.85	VF	R	4.72	F	R
<i>Spongotrochus</i> sp.	0.37	IF	R	0.4	S	R	6.7	F	R
<i>Spongurus pylomaticus</i>	0	NO	NO	0	NO	NO	0.69	S	R
<i>Stichopilidium kruegeri</i>	0	NO	NO	0	NO	NO	0.14	S	R
<i>Tetrapyle octacantha</i>	0	NO	NO	0	NO	NO	0.3	IF	R
<i>Tholospyrus</i> sp.	0	NO	NO	0	NO	NO	0.64	IF	R
<i>Zygocircus productus</i>	8.39	F	R	0	NO	NO	2.43	F	R
<i>Zygocircus</i> sp.	0.4	IF	R	0.97	IF	R	4.08	F	R
Polycystina (others)	47.15	VF	R	16.38	VF	R	45.94	VF	R
ACANTHARIA	4.73	IF	R	0.37	S	R	3.65	VF	R
FORAMINIFERA									
<i>Bolivina</i> sp.	0.37	IF	R	0.99	IF	R	1.03	IF	R
<i>Globigerina bulloides</i>	55.62	F	R	10.61	F	R	19.7	VF	R
<i>Globogirinoidea ruber</i>	39.27	F	R	5.38	F	R	0.72	IF	R
<i>Globorotalia menardii</i>	239.76	F	R	9.85	VF	R	25.87	VF	R
<i>Globoturborotalita</i>	0.91	IF	R	1.85	F	R	0	NO	NO
<i>Neogloboquadrina</i> sp.	119.56	F	R	8.54	F	R	14.23	F	R
<i>Orbulina universa</i>	35.89	F	R	6.74	VF	R	3.41	VF	R
<i>Quinqueloculina</i> sp.	0	NO	NO	0	NO	NO	0.16	S	R

Table 2 - Continued from previous page

TAXON	2010			2012			2014		
	AD	FO	RA	AD	FO	RA	AD	FO	RA
<i>Textularia</i> sp.	7	IF	R	0.82	F	R	0.32	S	R
<i>Tretomphalus bulloides</i>	241.31	F	R	14.59	F	R	4.94	IF	R
<i>Triloculina</i> sp.	0	NO	NO	0	NO	NO	0.6	IF	R
<i>Trochammina</i> sp.	5.78	IF	R	1.66	IF	R	2.17	IF	R
Foraminifera (others)	451.24	VF	R	48.31	VF	R	60.43	VF	R
CNIDARIA									
SIPHONOPHORAE	0.48	IF	R	1.09	F	R	0.14	S	R
NEMATODA	0.34	IF	R	0.21	IF	R	0.05	S	R
MOLLUSCA									
Bivalvia (veliger)	90.02	F	R	4.3	F	R	3.27	VF	R
Gastropoda (veliger)	131.36	VF	R	9.72	VF	R	7.17	VF	R
ANNELIDA									
POLYCHAETA	12.77	VF	R	0.93	F	R	1.67	F	R
ARTHROPODA									
OSTRACODA	0.12	IF	R	0	NO	NO	1.66	F	R
COPEPODA									
<i>Acartia danae</i>	10.37	F	R	0.67	IF	R	1.44	VF	R
<i>Acrocalanus gracilis</i>	0.65	IF	R	0.21	IF	R	1.61	VF	R
<i>Acrocalanus</i> sp. (copepodite)	46.16	F	R	3.48	F	R	1.85	VF	R
<i>Calocalanus pavo</i>	54.67	F	R	1.91	F	R	0.89	F	R
<i>Calocalanus</i> sp. (copepodite)	8.2	F	R	0.99	IF	R	1.34	F	R
<i>Candacia</i> sp.	7.79	IF	R	0.83	F	R	0.9	S	R
<i>Candacia</i> sp. (copepodite)	3.07	F	R	0.03	S	R	0	NO	NO
<i>Clausocalanus furcatus</i>	96.71	VF	R	5.77	VF	R	9.37	VF	R
<i>Clausocalanus</i> sp. (copepodite)	63.77	VF	R	5.83	VF	R	7.72	VF	R
<i>Delibus nudus</i>	3.4	IF	R	2.86	F	R	1.82	F	R
<i>Delibus nudus</i> (copepodite)	8.25	F	R	1.56	F	R	2.69	VF	R
<i>Delibus sewelli</i>	1.53	IF	R	0.93	IF	R	0.91	F	R
<i>Delibus</i> sp. (copepodite)	44.15	F	R	2.88	F	R	3.04	F	R
<i>Eucalanus</i> sp. (copepodite)	7.43	VF	R	2.37	F	R	8.84	VF	R
<i>Euchaeta</i> sp. (copepodite)	0.66	IF	R	0.68	IF	R	2.39	VF	R
<i>Lucicutia flavicornis</i>	10.44	F	R	0.95	F	R	1.28	F	R
<i>Lucicutia</i> sp.	77.65	F	R	3.45	VF	R	2.3	VF	R
<i>Mecynocera</i> sp. (copepodite)	9.29	F	R	1.43	F	R	1.97	F	R
<i>Nannocalanus minor</i>	50.97	VF	R	1.71	VF	R	4.04	VF	R
<i>Nannocalanus</i> sp. (copepodite)	0.77	IF	R	1.3	F	R	0	NO	NO
<i>Pareucalanus sewelli</i>	16.49	F	R	0.96	IF	R	1.41	F	R
<i>Paracalanus</i> sp. (copepodite)	10.81	F	R	14.87	VF	R	2.53	F	R
<i>Scolecithrix danae</i>	3.1	F	R	0.54	IF	R	1.98	VF	R
<i>Scolecithrix</i> sp. (copepodite)	3.36	IF	R	1.25	F	R	0.86	IF	R
<i>Subeucalanus</i> sp. (copepodite)	48.34	VF	R	1.74	F	R	3.25	VF	R
<i>Undinula vulgaris</i> (copepodite)	10.99	F	R	0.97	F	R	1.13	F	R
Calanoida (others copepodite)	152.04	VF	R	22.59	VF	R	29.28	VF	R

Table 2 - Continued from previous page

TAXON	2010			2012			2014		
	AD	FO	RA	AD	FO	RA	AD	FO	RA
Calanoida (nauplius)	1223.07	VF	LA	155.61	VF	LA	167.27	VF	LA
<i>Oithona hebes</i>	0.46	IF	R	0.36	IF	R	1.08	IF	R
<i>Oithona plumifera</i>	82.23	VF	R	17.77	VF	R	24.06	VF	R
<i>Oithona setigera</i>	2.03	F	R	1.72	F	R	1.3	F	R
<i>Oithona</i> sp.	22.2	VF	R	2.32	VF	R	5.85	VF	R
<i>Oithona</i> spp. (copepodite)	149.1	VF	R	21.06	VF	R	25.96	VF	R
Cyclopoida (nauplius)	713.05	VF	LA	104.46	VF	LA	81.14	VF	R
<i>Farranula gracilis</i>	85.81	VF	R	4.77	VF	R	0.41	IF	R
<i>Farranula</i> spp. (copepodite)	91.03	VF	R	1.58	F	R	0.9	F	R
<i>Farranula</i> spp. (nauplius)	82.55	VF	R	6.15	VF	R	18.05	VF	R
<i>Corycaeus speciosus</i>	9.49	F	R	1.34	F	R	0.37	IF	R
<i>Corycaeus</i> spp. (copepodite)	44.16	F	R	1.13	F	R	1.05	F	R
<i>Oncaea media</i>	161.3	VF	R	14.09	VF	R	14.69	VF	R
<i>Oncaea mediterranea</i>	44.88	VF	R	1.59	F	R	0.23	IF	R
<i>Oncaea scottodicarloi</i>	82.87	VF	R	6.61	VF	R	6.52	F	R
<i>Oncaea</i> spp. (copepodite)	63.18	VF	R	4.33	VF	R	6.25	VF	R
<i>Oncaea</i> spp. (nauplius)	10.68	F	R	0.23	IF	R	4.92	IF	R
<i>Triconia dentipes</i>	0.12	IF	R	0.23	IF	R	0	NO	NO
<i>Microsetella rosea</i>	140.84	VF	R	20.21	VF	R	12.12	VF	R
<i>Microsetella norvegica</i>	1.48	F	R	1.29	F	R	1.2	IF	R
<i>Microsetella</i> spp. (copepodite)	55.72	VF	R	3.05	VF	R	5.92	VF	R
<i>Microsetella</i> spp. (nauplius)	26	VF	R	2.24	VF	R	5.25	VF	R
Harpacticoida (nauplius)	34.3	F	R	4.97	F	R	2.23	IF	R
Copepoda (others nauplius)	130.99	VF	R	18.69	VF	R	6.21	F	R
CIRRIPEDIA	0	NO	NO	0.81	IF	R	0.06	S	R
FACETOTECTA									
<i>Hansenocaris</i> spp.	7.69	IF	R	0.41	IF	R	0.18	IF	R
STOMATOPODA (larvae)	0.34	IF	R	0.19	IF	R	0.21	IF	R
DECAPODA (larvae)	9.91	IF	R	0.76	F	R	0.76	IF	R
ECHINODERMATA (larvae)	0	NO	NO	1.17	F	R	1.59	F	R
CHAETOGNATHA									
Sagittidae	2.62	IF	R	1.03	IF	R	0.52	IF	R
Chaetognatha (others)	32.3	VF	R	3.86	VF	R	3.26	F	R
CHORDATA									
APPENDICULARIA									
<i>Fritillaria</i> spp.	99.4	F	R	4.72	F	R	46.74	F	R
<i>Oikopleura</i> spp.	295.47	VF	R	23.6	VF	R	15.33	F	R
Appendicularia (others)	134.52	VF	R	9.06	F	R	17.63	F	R
TELEOSTEI									
Teleostei (egg)	9.86	IF	R	1.27	IF	R	4.96	F	R
Teleostei (larvae)	0.37	IF	R	0.26	IF	R	0.53	IF	R
TOTAL BIOMASS (mg m⁻³)	752.43			144.6			141.4		
TOTAL DENSITY (ind m⁻³)	63683.3			11540.3			17151.1		

In general, Copepoda dominated in the three years (Figure 2). During the day of 2010 and 2012 higher abundance was in DCI3 and in 2014 in DCI2; during the night it dominated in 2014 in the ICI1, representing more than 70% of the organisms in samples, mostly as nauplii and copepodite of Calanoida and Cyclopoida. In most stations, Copepoda was abundant, except in stations ICI3 in 2012 and DCI1 in 2014 (day) and ICI1 in 2012 and DCI3 in 2014 (night) (Figure 2). Among the dominant identified species occurred *Clausocalanus furcatus*, *Nannocalanus minor*, *Oncaea media* and *Microsetella rosea*. Tintinnina was more representative in 2012 and outranked in ICI1 (day and night), although in 2014 it was registered a pick in DCI1 (day) and DCI3 (night) (Figure 2). The species most abundant were *Epillocylis undella*, *Rabdonella elegans* and *Codonella apicata*. Radiozoa was the most rich, however with very low density in all stations during 2010, with higher abundance in 2014, DCI3 (day), attaining 37% of all sample. Foraminifera presented low diversity in all stations outranking *Globorotalia menardi* and *Tretomphalus bulloides*. The other zooplanktonic groups together presented less than 10% in the samples (Figure 2), however some species were abundant as the Appendicularia *Oikopleura* spp..

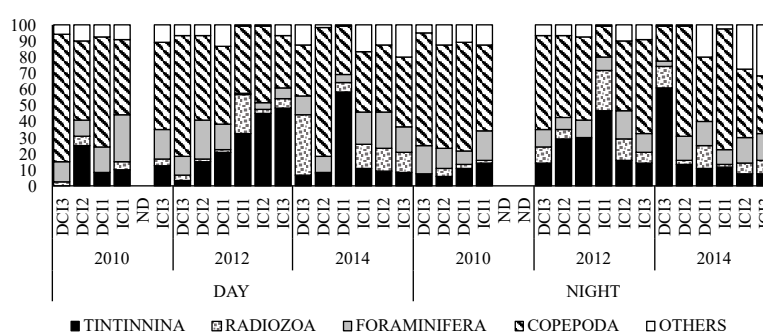


Figure 2: Relative abundance of the main microzooplankton groups in the stations and years, of the Rocas Atoll. DCI - Direct Current Influence; ICI - Indirect Current Influence; ND - No Data

In 2010, it was registered the highest total density among the three years ($63\,683.3 \text{ ind m}^{-3}$) (Figure 3) and Copepoda presented the highest average density with $4008.6 \text{ ind m}^{-3}$ followed by Foraminifera ($1196.7 \text{ ind m}^{-3}$). The average density found for the Tintinnina was of 898.7 ind m^{-3} (2010), 239.8 ind m^{-3} (2012) and 539.2 ind m^{-3} (2014). Radiozoa presented an average density of 139.5 ind m^{-3} (2010), 70.2 ind m^{-3} (2012) and 159.2 ind m^{-3} (2014). Copepoda was the main taxa with significant variation in density between the years (ANOVA, $p = 0.04$). Other groups were Acantharia (ANOVA, $p = 0.0193$), and Ostracoda (ANOVA, $p = 0.009$). Samples during the night presented higher density and among stations outranked the ICI1.

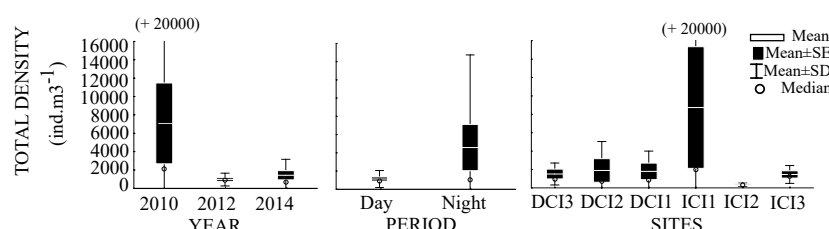


Figure 3: Density of the main microzooplankton taxa considering the years, day-night periods and current influence, at the Rocas Atoll. DCI - Direct Current Influence; ICI - Indirect Current Influence

Highest sestonic biomass was observed in 2010 (752.43 mg m^{-3}) (Table 2) following the same pattern as the density. The values of the sestonic biomass showed significant difference between the years (ANOVA oneway; $p = 0.016$), with higher values in 2010 (SNK, $2012 \approx 2014 < 2010$). In this year, the night period accounted for 89.4% of the sestonic

biomass, mostly at the stations closer (DCI1 and ICI1) to the Atoll. Significant differences were also observed between the stations (ANOVA oneway; $p = 0.047$), (SNK, $ICI3 \approx DCI1 \approx ICI1 > ICI3$, DCI1 and ICI2). In the year 2012, the station with greater biomass was the ICI3, the farthest of the atoll. In 2010 and 2012 the most representative biomass was on the Indirect Current Influence side, while in 2014 the side with the highest biomass was the Direct Current Influence (DCI1, day), closer to the atoll, with 35% of the total biomass (Figure 4).

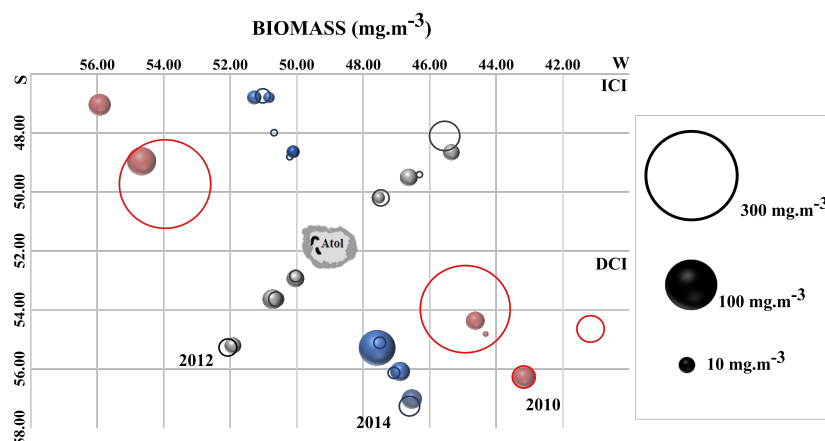


Figure 4: Sestonic biomass (mg m^{-3}) in the stations, day-night periods and years of the Rocas Atoll. DCI - Direct Current Influence; ICI - Indirect Current Influence. Empty circle: Night; Filled circle: Day. Blue: 2014; Red: 2010; Gray: 2012

Ecological index

The mean values observed for Shannon (H') diversity varied between $3.26 \pm 0.3 \text{ bits ind}^{-1}$ (2012 ICI and DCI) and $3.42 \pm 0.2 \text{ bits ind}^{-1}$ (2014 - ICI), with the highest mean values occurring in 2014 (Table 3). Pielou evenness index (J') showed high uniformity in the samples with most of the average values close to 1, however in 2014 the evenness was lower (Table 3).

Margalef's richness values were superior to 5 in all analyzed samples, which denotes high diversity. The year 2010 presented a lower overall rate of Margalef richness, especially at night, while in 2014, the mean values were higher than 10 (Table 3). In this year, it was identified the highest number of species (187 taxa) and consisted mainly of Radiolaria species (Tables 2 and 3). It was observed a gradual annual increase in richness from 2010 to 2014. No statistically significant differences were found in relation to the ecological indices in relation to day-night, current direction and years (Kruskal-Wallis, $p > 0.05$).

The ecological indexes were also calculated for the main groups (Tintinnina, Radiozoa, Foraminifera and Copepoda (Figure 5); however, no significant variation of the data was identified (Kruskal-Wallis test, $p > 0.05$).

Similarity analysis

The similarity analysis for microzooplankton considering the years, current direction and day-nighttime showed a mean similarity rate varying from 44.17% to 50.92%, and the dissimilarity between groups for each factor separately showed differences of about 50% in all combinations. It was also assessed as similar (years, current direction and day-nighttime) for the major taxonomic groups independently (Tables 4 and 5).

Tintinnina and Radiozoa presented low similarity (less than 38.80%), when compared to Foraminifera (minimum of 41.39% in 2010) and Copepoda (minimum of 51.11% for 2010) (Tables 4 and 5). The annual dissimilarity in the composition of the communities was higher between 2010 versus 2014 for Tintinnina (69.97%) and Radiozoa (80.99%).

Table 3

Ecological index (Mean $\pm$ SD) of the microzooplankton by current influence, day-night periods and year of sampling. DCI - Direct Current Influence; ICI - Indirect Current Influence; D - Day; N- Night; H' - Shannon diversity index (ind bits^{-1}); J' - Pielous evenness index; d - Margalef's richness index

Ecological indices Mean $\pm$ SD					
Years	Factors	Number of taxa	H' (bits ind^{-1})	J'	d
2010	DCI	128	3.31 ± 0.1	0.79 ± 0.03	9.6 ± 3.7
	ICI	105	3.31 ± 0.3	0.80 ± 0.02	8.4 ± 1.3
	D	129	3.33 ± 0.1	0.78 ± 0.02	10.5 ± 3.1
	N	98	3.28 ± 0.3	0.80 ± 0.03	7.3 ± 0.7
	Year 2010	132			
2012	DCI	121	3.36 ± 0.2	0.79 ± 0.03	10.0 ± 0.6
	ICI	130	3.26 ± 0.3	0.79 ± 0.03	9.8 ± 3.2
	D	125	3.26 ± 0.3	0.79 ± 0.03	9.5 ± 1.5
	N	134	3.36 ± 0.2	0.79 ± 0.03	10.3 ± 2.8
	Year 2012	135			
2014	DCI	173	3.31 ± 0.4	0.77 ± 0.04	10.7 ± 4.2
	ICI	158	3.42 ± 0.2	0.78 ± 0.02	12.4 ± 2.4
	D	164	3.37 ± 0.3	0.78 ± 0.04	10.8 ± 3.9
	N	171	3.37 ± 0.3	0.77 ± 0.03	12.2 ± 2.9
	Year 2014	187			
Years total		197			

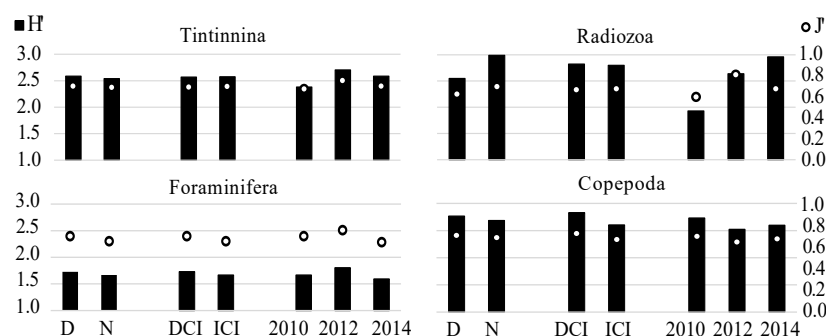


Figure 5: Shannon diversity index (H') (left axis bits ind^{-1}) and Pielous evenness index (J') (right axis) of the main microzooplankton groups in the stations, and year of sampling. DCI - Direct Current Influence; ICI - Indirect Current Influence; D- Day; N- Night

For Tintinnina, 27 of the 43 taxa analyzed contributed to this difference. The species *Epillocylis undella*, *Rabdonellopsis apophysata*, *Rabdonella elegans*, *Codonella apicata*, *Codonella galea*, *Codonella* sp., *Codonellopsis orthoceras*, *Rabdonella amor*, *Dictocysta lepida*, *Rabdonella henseni* and *Undella claperedei*, accounted for more than 50% of this contribution. In Radiozoa 39 of the 80 taxa analyzed were responsible for the difference 2010 versus 2014, being *Dictyocoryne* sp., *Spongaster tetras*, *Spongodiscus resurgens*, *Discopyle* sp., *Lophophaena hispida*, *Zygocircus productus*, *Spongotrochus* sp., *Acanthodesmia viniculata* and most unidentified species, representing 50% of this difference (Table 5).

The annual dissimilarity found for Foraminifera was approximately the same between the years, and 2010 versus 2012 presented the highest percentage ratio (56.79%), with *Tretomphalus bulloides*, *Globorotalia menardii*, *Neoglobobulimina quadrina* sp. and unidentified species accounting for 54.78% of this difference. The lowest percentages of annual dissimilarities were observed for Copepoda, accounting the contribution of a high number of taxa, with individual con-

Table 4

Percentage contribution of taxa by groups in Similarity within factor (SF) (year) and Dissimilarity in the composition of the Community (DCC). n - number of taxa; n-c - number of contributing taxa

Groups	n total	SF (%)			DCC					
		2010	2012	2014	2010 × 2012		2010 × 2014		2012 × 2014	
					%	n-c	%	n-c	%	n-c
Tintinnina	43	32.65	38.62	35.87	58.61	22	69.97	27	67.33	29
Radiozoa	80	26.58	38.80	22.72	69.60	40	80.99	39	79.90	18
Foraminifera	13	42.72	44.95	68.24	56.79	9	53.57	8	50.37	10
Copepoda	50	51.11	63.26	66.41	46.31	39	47.18	40	38.74	41

tributions not exceeding 4.23%, with the ratio 2010 versus 2014 presenting the biggest difference (47.18%) (Table 5). The dissimilarities observed for day versus night, and DCI versus ICI ratios were higher for Radiozoa (74.55%, 37 taxa and 70.36%, 36 taxa) respectively, and lowest for Copepoda (42.42%, 41 taxa, 39.47%, 40 taxa), as well as in relation among years. Copepoda presented many more abundant taxa that contributed to the dissimilarities, however, each with low individual contribution (Table 5).

Table 5

Percentage contribution of taxa by groups in Similarity within factors (SF) (Current and Day-Night) and Dissimilarity in the composition of the Community (DCC). n - number of taxa; n-c - number of contributing taxa. DCI - Direct Current Influence; ICI - Indirect Current Influence; D- Day; N- Night

Groups	n total	SF (%)		DCC		SF (%)		DCC	
		D	N	D × N		DCI	ICI	DCI × ICI	
				%	n-c			%	n-c
Tintinnina	43	37.58	33.76	64.62	28	33,84	38,98	61,11	29
Radiozoa	80	27.52	21.39	74.55	37	26,78	33,32	70,36	36
Foraminifera	13	44.04	52.83	50.34	9	56,13	49,98	46,04	8
Copepoda	50	59.90	54.25	42.42	41	64,57	59,04	39,47	40

The cluster analysis formed 5 significant groups according to SIMPROF (Figure 6). Group 1 was formed by two samples of the same station from 2012, with one from the day and the other from the night. Group 2 joined Direct and Indirect currents from station 2, in 2010 and 2012. Groups 3 and 4 joined most samples from 2014, including day/night and direct and indirect current direction. Group 5 combined the highest number of samples and joined mostly 2010 and 2012. In this last group it could be observed 3 subgroups (the first composed of samples from 2012, the second with most samples from 2010, and the third with the samples of the direct influence from 2010 and 2012).

Indicator Value

Among the identified species the Tintinnina *Codonellopsis orthoceros* ($IV = 99.7, p = 0.0094$), the Radiozoa *Dictyophimus* sp. ($IV = 85.7, p = 0.0002$), *Corocalyptra* sp. ($IV = 73.2, p = 0.0002$) and *Acanthodesmia viniculata* ($IV = 70.1, p = 0.0002$) were indicators of the study area. *Orbulina universa* ($IV = 43.5, p = 0.003$) and *Acrocalanus gracilis* ($IV = 60.5, p = 0.0022$) species commonly found in oligotrophic tropical waters were indicators among Foraminifera and Copepoda, respectively.

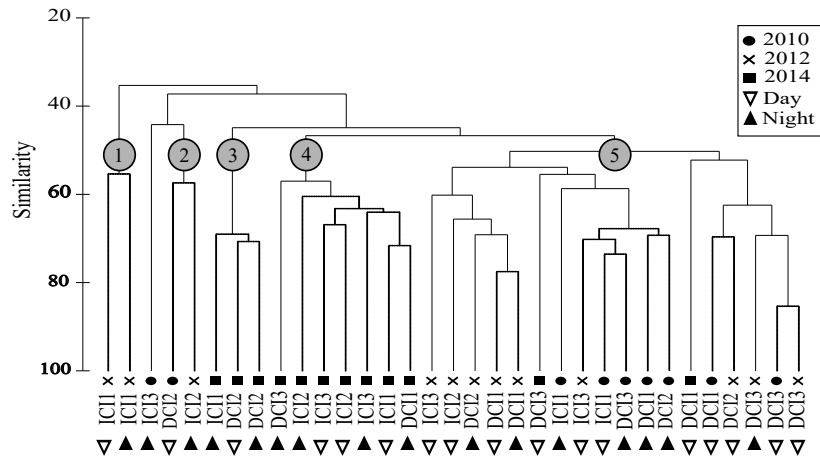


Figure 6: Dendrogram of similarity between densities of microzooplankton per year, site and day-night period. It was used the Bray-Curtis similarity index and the link method was the average weight. Red lines represent the SIMPROF test with 5% significance. DCI - Direct Current Influence; ICI - Indirect Current Influence.

4. Correspondence between the microzooplankton distribution and the environmental Parameters

In Table 6 it can be seen that the day period, fluorescence and temperature presented the highest scores in the ordering of the species in the first axis. In the second axis the highest scores were found for the 2d and 3d distances, DCI and total density of the microzooplankton.

The CCA showed the existence of a positive relationship between the representatives of Radiozoa (*Dictyophimus* sp.) and Tintinnina (*Codonella* sp. and *Epiplocylis undella*) with temperature and fluorescence, besides being more related to the diurnal period and INN. The opposite was seen for Foraminifera (*Orbulina universa*) and Gastropoda. The Copepoda was distributed in more central regions of the graphic, presenting no strong correlation. The distance 1d (stations closest to the atoll) and ICI was directly correlated to the highest microzooplankton density (Figure 7).

Table 6

Biplot scores for the explanatory variables of the parsimonious CCA

Explanatory variables	Axis 1	Axis 2
Local depth	0.030	0.093
DCI	0.515	0.849
ICI	-0.342	-0.564
1d	0.033	-0.467
2d	-0.381	1.226
3d	0.208	0.834
Day period	1.141	0.317
Night period	-0.423	-0.118
Temperature	-0.700	-0.097
Fluorescence	-0.705	-0.050
Density	-0.453	-0.785

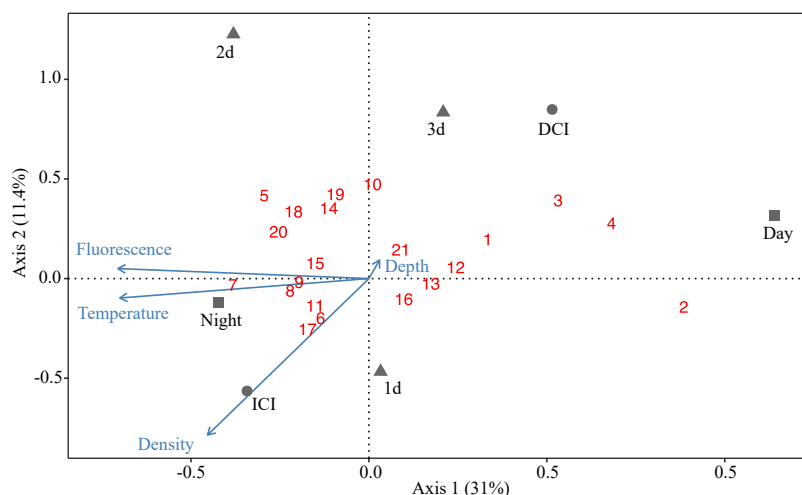


Figure 7: CCA ordination of the species (red numbers) occurring in more than 80% of the samples. The centroids of the spatial-temporal variables are presented by the triangles (distance from the archipelago), circles (current influence) and squares (day-night period). The blue arrows represent the environmental variables. 1 *Codonella* sp.; 2 *Epiplocylis undella*; 3 *Dictyophimus* sp.; 4 Radiolaria; 5 *Orbulina universa*; 6 Foraminifera; 7 Gastropoda; 8 *Clausocalanus furcatus*; 9 *Clausocalanus* (copepodite); 10 Calanoida; 11 Calanoida (nauplius); 12 *Oithona plumifera*; 13 *Oithona nana*; 14 *Oithona* (copepodite); 15 Cyclopoida (nauplius); 16 *Farranula* (Nauplius); 17 *Oncaea media*; 18 *Oncaea* (copepodite); 19 *Microsetella rosea*; 20 *Microsetella* (copepodite); 21 *Microsetella* (nauplius).

5. Discussion

The present work provides information on the ecological aspects of microzooplankton in the surroundings of the only western tropical Atlantic Atoll not previously well documented qualitatively or quantitatively. The Rocas atoll region and is under the influence of the westward flow of the central South Equatorial Current (cSEC) with the Tropical Water mass present at surface (Schott et al., 1998), which characterize an oligotrophic area. A high abundance and biomass were recorded in 2010, which indicates a period of high productivity around the island, in that period the speed of cSEC was maximum, as in 2014.

In general, the action of the currents on the atoll generated vortices on the opposite side of the direct action of the predominant current (Tchamabi et al., 2017). The concentrations of temperature, fluorescence and dissolved oxygen showed decreasing values between the years with the highest in 2010, except salinity which was higher in 2012 According to data from Oceanic Niño Index (ONI), 2010 was a year of moderate El Niño, 2012 a neutral year after the occurrence of moderate La Niña and 2014 a neutral year that preceded a strong El Niño. Therefore, the El Niño in 2010 raised the surface temperature of sea water. Jales et al. (2015) observed that for 2010 in Rocas atoll a greater breakdown of the thermohaline structure increasing nutrients and chlorophyll-a, although the phytoplankton community was characteristics of tropical oligotrophic waters.

During this period, Tchamabi et al. (2017) also observed the strengthening of the Central branch of the South Equatorial Current (SEC), and the occurrence of "wakes" that when interacting with the topography of the Atoll, they suggest that this phenomenon caused the possible formation of turbulence and subsurface cooling zones due to physical disruption at the base of the mixing layer, corroborating the appearance of high values of zooplanktonic biomass and microzooplankton density recorded in 2010 (Campelo et al., 2019).

The microplanktonic followed the same pattern and we found 197 species characteristics of tropical oligotrophic waters. This high microplankton richness shows the importance of Rocas Atoll as a biological hotspot in the western tropical Atlantic. Highest richness was found to Radiozoa (79 taxa), characterized by many species with sporadic

occurrences, and all typical of the more superficial layers of the ocean, like the closest archipelago of Saint Peter and Saint Paul (ASPSP) in South Atlantic Western ocean (Costa et al., 2019). Since many decades ago, it is known that radiozoans reach their maximum diversity in tropical waters (Campbell, 1954). This group prevailed in the night period, in the stations closer to the island under the Indirect Current Influence in 2014. This group also showed an indirect correlation with temperature and fluorescence. This result can be explained by the action of currents in the vicinity of islands and atolls, which promotes an eddy effect and internal waves downstream causing a greater mixture of cooler water and favouring the increase in planktonic biomass (Gove et al., 2016). Boltovskoy and Pujana (2007) showed that the abundance of Radiozoa increased in nutrient-rich ocean areas of resurgence. Despite the lower diversity in 2010, it was observed that higher values were registered in more distant areas of the island at night, which may be a consequence of greater competition, and greater consumption of silica by Radiozoa, also seen in the lower silicate levels observed at night. Jales (2015) noted that diatoms dominated in areas near this atoll, a common interaction in oceanic waters (Racki, 1999).

The second specious group was Copepoda, with 49 taxa, and we expected a higher number of species as a common factor in tropical oligotrophic surface waters (Boltovskoy, 1999), however mostly individuals were copepodite and nauplii stages that is very difficult to identify to species level, so many species were grouped as Calanoide or Cyclopoida copepodites or nauplii. Copepoda was the most representative groups in terms of density and were commonly represented by nauplii and copepodite stages, a common fact in the microzooplankton fraction (Sherr et al., 1986). The similarity analysis showed that the highest percentage of dissimilarity occurred between 2010 and 2014, and Copepoda presented lower differences (47% dissimilarity) and contributed with a higher number of species. The CCA highlighted Copepoda as the main group in the analysis, and among the sampling stations it was more evenly distributed. These results confirm its low annual variation in tropical oligotrophic areas and higher abundance in the samples in relation to other taxa (Bradford-Grieve et al., 1999). The predomination of nauplii and juvenile, was mentioned by Turner (2004) in studies of microzooplankton in tropical waters.

The third group in richness was Tintinnina with 42 taxa and the species were mostly the same of those presented by Nogueira and Sassi (2011), to the same area. Tintinnina presented higher densities in 2010, at night and in the side with indirect current influence. Thompson et al. (1999) mention that the patterns of occurrence of Tintinnina are more strongly related to environmental factors (ie., chlorophyll-a, nutrients, phytoplankton), a fact already observed to other areas worldwide (Dolan, 2000; Dolan et al., 2006). This taxon performs aggregations and assumes strategic behaviour when needed, increasing the reproductive rate and persisting in favourable areas (Nogueira et al., 2008). Its lower density compared to foraminifera may be reflecting competitive and/or predatory activities, since Tintinnina are prey of a range of organisms, including Foraminifera, crustaceans larvae (Thompson, 2004), copepods (Stoecker and Sanders, 1985) and fish (Shaheen et al., 2004). In 2014, Tintinnina presented a different pattern in Rocas atoll with higher densities during the day, a fact also observed by Nogueira and Sassi (2011) to same area. Two species, *Codonella* sp. and *Epiplocylis undella*, had the highest average density among Tintinnina species and were correlated to the direct influence of the current during the day and inversely correlated to temperature and fluorescence, which suggest a vertical migratory behavior.

Foraminifera was less representative than radiozoans, copepods and tintinnids, however in 2010 they presented their highest density and diversity, when it was registered higher values for surface temperature and fluorescence to which they were directly associated. The main species responsible for dissimilarity between the years were *Globigerina bulloides*, *Globorotalia menardii* and *Neogloboquadrina* sp., the last two species with no spicules (Boltovskoy, 1999). In general, species without spicules are mostly herbivorous (Hemleben et al., 1989), allowing them to outrank in 2010, mainly at night at the atoll indirect current side. Foraminifera has a limited mobility with horizontal distribution

influenced by ocean currents, besides a limited ability to regulate the vertical position in the water column. This group is mainly controlled by the temperature and phytoplankton biomass (Richardson, 2008; Storz et al., 2009).

When considering the microzooplankton community, significant differences among years occurred for species richness, density and biomass, from 2010 to 2014. This is an expected pattern (Mackas et al., 2012), since most planktonic species present short lifecycles and are sensitive to seasonal variations of climate and water physico-chemical parameters (Edwards and Richardson, 2004; Hays et al., 2005). Highest densities and biomass were found in the Indirect Current Influence (ICI) in the years 2010 and 2012 and in the Direct Current Influence (DCI) in 2014. The CCA placed DCI and ICI in opposite quadrants, correlating ICI to higher microzooplankton density and biomass. This result can be explained by the annual pattern of the South equatorial current (Richardson and McKee, 1984; Arnault, 1987), that presented maximum speed in 2010 and 2014, and modified the local hydrodynamics as mentioned above Tchamabi et al. (2017, see.). In general, the currents on the atoll generated vortices on the opposite side of the direct action of the predominant current, as well as the greater washing of submerged areas, thus increasing the nutritional capacity of the area ICI (Fonteneau, 1991; Neumann-Leitão et al., 1999; Lessa et al., 1999; Morato et al., 2010).

On the other hand, we observed a tendency of diversity reduction in areas near the atoll for Copepoda in 2012, and for Tintinnina and Radiozoa in 2014. In these years surface temperatures in the area were a bit lower, which even with a small variation, may affect the abundance and composition of the microplankton community. Variations in marine communities have been documented in the last 50 years; and, many of these variations are reported to the plankton (Beaugrand, 2002; Hays et al., 2005) linked to climate oscillations (Edwards et al., 2002; Walther et al., 2002; Parmesan and Yohe, 2003; Barnard et al., 2004). The seasonal phenomenon that mostly affects these oscillations is El Niño-Southern Oscillation (ENSO), that presents both positive (El Niño) and negative anomalies (La Niña) on sea surface temperature (SST). However, it is poorly characterized the answer of most species from the microzooplankton fraction to the direct effect of temperature.

Among the Atoll indicators, the Tintinnina *Codonellopsis orthoceros*, the Radiozoa *Acanthodesmia viniculata*, Foraminifera *Orbulina universa* and *Acrocalanus gracilis* were representative of warm waters and resurgence, indicating more productive conditions (island mass effect). These species were directly related to fluorescence. Jales (2015) suggests that in the year 2010 the turbulence generated after the passage of the current through the Atoll has caused the rupture of the thermohaline structure enriching the area. The same process was also verified by Souza et al. (2015) in the Archipelago of Fernando de Noronha and in the submarine hills of the northern chains.

It was possible to identify that the communities presented different dynamics, this may suggest that each group responds in its own way to the environmental variations observed between the years. The Copepoda group, known for its high abundance in oligotrophic oceanic areas, did not show great variations in its community, different from what was observed for Radiozoa, Tintinnina and Foraminifera. This shows the importance of the groups and species considered more rare within the indicative process of environmental variations. Therefore, research with greater time span and focusing on rare species must be carried out, in order to expand knowledge about the consequences of climate change in marine ecosystems.

6. Acknowledgements

This study is part of the Camadas Finas I, II and III funded by Ministerio da Ciência e Tecnologia MCT/CNPq (Brazil). The authors thank the FACEPE the scholarship to PBD and to CNPq for the Research Scholarship to SNL.

References

- Almeida, F.F.M., 2015. Ilhas oceânicas brasileiras e suas relações com a tectônica atlântica. *Terrae Didactica* 2, 3. doi:10.20396/td.v2i1.8637462.
- Arnault, S., 1987. Tropical atlantic geostrophic currents and ship drifts. *Journal of Geophysical Research* 92, 5076. doi:10.1029/jc092ic05p05076.
- Barnard, R.T., Batten, S., Beaugrand, G., Buckland, C., Conway, D.V.P., Edwards, M., Finlayson, J., Gregory, L.W., Halliday, N.C., John, A.W.G., Johns, D.G., Johnson, A.D., Jonas, T.D., Lindley, J.A., Nyman, J., Pritchard, P., Reid, P.C., Richardson, A.J., Saxby, R.E., Sidey, J., Smith, M.A., Stevens, D.P., Taylor, C.M., Tranter, P.R.G., Walne, A.W., Wootton, M., Wotton, C.O.M., Wright, J.C., 2004. Continuous plankton records: Plankton atlas of the north atlantic ocean (1958-1999). ii. biogeographical charts. *Marine Ecology-progress SUPPL.*, 11–75.
- Beaugrand, G., 2002. Reorganization of north atlantic marine copepod biodiversity and climate. *Science* 296, 1692–1694. doi:10.1126/science.1071329.
- Beers, J.R., 1981. Determinación de la biomasa del zooplancton, in: Boltovskoy, D. (Ed.), *Atlas del zooplancton del Atlantico Sudoccidental y métodos de trabajo com el zooplancton marino*. INIDEP, Mar del Plata. volume 2, pp. 133–141.
- Bernard, R., Batten, S., Beaugrand, G., Buckland, C., 2011. Continuous plankton records: Plankton atlas of the north atlantic ocean (1958-1999). ii. biogeographical charts. *Marine Ecology Progress Series Supplement*, 11–75.
- Boehlert, G.W., Genin, A., 1987. A review of the effects of seamounts on biological processes, in: Keating, B.H., Fryer, P., Batiza, R., Boehlert, G.W. (Eds.), *Seamounts Islands and Atolls*. American Geophysical Union, Washington. number 43 in *Geophysical Monograph*, pp. 319–334.
- Boltovskoy, D., 1981. *Atlas del Zooplancton del Atlantico Sudoccidental y métodos de trabajo con el zooplancton marino*. 1 ed., Instituto Nacional de Investigacion y Desarrollo Pesquero, Mar del Plata.
- Boltovskoy, D., 1999. *Radiolaria Polycystina*. The Netherlands: Backhuys Publishers. chapter 7. pp. 149–212.
- Boltovskoy, D., Pujana, I., 2007. Radiozoa, in: Camacho, H. (Ed.), *Invertebrados Fósiles*. Universidad Buenos Aires Maimónides, Buenos Aires, pp. 111–132.
- Bourlès, B., Gouriou, Y., Chuchla, R., 1999. On the circulation in the upper layer of the western equatorial atlantic. *Journal of Geophysical Research: Oceans* 104, 21151–21170. doi:10.1029/1999jc000058.
- Bradford-Grieve, J., Markhaseva, E., Rocha, C., Abiahy, B., 1999. Copepoda, in: Boltovskoy, D. (Ed.), *South Atlantic Zooplankton*. Backhuys Publishers. volume 2, pp. 869–1098.
- BRASIL, 2007. Plano de Manejo para a Reserva Biológica do Atol das Rocas. 1 ed., Ministério do Meio Ambiente, Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, Brasília. URL: http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/imgs-unidadescoservacao/rebio_atol-das-rocas.pdf.
- Bruggeman, J., Kooijman, S.A.L.M., 2007. A biodiversity-inspired approach to aquatic ecosystem modeling. *Limnology and Oceanography* 52, 1533–1544. doi:10.4319/lo.2007.52.4.1533.
- Burkill, P.H., Edwards, E.S., John, A.W.G., Sleight, M.A., 1993. Microzooplankton and their herbivorous activity in the northeastern atlantic ocean. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography* 40, 479–493. doi:10.1016/0967-0645(93)90028-1.
- Calbet, A., Landry, M.R., 2004. Phytoplankton growth, microzooplankton grazing, and carbon cycling in marine systems. *Limnology and Oceanography* 49, 51–57. doi:10.4319/lo.2004.49.1.0051.
- Campbell, A.S., 1954. Radiozoa, in: Moore, R.C. (Ed.), *Treatise on Invertebrate Paleontology. Part D, Protista 3: Protozoa (chiefly Radiozoa and Tintinnina)*. Geological Society of America and University of Kansas Academic Press, Lawrence, pp. 11–163.
- Campelo, R.P.S., Bonou, F.K., Melo Júnior, M., Diaz, X.F.G., Bezerra, L.E.A., Neumann-Leitão, S., 2019. Zooplankton biomass around marine protected islands in the tropical atlantic ocean. *Journal of Sea Research* 154, 101810. doi:10.1016/j.seares.2019.101810.
- Castro-Filho, B., Brandini, F., Pires-Vanin, A.M.S., Miranda, L.B., 2006. Multidisciplinary oceanographic processes on the western atlantic continental shelf between 4°N and 34°S, in: *The Sea, Vol. 14A - The Global Coastal Ocean: Interdisciplinary Regional Studies and Syntheses*. Harvard University Academic Press, Cambridge, pp. 259–293.
- Clay, T.W., Bollens, S.M., Bochdansky, A.B., Ignoffo, T.R., 2004. The effects of thin layers on the vertical distribution of larval pacific herring. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 305, 171–189. doi:10.1016/j.jembe.2003.12.015.
- Costa, A.E.S.F., Santana, J.R., Melo, P.A.M.C., Neumann-Leitão, S., 2019. Polycystine radiolarians within oligotrophic waters: higher abundance closer to tropical oceanic islands. *Tropical Ecology* 60, 261–270. doi:10.1007/s42965-019-00030-3.
- Dolan, J., 2000. Tintinnid ciliate diversity in the mediterranean sea: longitudinal patterns related to water column structure in late spring-early summer. *Aquatic Microbial Ecology* 22, 69–78. doi:10.3354/ame022069.
- Dolan, J.R., Lemée, R., Gasparini, S., Mousseau, L., Heyndrickx, C., 2006. Probing diversity in the plankton: using patterns in tintinnids (planktonic marine ciliates) to identify mechanisms. *Hydrobiologia* 555, 143–157. doi:10.1007/s10750-005-1112-6.

- Doty, M.S., Oguri, M., 1956. The island mass effect. *ICES Journal of Marine Science* 22, 33–37. doi:10.1093/icesjms/22.1.33.
- Dufrêne, M., Legendre, P., 1997. Species assemblages and indicator species: The need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs* 67, 345–366. doi:10.1890/0012-9615(1997)067[0345:saaist]2.0.co;2.
- Edwards, M., Beaugrand, G., Reid, P.C., Rowden, A.A., Jones, M.B., 2002. Ocean climate anomalies and the ecology of the north sea. *Marine Ecology Progress Series* 239, 1–10. doi:10.3354/meps239001.
- Edwards, M., Richardson, A.J., 2004. The impact of climate change on the phenology of the plankton community and trophic mismatch. *Nature* 430, 881–884. doi:10.1038/nature02808.
- Elangovan, S., Arun Kumar, M., Karthik, R., Siva Sankar, R., Jayabarathi, R., Padmavati, G., 2012. Abundance, species composition of microzooplankton from the coastal waters of port blair, south andaman island. *Aquatic Biosystems* 8, 20. doi:10.1186/2046-9063-8-20.
- Fernández, F., 1977. Efecto de la intensidad de luz natural en la actividad metabólica y en la alimentación de varias especies de copépodos planctónicos. *Investigación Pesquera* 41, 575–602.
- Fonteneau, A., 1991. Monts sous-marins et thons dans l’atlantique tropical est. *Aquatic Living Resources* 4, 13–25. doi:10.1051/alr:1991001.
- Franzè, G., Lavrentyev, P.J., 2014. Microzooplankton growth rates examined across a temperature gradient in the barents sea. *PLoS ONE* 9, e86429. doi:10.1371/journal.pone.0086429.
- Genin, A., 2004. Bio-physical coupling in the formation of zooplankton and fish aggregations over abrupt topographies. *Journal of Marine Systems* doi:10.1016/j.marsys.2003.10.008.
- Goes, C.A., 2006. Análise da dispersão de larvas de lagostas no Atlântico Tropical a partir de correntes geostróficas superficiais derivadas por satélites. *mathesis*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE. São Paulo. URL: <http://mtcm17.sid.inpe.br/rep/sid.inpe.br/MTC-m13@80/2006/07.10.14.12>.
- González-Quirós, R., Cabal, J., Álvarez Marqués, F., Isla, A., 2003. Ichthyoplankton distribution and plankton production related to the shelf break front at the avilés canyon. *ICES Journal of Marine Science* 60, 198–210. doi:10.1016/s1054-3139(03)00009-2.
- Gorini, M.A., Bryan, G.M., 1974. Semi-isolated basin off northeast brazilian margin. *Transactions American Geophysical Union* 55, 278–279.
- Gove, J.M., McManus, M.A., Neuheimer, A.B., Polovina, J.J., Drazen, J.C., Smith, C.R., Merrifield, M.A., Friedlander, A.M., Ehses, J.S., Young, C.W., Dillon, A.K., Williams, G.J., 2016. Near-island biological hotspots in barren ocean basins. *Nature Communications* 7, 10581. doi:10.1038/ncomms10581.
- Hays, G.C., Richardson, A.J., Robinson, C., 2005. Climate change and marine plankton. *Trends in ecology & evolution* 20, 337–344. doi:10.1016/j.tree.2005.03.004.
- Hemleben, C., Spindler, M., Anderson, O.R., 1989. *Modern Planktonic Foraminifera*. Springer-Verlag, New york.
- Hernández-León, S., Putzeys, S., Almeida, C., Bécognée, P., Marrero-Daz, A., Arstegui, J., Yebra, L., 2019. Carbon export through zooplankton active flux in the canary current. *Journal of Marine Systems* 189, 12–21. doi:10.1016/j.jmarsys.2018.09.002.
- Hillary, R.M., Bees, M.A., 2004. Plankton lattices and the role of chaos in plankton patchiness. *Physical Review E* 69, 1–11. doi:10.1103/physreve.69.031913.
- Hinder, S.L., Manning, J.E., Gravenor, M.B., Edwards, M., Walne, A.W., Burkill, P.H., Hays, G.C., 2011. Long-term changes in abundance and distribution of microzooplankton in the ne atlantic and north sea. *Journal of Plankton Research* 34, 83–91. doi:10.1093/plankt/fbr087.
- Irigoién, X., Flynn, K.J., Harris, R.P., 2005. Phytoplankton blooms: a ‘loophole’ in microzooplankton grazing impact? *Journal of Plankton Research* 27, 313–321. doi:10.1093/plankt/fbi011.
- Jales, M.C., 2015. Influência das condições oceanográficas sobre a estrutura da comunidade fitoplanctônica no Atol das Rocas, Atlântico Sul Equatorial, Brasil. *mathesis*. Universidade Federal de Pernambuco. Recife.
- Kikuchi, R.K.P.D., 1994. Geomorfologia, Estratigrafia e Sedimentologia do Atol das Rocas (Rebio, IBAMA / RN). *mathesis*. Universidade Federal da Bahia. Salvador.
- Kikuchi, R.K.P.D., 2002. Atol das rocas, litoral do nordeste do brasil - Único atol do atlântico sul equatorial ocidental, in: Schobbenhaus, C., Campos, D.A., Queiroz, E.T., Winge, M., Berbert-Born, M.L.C. (Eds.), *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. DNPM/CPRM, Brasília, pp. 379–390.
- Lavrentyev, P., Franzè, G., Pierson, J., Stoecker, D., 2015. The effect of dissolved polyunsaturated aldehydes on microzooplankton growth rates in the chesapeake bay and atlantic coastal waters. *Marine Drugs* 13, 2834–2856. doi:10.3390/md13052834.
- Lessa, R., Mafalda-Jr., P., Advíncula, R., Lucchesi, R., Bezerra-Jr., J., Vaske-Jr., T., Hellebrandt, D., 1999. Distribution and abundance of ichthyoneuston at seamounts and islands off north-eastern brazil. *Archive of Fishery and Marine Research* 47, 239–252.
- Mackas, D.L., Pepin, P., Verheye, H., 2012. Interannual variability of marine zooplankton and their environments: within- and between-region comparisons. *Progress in Oceanography* 97–100, 1–14. doi:10.1016/j.pocan.2011.11.002.
- McClatchie, S., 1986. Time-series feeding rates of the euphausiid *thysanoessa raschii* in a temporally patchy food environment. *Limnology and Oceanography* 31, 469–477. doi:10.4319/lo.1986.31.3.0469.

- McKinnon, A.D., Richardson, A.J., Burford, M.A., Furnas, M.J., 2007. Vulnerability of great barrier reef plankton to climate change, in: Johnson, J.E., Marshall, P.A. (Eds.), *Climate Change and the Great Barrier Reef*. Great Barrier Reef Marine Park Authority, pp. 121–152.
- Medeiros, C., Macedo, S.J., Feitosa, F.A.N., Koenig, M.L., 1999. Hydrography and phytoplankton biomass and abundance of north-east brazilian waters. *Archive of Fishery and Marine Research* 47, 133–151.
- Medvinsky, A.B., Tikhonova, I.A., Aliev, R.R., Li, B.L., Lin, Z.S., Malchow, H., 2001. Patchy environment as a factor of complex plankton dynamics. *Physical Review E* 64, 1–7. doi:10.1103/physreve.64.021915.
- Melo, P.A.M.C., Diaz, X.F.G., Macedo, S.J., Neumann-leitão, S., 2012. Diurnal and spatial variation of the mesozooplankton community in the saint peter and saint paul archipelago, equatorial atlantic. *Marine Biodiversity Records* 5. doi:10.1017/s1755267212001054.
- Morato, T., Hoyle, S.D., Allain, V., Nicol, S.J., 2010. Seamounts are hotspots of pelagic biodiversity in the open ocean. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107, 9707–9711. doi:10.1073/pnas.0910290107.
- Munk, P., Larsson, P., Danielsen, D., Moksness, E., 1995. Larval and small juvenile cod concentrated in the highly productive areas of a shelf break front. *Marine Ecology Progress Series* 125, 21–30. doi:10.3354/meps125021.
- Neumann-Leitão, S., Gusmão, L.M.O., Silva, T., Nascimento-Vieira, D.A., Silva, A.P., 1999. Mesozooplankton biomass and diversity in coastal and oceanic waters off north-eastern brazil. *Archive of fishery and marine research* 47, 153–165.
- Nogueira, E.M.S., Sassi, R., Cordeiro, T.A., 2008. Estrutura da comunidade dos tintinnina na região do atol das rocas (rio grande do norte) e arquipélago de fernando de noronha (pernambuco). *Biota Neotropica* 8, 135–140. doi:10.1590/s1676-06032008000300013.
- Nogueira, M.E.S., Sassi, R., 2011. Nychthemeral variations of tintinnina (ciliata, oligotrichida) near the rocas atoll (south atlantic) and relationships with other microzooplanktonic components. *Arquivos de Ciências do Mar* 44, 5–11.
- Omori, M., Ikeda, T., 1984. *Methods in marine zooplankton ecology*. 1 ed., J. Wiley, New York.
- Ormond, R.F., Gage, J.D., Angel, M.V., 1998. Marine biodiversity: patterns and processes. *Oceanographic Literature Review* 1, 101.
- Parmesan, C., Yohe, G., 2003. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. *Nature* 421, 37–42. doi:10.1038/nature01286.
- Pereira, N.S., Manso, V.A.V., Silva, A.M.C., Silva, M.B., 2010. Mapeamento geomorfológico e morfodinâmica do atol das rocas, atlântico sul. *Revista de Gestão Costeira Integrada* 10, 331–345. doi:10.5894/rgci209.
- Pinto, N.C.T., Mafalda, P., Santos, A.T., 1997. Caracterização do zooplâncton da reserva biológica do atol das rocas, na campanha de março-1991 (verão). *Tropical Oceanography* 25. doi:10.5914/tropocean.v25i1.2726.
- Quevedo, M., 2003. The protistan microzooplankton community in the oligotrophic north-eastern atlantic: large- and mesoscale patterns. *Journal of Plankton Research* 25, 551–563. doi:10.1093/plankt/25.5.551.
- Racki, G., 1999. Silica-secreting biota and mass extinctions: survival patterns and processes. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 154, 107–132. doi:10.1016/s0031-0182(99)00089-9.
- Reiss, J., Forster, J., Cássio, F., Pascoal, C., Stewart, R., Hirst, A.G., 2010. When microscopic organisms inform general ecological theory, in: Woodward, G. (Ed.), *Integrative Ecology: From Molecules to Ecosystems*. Elsevier. volume 43, pp. 45–85. doi:10.1016/b978-0-12-385005-8.00002-2.
- Richardson, A.J., 2008. In hot water: zooplankton and climate change. *ICES Journal of Marine Science* 65, 279–295. doi:10.1093/icesjms/fsn028.
- Richardson, P.L., McKee, T.K., 1984. Average seasonal variation of the atlantic equatorial currents from historical ship drifts. *Journal of Physical Oceanography* 14, 1226–1238. doi:10.1175/1520-0485(1984)014<1226:asvota>2.0.co;2.
- Ringelberg, J., 1995. Changes in light intensity and diel vertical migration: a comparison of marine and freshwater environments. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 75, 15–25. doi:10.1017/s0025315400015162.
- Rodrigues, O.A.A., 1940. O atol das rocas. *Rev. Mar. Brasil*. 59, 1181–1228.
- Rogers, A.D., 1994. The biology of seamounts, in: *Advances in Marine Biology*. Elsevier. volume 30, pp. 305–350. doi:10.1016/S0065-2881(08)60065-6.
- Schott, F.A., Fischer, J., Stramma, L., 1998. Transports and pathways of the upper-layer circulation in the western tropical atlantic. *Journal of Physical Oceanography* 28, 1904–1928. doi:10.1175/1520-0485(1998)028<1904:tapotu>2.0.co;2.
- Shaheen, P.A., Manderson, J.P., Fahay, M.P., 2004. Stage-specific spatial and temporal variability in the diets of larval winter flounder () in a northeastern u.s. estuarine nursery. *Estuaries* 27, 958–965. doi:10.1007/bf02803422.
- Sherr, E.B., Sherr, B.F., Paffenhöfer, G.A., 1986. Phagotrophic protozoa as food for metazoans: a "missing" trophic link in marine pelagic food webs? *Marine Microbial Food Webs* 1, 61–80.
- Soares, M.O., Lemos, V.B., Kikuchi, R.K.P.D., 2009. Sedimentos carbonáticos bioclásticos do atol das rocas, atlântico sul equatorial. *Revista Brasileira de Geociências* 39, 624–634. doi:10.25249/0375-7536.2009394624634.
- Souza, C.A., Pecqueur, D., Floc'h, E.L., Mas, S., Roques, C., Mostajir, B., Vidussi, F., Velo-Suárez, L., Sourisseau, M., Fouilland, E., Guillou, L.,

- 490 2015. Significance of plankton community structure and nutrient availability for the control of dinoflagellate blooms by parasites: A modeling
491 approach. PLoS ONE 10, e0127623. doi:10.1371/journal.pone.0127623.
- 492 Stoecker, D.K., Sanders, N.K., 1985. Differential grazing by on a dinoflagellate and a tintinnid. Journal of Plankton Research 7, 85–100. doi:10.
493 1093/plankt/7.1.85.
- 494 Storz, D., Schulz, H., Waniek, J.J., Schulz-bull, D.E., Kuera, M., 2009. Seasonal and interannual variability of the planktic foraminiferal flux in the
495 vicinity of the azores current. Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers 56, 107–124. doi:10.1016/j.dsr.2008.08.009.
- 496 Tchamabi, C.C., Araujo, M., Silva, M., Bourlès, B., 2017. A study of the brazilian fernando de noronha island and rocas atoll wakes in the tropical
497 atlantic. Ocean Modelling 111, 9–18. doi:10.1016/j.ocemod.2016.12.009.
- 498 Thompson, G., 2004. Tintinnid diversity trends in the southwestern atlantic ocean (29 to 60s). Aquatic Microbial Ecology 35, 93–103. doi:10.
499 3354/ame035093.
- 500 Thompson, G.A., Alder, V.A., Boltovskoy, D., Brandini, F., 1999. Abundance and biogeography of tintinnids (ciliophora) and associated microzoo-
501 plankton in the southwestern atlantic ocean. Journal of Plankton Research 21, 1265–1298. doi:10.1093/plankt/21.7.1265.
- 502 Thurman, H.V., Trujillo, A.P., 2003. Introductory oceanography. 10 ed., Pearson.
- 503 Tinoco, I.M., 1965. Foraminiferos do atol das rocas. Tropical Oceanography 7. doi:10.5914/tropocean.v7i1.2503.
- 504 Travassos, P., Hazin, F.H.V., Zagaglia, J.R., Advíncula, R., Schober, J., 1999. Thermohaline structure around seamounts and islands off north-eastern
505 brazil. Archive of Fishery and Marine Research 47, 211–222.
- 506 Turner, J.T., 2004. The importance of small planktonic copepods and their roles in pelagic marine food webs. Zoological studies 43, 255–266.
- 507 Villaça, R., Jensen, V.K., 2006. taylor (phaeophyceae, dictyotales): nova ocorrência para o atol das rocas e primeira descrição para a costa brasileira.
508 Arquivos do Museu Nacional 64, 215–221.
- 509 Walther, G.r., Post, E., Convey, P., Menzel, A., Parmesan, C., Beebee, T.J., Fromentin, J.m., Hoegh-Guldberg, O., Bairlein, F., 2002. Ecological
510 responses to recent climate change. Nature 416, 389. doi:10.1038/416389a.
- 511 Zar, J.H., 2018. Biostatistical analysis. Fifth edition ed., Pearson.

5 ARTIGO 2

PATTERNS OF DIVERSITY AND ABUNDANCE OF RADIOZOA (POLYCYSTINA) OF ROCAS ATOLL, SOWTHWESTERN TROPICAL ATLANTIC

Highlights

- First contribution to the Radiozoa - Polycystina of the unique atoll of the South Atlantic Ocean
- The Polycystina class was most successful in 2014 which was the with higher concentration of nutrients, mainly silica
- The species may be more sensitive to nutrient availability than to other environmental parameters, as salinity and / or temperature
- The considerable increase in richness in 2014 was mainly caused by climate effects (El Niño - la Niña)

Patterns of Diversity and Abundance of Radiozoa (Polycystina) of Rocas Atoll, Southwestern Tropical Atlantic

RESUMO: Os Polycystina, são tipicamente pelágicos, altamente diversificados e abundantes. Devido sua importância ecológica na teia trófica marinha planctônica, onde atuam como elo na alça microbiana, são considerados alguns dos principais produtores/consumidores primários. Este trabalho objetivou-se avaliar a composição e dinâmica temporal dos Radiozoa Polycystina do Atol das Rocas, Brasil. As amostras coletadas em 2010, 2012 e 2014, foram realizadas através de arrastos oblíquos desde 200m de profundidade até a superfície ou 80% da profundidade local, com rede bongo de 64 μm de abertura de malha. Foram identificados 76 taxa da classe Polycystina distribuídas nas Ordens Nassellaria, com 12 famílias e Spumellaria com 9. Dos taxa identificados 65,8% foram exclusivos de 2014. Spumellaria apresentou a menor riqueza e maior densidade (1217,02 org.m⁻³), com predominância de *Dictyocoryne truncatum*. O ano com a maior riqueza e densidade total foi 2014 (1871,3 org.m⁻³). O ANOSSIM mostrou diferença significativa entre os anos 2010 e 2014, confirmado pelo MDS e PCA. A temperatura foi o parâmetro mais explicativo, com maiores valores em 2010, assim como oxigênio e clorofila-a, ao contrário dos nutrientes, com valores mais altos em 2014, principalmente dióxido de silício. *Lophophaena hispida*, *Acanthodesmia viniculata*, *Dictyophimus* sp., *Amphispyris toxarium* e *Tholospyris* sp. foram bons indicadores para 2014 (maior quantidade de nutrientes), enquanto *Spongodiscus resurgens* para 2010 (maiores temperaturas) e *Zygocircus productus* simultaneamente para 2010/2014. Pode-se deduzir que a classe Polycystina foi mais bem-sucedida em 2014, quando elevados valores de nutrientes contribuíram positivamente para a maior abundância desta classe.

Palavras-chave: Microzooplâncton tropical, Protista planctônico, Bioindicador, Variação temporal

ABSTRACT: Polycystine are typically pelagic, highly diversified and abundant. Due to their ecological importance in the planktonic marine trophic web, where they act as a link in the microbial loop, they are considered to be some of the main primary

producers/consumers. This paper's main goal was to evaluate the composition and temporal dynamics of the Radiozoa Polycystine of the Rocas Atoll, Brazil. The samples were collected in 2010, 2012 and 2014, and they were obtained through oblique hauls extended to a depth of 80% of the local depth, or, at most, up to 200 m, with a plankton net with 64 μm mesh size. 76 Polycystine taxa were identified divided into the orders Nassellaria (12 families) and Spumellaria (9 families). Among the taxa identified, 65.8% occurred exclusively in 2014. Spumellaria exhibited the smallest richness and highest density (1217.02 org.m⁻³), with the predominance of *Dictyocoryne truncatum*. 2014 was the year with the greatest richness and total density (1871.3 org.m⁻³). The ANOSSIM showed a significant difference between the years 2010 and 2014, confirmed by MDS and PCA. The temperature was the most explanatory parameter, with higher values in 2010, as well as oxygen and chlorophyll-a, as opposed to the nutrients, with higher values in 2014, mainly Silicon dioxide. *Lophophaena hispida*, *Acanthodesmia viniculata*, *Dictyophimus sp.*, *Amphispyris toxarium*, and *Tholospyrus sp.* were good indicators for 2014 (higher amount of nutrients), while *Spongodiscus* resurfaces for 2010 (higher temperatures). It can be inferred that the Polycystine class was more successful in 2014 when higher nutrient values contributed positively to the greater abundance of this class.

Keywords: Tropical microzooplankton, Protist plankton, Bioindicator, Temporal variation

1 Introduction

The oceans beget high biological diversity (LONGHURST; PAULY, 2007), mainly in tropical oligotrophic areas close to islands and atolls, where the availability of resources is increased and higher productivity occurs due to the "island mass effect" (DOTY; OGURI, 1956; MUNK et al., 1995; GONZÁLEZ-QUIRÓS et al., 2003). This nutritional increment locally affects the structure of the communities (BOEHLERT; GENIN, 1987; ROGERS, 1994; GENIN, 2004). Because of these features, the Rocas Atoll becomes of great importance for maintaining the marine biodiversity of this region,

despite being considered one of the smallest atolls in the world and unique at the southern Atlantic (SOARES; LEMOS; KIKUCHI, 2009).

The planktonic Phylum Radiozoa is among the microorganisms benefiting from these areas. They are dominant in oligotrophic regions (AFANASIEVA et al., 2005) where they act as an important link in the microbial fin, providing energy and nutrients across a range of size fractions. They can feed on prey in size fractions from nano to macro planktonic (Swanberg and Caron 1991), being considered one of the main primary producers/consumers in these areas (Siokou-Frangou et al. 2010).

Paleontological records show that the phylum represents one of the first microscopic groups to inhabit oceanic regions from the Cambrian to the present day (AFANASIEVA et al., 2005; BRAUN et al., 2007). Its long history of life and wide distribution, both vertical and horizontal, are consequences of its ecological plasticity (DE WEVER et al., 2003; AFANASIEVA et al., 2005; BOLTOVSKOY et al., 2010). The richness of fossil records of the Radiozoa causes most of the work on this phylum to be directed to the paleontological area, with few studies focused on current groups (WEVER; FRANCE, 2001; DE WEVER et al., 2003; SUZUKI; OBA, 2015; SANDIN et al., 2019).

Radiozoa is a phylum of single-celled Protozoa with an average size of 100 to 800 μm , solitary or colonial, predominating in salinity between 32 and 38 PSU and a planktonic way of life (NAZAROV; PETRUSHEVSKAYA, 1995). The reproduction of the phylum is still inconclusive, however Itaki and Bjorklund (2007) suggested that Radiolaria have an asexual binary fission reproduction. They are formed by an internal skeleton composed of hydrated silica ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$) (SUZUKI; NOT, 2015). Its skeleton assumes a range of forms, with varying numbers of spines and a central capsule that is destroyed immediately after his death; in Polycystine, for example, the presence of 98% of $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ amorphous (NAZAROV; PETRUSHEVSKAYA, 1995) with small amounts (1 to 4%) of Mg, Ca, Al, Na (ANDERSON, 1983) was observed. Its spines assist in motor function, providing an axis to the pseudopods; moreover, the position and quantity of the spines are fixed and distinct within each taxon (DE WEVER et al., 2003). However, recent phylogenetic studies have found no pattern in the initial spicular system that allows separating clades in Nassellaria (SANDIN et al., 2019).

The most current taxonomic classification of the phylum Radiozoa, formerly Radiolaria, is subdivided in three classes, Acantharia, Polycystine and Sticholonchea (WORMS EDITORIAL BOARD, 2019), all of them marine.

In general, the phylum Radiozoa occurs from central oceanic regions to estuaries (Boltovskoy et al., 2003), and can be abundant in areas close to the coast, mainly in the upper part of the water column (BOLTOVSKOY; ALDER; ABELMANN, 1993; BOLTOVSKOY, 1998, 1999). Its vertical distribution is wide (AFANASIEVA et al., 2005), with maximum populations of Radiozoa in tropical and subtropical waters concentrated in the upper layers of the water column, mainly between 50-100 m of depth (KLING; BOLTOVSKOY, 1995; ABELMANN; GOWING, 1997). This fact is related to symbiotic associations commonly found between Radiozoa and chlorophyllate microorganisms that are closely related to luminous intensity (ZASKO; RUSANOV, 2005; ZHANG et al., 2018). The class Polycystine, focus of this study, is highly diversified holoplanktonic protists, with more than 300 recent species registered (BOLTOVSKOY et al., 2010; LAZARUS et al., 2015). Its predominance occurs in the range of 50 to 400 m of depth (BOLTOVSKOY, 1998, 1999; ZASKO; RUSANOV, 2005), typically pelagic and rarely found in coastal waters, especially where salinity falls below normal values of the open ocean (35 PSU) (ANDERSON, 1983; BOLTOVSKOY, 2017).

Studies show that in addition to the carbon increment offered by the chlorophyllate, the Radiozoa also benefit from these as a nutritional reserve (direct source of food) and structural (source of silica), increasing its adaptive capacity and resistance to unfavorable environments (ANDERSON, 1983). However, the main sources of food in this phylum are still bacteria, unicellular algae, ciliates, copepods, larvae and other microscopic items living or dead (ZASKO; RUSANOV, 2005). It was also verified that the Radiozoa species present food preference, and this factor reduces competition for resources (AFANASIEVA et al., 2005).

In addition to biotic factors, radiolarians feeding and its symbiosis with algae, the population dynamics of Radiolarians is also governed by abiotic factors. The most important ones are temperature, salinity, hydrodynamics and depth (CHUVASHOV et al., 1999), light penetration and the availability of natural silica (SUZUKI; NOT, 2015).

Due to the above and in view of the importance of the area in question, this paper aims to evaluate the composition and temporal dynamics of Radiozoa Polycystine found close to Rocas Atoll, Brazil.

2 Material and Methods

The Rocas Atoll is located 148 km west of the Fernando de Noronha Archipelago (03052" S; 33049" W) (Figure 1). It is placed at the top of a series of undersea mountains based on 4000 meters deep, and is characterized as an elliptic, almost circular calcareous algal reef covering approximately 5.5 km², with an opening connecting its central lagoon to the open sea; the longest axis (E-W) covers 3.7 km and the shortest axis (N-S) 2.5 km (SOARES; LEMOS; KIKUCHI, 2009).

An equatorial warm climate prevails in the study area, with a cool trade wind from the southwest. The average air temperature varies between 28°C to 32°C throughout the year (PINTO; MAFALDA; SANTOS, 1997) and the surface water temperature is approximately 27.7°C. The rainy season is between March and July, with a monthly average of 860 mm (SOARES; LEMOS; KIKUCHI, 2009). The relative humidity is high during the year (usually above 80%). The study area is within the Rocas atoll and Fernando de Noronha Biological Reserve Archipelago, the first marine protected area created by Federal Law in 1979 (BRASIL; MMA, 2007), currently managed by the Brazilian Institute for the Environment and Natural Resources (IBAMA).

The Rocas Atoll surrounding waters have low nutrients concentration and fluorescence not exceeding 50 mg-2 (MEDEIROS et al., 1999). The South Equatorial Current (CSE), which presents an average speed of 30 cm s⁻¹, influences the atoll and has a constant westward direction (GOES, 2006). In mid-June to September during the southern hemisphere's winter season, southeast winds are more frequent and range in speed from 11 to 15 m s⁻¹ (KIKUCHI, 2002).

The Rocas Atoll is of geological, paleontological and ecological importance, harboring many migratory shorebirds and residents, with structures that ensure leaching of nutrients available to the planktonic organisms of the area (KIKUCHI, 2002).

Three oceanographic campaigns were carried out in the Rocas Atoll (July and August of 2010, September and October of 2012 and July and September 2014), aboard of the NHO Cruzeiro do Sul from the Brazilian Navy. Two transects with three points each were made per year, one of the direct current incidence side (IDC) and the other on the indirect current incidence side (IIC), both with day and night collections (Figure 1).

Environmental data, Dissolved Oxygen (mg L⁻¹), salinity (PSU), fluorescence and temperature (° C) were acquired using a CTD profiler. This data comes from using the average of the acquired values in the most superficial layer of the water column. For analysis of dissolved inorganic nutrients, the water samples were stored in plastic bottles (300ml) and were immediately frozen and transported to the Chemistry Laboratory of the Oceanography Department of UFPE. In the laboratory, analyses were performed as described by Strickland and Parsons (1972) and Grasshoff et al. (1983).

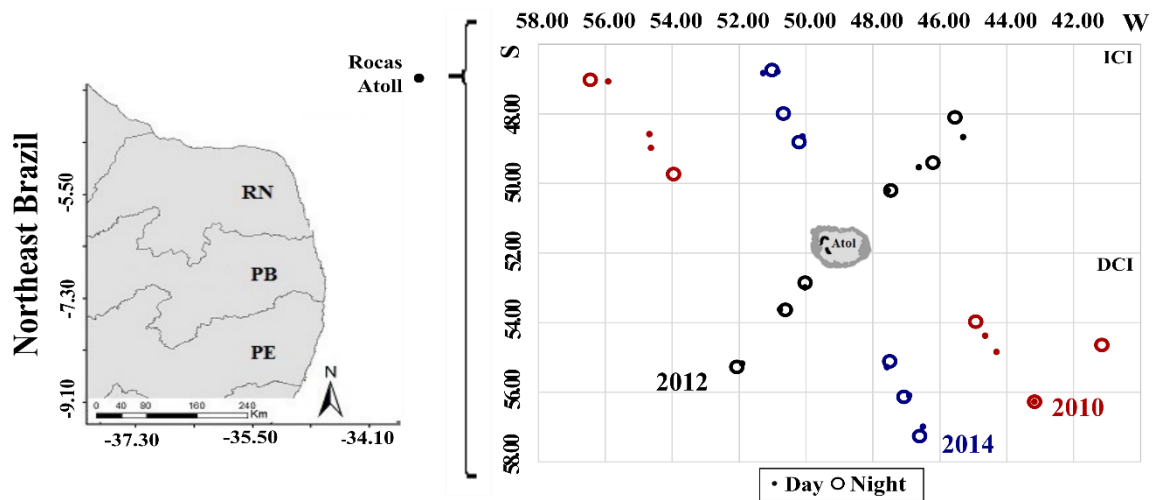


Figure 1 - Study area with the three transects at Rocas atoll (Brazil), equatorial Southwest Atlantic. DCI=Direct Current Influence; ICI- Indirect Current Influence

The sampling was performed by oblique hauls (made in "V") with a cylindrical-conical plankton net with mesh openings and mouth diameters of 64 µm and 30 cm, respectively. The hauls extended to a depth of 80% of the local depth, or, at most, up to 200 m. After the hauls, the samples were transferred to plastic bottles and immediately fixed in formaldehyde solution (4%), buffered with sodium tetraborate.

For the qualitative and quantitative analysis of the organisms, each sample was diluted according to the density of organisms. Then, 1 ml aliquote was dropped into a

"Sedgwick-Rafter" chamber and analyzed under a compound microscope and at least 300 individuals counted. Three aliquots of each sample were analyzed. The taxa identification was based on the smallest taxonomic unit possible.

Densities were calculated (org.m^{-3}) for all identified species. The community structure was described using the Whittaker diagram, which relates the relative abundance with the species richness. With them we can infer the evenness. The ANOSIM was used to test the statistical differences of species density between periods (day and night) and years (2010, 2012 and 2014). To show the difference in density between the years, a multidimensional non-metric scaling (nMDS) was used. The variation of the environmental parameters between the years was evaluated through Principal Component Analysis (PCA). An indicator value analysis (IndVal), which computes a single value for each species, was performed based on the fidelity and specificity of the species in relation to groups of sites, and statistically tests the significance of the relations by permutation (CHEW et al., 2015). The IndVal of a species has been used to express species importance as indicators in community categorizations. All the tests were made using the R language (R Core Team 2017) and the RStudio environment version 1.1.42 (RStudio Team 2016).

3 Results

A total of 76 Radiozoa Polycystine were identified, distributed in two orders, Nassellaria with 12 families and 45 species and the Spumellaria with 9 families and 31 species. All the taxa identified occurred in the year 2014, being 65.8% of these exclusive of this year. Most of the taxa (49) occurred in both periods (day and night) (Table 1).

Table 1 – Total Density and occurrence per period and year of the taxa Polycystina (Radiozoa) identified in Rocas Atoll (Brazil).

TAXONOMIC CLASSIFICATION	TOTAL DENSITY (Org.m ⁻³)	OCCURRENCE	
		PERIOD	YEAR
PHYLUM RADIOZOA			
CLASS POLYCYSTINA			
ORDER NASSELLARIA			
Family Artostrobiidae	<i>Spirocyrtis scalaris</i>	2,36	D/N 2014
Family Cannobotryidae	<i>Botryopyle dictyocephalus</i>	3,13	N 2014
Family Carpocaniidae	<i>Carpocanistrum</i> sp.	64,27	D/N ALL

Family Collozoidae	<i>Carpocanium</i> sp.	2,31	N	2014
	<i>Collosphaera macropora</i>	2,50	D/N	ALL
	<i>Collosphaera</i> sp.	1,66	N	2014
	<i>Collosphaera tuberosa</i>	0,65	D	2014
	<i>Siphonosphaera polysiphonia</i>	0,65	N	2014
	<i>Siphonosphaera</i> sp.	3,99	D/N	2012/2014
	<i>Solenosphaera</i> sp.	2,96	D/N	2014
	<i>Solenosphaera zanguebarica</i>	2,91	N	2014
	Collozoidae*	48,45	N	2014
Family Plagiacanthidae	<i>Amphiplecta</i> sp.	6,24	D/N	2014
	<i>Clathrocorys</i> sp.	11,70	D/N	2014
	<i>Enneaphormis rotula</i>	3,32	N	2014
	<i>Lampromitra</i> sp.	4,74	D/N	2014
	<i>Lophophaena buetschlii</i>	3,05	D/N	2014
	<i>Lophophaena hispida</i>	215,76	D/N	2014
	<i>Peromelissa</i> sp.	9,77	D/N	2014
	<i>Pseudocubus obeliscus</i>	16,45	D/N	ALL
	<i>Pteroscenium pinnatum</i>	1,25	D	2014
Family Pterocorythidae	<i>Lamprocyclas</i> sp.	9,98	D/N	2014
	<i>Pterocorys minythorax</i>	1,66	D/N	2014
	<i>Pterocorys zancleus</i>	1,50	D	2010/2014
Family Theoperidae	<i>Corocalyptra cervus</i>	14,77	D/N	2010/2014
	<i>Corocalyptra columba</i>	2,03	D/N	2012/2014
	<i>Corocalyptra</i> sp.	26,59	D/N	2010/2014
	<i>Cycladophora</i> sp.	77,64	D/N	ALL
	<i>Dictyophimus infabricatus</i>	3,32	N	2014
	<i>Dictyophimus</i> sp.	43,65	D/N	2014
	<i>Eucyrtidium acuminatum</i>	11,59	D/N	2014
	<i>Eucyrtidium hexastichum</i>	3,32	N	2014
	<i>Eucyrtidium</i> sp.	26,59	D/N	2010/2014
	<i>Lipmanella bombus</i>	0,70	D	2014
	<i>Litharachnium tentorium</i>	57,76	D/N	ALL
	<i>Pterocanium trilobum</i>	7,98	D/N	2012/2014
	<i>Stichopilidium kruegeri</i>	1,66	N	2014
Family Trissocyclidae	<i>Acanthodesmia viniculata</i>	47,21	D/N	2014
	<i>Amphispyris reticulata</i>	0,70	D/N	2014
	<i>Amphispyris</i> sp.	41,44	D	2014
	<i>Ceratospyris</i> sp.	3,61	N	2014
	<i>Clathrocircus stapedius</i>	4,98	N	2014
	<i>Tholospyris</i> sp.	7,69	D/N	2014
	<i>Zygocircus productus</i>	104,60	D/N	2010/2014
	<i>Zygocircus</i> sp.	64,19	D/N	ALL
ORDER SPUMELLARIA				
Family Actinommidae	<i>Acanthosphaera actinota</i>	6,68	D/N	2014
	<i>Acanthosphaera dodecastyla</i>	3,97	N	2014

	<i>Acanthosphaera pinchuda</i>	22,51	D/N	2014
	<i>Acanthosphaera</i> sp.	11,72	D/N	2014
	<i>Actinomma</i> sp.	3,24	D	2014
	<i>Centrocubus</i> sp.	1,66	N	2014
	<i>Hexacontium aristarchi</i>	1,17	N	2014/2014
	<i>Hexacontium armatum-hostile</i>	4,98	N	2014
	<i>Hexacontium</i> sp.	7,33	D/N	2014
	<i>Hexastylus phaenaxionius</i>	0,70	D	2014
	<i>Plegmosphaera</i> sp.	86,42	D/N	ALL
	<i>Spongosphaera streptacantha</i>	93,29	D/N	ALL
Family Litheliidae	<i>Discopyle</i> sp.	194,63	D/N	ALL
	<i>Larcopyle buetschlii</i>	53,19	D/N	2010/2014
	<i>Lithelius minor</i>	1,99	N	2014
	<i>Lithelius</i> spp.	3,32	D	2014
Family Pyloniidae	<i>Octopyle</i> sp.	23,02	D/N	2014
	<i>Octopyle stenozone</i>	6,64	D/N	ALL
	<i>Phorticium clevei</i>	46,44	D	2014
	<i>Phorticium</i> sp.	3,97	D/N	ALL
	<i>Pylolena</i> sp.	30,20	D/N	2014
	<i>Pylonidae</i>	6,23	D/N	ALL
	<i>Tetrapyle octacantha</i>	3,65	D/N	2014
Family Spongodiscidae	<i>Dictyocoryne profunda</i>	92,87	D/N	ALL
	<i>Dictyocoryne</i> sp.	17,98	D/N	ALL
	<i>Dictyocoryne truncatum</i>	646,69	D/N	2014
	<i>Euchitonia elegans-furcata</i>	1,39	D	2014
	<i>Spongaster tetras</i>	166,12	D/N	ALL
	<i>Spongodiscus resurgens</i>	150,45	D/N	2010/2014
	<i>Spongotrochus</i> sp.	133,23	D/N	ALL
	<i>Spongurus pylomaticus</i>	8,30	D/N	2014
TOTAL DENSITY		2807,23		

* Unidentified organisms.

The order Spumellaria, despite having lower richness, showed higher density (1217.02 org.m⁻³). Most of the families of this order presented density greater than 200 org.m⁻³. Spongodiscidae more specifically the species *Dictyocoryne truncatum* was the most representative with 646.69 org.m⁻³, and it occurred only in the year 2014 and was registered in the day and night periods. The Family Actinommidae showed the highest richness within this order (12) and 83% of them occurred only in the year 2014 (Table 1 and Figure 2).

The families of lower representativeness were Artostrobiidae, Cannobotryidae, Carpocaniidae, with less than 14 org.m⁻³, the three are part of the order Nassellaria (Table 1 and Figure 2).

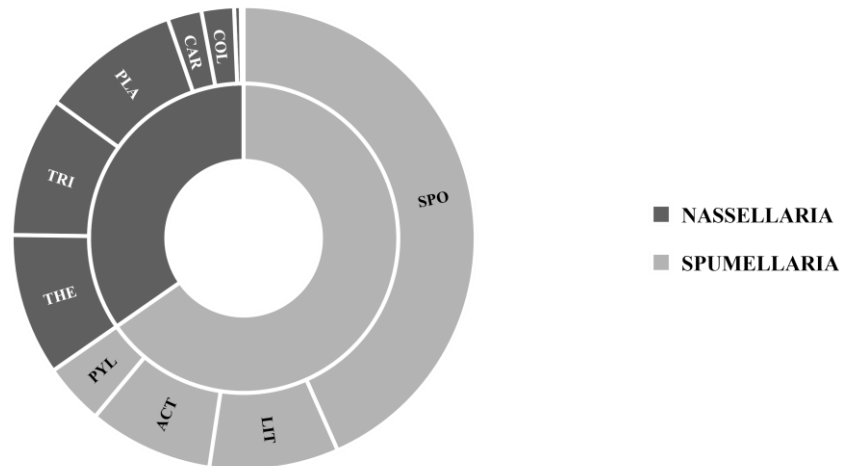


Figure 2 - Density of Polycystine (Radiozoa) by order (Nassellaria and Spumellaria) and families in the vicinity of the Rocas Atoll (Brazil). Legend families: ART – Artostrobiidae, CAN- Cannobotryidae, CAR – Carpocaniidae, COL – Collozoidae, PLA – Plagiacanthidae, PTE – Pterocorythidae, THE - Theoperidae, TRI – Trissocyclidae, ACT – Actinommmidae, LIT – Litheliidae, PYL – Pyloniidae and SPO – Spongodiscidae.

The year in which the highest total density was observed was 2014 with 1871.3 org.m⁻³, followed by 2012 (1256.1 org.m⁻³) and 2010 (841.0 org.m⁻³). In 2014 the densities were higher in the area of direct incidence of the current (1404.8 org.m⁻³) and the day period (1127.9 org.m⁻³) had higher densities than night (743.3 org.m⁻³). This year was different from what was observed in 2010 and 2012, when the densities in the area of indirect incidence and the night period were higher than those of the day, 273.3 org.m⁻³ (day); 982.7 org.m⁻³ (night), and 191.4 org.m⁻³ (day) and 649.5 org.m⁻³ (night), respectively (Figure 3).

The similarity analysis (ANOSIM) indicated significant difference in density only in relation to the year (2010; 2012; 2014) R= 0.1884, p = 0.001, but not for the period (day/night) R=-0.04862, p = 0.956.

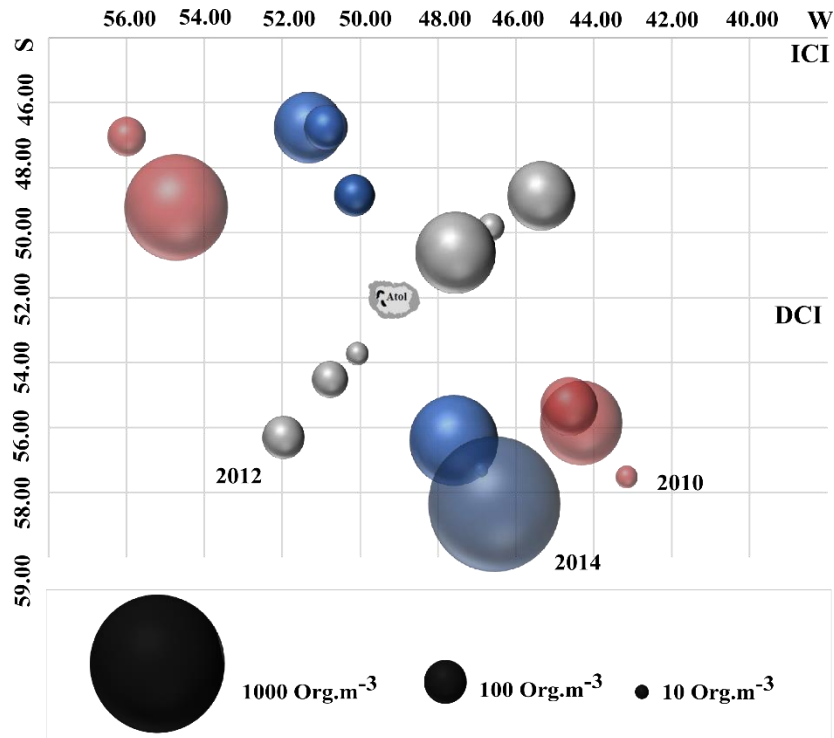


Figure 3 - Total density (org.m⁻³) per site and year of the taxa Polycystina (Radiozoa) in Rocas Atoll (Brazil).

With the analysis of the Whittaker diagram (Figure 4), the superiority of richness presented in the year 2014 is clear. It is also possible to visualize that few species were highlighted in terms of relative abundance in the three years. In 2010, *Dictyocoryne* sp., *Spongodiscus resurgens*, *Discopyle* sp. and *Zygocircus productus* were the most abundant. In 2012, outranked *Dictyocoryne* sp., *Discopyle* sp., *Carpocanistrum* sp. and *Plegmosphaera* sp.; and, in 2014 *Dictyocoryne* sp., *Lophophaena hispida*, *Spongotrochus* sp. and *Dictyocoryne profunda* were dominant. In 2014, the distribution pattern of individuals among species was intermediated concerning 2012 which was higher and 2010 which was lower. That is, the relative abundance percentages were better distributed in 2012, while 2014 had a high number of rare species, see Figure 4.

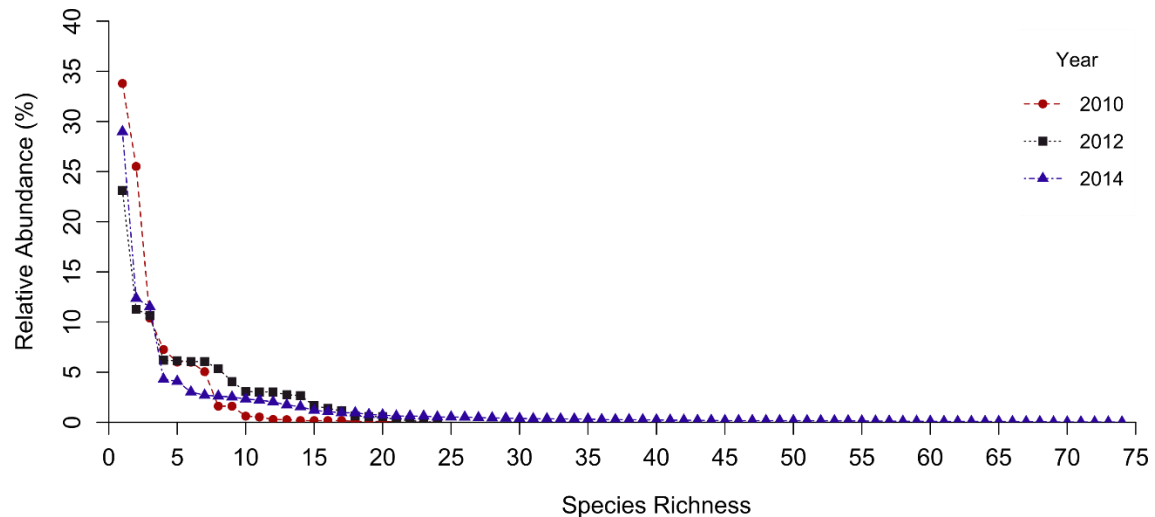


Figure 4. Whittaker diagram showing the relative abundance of the species (Y axis) of Polycystine (Radiozoa) by species richness, ordered in the abscissa in descending sequence of importance for the three years of collection in the vicinity of the Rocas Atoll (Brazil).

With the construction of the nMDS we can observe 3 groupings of points based on the density difference of the organisms in the stations between the years, the distance between the points of 2014 and 2010 is greater comparatively than any other association. This means that these were the least similar years. It can be observed that all points referring to 2012 are superimposed on those of 2010 or 2014, showing that this year is statistically like the other two years sampled. 2014 shows greater variation between their points, while in 2012 the points are closer, suggesting that the variation of Radiozoa density of the stations was lower than in the other years (Figure 5).

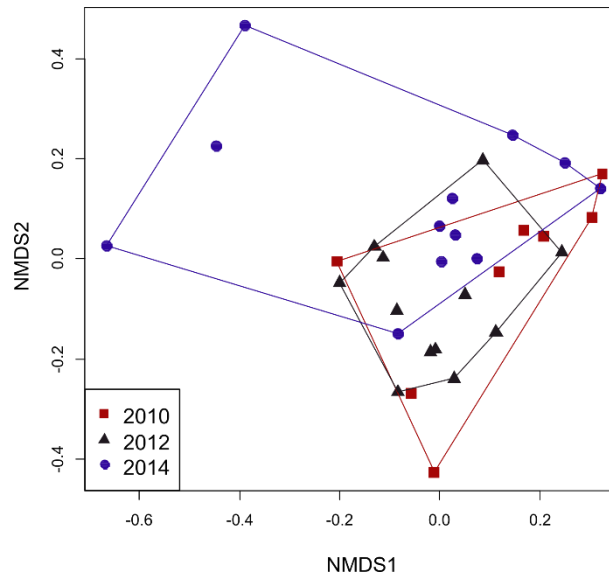


Figure 5. Non-metric multidimensional scaling (nMDS) showing groupings based on Polycystine density difference between the years in the Rocas Atoll (Brazil).

Table 3 shows the average variation of the environmental parameters between the years compared to the average density of Radiolaria Polycystine. The average density of the order was higher in the year 2014, and in this year the nutrients NO_3 , PO_4 and SiO_2 also had the largest medias, mainly SiO_2 that ranged from $1.04 \mu\text{M}$ in 2010 to $3.76 \mu\text{M}$ in 2014. The parameters temperature and fluorescence were higher in the year 2010, as well as the highest chlorophyll-a value (0.68 mg.m^{-3}) (Table 3).

Table 2. Environmental parameters (mean $\pm$ SD) and Total Radiolaria Polycystine in the vicinity of the Rocas Atoll (Brazil).

Factors	2010	2012	2014
Temperature ($^{\circ}\text{C}$)	27.87 ± 0.12	26.28 ± 0.05	26.50 ± 0.03
Fluorescence	0.59 ± 0.18	0.23 ± 0.08	0.19 ± 0.03
Salinity (PSU)	36.04 ± 0.31	36.20 ± 0.01	36.12 ± 0.24
Oxygen (ml.L^{-1})	4.82 ± 0.33	4.10 ± 0.02	3.86 ± 0.03
NO_3 (μM)	1.14 ± 0.36	1.57 ± 0.083	2.06 ± 3.73
PO_4 (μM)	0.11 ± 0.09	0.09 ± 0.05	0.12 ± 0.08
SiO_2 (μM)	1.04 ± 0.59	1.34 ± 0.63	3.76 ± 5.51
Chlorophyll <i>a</i> (mg.m^{-3})	0.68 ± 0.18	0.19 ± 0.11	0.49 ± 0.24
Radiolaria Polycystina total (org.m^{-3})	139.57	70.08	155.94

The Principal Component Analysis shows the grouping of the stations according to the discrepancy between the values of the environmental variables. We can observe therefore that, the confidence intervals of 95% in relation to the mean of the years 2012 and 2014, represented by the circles, are overlapping, suggesting that these years are statistically similar and different from 2010 (Figure 6).

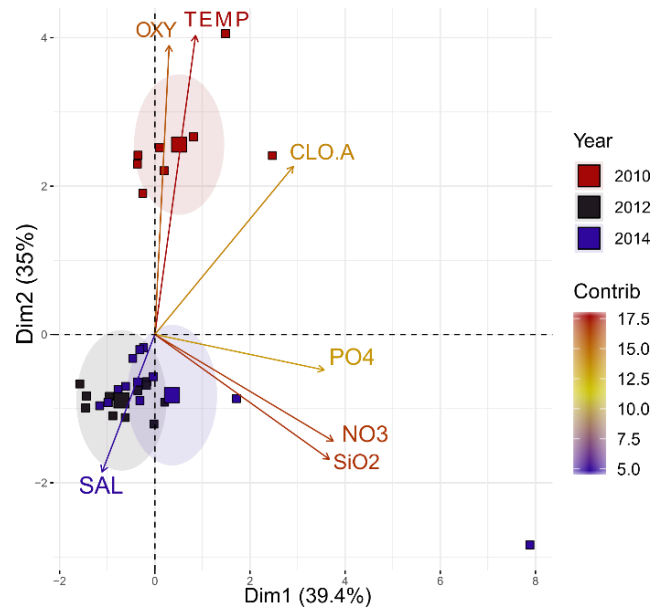


Figure 6. Principal component Analysis (PCA) of environmental parameters between the years in the Rocas Atoll (Brazil).

Main component 1 explains 35% of the variation of the data, and in this axis the parameter that best explains this variation is the temperature, which showed greater difference between the years and the highest values were observed in 2010. Other important parameters were oxygen and chlorophyll- α , with higher values in 2010 than in the other years. Salinity was slightly higher in 2012 and 2014, but its importance was low in relation to the others, that is, its value does not vary widely between the points and years studied. 2012 and 2014, are better distributed in the lower quadrant. This shows that the values of SiO_2 , NO_3 and PO_4 were higher in these years and mainly in 2014 (Figure 6).

The analysis of the indicator value (IndVal) showed that from the 76 species analyzed less than 10% showed significant indication levels. Five of these were exclusive of 2014, and the species *Lophophaena hispidia* (indval = 71.6%) was the one that presented the highest indicator value of this year and was indicative of higher levels of

nutrients. Only the species *Spongodiscus resurgens* was related to the year 2010, with 75.3% of indicative value of higher temperatures and chlorophyll-a, and no species was related to the year 2012. *Zygocircus productus* (indval = 77.5%) was simultaneously related to the years 2010 and 2014 (Table 3).

Table 3 - Individual indication value (IndVal) of Polycystine (Radiozoa) from the surroundings of the Rocas Atoll (Brazil), in the years 2010, 2012 and 2014.

Year	Taxa	A	B	Stat	p.value
2010	<i>Spongodiscus resurgens</i>	0.9076	0.6250	0.753	0.009
2014	<i>Lophophaena hispida</i>	1	0.5833	0.764	0.002
	<i>Acanthodesmia viniculata</i>	1	0.5000	0.707	0.002
	<i>Dictyophimus</i> sp.	1	0.5000	0.707	0.002
	<i>Amphispyris toxarium</i>	1	0.4167	0.645	0.017
	<i>Tholospyrus</i> sp.	1	0.3333	0.577	0.025
2010+2014	<i>Zygocircus productus</i>	1	0.6	0.775	0.011

4 Discussion

The phylum Radiozoa is very representative within the Microzooplankton and important in terms of density and abundance (SHERR; SHERR; PAFFENHÖFER, 1986). The species found in this study were collected in the vicinity of the Rocas Atoll, in the superficial and sub superficial section of the water column. According to Dennett et al. (2002), the greatest abundance and diversity of the phylum Radiozoa, which may present up to 20.000 colonies m⁻³ of the order Polycystine is concentrated in this layer (CAMACHO; FUNDACIÓN DE HISTORIA NATURAL FÉLIX DE AZARA, 2008). It is also in this layer that we find the greatest complexity in the distribution structure of the species (KLING, 1979), even though some studies also show that they may be more abundant below 200 meters deep (KRŠINIĆ, 1998; KRŠINIĆ e GRBEC, 2002). In Polycystine we find a wide range in the vertical distribution, which can occur in greater abundance from 50 to 400 m deep (BOLTOVSKOY, 1998, 1999; ZASKO; RUSANOV, 2005).

In spite of this, the observed richness (76) was low compared to other studies carried out around the world, including the ones made in nearby areas, also located in the Atlantic Oligotrophic region, such as the archipelago of São Pedro and São Paulo, where it was recorded 72 taxa close to the archipelago (COSTA; SANTANA; NEUMANN-

LEITÃO, 2018). Boltovskoy and Riedel (1980) observed 98 taxa in the Southwestern Atlantic. In the current of California, Boltovskoy and Riedel (1987) found 158 species and Kling and Boltovskoy (1995) registered 136 species. Boltovskoy (2017) in a broad review between 30° N and 30° S in the global oceans quoted 151 taxa. Welling et al. (1996) found 109 taxa in Tropical Pacific, while McMillen and Casey (1978) in a study conducted in the Gulf of Mexico and Caribbean Sea identified 92 taxa. For the Adriatic Sea, Kršinić and Kršinić (2012) recorded 78 species.

In this study, the Polycystine class was represented by two orders, Nassellaria and Spumellaria, commonly found in Radiozoa studies. Different from that observed by Vergara *et al.* (2008) and Zapata and Olivares (2005), the order that presented the greatest richness was Nassellaria. This order presents two forms of feeding, the active form (SUGIYAMA et al., 2008) and symbiotic associations, especially dinoflagellates (ZHANG et al., 2018). Therefore its distribution is related to this behavior, concentrating its greatest abundance and diversity in tropical surface waters (BOLTOVSKOY; CORREA, 2016; BOLTOVSKOY, 2017) where light availability favors the development of symbiotes. In Nassellaria, the family that presented the highest number of taxa was Theoperidae, however, the most representative family in density was Plagiacanthidae with prominence of the species *Lophophaena hispida*. This species was an indicator for the year 2014 (high nutrients), and it is characterized by having wide distribution in tropical oceanic areas (BENSON, 1966).

The order Spumellaria, on the other hand, presented higher density having high adaptive capacity in various environmental conditions (ISHITANI et al., 2012). In the North Pacific, for example, it keeps on the order of 400 cel.m⁻³ (ISHITANI; TAKAHASHI, 2007). It is a highly diverse order (DE WEVER et al., 2003), that presents specific geographic provinces in tropical regions and is distributed in vertical layers that can be from the surface to very deep regions (YAMASHITA; TAKAHASHI; FUJITANI, 2002; ISHITANI et al., 2008). Studies show that this order is subdivided into two groups based on temperature and habitat; a portion occupies superficial waters (upper surface 0–40 m and lower surface 40–200 m) at high latitudes and are submerged in low latitudes and the other occupies tropical and subtropical surface waters (ISHITANI et al., 2012). In this order, two families were highlighted, Actinommidae that presented the largest

number of species, with 83% of them occurring exclusively in 2014; and the Spongodiscidae family with the highest density within the order, where the species *Dictyocoryne truncatum* represented more than 50% of this value and occurred exclusively in the year 2014. Most species of this family occur in tropical surface waters, however, *Spongodiscus resurgens*, that presented high density in this study, resides in subtropical surface waters (KLING, 1979; BOLTOVSKOY; RIEDEL, 1987; KLING; BOLTOVSKOY, 1995).

The total density variation of Polycystine was not statistically significant in relation to the day and night periods but was in relation to the years. The individual indication value (IndVal) of Polycystine (Radiozoa) for the years showed seven indicator species, with five of them from the year 2014, one from 2010 and one from 2010 and 2014. The indicator species of 2014, *Lophophaena hispida* is widely distributed in tropical seas with preference for oceanic waters (BENSON, 1966); *Acanthodesmia viniculata* is cosmopolitan and its highest frequency was observed in a resurgence region, besides having greater affinity for oceanic waters and was not reported in high latitudes (BENSON, 1966). *Amphispyris toxarium* is tropical and may vary in temperate regions of all seas and has not been reported in polar latitudes (BENSON, 1966). In 2010, the indicator species was *Spongodiscus resurgens*, a species cited as cosmopolitan (HAECKEL, 1887; BOLTOVSKOY; RIEDEL, 1980; BOLTOVSKOY, 1998). The indicator species from the years 2010 and 2014 was the *Zygocircus productus*, it is very rare in the northern third of the Gulf of California (BENSON, 1966). This species is considered cosmopolitan, occurring in surface waters in the Atlantic and Pacific Oceans, as well as in the Mediterranean Sea; and, it was not reported at high latitudes (HAECKEL, 1887).

The year 2014 showed the highest values of density and richness, still, the distribution pattern of individuals among species was intermediated concerning 2012, which was higher and 2010, which was lower. Boltovskoy (1999) declares that there is a high degree of homogeneity of the distribution of organisms among the species close to the tropics. In general, the distribution of phylum is inversely linked to the environmental stability of temperature and salinity.

In this study, both the density, species richness and the environmental parameters analyzed showed remarkable differences between the years, mainly between 2010 and 2014. The year 2012 was intermediate to the other years, and, in relation to the variation of the environmental parameters indicated in the principal component analysis, it was more like 2014. In this analysis, the temperature was the most explanatory parameter for this temporal discrepancy, with 2010 presenting the highest values. This difference interferes directly in the pattern of distribution of species between the years, since, the influence of physical and biological factors in the phylum Radiozoa acts similarly to most zooplankton groups. For the order Polycystina, factors such as temperature, salinity and primary production are considered the most important ones (CAMACHO; FUNDACIÓN DE HISTORIA NATURAL FÉLIX DE AZARA, 2008).

Therefore, the greatest diversities observed for the group occur in medium-low latitudes, decreasing slightly towards the equator and drastically towards the poles (BOLTOVSKOY; RIEDEL, 1987; BOLTOVSKOY, 1999), achieving maximum diversity in tropical waters (CAMPBELL; HOLM, 1957), where the incidence of solar rays is more direct and the surface temperatures of seawater can overcome the 30°C.

During the study period, we observed a variation of 1.59°C in the average temperature of the surface layer of water between the years 2010 and 2012, 1.37°C between 2010 and 2014 and 0.22°C between 2012 and 2014. This variation, in the average temperature is common in the face of El Niño-South Oscillation phenomena (ENSO). In this period of time it was recorded a phenomenon of positive anomalies (El Niño) that began in 2009 and lasted until 2010, with moderate intensity, that is, the temperature variation on the surface of the Sea (TSM) is in the range of 1.5 and 1°C. After this occurrence, a phenomenon of negative anomalies (La Niña) was also moderate, with a variation of TSM higher than -1.5°C but lower than -1.0°C, which lasted until the beginning of 2012 (DAHLMAN, 2019); 2014 was a neutral year, however, preceded a strong-intensity El Niño event. Jales et al. (2015) observed, in the same area, in the year 2010, a greater rupture of the thermohaline structure. These variations were probably determinant in the population dynamics of Polycystine, since even moderate temperature variations exert an effect on abundances and composition of the microplankton community (CARON; HUTCHINS, 2013).

Other characteristics that differentiated the years and possibly influenced the variability in density and richness were the values of chlorophyll- α and dissolved oxygen that was higher in 2010 and of the nutrients NO_3 , PO_4 and SiO_2 , higher in 2014. One of the most important nutrients for radiolarians is silica. This component has structural function and is one of the factors that makes this group an important source of oceanographic, biostratigraphy and paleoenvironmental knowledge (VERGARA; MARCHANT S. M; GIGLIO, 2008). Silica is used in the formation of the skeleton of these organisms and is taken directly from the water (KOCHHANN, 2015). Therefore, it is expected that the availability of this resource is conducive to the development of this group. In this sense, the high density and diversity observed in 2014 may be directly related to the highest silica values during this year. According to Abelmann and Gowing (1997), the variability of temperature, silica and other macronutrients can dictate the variation of abundance in the Radiolaria communities, which makes them possible indicators of paleoproductivity (KOCHHANN, 2015).

Although some factors made 2010 favorable to the development of microzooplankton, attested by the high density observed this year (Basílio-Dantas et al., in press), the Radiozoa did not develop as expected; and, similar discrepancy was also observed by Costa et al. (2018) in the Archipelago of São Pedro and São Paulo. One of the factors that may have influenced this response, in addition to the lower availability of silica, was possibly the competition of these with diatomaceous by the same resources (RACKI, 1999).

The presence of Rocas Atoll, as already seen, interferes locally in the structure of currents, which consequently reflects on the availability of resources and increment of chlorophyll- α (SAMPAIO DE SOUZA et al., 2013). This region is bathed by waters of low nutrient concentration, the South Atlantic Central water (SACW) that is transported by the South Equatorial current (SEC) (STRAMMA; SCHOTT, 1999). Jales et al. (2015) observed, for the year 2010, disturbance due to turbulent processes generated by the passage of the current in the Rocas Atoll, despite not having found evidence of resurgence of nutrient-rich waters. In this year, as well as in 2014, the velocity of the SEC was maximal. This fact may have favored the greater nutritional contribution, not by the resurgence, but by the vortices formed on the opposite side of the atoll and by the entrance

of the current and greater washing of the submerged areas close to the atoll (NEUMANN-LEITÃO et al., 1999; MORATO et al., 2010; MACEDO-SOARES; CARVALHO; FREIRE, 2011). These areas are rich in nutrients from animal residues abundantly produced in the coralline reefs and surroundings (GOVE et al., 2016), generating an environment favorable to increased productivity. Radiozoa presents greater abundance in oceanic areas rich in nutrients and resurgence (BOLTOVSKOY, 2005). Furthermore, Radiozoa groups have already been described in oligotrophic waters, in associations with water masses that differed in temperature and nutrients (BJØRKLUND et al., 1998; BOLTOVSKOY, 1998, 1999). Thus, fossil debris from Radiolaria can also provide valuable clues to the ecological sceneries (SANDOVAL, 2018).

Observing the values of richness and density presented we can deduce that the Polycystine class was more successful in the year 2014. Intrinsic characteristics of this year, as high values of available nutrients contributed positively to the abundance of this class. Moreover, it is important to emphasize that some characteristics of each species (such as morphological, mechanical and physiological properties) may be more sensitive to nutrient availability than to other environmental parameters, such as salinity and/or temperature.

References

- ABELMANN, A.; GOWING, M. M. Spatial Distribution Pattern of Living Polycystine Radiolarian Taxa — Baseline Study for Paleoenvironmental Reconstructions in the Southern Ocean (Atlantic Sector). **Marine Micropaleontology**, v. 30, n. 1–3, p. 3–28, mar. 1997.
- AFANASIEVA, M. S. et al. Radiolarians in the geological record. **Paleontological Journal c/c of Paleontologicheskii Zhurnal**, v. 39, 2005.
- ANDERSON, O. R. **Radiolaria**. New York, NY: Springer New York, 1983.
- BENSON, R. N. **Recent Radiolaria from the Gulf of California**. 1966. University of Minnesota, 1966.
- BJØRKLUND, K. R. et al. Radiolarian Faunal Provinces in Surface Sediments of the Greenland, Iceland and Norwegian (GIN) Seas. **Marine Micropaleontology**, v. 35, n. 1–2, p. 105–140, nov. 1998.
- BOEHLERT, G. W.; GENIN, A. A review of the effects of seamounts on biological processes. In: KEATING, B. H. et al. (Ed.). **Seamounts Islands and Atolls**. Geophysical Monograph. [s.l: s.n.]p. 319–334.

- 471 BOLTOVSKOY, D. Classification and distribution of South Atlantic recent polycystine
472 Radiolaria. **Palaeontologia Electronica**, v. 1, n. 2, p. 116, 1998.
- 473 BOLTOVSKOY, D. Radiolaria Polycystina. In: BOLTOVSKOY, D. (Ed.). **South**
474 **Atlantic Zooplankto**. [s.l.] The Netherlands: Backhuys Publishers, 1999. p. 149–212.
- 475 BOLTOVSKOY, D. et al. First Record of a Brackish Radiolarian (Polycystina):
476 Lophophaena Rioplatensis n. Sp. in the Rio de La Plata Estuary. **Journal of Plankton**
477 **Research**, v. 25, n. 12, p. 1551–1559, 1 dez. 2003.
- 478 BOLTOVSKOY, D. **Zooplankton of the South Atlantic ocean : a taxonomic**
479 **reference work with identification guides and spatial distribution patterns**.
480 Amsterdam: ETI Bioinformatics, 2005.
- 481 BOLTOVSKOY, D. et al. World atlas of distribution of living radiolaria.
482 **Palaeontologia Electronica**, v. 13, n. 3, p. 1–230, 2010.
- 483 BOLTOVSKOY, D. Vertical Distribution Patterns of Radiolaria Polycystina (Protista)
484 in the World Ocean: Living Ranges, Isothermal Submersion and Settling Shells.
485 **Journal of Plankton Research**, v. 39, n. 2, p. 330–349, 1 mar. 2017.
- 486 BOLTOVSKOY, D.; ALDER, V. A.; ABELMANN, A. Annual Flux of Radiolaria and
487 Other Shelled Plankters in the Eastern Equatorial Atlantic at 853 m: Seasonal Variations
488 and Polycystine Species-Specific Responses. **Deep Sea Research Part I:**
489 **Oceanographic Research Papers**, v. 40, n. 9, p. 1863–1895, set. 1993.
- 490 BOLTOVSKOY, D.; CORREA, N. Biogeography of Radiolaria Polycystina (Protista)
491 in the World Ocean. **Progress in Oceanography**, v. 149, p. 82–105, dez. 2016.
- 492 BOLTOVSKOY, D.; RIEDEL, W. R. Polycystine Radiolaria from the southwestern
493 Atlantic Ocean plankton. **Rev. Esp. Micropaleontol**, v. 12, n. 9, 1980.
- 494 BOLTOVSKOY, D.; RIEDEL, W. R. Polycystine Radiolaria of the California Current
495 Region: Seasonal and Geographic Patterns. **Marine Micropaleontology**, v. 12, p. 65–
496 104, jan. 1987.
- 497 BRASIL; MMA. **Plano de Manejo para a Reserva Biológica do Atol das Rocas.**
498 **Brasília**. 1. ed. Brasília, DF: Instituto Chico Mendes de Conservação da
499 Biodiversidade, 2007. v. 1
- 500 BRAUN, A. et al. First Early Cambrian Radiolaria. **Geological Society, London,**
501 **Special Publications**, v. 286, n. 1, p. 143–149, 2007.
- 502 CAMACHO, H. H.; FUNDACIÓN DE HISTORIA NATURAL FÉLIX DE AZARA
503 (ed.). **Los invertebrados fósiles. T. 1: ...** 1. ed. Buenos Aires: FHN [u.a.], 2008.
- 504 CAMPBELL, A. S.; HOLM, E. A. Radiolaria. In: **Geological Society of America**
505 **Memoirs**. [s.l.] Geological Society of America, 1957. 67V2p. 737–744.

- CARON, D. A.; HUTCHINS, D. A. The Effects of Changing Climate on Microzooplankton Grazing and Community Structure: Drivers, Predictions and Knowledge Gaps. **Journal of Plankton Research**, v. 35, n. 2, p. 235–252, 1 mar. 2013.
- CHEW, L.-L. et al. Vertical Migration and Positioning Behavior of Copepods in a Mangrove Estuary: Interactions between Tidal, Diel Light and Lunar Cycles. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 152, p. 142–152, jan. 2015.
- CHUVASHOV, B. I. et al. Radiolarians in the Polyfacies Late Paleozoic Formations of the Fore Urals Marginal Foredeep, Stratigr. **Geol. Korrelaytsiya**, v. 7, n. 6, p. 41–55, 1999.
- COSTA, A. E. S. F. D.; SANTANA, J. R. D.; NEUMANN-LEITÃO, S. Changes in microplanktonic protists assemblages promoted by the thermocline induced stratification around an oceanic archipelago. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 90, n. 2 suppl 1, p. 2249–2266, ago. 2018.
- DAHLMAN, L. **News & Features | NOAA Climate.gov**. Disponível em: <<https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-variability-oceanic>>. Acesso em: 8 out. 2019.
- DE WEVER, P. et al. Diversity of Radiolarian Families through Time. **Bulletin de la Societe Geologique de France**, v. 174, n. 5, p. 453–469, set. 2003.
- DENNETT, M. R. Video plankton recorder reveals high abundances of colonial Radiolaria in surface waters of the central North Pacific. **Journal of Plankton Research**, v. 24, n. 8, p. 797–805, 1 ago. 2002.
- DOTY, M. S.; OGURI, M. The Island Mass Effect. **ICES Journal of Marine Science**, v. 22, n. 1, p. 33–37, 1 out. 1956.
- GENIN, A. Bio-Physical Coupling in the Formation of Zooplankton and Fish Aggregations over Abrupt Topographies. **Journal of Marine Systems**, 14 maio 2004. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0924796304001150>>. Acesso em: 7 out. 2019.
- GOES, C. A. **Análise da dispersão de larvas de lagostas no Atlântico Tropical a partir de correntes geostróficas superficiais derivadas por satélites**. 2006. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2006.
- GONZÁLEZ-QUIRÓS, R. et al. Ichthyoplankton Distribution and Plankton Production Related to the Shelf Break Front at the Avilés Canyon. **ICES Journal of Marine Science**, v. 60, n. 2, p. 198–210, 1 jan. 2003.
- GOVE, J. M. et al. Near-Island Biological Hotspots in Barren Ocean Basins. **Nature Communications**, v. 7, n. 1, p. 10581, abr. 2016.
- HAECKEL, E. H. P. A. **Report on the Radiolaria collected by H.M.S. Challenger during the years 1873-76**. [Edinburgh : Eyre & Spottiswoode, 1887.

- 543 ISHITANI, Y. et al. Vertical and Geographic Distribution of selected Radiolarian
544 Species in the North Pacific. **Micropaleontology**, v. 54, n. 1, p. 27–39, 2008.
- 545 ISHITANI, Y. et al. Two Distinct Lineages in the Radiolarian Order Spumellaria
546 Having Different Ecological Preferences. **Deep Sea Research Part II: Topical Studies**
547 **in Oceanography**, v. 61–64, p. 172–178, fev. 2012.
- 548 ISHITANI, Y.; TAKAHASHI, K. The Vertical Distribution of Radiolaria in the Waters
549 Surrounding Japan. **Marine Micropaleontology**, v. 65, n. 3–4, p. 113–136, dez. 2007.
- 550 ITAKI, T.; BJORKLUND, K. R. Conjoined Radiolarian Skeletons (Actinommidae)
551 from the Japan Sea Sediments. **Micropaleontology**, v. 53, n. 5, p. 371–389, 1 set. 2007.
- 552 JALES, M. C. et al. Phytoplankton biomass dynamics and environmental variables
553 around the Rocas Atoll Biological Reserve, South Atlantic. **Brazilian Journal of**
554 **Oceanography**, v. 63, n. 4, p. 443–454, dez. 2015.
- 555 KIKUCHI, R. K. P. Atol das Rocas, Litoral do Nordeste do Brasil - Único atol do
556 Atlântico Sul Equatorial Ocidental. In: SCHOBENHAUS, C. et al. (Ed.). **Sítios**
557 **Geológicos e Paleontológicos do Brasil**. 1. ed. Brasília: DNPM/CPRM - Comissão
558 Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP), 2002. 1p. 379–390.
- 559 KLING, S. A. Vertical Distribution of Polycystine Radiolarians in the Central North
560 Pacific. **Marine Micropaleontology**, v. 4, p. 295–318, jan. 1979.
- 561 KLING, S. A.; BOLTOVSKOY, D. Radiolarian Vertical Distribution Patterns across
562 the Southern California Current. **Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research**
563 **Papers**, v. 42, n. 2, p. 191–231, fev. 1995.
- 564 KOCHHANN, K. G. D. Radiolários: estado do conhecimento e aplicações às
565 geociências. **Terrae Didactica**, v. 7, n. 1, p. 18, 29 jun. 2015.
- 566 KRŠINIĆ, F. Vertical Distribution of Protozoan and Microcopepod Communities in the
567 South Adriatic Pit. **Journal of Plankton Research**, v. 20, n. 6, p. 1033–1060, 1998.
- 568 KRŠINIĆ, F.; GRBEC, B. Some distributional characteristics of small zooplankton at
569 two stations in the Otranto Strait (Eastern Mediterranean). **Hydrobiologia**, v. 482, n.
570 1/3, p. 119–136, 2002.
- 571 KRŠINIĆ, F.; KRŠINIĆ, A. Radiolarians in the Adriatic Sea plankton (Eastern
572 Mediterranean). **Acta Adriatica : International journal of Marine Sciences**, v. 53, n.
573 2, p. 189–211, 2012.
- 574 LAZARUS, D. et al. An evaluated list of Cenozoic-Recent radiolarian species names
575 (Polycystinea), based on those used in the DSDP, ODP and IODP deep-sea drilling
576 programs. **Zootaxa**, v. 3999, n. 3, p. 301, 11 ago. 2015.
- 577 LONGHURST, A. R.; PAULY, D. **Ecologia de oceanos tropicais**. 1. ed. [s.l.: s.n.]
- 578 MACEDO-SOARES, L. C. P.; CARVALHO, M.; FREIRE, A. S. Variabilidade
579 temporal e espacial da temperatura superficial do mar e da clorofila-a no entorno do

- 580 Arquipelago São Pedro e São Paulo e seus efeitos na comunidade ictioplanctônica. In:
581 Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, **Anais...** In: XV. 2011.
- 582 MCMILLEN, K. J.; CASEY, R. E. Distribution of Living Polycystine Radiolarians in
583 the Gulf of Mexico and Caribbean Sea, and Comparison with the Sedimentary Record.
584 **Marine Micropaleontology**, v. 3, n. 2, p. 121–145, jun. 1978.
- 585 MEDEIROS, C. et al. Hydrography and phytoplankton biomass and abundance of
586 North-East Brazilian waters. **Archive of Fishery and Marine Research**, v. 47, n. 2–3,
587 p. 133–151, 1999.
- 588 MORATO, T. et al. Seamounts Are Hotspots of Pelagic Biodiversity in the Open
589 Ocean. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v. 107, n. 21, p. 9707–
590 9711, 25 maio 2010.
- 591 MUNK, P. et al. Larval and Small Juvenile Cod *Gadus Morhua* Concentrated in the
592 Highly Productive Areas of a Shelf Break Front. **Marine Ecology Progress Series**, v.
593 125, p. 21–30, 1995.
- 594 NAZAROV, B. B.; PETRUSHEVSKAYA, M. G. Class Radiolaria (Radiolarians). In:
595 **Manual on Micropaleontology**. [s.l.: s.n.]p. 111–158.
- 596 NEUMANN-LEITÃO, S. et al. Mesozooplankton biomass and diversity in coastal and
597 oceanic waters off North-Eastern Brazil. **Archive of fishery and marine research**, v.
598 47, n. 2–3, p. 153–165, 1999.
- 599 PINTO, N. C. T.; MAFALDA, P.; SANTOS, A. T. Caracterização do Zooplâncton da
600 Reserva Biológica do Atol das Rocas, na Campanha de Março-1991 (Verão). **Tropical**
601 **Oceanography**, v. 25, n. 1, 30 jun. 1997.
- 602 RACKI, G. Silica-Secreting Biota and Mass Extinctions: Survival Patterns and
603 Processes. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 154, n. 1–2, p.
604 107–132, out. 1999.
- 605 ROGERS, A. D. The Biology of Seamounts. In: **Advances in Marine Biology**. [s.l.]
606 Elsevier, 1994. 30p. 305–350.
- 607 SAMPAIO DE SOUZA, C. et al. Chlorophyll a and Nutrient Distribution around
608 Seamounts and Islands of the Tropical South-Western Atlantic. **Marine and**
609 **Freshwater Research**, v. 64, n. 2, p. 168, 2013.
- 610 SANDIN, M. M. et al. Time Calibrated Morpho-Molecular Classification of Nassellaria
611 (Radiolaria). **Protist**, v. 170, n. 2, p. 187–208, abr. 2019.
- 612 SANDOVAL, M. I. Miocene to Recent Radiolarians from Southern Pacific Coast of
613 Costa Rica. **Revista Geológica de América Central**, v. 58, 17 abr. 2018. Disponível
614 em: <<https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/geologica/article/view/32846>>. Acesso em: 8
615 out. 2019.

- 616 SHERR, E. B.; SHERR, E. B.; PAFFENHÖFER, G.-A. Phagotrophic protozoa as food
617 for metazoans: a «missing» trophic link in marine pelagic food webs? **Marine**
618 **Microbial Food webs**, v. 1, n. 2, p. 61–80, 1986.
- 619 SIOKOU-FRANGOU, I. et al. Plankton in the Open Mediterranean Sea: A Review.
620 **Biogeosciences**, v. 7, n. 5, p. 1543–1586, 18 maio 2010.
- 621 SOARES, M. de O.; LEMOS, V. B.; KIKUCHI, R. K. P. de. Atol das Rocas, Atlântico
622 Sul Equatorial: considerações sobre a classificação do recife biogênico. **Revista**
623 **Brasileira de Geociências**, v. 39, n. 2, p. 238–243, 1 jun. 2009.
- 624 STRAMMA, L.; SCHOTT, F. The mean flow field of the tropical Atlantic Ocean.
625 **Deep-Sea Research II**, v. 49, p. 279–303, 1999.
- 626 STRICKLAND, J. D. H.; PARSONS, T. R. **A Practical Handbook of Seawater**
627 **Analysis**. 2nd edition ed. [s.l.] Fisheries Research Board of Canada, 1972.
- 628 SUGIYAMA, K. et al. Pseudopodial Features and Feeding Behavior of Living
629 Nassellarians Eucyrtidium Hexagonatum Haeckel, Pterocorys Zancleus (Müller) and
630 Dictyocodon Prometheus Haeckel. **Paleontological Research**, v. 12, n. 3, p. 209–222,
631 set. 2008.
- 632 SUZUKI, N.; NOT, F. Biology and Ecology of Radiolaria. In: OHTSUKA, S. et al.
633 (Ed.). **Marine Protists**. Tokyo: Springer Japan, 2015. p. 179–222.
- 634 SUZUKI, N.; OBA, M. Oldest Fossil Records of Marine Protists and the Geologic
635 History Toward the Establishment of the Modern-Type Marine Protist World. In:
636 OHTSUKA, S. et al. (Ed.). **Marine Protists**. Tokyo: Springer Japan, 2015. p. 359–394.
- 637 SWANBERG, N. R.; CARON, D. A. Patterns of Sarcodine Feeding in Epipelagic
638 Oceanic Plankton. **Journal of Plankton Research**, v. 13, n. 2, p. 287–312, 1991.
- 639 VERGARA, O.; MARCHANT S. M, M.; GIGLIO, S. Radiolarios Polycystina
640 (Protozoa: Nassellaria y Spumellaria) Sedimentados En La Zona Centro-Sur de Chile
641 (36°- 43° S). **Gayana (Concepción)**, v. 72, n. 1, jun. 2008.
- 642 WELLING, L. A. et al. Distribution of Polycystine Radiolaria and Their Relation to the
643 Physical Environment during the 1992 El Niño and Following Cold Event. **Deep Sea**
644 **Research Part II: Topical Studies in Oceanography**, v. 43, n. 4–6, p. 1413–1434, jan.
645 1996.
- 646 WEVER, P. D.; FRANCE, S. G. de (ed.). **Radiolarians in the sedimentary record**.
647 Amsterdam: Gordon and Breach Science Publ, 2001.
- 648 WORMS EDITORIAL BOARD. **World Register of Marine Species**. Disponível em:
649 <<http://www.marinespecies.org>>. Acesso em: 8 out. 2019.
- 650 YAMASHITA, H.; TAKAHASHI, K.; FUJITANI, N. Zonal and Vertical Distribution
651 of Radiolarians in the Western and Central Equatorial Pacific in January 1999. **Deep**
652 **Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography**, v. 49, n. 13–14, p. 2823–
653 2862, jan. 2002.

- 654 ZAPATA, J.; OLIVARES, J. RADIOLARIOS (PROTOZOA, ACTINOPODA)
 655 SEDIMENTADOS EN EL PUERTO DE CALDERA (27°04' S; 70°51' W), CHILE.
 656 **Gayana (Concepción)**, v. 69, n. 1, 2005. Disponível em:
 657 <[http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-65382005000100009&lng=en&nrm=iso&tlng=en)
 658 [65382005000100009&lng=en&nrm=iso&tlng=en](http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-65382005000100009&lng=en&nrm=iso&tlng=en)>. Acesso em: 8 out. 2019.
- 659 ZASKO, D. N.; RUSANOV, I. I. Vertical Distribution of Radiolarians and Their Role
 660 in Epipelagic Communities of the East Pacific Rise and the Gulf of California. **Biology**
 661 **Bulletin**, v. 32, n. 3, p. 279–287, maio 2005.
- 662 ZHANG, L. et al. Modern Shallow Water Radiolarians with Photosynthetic Microbiota
 663 in the Western North Pacific. **Marine Micropaleontology**, v. 139, p. 1–27, mar. 2018.

6 ARTIGO 3

INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS AMBIENTAIS NA DISTRIBUIÇÃO DE DINOFLAGELLATA - ATOL DAS ROCAS, BRASIL

Destaques

- Esse trabalho a primeira contribuição sobre a diversidade de Dinoflagellata para o Atol das Rocas, único no Atlântico tropical ocidental
- Variação de fatores relacionas aos ENOS (El Niño – la Niña) foram atuantes na dinâmica temporal da comunidade de Dinoflagellata, fazendo destes potenciais indicadores de variações climáticas globais
- A ordem Gonyaulacales foi a mais representativa, com alta diversidade
- A presença de grande número de espécies mixotróficas favorecem o sucesso desse grupo no Atol das Rocas

Influência dos parâmetros ambientais na distribuição de Dinoflagellata - Atol das Rocas, Brasil

ARTICLE INFO

Keywords:

Dinophyceae
Oceano Atlântico
Variação temporal
Diversidade
2010 MSC: 86-00

Resumo

Dinoflagelados dominam regiões tropicais e podem se beneficiar de estruturas topográficas distintas. Este trabalho objetivou investigar a dinâmica espaço-temporal dos dinoflagelados no Atol das Rocas. Foram realizadas coletas nos períodos diurno e noturno com arrasto oblíquo (rede 64 μm) nos anos de 2010, 2012 e 2014. Foram identificados 90 taxa. A ordem Gonyaulacales apresentou a maior riqueza com 34 espécies do gênero *Tripes* e 6 do *Ceratium*. Verificou-se diferenças significativas entre anos e períodos. As maiores riqueza, equitabilidade e diversidade foram em 2014 e em 2010 a maior densidade, destacando-se Ceratiaceae. A equitabilidade da noite foi menor e a riqueza maior (79 noite/ 69 dia). 14 espécies foram associadas a 2010, 3 para 2014, nenhuma para 2012, 2 para dia e 5 para noite. Verificou-se variação significativa dos parâmetros ambientais por ano, exceto para nitrato e fosfato. Concluímos que a variação temporal apresentada pelos Dinoflagellata pode está relacionada as mudanças climáticas, o que os torna potenciais indicadores destes eventos.

1. Introdução

Os Dinoflagellata representam um grupo de grande destaque ecológico no ambiente marinho (Sherr and Sherr, 2007), esse grupo de protozoários planctônicos é caracterizado por possuir célula com dois flagelos diferentes em algum estágio do seu ciclo de vida e/ou um tipo especial de núcleo (dinocarion). É composto por organismos com dimensões que variam entre 5 e 100 μm de diâmetro, ainda que alguns poucos possam ultrapassar 2 mm (Souza et al., 2015). Podem ocorrer em formas unicelulares, multicelulares e coloniais, com células envoltas por placas celulósicas (tecados ou couraçados) ou sem placas (atecados) (Sousa et al., 1999; Foissner and Hawksworth, 2009).

Podem ser encontrados em alta diversidade nas regiões tropicais, principalmente as espécies do gênero *Ceratium* (Taylor et al., 2007). Em Dinoflagellata o termo morfoespécie é comumente utilizado, isso porque várias espécies diferentes possuem morfologia externa semelhante e indivíduos da mesma espécie apresentam diversas variações morfológicas. Taxonomicamente, essa alta plasticidade genotípica a nível genérico e fenotípica a níveis específicos resultou em uma grande quantidade de sinonímias, que quando desconsideradas, dificulta a identificação correta dos indivíduos (Dolan et al., 2006; Taylor et al., 2007). Análises moleculares mostram que um grande número de dinoflagelados simbiote e pertencente ao picoplâncton ainda não foram registradas (Vargas et al., 2015). Diante disto, o número de espécies descritas está em constante modificação, estima-se, portanto, a existência de cerca de 4.500 espécies, entre vivas e fósseis, agrupadas em mais de 550 gêneros, (Saldarriaga and Taylor, 2017). Das 2400 espécies vivas, mais de 80% são marinhas, com domínio das ordens Peridiniales e Gonyaulacales (Taylor et al., 2007; Gómez, 2012).

Uma das características que condiciona a distribuição e sobrevivência dos Dinoflagellata é o uso de diferentes estratégias tróficas que os capacitam a modificar o seu papel ambiental de acordo com a disponibilidade de alimento. Esse grupo engloba uma ampla variedade de espécies e apresentam modos nutricionais diversos, além da heterotrofia e fotoautotrofia, existem espécies que apresentam comportamentos de endossimbiose, fagotrofia, "cleptofototropias", mixotrofia e parasitismo (Taylor, 1987; Gaines and Elbrächter, 1987; Schnepf and Elbrächter, 1992; Taylor et al., 2007; Saldarriaga and Taylor, 2017). Destas, as espécies que realizam a fotossíntese representam cerca da metade dos dinoflagelados (Gómez, 2012), elas são responsáveis por uma enorme produtividade primária, atuando como suporte na base

ORCID(s):

da cadeia alimentar nos oceanos. Além disso, muitas espécies, fotossintéticas ou não, são predadoras importantes do bacterioplâncton, fitoplâncton, protozooplâncton e microcrustáceos (Yang et al., 2004). Outra característica marcante é a capacidade de realizar migrações diurnas entre as camadas d'água dentro da zona eufótica; essa habilidade permite que esses organismos regulem a profundidade em que estão, com o intuito de maximizar a sua capacidade fotossintética (Souza et al., 2015). Neste sentido, este grupo se torna um dos principais componentes na ciclagem de energia da alça microbiana, transferido o que, possivelmente, seria perdido em fonte nutricional nas teias tróficas planctônicas marinhas (Falkowski et al., 2008; Saldarriaga and Taylor, 2017).

A distribuição dos Dinoflagellata está ligada intimamente às variações de temperatura da água (Taylor et al., 2007) e pode ser denominada de cosmopolitismo latitudinal modificado onde as mesmas morfoespécies ocorrem em zonas climáticas similares em ambos os hemisférios (Taylor, 2004). Muitos trabalhos mostram que além das diferentes estratégias tróficas e variações da temperatura, as florações, composição e sucessão de espécies de Dinoflagellata ocorrem sobre a influência direta de fatores ambientais, como a incidência luminosa, salinidade e principalmente concentrações de nitrogênio (N) e de fósforo (P) (Song, 2010; Abdenadher et al., 2012; Somsap et al., 2015). Em oceanos oligotróficos, esse conjunto de fatores se torna mais evidente no entorno de estruturas topográficas diferenciadas, como a plataforma continental, montes submarinos, ilhas e atóis, isso ocorre porque essas estruturas atuam como obstáculo para a passagem de ventos e correntes, gerando um fluxo de recirculação e ressurgência, que leva ao abastecimento nutricional de regiões iluminadas, elevando a produtividade local (Fonteneau, 1991; Neumann-Leitão et al., 1999; González-Quirós et al., 2003; Lessa et al., 1999; Morato et al., 2010).

No Atlântico Sul equatorial encontra-se uma área de grande importância dentro deste contexto, o Atol das Rocas, atualmente formado por uma camada de calcário biogênico (Kikuchi, 2002), compondo uma das partes expostas das montanhas subaquáticas da cadeia de Fernando de Noronha (Gorini and Bryan, 1974; Villaza and Jensen, 2006; Soares et al., 2009). Estudos recentes vem mostrando que o Atol é uma área rica em processos de microescala hidrográfica, ocorrendo zonas de turbulência que promovem a mistura vertical da camada d'água (Cordeiro et al., 2013; Tchamabi et al., 2017; Jales, 2015), que mesmo não atingindo a superfície do mar, influencia a estrutura da rede alimentar, favorecendo os pulsos de nutrientes e gerando aumento da produtividade local (Neumann-Leitão et al., 1999; Becker, 2001; Tchamabi et al., 2017).

Dessa forma, o Atol das Rocas, além de ser o único no Atlântico Sul, representa uma área em potencial para o desenvolvimento das comunidades de Dinoflagellata e de outros grupos microscópicos que são a base da teia alimentar marinha, o que o torna um importante foco para estudos ecológicos. Para tanto, o presente trabalho objetivou investigar a influência dos parâmetros ambientais na dinâmica espacial e temporal dos dinoflagelados assim como a sua diversidade no entorno do Atol das Rocas, Nordeste do Brasil.

2. Material e Métodos

2.1. Área de estudo

O Atol das Rocas, o único atol do oceano Atlântico, é uma área de importância geológica, paleontológica e ecológica, oferecendo suporte e proteção para uma incontável variedade de seres vivos (Kikuchi, 2002), situa-se a aproximadamente 148 km a oeste do Arquipélago de Fernando de Noronha (3°52' S; 33°49' W) (Figura 1). Está localizado no topo de uma cadeia subaquática de montanhas com base à 4000 m de profundidade. O Atol tem formato elíptico, aproximadamente circular, e é coberto por recife algálico ocupando 5.5 km², com abertura conectando sua lagoa central ao mar aberto: seu eixo mais comprido (E-W) mede aproximadamente 3.7 km e o mais curto (N-S) 2.5 km (Soares et al., 2009). Um clima equatorial quente prevalece na área de estudo, com ventos alísios mais frios vindos do sudoeste. A temperatura média anual varia entre 28 a 32 °C (Pinto et al., 1997) e a temperatura média da superfície de água é

27.7 °C. A estação chuvosa acontece entre Março e Julho, com precipitação média mensal de 860 mm (Soares et al., 2009). A umidade relativa do ar é considerada elevada durante todo o ano (normalmente acima de 80%).

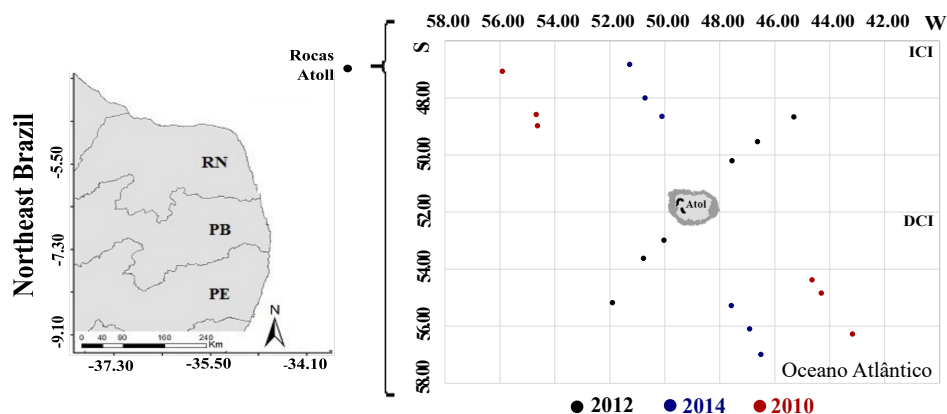
A área de estudo está localizada dentro da Reserva do Atol das Rocas, a primeira área de proteção ambiental marinha criada por lei federal, em 1977 (BRASIL, 2007), atualmente gerenciada pelo Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA)

As águas que circundam o Atol das Rocas são caracterizadas pela baixa concentração nutricional, com fluorescência raramente excedendo 50 mg³ (Medeiros et al., 1999). A corrente sul equatorial (CSE), que possui velocidade média de 30 cm s⁻¹, influencia o Atol e apresenta um sentido constante Leste-Oeste (Goes, 2006). Entre junho e setembro, período de inverno no hemisfério sul, ventos de sudeste são mais frequentes e variam em velocidade entre 11 e 15 m s⁻¹ (Kikuchi, 2002).

2.2. Dados ambientais

Três campanhas oceanográficas a bordo do Navio oceanográfico Cruzeiro do Sul, da marinha do Brasil foram realizadas no entorno do Atol das Rocas (Julho e Agosto de 2010, Setembro e Outubro de 2012 e Julho a Setembro de 2014), no período diurno e noturno, totalizando 32 amostras. Dois transectos, com três pontos cada, foram amostrados por ano, um na incidência direta da corrente (DCI) e outro na incidência indireta da corrente (ICI), ambos com coletas noturnas e diurnas (Figura 1).

Figura 1: Área de estudo com os três transectos no Atol das Rocas (Brasil), equatorial Atlântico tropical ocidental. DCI=Influência direta da corrente; ICI- Influência indireta da corrente



Com o auxílio de um perfilador CTD foram obtidos dados da concentração de oxigênio dissolvido (mg L⁻¹), salinidade (PSU), fluorescência e da temperatura (°C). Para análise dos nutrientes dissolvidos — fosfato (PO₄³⁻), nitrato (NO₃⁻), silicato (SiO₂⁻) e clorofila (mg m⁻³) — as amostras de água coletadas foram armazenadas em garrafas de 300 mL e imediatamente congeladas. Posteriormente foram transportadas para o laboratório de oceanografia química do departamento de oceanografia da UFPE, onde foram analisadas de acordo com a metodologia descrita por Strickland and Parsons (1972) e Grasshoff and Ehrhardt (1983).

2.3. Dinoflagellata

A amostragem biológica foi realizada através de arrastos oblíquos (em forma de "V") utilizando rede de plâncton com abertura de malha de 64 µm e 30 cm de abertura de boca. Os arrastos se estenderam até 80% da profundidade local, ou até 200 m, o que fosse menor. Após a coleta, as amostras foram transferidas para garrafas plásticas e fixadas com solução tamponada de formaldeído a 4%.

Para as análises quali-quantitativas dos organismos, cada amostra foi diluída de acordo com a densidade dos organismos. Uma alíquota de 1 mL foi separada em câmara de "Sedgwick-Rafter" para posterior análise em microscópio óptico. Foram analisadas três alíquotas como esta por cada amostra. A identificação foi realizada até a menor categoria taxonômica possível.

2.4. Análise dos dados

A densidade (ind m^{-3}) foi calculada para todas as espécies identificadas. Frequência de ocorrência (**FO**) (**VF** - Muito frequente ($\geq 70\%$); **F** - frequente (7030%); **IF** - pouco frequente (3010%); e **S** - esporádico ($\leq 10\%$)). Abundância relativa (**AR**) (**D** - Dominante ($\geq 70\%$); **A** - Abundante (7040%); **LA** - Pouco abundante (4010%); **R** - Raro ($\leq 10\%$)). A estrutura da comunidade foi descrita usando diagramas de Whittaker (ou curvas de k-abundância), que relaciona a abundância relativa com a riqueza de espécies, a partir dos quais é possível inferir a homogeneidade.

A análise de similaridade (ANOSIM) foi utilizada para testar as diferenças estatísticas da densidade de espécies entre o período (Dia ou Noite) e os anos de coleta (2010, 2012 e 2014). Essas análises foram graficamente representadas com o uso de escalonamento multi dimensional não métrico (nMDS). A análise de valor de indicação (IndVal), que computa um valor para cada espécie e é realizado com base na fidelidade e especificidade das espécies com relação aos grupos (Ano, Período) (Chew et al., 2015). Esta análise tem sido utilizada para identificar e mostrar a importância de cada espécie como indicadora e caracterizadora de comunidades. A variação dos dados ambientais foi analisada com o auxílio do teste de Kruskal-Wallis, e visualizadas com boxplots.

Uma análise de correspondência canônica (CCA) foi realizada a fim de verificar a relação entre variáveis ambientais (temperatura, fluorescência, oxigênio dissolvido e salinidade), fatores espaço-temporais (anos, direção da corrente e período), nutrientes (fosfato (PO_4^{3-}), nitrato (NO_3^-), silicato (SiO_2^-) e clorofila (mg m^{-3})) fatores espaço-temporais (anos, direção da corrente e período), e os padrões apresentados pela comunidade de Dinoflagellata. A comunidade foi representada apenas pelas espécies com mais de 50% de FO (17 espécies). O fator de inflação da variância (VIF) foi calculado com o objetivo de identificar aquelas variáveis redundantes. O limite utilizado para o VIF foi de 10. Todas as variáveis consideradas redundantes foram excluídas da análise final.

Todas as análises aqui descritas foram realizadas com a linguagem R (R Core Team 2019), utilizando o software RStudio 1.2.1335 (RStudio Team 2019)

3. Resultados

Foi identificado um total de 90 taxa, distribuídos em seis Ordens: Gonyaulacales, Dinophysiales, Prorocentrales, Peridiniales, Pyrocystales e Noctilucales. Gonyaulacales foi a ordem que apresentou maior riqueza (43 espécies), constituída por três famílias, destas, Ceratiaceae foi a mais representativa, com 34 espécies do gênero *Tripes* e 6 espécies do gênero *Ceratium*. Dinophysiales foi a segunda ordem com maior riqueza, com Dinophysiaceae apresentando 12 espécies distribuídas em três gêneros (*Ornithocercus*, *Dinophysis* e *Histioneis*) (Tabela 1).

O ano no qual foi observada a maior riqueza de espécies foi 2014 (69), seguido por 2010 (66) e 2012 (44) (Tabela 1). Foi no ano de 2010 onde ocorreu o maior número de espécies consideradas muito frequentes, 12 de Ceratiaceae, uma de Ceratocoryaceae e duas de Dinophysiaceae. Em 2014, oito espécies ocorreram em mais de 70% das estações coletadas, sendo, cinco de Ceratiaceae, uma de Ceratocoryaceae, duas de Dinophysiaceae; e em 2012 apenas quatro espécies, três de Ceratiaceae e uma de Protoperidiniaceae. Não foi observada dominância de nenhuma espécie nos anos estudados, pode-se registrar apenas que a maioria foi classificada como rara (Tabela 1).

O ano de 2010 foi o que apresentou maior densidade total ($19\,125.17\text{ ind m}^{-3}$) (Tabela 1). As espécies que se destacaram com densidades médias superiores a 100 ind m^{-3} foram, *Tripes declinatus* (388.75), *Tripes pentagonus*

(219.92 ind m⁻³), *Tripes contortus* (181.27 ind m⁻³) *Ceratium tripes* var. *tripes* (178.05 ind m⁻³), *Ceratium horridum* var. *buceros* (137.14 ind m⁻³), *Ceratium* sp. (110.28 ind m⁻³) e *Tripes candelabrum* (109.24 ind m⁻³) pertencentes a Ceratiaceae e *Ornithocercus quadratus* (112.59 ind m⁻³) pertencente a Dinophysiaceae, reforçando a importância destas famílias. Em 2012, apenas *Tripes fusus* (50 ind m⁻³) apresentou densidades médias superiores a 14 ind m⁻³, já em 2014 a densidade média mais alta foi de 39.69 ind m⁻³ da espécie *Tripes macroceros*.

O período que apresentou a maior densidade total foi a noite com 17 672.44 ind m⁻³, enquanto no dia a densidade total foi de 6669.19 ind m⁻³.

Tabela 1: Densidade média (ind m⁻³) (**DM**) dos taxa identificados no atol das Rocas por ano. Frequência de ocorrência (**FO**) (**VF** - Muito frequente ($\geq 70\%$); **F** - frequente (7030%); **IF** - pouco frequente (3010%); e **S** - esporádico ($\leq 10\%$)). Abundância relativa (**AR**) (**D** - Dominante ($\geq 70\%$); **A** - Abundante (7040%); **LA** - Pouco abundante (4010%); **R** - Raro ($\leq 10\%$)). NO - sem ocorrência. *Nomenclatura baseada no WoRMS Editorial Board (2019)

TÁXONS*	2010			2012			2014		
	DM	FO	AR	DM	FO	AR	DM	FO	AR
GONYAULACALES									
Ceratiaceae									
<i>Tripes angustocornis</i>	13	F	R	0	NO	NO	0.61	IF	R
<i>Tripes arietinus</i>	2.81	IF	R	0	NO	NO	0.97	IF	R
<i>Tripes azoricus</i>	0	NO	NO	0	NO	NO	0.82	IF	R
<i>Tripes brevis</i>	43.13	F	R	0	NO	NO	0.22	IF	R
<i>Tripes candelabrum</i>	109.24	VF	R	0.54	IF	R	4.49	F	R
<i>Tripes carriensis</i>	3.19	IF	R	0	NO	NO	11.19	F	R
<i>Tripes contortus</i>	181.27	VF	R	1.29	F	R	16.94	VF	R
<i>Tripes contrarius</i>	0	NO	NO	0	NO	NO	1.91	F	R
<i>Tripes declinatus</i>	388.75	VF	LA	4.34	F	R	3.36	F	R
<i>Tripes eucarauatus</i>	0	NO	NO	1.1	IF	R	4.05	IF	R
<i>Tripes fusus</i>	76.39	VF	R	55.62	VF	LA	12.17	F	R
<i>Tripes gibberus</i>	1.07	IF	R	0.49	IF	R	5.08	IF	R
<i>Tripes gibberus</i> var. <i>dispar</i>	21.97	VF	R	0	NO	NO	3.88	F	R
<i>Tripes gravidus</i> var. <i>praeolongum</i>	0	NO	NO	0	NO	NO	0.05	S	R
<i>Tripes gravidus</i>	0	NO	NO	0.68	S	R	0.06	S	R
<i>Tripes gallicus</i>	4.75	IF	R	0	NO	NO	23.82	F	R
<i>Tripes inflatus</i>	0	NO	NO	0	NO	NO	0.2	IF	R
<i>Tripes karstenii</i>	0	F	R	0.68	NO	NO	0	IF	R
<i>Tripes kofoidii</i>	12.18	NO	NO	0	S	R	0.54	NO	NO
<i>Tripes lineatus</i>	0.46	IF	R	0	NO	NO	0	NO	NO
<i>Tripes longissimus</i>	0.61	IF	R	0	NO	NO	0.42	IF	R
<i>Tripes lunula</i>	0	NO	NO	0	NO	NO	0.06	S	R

Table 1 - Continued from previous page

TÁXONS*	2010			2012			2014		
	DM	FO	AR	DM	FO	AR	DM	FO	AR
<i>Tripes macroceros</i>	16.77	VF	R	13.82	VF	R	33.69	F	LA
<i>Tripes massiliensis</i>	1.7	F	R	0	NO	NO	4	F	R
<i>Tripes muelleri</i>	93.78	F	R	0	NO	NO	3.05	F	R
<i>Tripes paradoxides</i>	0	NO	NO	0	NO	NO	0.12	S	R
<i>Tripes platycornis</i>	0.12	IF	R	0	NO	NO	0.24	IF	R
<i>Tripes pentagonus</i>	219.92	VF	LA	7.8	VF	R	6.56	VF	R
<i>Tripes pulchellus</i>	0.34	IF	R	0	NO	NO	0	NO	NO
<i>Tripes ranipes</i>	0	NO	NO	0	NO	NO	1.61	IF	R
<i>Tripes reflexus</i>	0.74	IF	R	0.13	S	R	1.35	IF	R
<i>Tripes teres</i>	60.76	VF	R	6.91	F	R	7.48	F	R
<i>Tripes trichoceros</i>	0.34	IF	R	0	NO	NO	0.14	S	R
<i>Tripes vultur</i>	11.63	VF	R	1.48	IF	R	0.97	F	R
<i>Ceratium extensum</i>	14.36	IF	R	0	NO	NO	7.23	F	R
<i>Ceratium hexacanthum</i>	17.55	F	R	0	NO	NO	12.52	VF	R
<i>Ceratium horridum var. buceros</i>	137.14	VF	R	4.04	F	R	25.72	VF	R
<i>Ceratium symmetricum</i>	0	NO	NO	0	NO	NO	0.45	IF	R
<i>Ceratium tripes var. tripes</i>	178.05	VF	R	4.69	F	R	2.49	F	R
<i>Ceratium</i> sp.	110.28	VF	R	4.8	F	R	11.5	VF	R
<i>Ceratocoryaceae</i>									
<i>Ceratocorys horrida</i>	83.71	VF	R	1.26	IF	R	16.27	VF	R
<i>Ceratocorys</i> sp.	6.91	F	R	1.03	IF	R	4.48	S	R
<i>Cladopyxidaceae</i>									
<i>Cladopyxis</i> sp.	0.06	IF	R	0.26	S	R	0.33	S	R
DINOPHYSIALES									
Dinophysiaceae									
<i>Ornithocercus heteroporus</i>	0.06	IF	R	0	NO	NO	0	NO	NO
<i>Ornithocercus magnificus</i>	1.07	IF	R	2.35	IF	R	0	NO	NO
<i>Ornithocercus quadratus</i>	112.59	VF	R	3.24	F	R	10.13	F	R
<i>Ornithocercus skogsbergii</i>	0.37	IF	R	0	NO	NO	0	NO	NO
<i>Ornithocercus steinii</i>	12	F	R	2.97	IF	R	6.89	VF	R
<i>Ornithocercus thumii</i>	45.18	VF	R	0.68	S	R	2.39	F	R
<i>Ornithocercus</i> sp.	11.25	F	R	1	F	R	2.91	F	R
<i>Dinophysis argus</i>	0.12	IF	R	0	NO	NO	0	NO	NO
<i>Dinophysis bihastata</i>	0.74	IF	R	0	NO	NO	0.55	IF	R
<i>Dinophysis</i> sp.	0.86	IF	R	0.19	S	R	0.22	IF	R
<i>Histioneis milneri</i>	0.51	IF	R	0	NO	NO	0	NO	NO
<i>Histioneis</i> sp.	0	NO	NO	0	NO	NO	0.38	S	R
Amphisoleniaceae									

Table 1 - Continued from previous page

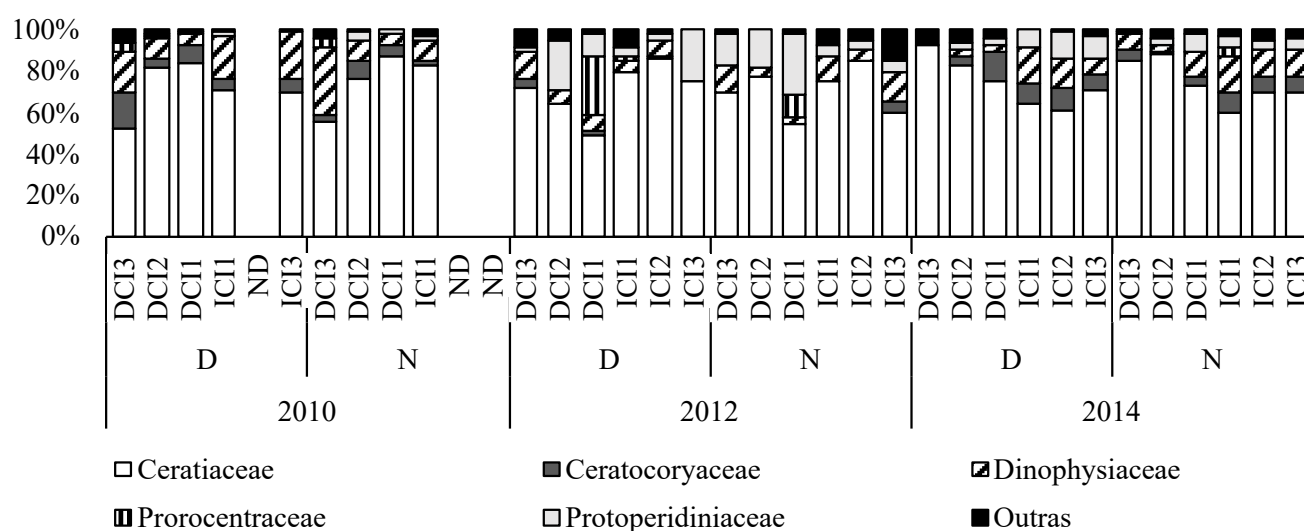
TÁXONS*	2010			2012			2014		
	DM	FO	AR	DM	FO	AR	DM	FO	AR
<i>Amphisolenia bidentata</i>	0	NO	NO	0.43	IF	R	0.73	S	R
<i>Amphisolenia globifera</i>	0.36	IF	R	0	NO	NO	0	NO	NO
<i>Amphisolenia</i> sp.	0	NO	NO	0.35	S	R	0.44	IF	R
Oxyphysaceae									
<i>Phalacroma circumcinctum</i>	0.37	IF	R	0	NO	NO	0	NO	NO
<i>Phalacroma cuneus</i>	12.32	F	R	1.43	F	R	1.27	IF	R
<i>Phalacroma doryphorum</i>	0.36	IF	R	0.34	IF	R	0.05	S	R
<i>Phalacroma rapa</i>	15.7	IF	R	0	NO	NO	0	NO	NO
<i>Phalacroma rotundatum</i>	0	NO	NO	0.35	S	R	0	NO	NO
<i>Phalocroma</i> sp.	0.62	IF	R	0.32	IF	R	0.16	S	R
PROROCENTRALES									
Prorocentraceae									
<i>Prorocentrum conicum</i>	0.03	IF	R	0	NO	NO	0	NO	NO
<i>Prorocentrum gracile</i>	9.45	F	R	0	NO	R	0.16	S	R
<i>Prorocentrum</i> sp.	0.36	IF	R	7.24	IF	R	0.93	S	R
PERIDINIALES									
Protopteridiniaceae									
<i>Protopteridinium abei</i>	2.25	IF	R	0	NO	NO	0	NO	NO
<i>Protopteridinium bipes</i>	0	NO	NO	0	NO	NO	0.1	S	R
<i>Protopteridinium crassipes</i>	8.41	IF	R	0	NO	NO	6.52	F	R
<i>Protopteridinium depressum</i>	14.36	IF	R	3.45	F	R	1.29	IF	R
<i>Protopteridinium divergens</i>	10.71	F	R	0	NO	NO	1.62	IF	R
<i>Protopteridinium obtusum</i>	0.37	IF	R	0	NO	NO	0	NO	NO
<i>Protopteridinium oceanicum</i>	0	NO	NO	0	NO	NO	0.22	IF	R
<i>Protopteridinium oviforme</i>	0	NO	NO	0	NO	NO	0.16	S	R
<i>Protopteridinium thorianum</i>	0.34	IF	R	0	NO	NO	0	NO	NO
<i>Protopteridinium</i> sp.	10.52	F	R	12.32	VF	R	4.75	VF	R
Podolampadaceae									
<i>Podolampas elegans</i>	13.99	IF	R	0	NO	NO	0.65	IF	R
<i>Podolampas palmipes</i>	9.27	IF	R	1.41	IF	R	0.33	IF	R
<i>Podolampas spinifer</i>	0	NO	NO	0.49	IF	R	0	NO	NO
<i>Podolampas</i> sp.	0	NO	NO	0	NO	NO	0.17	S	R
Oxytoxaceae									
<i>Corythodinium tessellatum</i>	0	NO	NO	0.17	S	R	0	NO	NO
<i>Corythodinium</i> sp.	0.49	IF	R	0	NO	NO	0.17	S	R
<i>Oxytoxum sceptrum</i>	0	NO	NO	1	S	R	0	NO	NO
<i>Oxytoxum scolopax</i>	0	NO	NO	0.17	S	R	0	NO	NO
<i>Oxytoxum</i> sp.	0	NO	NO	0.3	S	R	0	NO	NO

Table 1 - Continued from previous page

TÁXONS*	2010			2012			2014		
	DM	FO	AR	DM	FO	AR	DM	FO	AR
PYROCYSTALES									
Pyrocystaceae									
<i>Pyrocystis fusiformis</i>	0	NO	NO	0.92	IF	R	0	NO	NO
<i>Pyrocystis robusta</i>	0.73	IF	R	0.97	IF	R	0	NO	NO
<i>Pyrocystis</i> sp.	8.28	F	R	0	NO	NO	2.7	F	R
NOCTILUCALES									
Noctilucaeae									
<i>Noctiluca</i> sp.	0	NO	NO	1.43	IF	R	2.35	IF	R
TOTAL DENSITY (ind m⁻³)	19125.17			1855.32			3361.13		

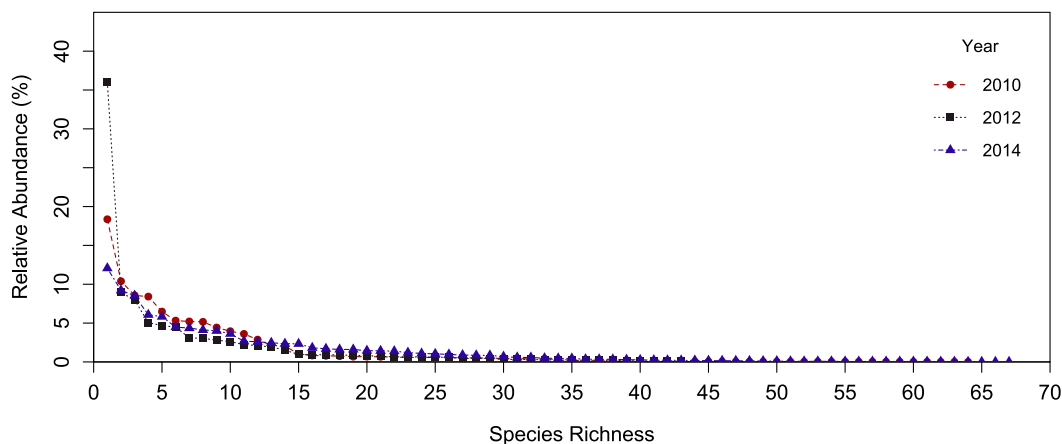
De modo geral, é possível observar que, dentre as principais famílias encontradas, Ceratiaceae foi a mais abundante de uma maneira geral. Outras famílias em destaque de abundância foram Dinophysiaceae e Ceratocoryaceae em 2010 e 2014, sugerindo maior semelhança entre estes anos e Prorocentraceae e Protoperidiniaceae em 2012. A variação dia e noite na abundância das famílias não foi marcante (Figura 2).

Figura 2: Abundância relativa da principal família de Dinoflagellata nas estações e anos do Atol de Rocas. DCI=Influência direta da corrente; ICI- Influência indireta da corrente; ND - sem dados



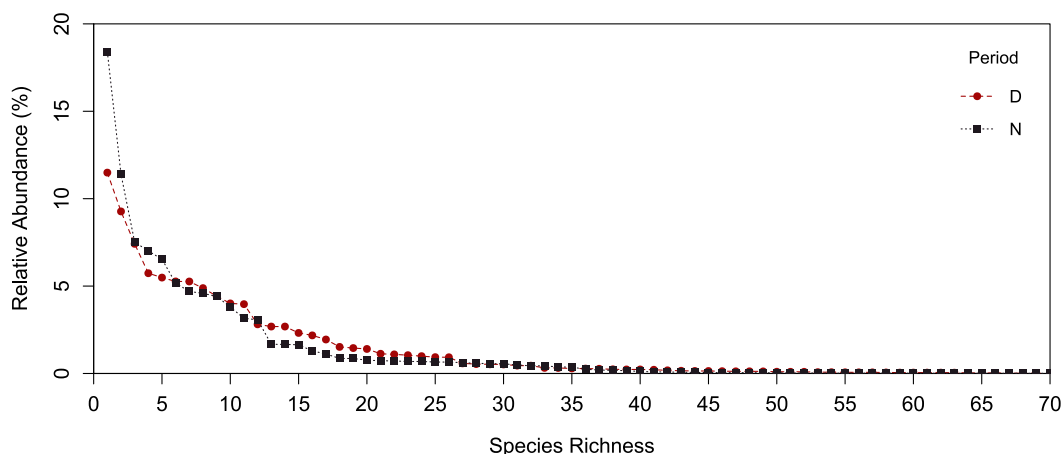
O diagrama de Whittaker para os anos mostra a superioridade em riqueza apresentada em 2014, a maioria das espécies apresentaram o valor da abundância mais semelhante que os outros anos, ou seja, o padrão de distribuição de indivíduos entre as espécies foi mais homogêneo (maior equitabilidade), dessa forma, podemos inferir que 2014 foi o ano que apresentou maior diversidade. Neste ano, as espécies mais abundantes foram *Triplos macroceros*, *Ceratium horridum* var. *buceros*, *Triplos gallicus*, *Triplos contortus* e *Ceratocorys horrida*, com abundância relativa entre 5% e 13%. Já, o início mais íngreme da curva do ano de 2012, com *Triplos fusus* representando mais de 35% da abundância a uma riqueza inferior, indica que este ano foi o de menor equitabilidade e diversidade (Figura 3).

Figura 3: Diagrama de Whittaker mostrando a abundância relativa de espécies (eixo Y) Dinoflagellata por riqueza de espécies, ordenadas nas abscissas em ordem decrescente de importância para os três anos de coleta nos arredores do atol de Rocas (Brasil)



Para os períodos, o diagrama mostrou uma curva inicialmente mais íngreme para a noite, sugerindo menor equitabilidade. As espécies que apresentaram maior valor de abundância relativa foram *Tripes declinatus*, *Tripes pentagonus*, *Ceratium tripes* var. *tripes*, *Tripes contortus* e *Tripes fusus* com porcentagem entre 6% e 18%. A riqueza específica para este período foi superior ao observado para o dia (79 taxa noite/ 69 taxa dia) (Figura 4).

Figura 4: Diagrama de Whittaker mostrando a abundância relativa das espécies (eixo Y) de Dinoflagellata por riqueza de espécies, ordenadas nas abscissas em ordem decrescente de importância para os três períodos (dia; noite) de coleta nas proximidades do atol de Rocas (Brasil)



A análise de similaridade (ANOSIM) indicou diferença significativa da densidade apenas em relação aos anos (2010, 2012 e 2014) $R = 0.335$, $p = 0.001$ e período (dia e noite) $R = 0.1032$, $p = 0.015$, mas não para distâncias $R = -0.03165$, $p = 0.788$ e corrente $R = -0.009866$, $p = 0.559$.

A análise do valor do indicador (IndVal) mostrou que, dos 90 taxa identificados, 30% apresentaram níveis significativos de indicação para anos e aproximadamente 8% para períodos. No ano de 2010 foram observadas 14 espécies

com valores indicativos, dessas, as mais relevantes (indval > 90%) foram *Tripes declinatus*, *Ceratium tripes* var. *tripos*, *Tripes candelabrum*, *Ornithocercus thumii* e *Ceratium* sp. Para o ano de 2014 o valor não passou de 70%, apenas três espécies foram consideradas indicativas deste ano, *Tripes gallicus*, *Tripes carriensis*, *Tripes contrarius*. Nenhuma espécie foi relacionada ao ano de 2012. *Tripes fusus* (indval = 91%) foi relacionado simultaneamente aos anos de 2010 e 2012. Também simultaneamente entre 2010 e 2014 foram observadas 9 espécies, dessas, *Tripes contortus*, *Ceratocorys horrida*, *Ceratium horridum* var. *buceros* e *Ceratium hexacanthum* apresentaram os valores indicativos mais altos (indval > 90%) (Tabela 2).

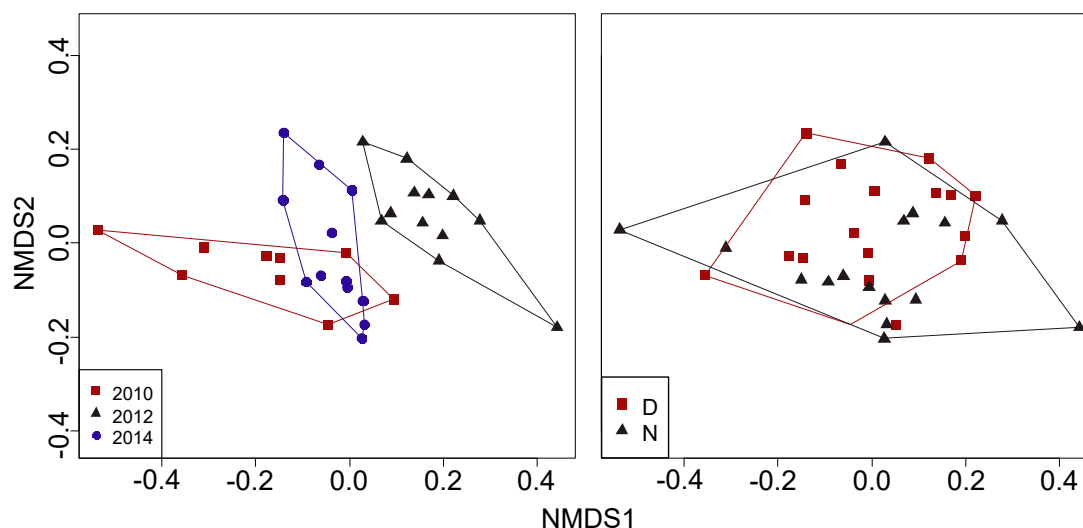
Em relação aos períodos, duas espécies foram indicativas do dia *Tripes euarquatus* (indval = 64,2%) 0.642 e *Tripes giberus* (indval = 57,9 %) e 5 espécies indicadora da noite *Tripes pentagonus*, *Ceratium tripes* var. *tripos*, *Ornithocercus quadratus*, *Ceratium macroceros* var. *gallicum* e *Ceratium extensum*, sendo a primeira a que apresentou o maior valor (indval = 93,7%) (Tabela 2).

Tabela 2: Valor de indicação individual (IndVal) de Dinoflagellata dos arredores do atol de Rocas (Brasil), nos anos (2010; 2012; 2014) e período (dia; noite)

Fator	Taxa	A	B	Stat	p value
2010	<i>Tripes declinatus</i>	0.9806	1	0.99	0.001
	<i>Ceratium tripes</i> var. <i>tripos</i>	0.9612	1	0.98	0.001
	<i>Tripes candelabrum</i>	0.956	1	0.978	0.001
	<i>Ornithocercus thumii</i>	0.9364	1	0.968	0.001
	<i>Ceratium</i> sp.	0.8713	1	0.933	0.005
	<i>Ornithocercus quadratus</i>	0.8939	0.8889	0.891	0.031
	<i>Tripes vultur</i>	0.8262	0.8889	0.857	0.001
	<i>Tripes brevis</i>	0.9949	0.6667	0.814	0.001
	<i>Tripes muelleri</i>	0.9685	0.6667	0.804	0.003
	<i>Prorocentrum gracile</i>	0.9831	0.5556	0.739	0.001
	<i>Tripes karstenii</i>	0.9573	0.4444	0.652	0.012
	<i>Tripes angustocornis</i>	0.9554	0.4444	0.652	0.012
	<i>Protoperidinium divergens</i>	0.8685	0.4444	0.621	0.038
	<i>Phalacroma rapa</i>	1	0.3333	0.577	0.02
2014	<i>Tripes gallicus</i>	0.8339	0.5833	0.697	0.003
	<i>Tripes carriensis</i>	0.778	0.5833	0.674	0.034
	<i>Tripes contrarius</i>	1	0.4167	0.645	0.02
2010+2012	<i>Tripes fusus</i>	0.9156	0.9048	0.91	0.048

2010+2014	<i>Triplos contortus</i>	0.9935	1	0.997	0.001
	<i>Ceratocorys horrida</i>	0.9876	0.9524	0.97	0.001
	<i>Ceratium horridum</i> var. <i>buceros</i>	0.9758	0.9048	0.94	0.004
	<i>Ceratium hexacanthum</i>	1	0.8571	0.926	0.001
	<i>Triplos gibberus</i> var. <i>dispar</i>	1	0.6667	0.816	0.002
	<i>Ornithocercus steinii</i>	0.8642	0.7143	0.786	0.048
	<i>Pyrocystis</i> sp.	1	0.4762	0.69	0.035
	<i>Triplos massiliensis</i>	1	0.4286	0.655	0.035
DAY	<i>Protoperidinium crassipes</i>	1	0.4286	0.655	0.026
	<i>Triplos euarquatus</i>	1	0.4118	0.642	0.011
NIGHT	<i>Triplos gibberus</i>	0.95	0.3529	0.579	0.037
	<i>Triplos pentagonus</i>	0.9363	0.9375	0.937	0.016
	<i>Ceratium triplos</i> var. <i>triplos</i>	0.7938	0.9375	0.863	0.024
	<i>Ornithocercus quadratus</i>	0.7854	0.9375	0.858	0.042
	<i>Triplos gallicus</i>	0.8969	0.5	0.67	0.005
	<i>Ceratium extensum</i>	0.9157	0.4375	0.633	0.038

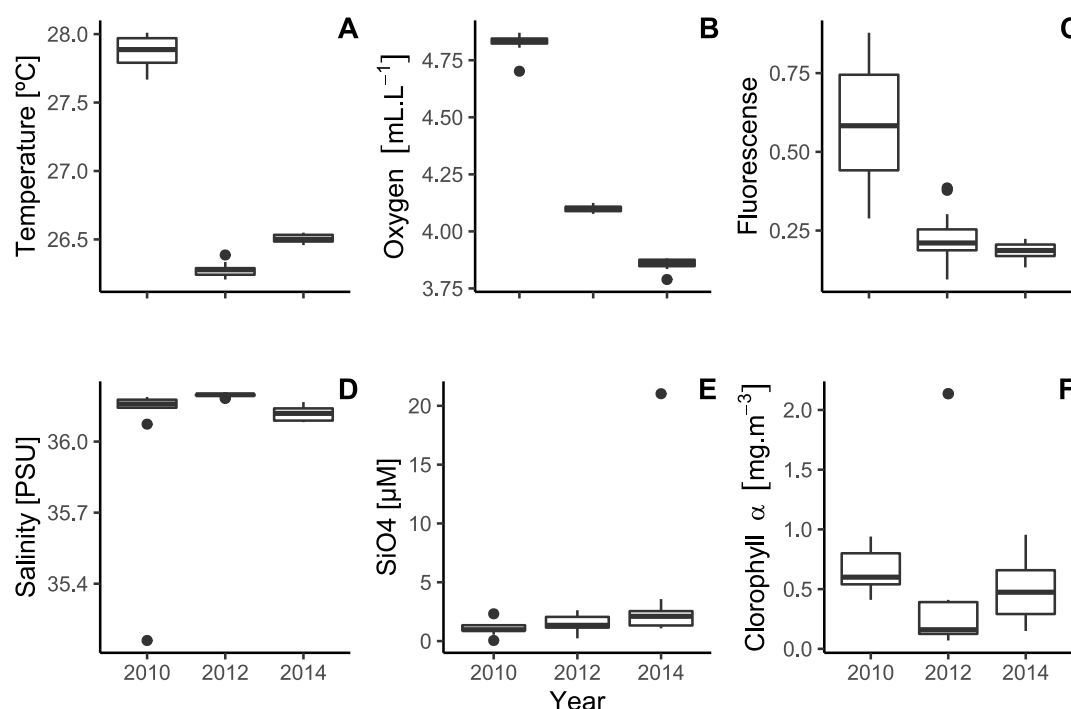
Figura 5: Escala multidimensional não métrica (nMDS) mostrando agrupamentos baseados na diferença de densidade de Dinoflagellata entre os anos no Atol de Rocas (Brasil)



O teste Kruskal-Wallis foi aplicado para avaliar quais parâmetros ambientais apresentavam variação entre os anos e períodos. Os resultados mostraram que nenhum parâmetro apresentou diferenças estatisticamente significativas entre os períodos. Entretanto, a diferença entre os anos foi significativa em relação à temperatura, fluorescência, salinidade, oxigênio, sílica e clorofila *a*. Os valores de temperatura e oxigênio foram consideravelmente mais altos no ano de 2010 em comparação com os demais anos, neste ano também se observou maior valor para fluorescência e clorofila *a*. A salinidade e a sílica, apesar de apresenta uma diferença menos acentuada, foram maiores em 2012 e 2014, respectivamente (page 12).

As variáveis explicativas utilizadas para a elaboração da CCA foram ano, corrente, período, fluorescência, salini-

Figura 6: Box-Plot ($\pm$ média) dos parâmetros ambientais entre os anos no entorno do Atol das Rocas (Brasil). Kruskal-Wallis (KW) ($p < 0,05$). Pontos pretos (Outliers)



dade, fosfato, sílica e clorofila a, selecionadas após cálculo do VIF. As maiores pontuações na ordenação das espécies no eixo 1 foram os anos de 2012 e 2014, fluorescência e o período dia. Para o segundo eixo foram, também, os anos de 2012 e 2014 e o período dia (Tabela 3, Figura 7).

O eixo 1, com 32,9 % de valor explicativo, mostra oposição entre 2010, DCI e noite (eixo1 < 0) e 2014, 2012, ICI e dia (eixo1 > 0), este eixo está negativamente correlacionado com a concentração de fluorescência, clorofila a e positivamente com sílica e salinidade. Para o eixo 1 o fosfato possui valor explicativo baixo. As espécies *Ceratium tripos* var. *tripos*, *Ornithocercus quadratus*, *Tripes candelabrum*, *Tripes declinatus* e *Ornithocercus thumii* foram mais bem relacionadas ao eixo 1 e valores positivos de fluorescência e clorofila a, sendo, *Ceratium tripos* var. *tripos*, *Ornithocercus quadratus* mais fortemente relacionadas. Quatro dessas cinco espécies, exceto a *T. declinatus*, foram relacionadas como espécies indicativas do ano de 2010. Já as espécies *Tripes macroceros*, *Tripes fusus*, *Ornithocercus steinii*, *Ornithocercus* sp. e *Protoperidinium* sp. se relacionaram melhor à alta concentração de sílica (Figura 7).

O eixo 2, com 21,3% de valor explicativo, evidencia oposição entre 2012, DCI e noite (eixo1 < 0) e 2014, ICI e dia (eixo 1 > 0), neste eixo, 2010 possui um valor explicativo muito baixo (eixo 2 $\approx$ 0). O eixo 2 está negativamente correlacionado com a concentração de clorofila a e salinidade e positivamente com sílica e fosfato, enquanto a fluorescência possui valor explicativo baixo. Neste eixo as espécies *Tripes contortus*, *Ceratium hexacanthum*, *Ceratium horridum* var. *buceros*, *Ceratium* sp., *Ceratocorys horrida* estiveram melhor relacionadas a concentrações altas de fosfato, principalmente as três últimas (Figura 7).

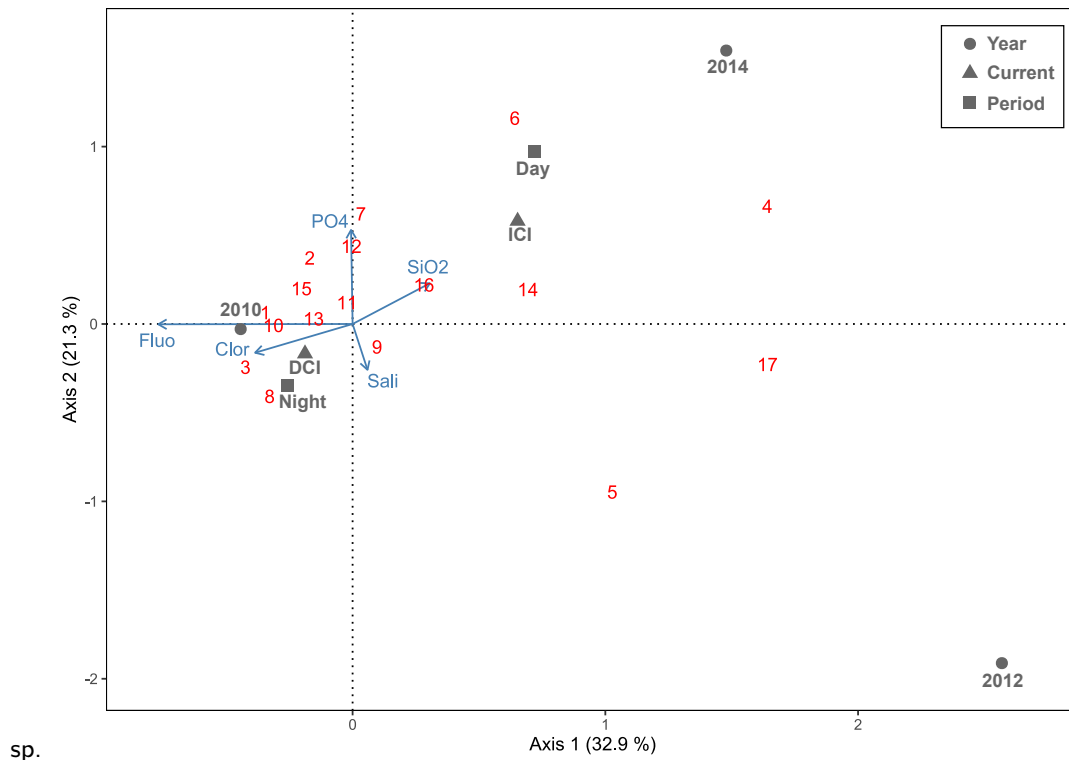
Tripes declinatus e *Tripes pentagonus* estiveram mais bem relacionadas ao período noturno, à DCI e à maior quantidade de clorofila a. Como já observado, elas foram as mais abundantes nesse período e *T. declinatus* foi indicativa do mesmo. Já as espécies *Tripes macroceros*, *Ceratium hexacanthum*, *Ornithocercus steinii* e *Ornithocercus* sp. foram as que melhor se relacionaram com o período diurno, o ICI e as maiores quantidades de sílica (Figura 7).

Tabela 3

Escores biplot para as variáveis explicativas do parcimonioso - CCA

Exploratory Variable		Axis 1	Axis 2
Year	2010	-0.443	-0.029
	2012	2,569	-1,912
	2014	1,479	1,541
Current	DCI	-0.188	-0.167
	ICI	0.653	0.58
Period	Day	0.722	0.975
	Night	-0.256	-0.346
Environment factors	Fluorescence	-0.769	-0.002
	Salinity (PSU)	0.059	.
	PO4	-0.006	0.53
	SiO2	0.306	0.229
	Chlorophyll a	-0.386	-0.162

Figura 7: Ordenação CCA das espécies (números vermelhos) que ocorrem em mais de 50% das amostras. Os centróides das variáveis espaço-temporais são apresentados pelos círculos (ano), triângulos (influência atual) e quadrados (período dia-noite). As setas azuis representam as variáveis ambientais. 1 - *Tripes candelabrum*; 2 - *Tripes contortus*; 3 - *Tripes declinatus*; 4 - *Tripes macroceros*; 5 - *Tripes fusus*; 6 - *Ceratium hexacanthum*; 7 - *Ceratium horridum* var. *buceros*; 8 - *Tripes pentagonus*; 9 - *Tripes teres*; 10 - *Ceratium tripes* var. *tripes*; 11 - *Ceratium* sp.; 12 - *Ceratocorys horrida*; 13 - *Ornithocercus quadratus*; 14 - *Ornithocercus steinii*; 15 - *Ornithocercus thumii*; 16 - *Ornithocercus* sp.; 17 - *Protoperidinium*



4. Discussão

Foi observado uma alta diversidade de taxa de Dinoflagellata no Atol das Rocas (90 taxa), esse sucesso adaptativo possivelmente está ligado às estratégias migratórias verticais do grupo (Ji and Franks, 2007), com migrações diurnas

entre as camadas d'água dentro da zona eufótica, o que maximiza a capacidade fotossintética (Sousa et al., 1999). Como apontado por Susini-Ribeiro et al. (2013) a dominância e diversidade de Dinoflagellata está associada à estabilidade vertical da água, essa característica é marcante nas águas que cercam o Atol (Medeiros et al., 2009). Segundo Margalef (1978), ambientes estáveis garantem maior grau de organização e complexidade em teias tróficas, aumentando a diversidade de nichos e, conseqüentemente, de espécies.

Além da estratificação Fehling et al. (2012) sugerem que, em águas oligotróficas, os Dinoflagellata aparecem comumente em maior abundância, além disso, Brandini and Fernandes (1996) citam que a representatividade dos dinoflagelados dentro da comunidade fitoplancônica é proporcional à distância da costa, caracterizas que se aplicam ao Atol das Rocas que é banhado por uma massa de água superficial tropical com baixos níveis de nutrientes inorgânicos dissolvidos (Sampaio, 1998) e é controlado sobretudo pelo impacto das águas oligotróficas da corrente sul equatorial e suas derivadas (Ekau and Knoppers, 1999).

Não há registros de ressurgências no entorno do Atol das Rocas (Tchamabi et al., 2017), entretanto, já foram identificadas zonas de turbulência, em microescala hidrográfica, que promovem a mistura vertical da camada d'água (Cordeiro et al., 2013; Jales, 2015; Tchamabi et al., 2017). Essas zonas são determinantes para o sucesso do grupo, pois geram pulsos de nutrientes que elevam a produtividade local (Neumann-Leitão et al., 1999; Becker, 2001; Tchamabi et al., 2017; Campelo et al., 2019).

A diversidade de Dinoflagellata no Atol das Rocas já havia sido avaliada por Jales (2015) através de coleta com rede de 20 µm. Outros estudos, apesar de não terem sido realizados nessa mesma área, também mostram o predomínio desse grupo em detrimento de outros grupos fitoplancônicos, como mencionado por Susini-Ribeiro et al. (2013) no arquipélago dos Abrolhos-Bahia, Tenenbaum (2006) no arquipélago Trindade Martin Vaz-Espirito Santo, Queiroz et al. (2014, 2015), Tiburcio et al. (2011) e Correia (2014) no Arquipélago de São Pedro e São Paulo.

Das ordens encontradas neste levantamento Peridiniales e Gonyaulacales, Segundo Foissner and Hawksworth (2009), são dominantes entre os taxa tecados vivos. Dentro dessa ordem, Ceratiaceae se destacou como a família com maior abundância relativa, riqueza e densidade. A dominância dessa família também foi verificada em trabalhos pretéritos realizados no Atol das Rocas (Jales, 2015) e, no Arquipélago de São Pedro e São Paulo (Koenig and Macêdo, 1999; Tiburcio et al., 2011), na plataforma continental de regiões tropicais (Passavante, 1979; Koenig and Macêdo, 1999; Medeiros et al., 1999; Eskinazi-Leça et al., 2002; Koenig and Lira, 2005).

Segundo Tiburcio et al. (2011), esta família possui ampla abrangência biogeográfica, podendo ser encontrada em todos os oceanos desde regiões tropicais até as polares. Algumas de suas características explicam essa predominância, por exemplo, Granéli and Hansen (2006) sugerem que algumas espécies do gênero *Ceratium* poderiam inibir o desenvolvimento de outras algas por alelopatia. Relatos de Baek et al. (2008) mostram que os representantes desse gênero apresentam um vacúolo que armazena compostos inorgânicos e orgânicos utilizados em condições de escassez nutricional, garantindo o crescimento da população. Também já foi documentado que algumas espécies modificam sua morfologia entre os períodos diurnos e noturnos, a fim de modificar a velocidade de afundamento (Kofoid, 1908), dispersão e/ou estratégias de fuga contra predadores noturnos maiores (Pizay et al., 2009).

São reconhecidos uma gama de variações de ritmos circadianos entre os Dinoflagellata, tanto fisiológicos quanto comportamentais (Sournia, 1975), principalmente de migração diurna através da coluna d'água (Garcés et al., 1998; Baek et al., 2009). O presente estudo mostrou variação significativa entre os períodos diurnos e noturnos. No período noite identificou-se maior densidade, riqueza e abundância, corroborando o que foi observado por Correia (2014) no arquipélago de São Pedro e São Paulo.

As espécies indicadoras da noite foram *Tripes pentagonus*, *Ceratium tripes* var. *tripes*, *Ornithocercus quadratus*, *Tripes gallicus* e *Ceratium extensum*. Trabalhos mostram que esses gêneros são predominantemente heterotróficos

(Mouritsen, 2003; Haraguchi and Odebrecht, 2010). Segundo Flynn et al. (2012), entretanto, para Dinoflagellata essa classificação deve ser vista como um contínuo, com espécies de várias linhagens planctônicas entre os dois extremos tróficos, isso porque uma característica ecológica marcante dos Dinoflagellata é a mixotrofia, ou seja, capacidade de adquirir carbono tanto da autotrofia quanto da heterotrofia (Faure et al., 2019). Portanto, a predominância do grupo no período noturno e correlação do mesmo com baixas concentrações de nutrientes (fosfato e sílica) pode significar o melhor emprego da capacidade alimentar dessas espécies. Tendo em vista que a mixotrofia permite a alimentação dos organismos mesmo em concentrações baixa de nutrientes vitais (Weiler, 1980; Smalley et al., 2003), o que também justifica o seu predomínio em regiões oligotróficas (Pearman et al., 2016), como o Atol das Rocas.

A comunidade de Dinoflagellata do Atol das Rocas apresentou variação significativa entre os anos estudados. Essa variação já era esperada, visto que comunidades planctônicas respondem rapidamente às alterações nos sistemas de temperatura e corrente, refletido em mudanças na abundância, biomassa e diversidade (Edwards and Richardson, 2004; Hays et al., 2005; Mackas et al., 2012). Os parâmetros ambientais que se diferenciaram estatisticamente entre os anos foram temperatura, fluorescência, salinidade, oxigênio, sílica e clorofila a. Basílio-Dantas et al. (no prelo) mostraram que a temperatura apresentou maior valor explicativo na diferença entre os anos de 2010, 2012 e 2014.

A temperatura superficial da água é um fator importante dentro da dinâmica geral das camadas d'água, pois podem gerar estratificações fortes e limitar a disponibilidade de nutrientes, influenciando o crescimento do fitoplâncton e impulsionando o processo de bottom-up em toda a cadeia alimentar pelágica (Richardson and McKee, 1984). Estudos mostram que o padrão de distribuição dos organismos é um indicador particularmente sensível das variações na temperatura (Hughes, 2000). Mesmo variações discretas, exercem um efeito significativo sobre a abundância e composição da comunidade microplanktonica.

Neste trabalho foi verificado que o ano de 2010 apresentou os maiores valores de temperaturas, com média de 27.87 °C e apresentou também a maior densidade total de dinoflagelados por metros cúbicos (19 125.17 ind m⁻³), superior aos demais anos. Basílio-Dantas et al. (no prelo) observaram o mesmo resultado para o microzooplâncton total, enquanto para Radiozoa, Basílio-Dantas et al. (no prelo) verificaram menores densidades para este ano. De acordo com dados do Oceanic Niño Index (ONI), 2010 foi um ano de El Niño moderado, diferente de 2012 que apresentou meses de La Niña e 2014 que foi um ano neutro. Segundo Basílio-Dantas et al. (no prelo) os anos de 2010 e 2012, foram mais semelhantes, em relação aos parâmetros ambientais do que 2010.

A influência dos ENOS (El Niño Oscilação Sul) pode ser ainda mais clara sobre a comunidade dependendo de sua intensidade. Já são fortes as evidências da ação das variações climáticas na estrutura trófica das teias oceânicas, atualmente estão sendo identificadas mudanças na sincronia dos ciclos biológicos dos grupos tróficos, principalmente os de base de cadeia, esses fatos podem refletir graves implicações dentro do fluxo energético dos oceanos (Stenseth and Mysterud, 2002; Edwards and Richardson, 2004). Um exemplo disso foi o dessincronismo observado entre *Triplos mueleri* e seu potencial predador *Calanus finmarchicus*, que atingiram picos reprodutivos em períodos diferentes (Scheffer and Carpenter, 2003; Edwards and Richardson, 2004). Outro exemplo foi o decréscimo de florações de fitoplâncton que afetou a comunidade de Krill e reduziu em mais de uma ordem de magnitude a comunidade de baleias nos últimos 25 anos (Atkinson et al., 2004).

Apesar da temperatura de ter sido significativa na diferenciação dos anos e de sua conhecida importância sobre o fitoplâncton, como descrito acima, para o Dinoflagellata do Atol das Rocas, ela não foi o parâmetro que melhor explicou a distribuição da comunidade, como pôde ser observado na CCA. As variáveis explicativas significativas mais parcimoniosas para a distribuição deste grupo foram fluorescência, salinidade, fosfato, sílica e clorofila a, sendo a fluorescência a de maior valor explicativo. Ela esteve relacionada positivamente ao período noite, ao ano de 2010 e à DCI. As espécies melhores relacionadas a estes fatores foram *Ceratium tripos* var. *tripos*, *Ornithocercus quadratus*,

Tripes candelabros, *Tripes declinatus*, *Ornithocercus thumii* e *Tripes pentagonus*.

A fluorescência apresentou correlação inversa com a sílica e correlação muito baixa com o fosfato. Apesar disso, alguns trabalhos registram forte correlação entre a fluorescência e a presença de outros nutrientes, como o ferro (Behrenfeld et al., 2009), atestando que locais com alta concentração deste nutriente são normalmente relacionados com baixas taxas de fluorescência. Por fim, alguns fatores como o estresse causado pelo excesso de luz podem ser determinantes para a diminuição da fluorescência na região mais superficial dos oceanos (Bruce and Vasil'ev, 2004), esse processo é conhecido como "branqueamento fotoquímico" (Chen and Bada, 1992) e é o principal fator degenerativo da fluorescência. Isto, em conjunto com a existência da síntese proteica noturna do fitoplâncton (Collos et al., 1989), principalmente em regiões de estresse fotoquímico diurno e com anos de maior incidência solar, como 2010, pode explicar os maiores valores de fluorescência encontrados no período da noite.

O segundo parâmetro de maior força explicativa na distribuição das espécies foi a clorofila a, que esteve fortemente correlacionada à fluorescência, um resultado esperado, visto que, muitas vezes o teor de clorofila a, assim como a atividade fotossintética podem ser estimados com base em análise de fluorescência (Falkowski and Kiefer, 1985; Kiefer and Reynolds, 1992; Falkowski and Kolber, 1995). Neste sentido, as conclusões geradas para fluorescência nesse trabalho podem ser, de certo modo, extrapoladas para a clorofila a e vice-versa.

A clorofila também foi um parâmetro importante na diferenciação dos anos (Basílio-Dantas et al., no prelo). A variação da concentração de clorofila a observadas neste estudo foi semelhante ao observado por outros autores (Feitosa and Passavante, 2004; Misic et al., 2012; Souza et al., 2013; Jales, 2015). A maior média entre os anos, observado neste trabalho, foi $0.68 \pm 0.18 \text{ mg m}^{-3}$ em 2010, esse valor é considerado baixo e pode indicar baixa produtividade fitoplanctônica (Jales, 2015). Isso sugere que, para esta área, existem fontes extra de nutrientes, provavelmente provenientes das comunidades bentônicas formadoras do próprio Atol (Nogueira and Sassi, 2011) e/ou pode ser reflexo do "branqueamento fotoquímico" já citado. Apesar dos indícios de baixa produtividade, os Dinoflagellata foram bem-sucedidos no Atol, provando que a mixotrofia é uma característica importante do grupo, fazendo que eles se sobressaíssem em regiões de menor incremento nutricional, o que valoriza ainda mais sua função dentro das teias tróficas em ambiente oligotróficos. Outra evidência desse sucesso é a maior abundância dos dinoflagelados em áreas mais distante do Atol, ao contrário das diatomáceas como apontado por Jales (2015).

Neste trabalho, a clorofila-a correlacionou-se positivamente com a DCI, entretanto essa relação não foi apoiada pela análise estatística. Outros trabalho em Fernando de Noronha e no Atol das Rocas que mostraram os maiores valores de clorofila-a à jusante das ilhas (ICI), assim como outros nutrientes seria reflexo do efeito da massa insular (Cordeiro et al., 2013; Jales, 2015; Tchamabi et al., 2017).

Em relação aos nutrientes, encontrou-se o fosfato e a sílica com os maiores valores explicativos na distribuição dos Dinoflagellata. Eles possuem correlação direta com o dia, ICI e o ano de 2014. De acordo Basílio-Dantas (no prelo), fosfato, nitrato e sílica apresentaram correlação inversa à temperatura e à clorofila a na diferenciação dos anos, com os nutrientes mais bem relacionados aos anos de 2012 e, principalmente, 2014. No ano de 2014, foi encontrada maior riqueza ecológica e maior diversidade de espécies. Também em 2014, foi observada correlação negativa com a clorofila a e com a salinidade e positiva com a sílica e com o fosfato. Estudo com riqueza ou unidade taxonômica operacional (OTU) mostrou correlação positiva com a salinidade e negativa com a temperatura, nutrientes e clorofila a (Du et al., 2017). O trabalho de Sahu et al. (2014) com microscopia óptica, obteve resultado semelhante ao de Du et al. (2017) para a abundância dos Dinoflagellata. Jales (2015) e Tchamabi et al. (2017) também encontraram relação inversa entre temperatura e a concentração de nutrientes.

As espécies que melhor se relacionaram com o fosfato foram *Tripes contortus*, *Ceratium horridum* var. *buceros*, *Ceratium* sp. e *Ceratocorys horrida*. As espécies *Tripes contortus* e *Ceratocorys horrida* foram citadas como típicas de

regiões oceânicas, indicadoras da corrente do Brasil e frequentes no Arquipélago de São Pedro e São Paulo (Queiroz, 2011). Já as espécies que melhor se relacionaram com a sílica foram *Ornithocercus steinii* e *Ornithocercus* sp. O gênero *Ornithocercus* é citado como indicador da Corrente do Brasil (Tiburcio et al., 2011), da camada superficial de mistura (Correia, 2014; Costa et al., 2019) e ocupando as camadas mais rasas durante o dia. Ele também foi relacionado ao ano de 2014, que, segundo Basílio-Dantas et al. (no prelo), foi o ano de maior abundância e diversidade de Radiozoa, que tem seu esqueleto formado por sílica e são presas em potencial dos Dinoflagellata (Jacobson and Anderson, 1986; Hansen, 1991).

Os anos de 2012 e 2014, apesar de semelhantes em relação aos parâmetros ambientais (Basílio-Dantas, no prelo) apresentaram grande diferença em relação a comunidade de Dinoflagellata. Um fator importante que pode ter favorecido a diferença de riqueza e diversidade encontrada é a influência das correntes. Em 2014, foi observado a destabilização da termoclina, possivelmente provocada pela passagem da Subcorrente Sul Equatorial em seu período de velocidade máxima e ventos alísios de sudeste, que se fortalecem entre julho e agosto (Tchamabi et al., 2017). Já em 2012, a ramo central da Corrente Sul Equatorial atingiu o seu mínimo de velocidade, enquanto a Subcorrente Sul Equatorial ainda se encontrava em período de velocidade máxima o que pode ter proporcionado a redução da profundidade da camada superficial (Richardson and Mckee, 1984; Arnault, 1987; Kikuchi, 2002; Tchamabi et al., 2017). Ventos mais fortes provocam maior mistura nas camadas mais superficiais, promovem maior lavagem de áreas submersas, além de maior ação das turbulências geradas pela passagem das correntes pelo Atol, disponibilizando mais nutrientes (Fonteneau, 1991; Neumann-Leitão et al., 1999; Lessa et al., 1999; Morato et al., 2010).

A salinidade foi o parâmetro que apresentou o menor valor explicativo e esteve mais bem relacionado ao ano de 2012, este foi o ano com menor diversidade, riqueza e abundância de Dinoflagellata. Esse resultado não corroborou o encontrado em outros estudos, onde a salinidade foi correlacionada positivamente com a abundância, proliferação do grupo e sua heterogeneidade (Taylor, 1973; Joseph and Pillai, 1975; Taylor, 1976; Sahu et al., 2014; Du et al., 2017), isso pode sugerir que o parâmetro salinidade por si só não apresenta influência direta na abundância dos Dinoflagellata. É preciso observar ainda, que a variação da salinidade encontrada entre os anos, apesar de significativa, foi baixa, diferente da elevada variação dos valores encontrados em ambientes costeiros, como os trabalhos acima mencionados. Duas espécies estiveram positivamente relacionadas com a salinidade, estas foram *Triplos fusus* e *Ceratium teres*, destas *Triplos fusus* representou 35% da abundância de 2012.

Entre as espécies indicadoras, nenhuma foi específica de 2012, apenas *Triplos fusus* foi relacionado simultaneamente aos anos de 2010 e 2012. Essa espécie apresenta altas densidades, mesmo em baixas concentrações de nutrientes e suas taxas de crescimento específicas aumentam rapidamente em condições favoráveis de nutrientes N:P, além de possuir armazenamento celular excessivo; essas características lhe conferem vantagem competitiva sobre outras espécies em ambientes com valores limitados de fósforo (Baek et al., 2008).

O ano de 2010 apresentou 14 espécies indicadoras, destas *Triplos declinatus*, *Triplos muelleri*, *Triplos candelabrum*, *Ornithocercus thumii* e *Ceratium* sp. apresentaram valor indicativo maior que 90%. É possível perceber que estas espécies são capazes de sobreviver em ambientes com concentrações mais baixas de nutrientes (fosfato, nitrato e silicato), além de estarem mais relacionadas a temperaturas mais altas, já que se sobressaíram em ano de El niño moderado, mas estudos posteriores devem ser realizados para confirmar essas relações. Esses gêneros são reconhecidamente mixotróficos (Smalley et al., 2003; Tarangkoon et al., 2010), além disso, estudos mostram que algumas espécies do gênero *Triplos* são tidas como potenciais indicadores de aquecimento dos oceanos (Tunin-Ley and Lemée, 2013).

Três espécies foram indicadoras para 2014, *Triplos gallicus*, *Triplos carriensis* e *Triplos contrarius*, sendo possível sugerir que essas espécies são beneficiadas em condições favoráveis de concentração de nutrientes e temperaturas mais amenas, visto que, elas se sobressaíram em ano neutro de El Niño (ENOS), também podendo indicar ampla

plasticidade adaptativa das espécies desse gênero. Entretanto, são poucos os trabalhos específicos sobre a ecologia das espécies desse gênero, que possam melhor embasar os resultados aqui obtidos sobre as espécies indicadoras. Outra questão importante é a quantidade de sinônimos encontrados (Gómez, 2013), dificultando a pesquisa.

De modo geral os Dinoflagellata parecem ter sucesso nas áreas próximas ao Atol das Rocas, mostrado pela riqueza e densidade observadas, isso pode ser reflexo do grande número de espécies mixotróficas encontradas. Devido a localização e por estar em uma área de proteção ambiental, o Atol das Rocas não passa por impactos antropogênicos diretos que possam justificar a variação apresentada na comunidade entre os anos estudados, por isso podemos sugerir que a dinâmica observada seja reflexo de variações climáticas globais, como os eventos de El Niño e/ou La Niña.

O ano de El Niño moderado (2010), apresentou menor quantidade de nutrientes e temperaturas mais elevadas, neste ano, identificamos maior densidade e baixa equitabilidade. Isso indica uma relativa instabilidade da comunidade. O ano de 2012 foi considerado de La Niña moderada, nesse ano as concentrações de clorofila-a foram as mais baixas assim como a temperatura e salinidades mais altas, neste ano a equitabilidade foi a menor apresentada, assim como densidade, riqueza e diversidade, indicando que o grupo de características desse ano foi o menos favorável para os Dinoflagellata. Já em 2014 o ambiente se mostrou mais favorável, com riqueza, diversidade e equitabilidade maiores, indicando um ambiente mais equilibrado.

Diante do exposto podemos ver que a dinâmica da comunidade dos Dinoflagellata é impactada pela junção de vários fatores relacionados as variações climáticas globais, o que os tornaria bons indicadores desses eventos. Entretanto é necessário estudos mais completos em anos de ENOS fortes.

As conclusões tiradas nesse trabalho ampliam a importância de novos estudos, assim como reforça o uso desse grupo no monitoramento dos efeitos das mudanças climáticas nos oceanos tropicais, isso porque variações na comunidade de Dinoflagellata gerariam impactos gradativos em toda teia trófica, já que eles ocupam os primeiros níveis da cadeia.

5. Agradecimentos

Este estudo faz parte dos Projetos Camadas Finas I, II e III financiada pelo Ministério da Ciência e Tecnologia - MCT CNPq (Brasil). A autora agradece à FACEPE a bolsa de doutorado.

Referências

- Abdenadher, M., Hamza, A., Fekih, W., Hannachi, I., Bellaaj, A.Z., Bradai, M.N., Aleya, L., 2012. Factors determining the dynamics of toxic blooms of alexandrium minutum during a 10-year study along the shallow southwestern mediterranean coasts. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 106, 102–111. doi:10.1016/j.ecss.2012.04.029.
- Arnault, S., 1987. Tropical atlantic geostrophic currents and ship drifts. *Journal of Geophysical Research* 92, 5076. doi:10.1029/jc092ic05p05076.
- Atkinson, A., Siegel, V., Pakhomov, E., Rothery, P., 2004. Long-term decline in krill stock and increase in salps within the southern ocean. *Nature* 432, 100–103. doi:10.1038/nature02996.
- Baek, S.H., Shimode, S., Han, M.S., Kikuchi, T., 2008. Growth of dinoflagellates, and in sagami bay, japan: The role of nutrients. *Harmful Algae* 7, 729–739. doi:10.1016/j.hal.2008.02.007.
- Baek, S.H., Shimode, S., Shin, K., Han, M.S., Kikuchi, T., 2009. Growth of dinoflagellates, and in sagami bay, japan: The role of vertical migration and cell division. *Harmful Algae* 8, 843–856. doi:10.1016/j.hal.2009.04.001.
- Becker, H., 2001. Hidrologia dos bancos e ilhas oceânicas do nordeste brasileiro. Uma contribuição ao Programa REVIZEE. phdthesis. Universidade Federal de São Carlos. São Carlos.
- Behrenfeld, M.J., Westberry, T.K., Boss, E.S., O'Malley, R.T., Siegel, D.A., Wiggert, J.D., Franz, B.A., McClain, C.R., Feldman, G.C., Doney, S.C., Moore, J.K., Dall'Olmo, G., Milligan, A.J., Lima, I., Mahowald, N., 2009. Satellite-detected fluorescence reveals global physiology of ocean phytoplankton. *Biogeosciences* 6, 779–794. doi:10.5194/bg-6-779-2009.

- Brandini, F.P., Fernandes, L.F., 1996. Microalgae of the continental shelf off paraná state, southeastern brazil: a review of studies. *Revista Brasileira de Oceanografia* 44, 69–80. doi:10.1590/s1413-77391996000100008.
- BRASIL, 2007. Plano de Manejo para a Reserva Biológica do Atol das Rocas. 1 ed., Ministério do Meio Ambiente, Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, Brasília. URL: http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/imgs-unidadescoservacao/rebio_atol-das-rocas.pdf.
- Bruce, D., Vasil’ev, S., 2004. Excess light stress: multiple dissipative processes of excess excitation, in: Papageorgiou, G.C., Govindjee (Eds.), *Chlorophyll a Fluorescence: A signature of Photosynthesis*. Advances in Photosynthesis and Respiration. Springer. volume 19, pp. 497–523.
- Campelo, R.P.S., Bonou, F.K., Melo Júnior, M., Diaz, X.F.G., Bezerra, L.E.A., Neumann-Leitão, S., 2019. Zooplankton biomass around marine protected islands in the tropical atlantic ocean. *Journal of Sea Research* 154, 101810. doi:10.1016/j.seares.2019.101810.
- Chen, R.F., Bada, J.L., 1992. The fluorescence of dissolved organic matter in seawater. *Marine Chemistry* 37, 191–221.
- Chew, L.L., Chong, V.C., Ooi, A.L., Sasekumar, A., 2015. Vertical migration and positioning behavior of copepods in a mangrove estuary: Interactions between tidal, diel light and lunar cycles. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 152, 142–152. doi:10.1016/j.ecss.2014.11.011.
- Collos, Y., Maestrini, S.Y., Robert, J.M., 1989. Nocturnal synthesis and diurnal degradation of phytoplankton biomass in surface waters. *Marine Biology* 101, 457–462. doi:10.1007/bf00541647.
- Cordeiro, T.A., Brandini, F.P., Rosa, R.S., Sassi, R., 2013. Deep chlorophyll maximum in western equatorial atlantic - how does it interact with islands slopes and seamounts? *Marine Science* 3, 30–37. doi:10.5923/j.ms.20130301.03.
- Correia, E.P., 2014. Migração vertical do microzooplâncton do Arquipélago de São Pedro e São Paulo. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. Recife.
- Costa, A.E.S.F., Santana, J.R., Melo, P.A.M.C., Neumann-Leitão, S., 2019. Polycystine radiolarians within oligotrophic waters: higher abundance closer to tropical oceanic islands. *Tropical Ecology* 60, 261–270. doi:10.1007/s42965-019-00030-3.
- Dolan, J.R., Leme, R., Gasparini, S., Mousseau, L., Heyndrickx, C., 2006. Probing diversity in the plankton: using patterns in tintinnids (planktonic marine ciliates) to identify mechanisms. *Hydrobiologia* 555, 143–157. doi:10.1007/s10750-005-1112-6.
- Du, P., Jiang, Z.B., Wang, Y.M., Qian, P., Hu, H.J., Liao, Y.B., Zhou, K.L., Zeng, J.N., Chen, Q.Z., Shou, L., Zhang, D.M., 2017. Spatial heterogeneity of the planktonic protistan community in a semi-closed eutrophic bay, china. *Journal of Plankton Research* 41, 223–239. doi:10.1093/plankt/fbz012.
- Edwards, M., Richardson, A.J., 2004. The impact of climate change on the phenology of the plankton community and trophic mismatch. *Nature* 430, 881–884. doi:10.1038/nature02808.
- Ekau, W., Knoppers, B.A., 1999. An introduction to the pelagic system of the north-east and east brazilian shelf. *Archive of Fishery and Marine Research* 47, 113–132.
- Eskinazi-Leça, E., Moura, A., Silva-Cunha, M., Koenig, M., 2002. Microalgas marinhas do estado de pernambuco: diagnóstico da biodiversidade de pernambuco, in: Tabarelli, M., Silva, J.M.C. (Eds.), *Diagnóstico da biodiversidade de Pernambuco*. Secretaria de Ciência Tecnologia e Meio Ambiente/Editora Massangana. volume 1, pp. 79–96.
- Falkowski, P., Kiefer, D.A., 1985. Chlorophyll a fluorescence in phytoplankton: relationship to photosynthesis and biomass. *Journal of Plankton Research* 7, 715–731. doi:10.1093/plankt/7.5.715.
- Falkowski, P.G., Fenchel, T., Delong, E.F., 2008. The microbial engines that drive earth’s biogeochemical cycles. *Science* 320, 1034–1039. doi:10.1126/science.1153213.
- Falkowski, P.G., Kolber, Z., 1995. Variations in chlorophyll fluorescence yields in phytoplankton in the world oceans. *Functional Plant Biology* 22, 341. doi:10.1071/pp9950341.
- Faure, E., Not, F., Benoiston, A.S., Labadie, K., Bittner, L., Ayata, S.D., 2019. Mixotrophic protists display contrasted biogeographies in the global ocean. *The ISME Journal* 13, 1072–1083. doi:10.1038/s41396-018-0340-5.
- Fehling, J., Davidson, K., Bolch, C.J.S., Brand, T.D., Narayanaswamy, B.E., 2012. The relationship between phytoplankton distribution and water column characteristics in north west european shelf sea waters. *PLoS ONE* 7, e34098. doi:10.1371/journal.pone.0034098.
- Feitosa, F.A.D.N., Passavante, J.Z.O., 2004. Produtividade fitoplanctônica e hidrologia do atol das rocas (brasil), in: Chellappa, N.T., Chellappa, S., PASSAVANTE, J.Z.O. (Eds.), *Ecologia aqutica tropical*. ServGraf, pp. 143–156.
- Flynn, K.J., Stoecker, D.K., Mitra, A., Raven, J.A., Glibert, P.M., Hansen, P.J., Granéli, E., Burkholder, J.M., 2012. Misuse of the phytoplankton-zooplankton dichotomy: the need to assign organisms as mixotrophs within plankton functional types. *Journal of Plankton Research* 35, 3–11. doi:10.1093/plankt/fbs062.
- Foissner, W., Hawksworth, D.L., 2009. *Protist Diversity and Geographical Distribution*. Springer Netherlands. doi:10.1007/978-90-481-2801-3.
- Fonteneau, A., 1991. Monts sous-marins et thons dans l’atlantique tropical est. *Aquatic Living Resources* 4, 13–25. doi:10.1051/alr:1991001.
- Gaines, G., Elbrächter, M., 1987. Heterotrophic nutrition, in: Taylor, F.J.R. (Ed.), *The biology of Dinoflagellates*. Botanical monographs. volume 21,

- pp. 224–268.
- Garcés, E., Delgado, M., Masó, M., Camp, J., 1998. Life history and growth rates of (dinophyceae, pyrrrophyta). *Journal of Phycology* 34, 880–887. doi:10.1046/j.1529-8817.1998.340880.x.
- Goes, C.A., 2006. Análise da dispersão de larvas de lagostas no Atlântico Tropical a partir de correntes geostróficas superficiais derivadas por satélites. *mathesis*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, INPE. São Paulo. URL: <http://mtcm17.sid.inpe.br/rep/sid.inpe.br/MTC-m13@80/2006/07.10.14.12>.
- González-Quirós, R., Cabal, J., Álvarez Marqués, F., Isla, A., 2003. Ichthyoplankton distribution and plankton production related to the shelf break front at the avilés canyon. *ICES Journal of Marine Science* 60, 198–210. doi:10.1016/s1054-3139(03)00009-2.
- Gorini, M.A., Bryan, G.M., 1974. Semi-isolated basin off northeast brazilian margin. *Transactions American Geophysical Union* 55, 278–279.
- Granéli, E., Hansen, P.J., 2006. Allelopathy in harmful algae: A mechanism to compete for resources?, in: Granéli, E., Turner, J.T. (Eds.), *Ecology of Harmful Algae*. Springer, Amsterdam, pp. 125–146.
- Grasshoff, K., Ehrhardt, M., 1983. *Methods of seawater analysis*. 3 ed., Verlag Chemie, Weinheim.
- Gómez, F., 2012. A quantitative review of the lifestyle, habitat and trophic diversity of dinoflagellates (dinoflagellata, alveolata). *Systematics and Biodiversity* 10, 267–275. doi:10.1080/14772000.2012.721021.
- Gómez, F., 2013. Reinstatement of the dinoflagellate genus to replace , marine species of (dinophyceae, alveolata). *CICIMAR Oceánides* 28, 1–22.
- Hansen, P.J., 1991. Quantitative importance and trophic role of heterotrophic dinoflagellates in a coastal pelagial food web. *Marine Ecology Progress Series* 73, 253–261. doi:10.3354/meps073253.
- Haraguchi, L., Odebrecht, C., 2010. Dinophysiales (dinophyceae) no extremo sul do brasil (inverno de 2005, verão de 2007). *Biota Neotropica* 10, 101–114. doi:10.1590/s1676-06032010000300011.
- Hays, G.C., Richardson, A.J., Robinson, C., 2005. Climate change and marine plankton. *Trends in ecology & evolution* 20, 337–344. doi:10.1016/j.tree.2005.03.004.
- Hughes, L., 2000. Biological consequences of global warming: is the signal already apparent? *Trends in Ecology & Evolution* 15, 56–61. doi:10.1016/s0169-5347(99)01764-4.
- Jacobson, D.M., Anderson, D.M., 1986. Thecate heterophic dinoflagellates: Feeding behavior and mechanisms. *Journal of Phycology* 22, 249–258. doi:10.1111/j.1529-8817.1986.tb00021.x.
- Jales, M.C., 2015. Influência das condições oceanográficas sobre a estrutura da comunidade fitoplanctônica no Atol das Rocas, Atlântico Sul Equatorial, Brasil. *mathesis*. Universidade Federal de Pernambuco. Recife.
- Ji, R., Franks, P.J.S., 2007. Vertical migration of dinoflagellates: model analysis of strategies, growth, and vertical distribution patterns. *Marine Ecology Progress Series* 344, 49–61. doi:10.3354/meps06952.
- Joseph, K.J., Pillai, V.K., 1975. Seasonal and spatial distribution of phytoplankton in cochin backwaters. *Bulletin of the Department of Marine Science University of Cochin* 7, 171–180.
- Kiefer, D.A., Reynolds, R.A., 1992. Advances in understanding phytoplankton fluorescence and photosynthesis, in: Falkowski, P.G. (Ed.), *Primary Productivity and Biogeochemical Cycles in the Sea*. Springer US, pp. 155–174. doi:10.1007/978-1-4899-0762-2_10.
- Kikuchi, R.K.P.D., 2002. Atol das rocas, litoral do nordeste do brasil - Único atol do atlântico sul equatorial ocidental, in: Schobbenhaus, C., Campos, D.A., Queiroz, E.T., Winge, M., Berbert-Born, M.L.C. (Eds.), *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. DNPM/CPRM, Brasília, pp. 379–390.
- Koenig, M.L., Lira, C.G., 2005. O gênero ceratium schrank (dinophyta) na plataforma continental e águas oceânicas do estado de pernambuco, brasil. *Acta Botanica Brasilica* 19, 391–397. doi:10.1590/s0102-33062005000200022.
- Koenig, M.L., Macêdo, S.J., 1999. Hydrology and phytoplankton community structure at itamaracá-pernambuco (northeast brazil). *Brazilian Archives of Biology and Technology* 42. doi:10.1590/s1516-89131999000400002.
- Kofoid, C.A., 1908. *Exuviation, autotomy and regeneration in Ceratium*. The University Press. doi:10.5962/bhl.title.57672.
- Lessa, R., Mafalda-Jr., P., Advíncula, R., Lucchesi, R., Bezerra-Jr., J., Vaske-Jr., T., Hellebrandt, D., 1999. Distribution and abundance of ichthyoneuston at seamounts and islands off north-eastern brazil. *Archive of Fishery and Marine Research* 47, 239–252.
- Mackas, D.L., Pepin, P., Verheye, H., 2012. Interannual variability of marine zooplankton and their environments: within- and between-region comparisons. *Progress in Oceanography* 97-100, 1–14. doi:10.1016/j.pocean.2011.11.002.
- Margalef, R., 1978. Life-forms of phytoplankton as survival alternatives in an unstable environment. *Oceanologica Acta* 1, 493–509.
- Medeiros, C., Araújo, M., Freitas, I., Rollnic, M., 2009. Massas d’água da região oeste do atlântico tropical, in: Hazin, F.H.V. (Ed.), *Meteorologia e Sensoriamento Remoto, Oceanografia Física, Oceanografia Química e Oceanografia Geológica*. Programa REVIZEE - Score Nordeste. Martins & Cordeiro, pp. 56–69.
- Medeiros, C., Macedo, S.J., Feitosa, F.A.N., Koenig, M.L., 1999. Hydrography and phytoplankton biomass and abundance of north-east brazilian waters. *Archive of Fishery and Marine Research* 47, 133–151.

- Misic, C., Bavestrello, G., Bo, M., Borghini, M., Castellano, M., Harriague, A.C., Massa, F., Spotorno, F., Povero, P., 2012. The "seamount effect" as revealed by organic matter dynamics around a shallow seamount in the tyrrhenian sea (vercelli seamount, western mediterranean). *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers* 67, 1–11. doi:10.1016/j.dsr.2012.04.012.
- Morato, T., Hoyle, S.D., Allain, V., Nicol, S.J., 2010. Seamounts are hotspots of pelagic biodiversity in the open ocean. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 107, 9707–9711. doi:10.1073/pnas.0910290107.
- Mouritsen, L.T., 2003. Vertical microscale patchiness in nano- and microplankton distributions in a stratified estuary. *Journal of Plankton Research* 25, 783–797. doi:10.1093/plankt/25.7.783.
- Neumann-Leitão, S., Gusmão, L.M.O., Silva, T., Nascimento-Vieira, D.A., Silva, A.P., 1999. Mesozooplankton biomass and diversity in coastal and oceanic waters off north-eastern brazil. *Archive of fishery and marine research* 47, 153–165.
- Nogueira, M.E.S., Sassi, R., 2011. Nychthemeral variations of tintinnina (ciliata, oligotrichida) near the rocas atoll (south atlantic) and relationships with other microzooplanktonic components. *Arquivos de Ciências do Mar* 44, 5–11.
- Passavante, J.Z.O., 1979. Contribuição ao estudo dos dinoflagelados da plataforma continental de pernambuco-brasil. *Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco* 14, 31–54.
- Pearman, J.K., Kürten, S., Sarma, Y.V.B., Jones, B.H., Carvalho, S., 2016. Biodiversity patterns of plankton assemblages at the extremes of the red sea. *FEMS Microbiology Ecology* 92, fiw002. doi:10.1093/femsec/fiw002.
- Pinto, N.C.T., Mafalda, P., Santos, A.T., 1997. Caracterização do zooplâncton da reserva biológica do atol das rocas, na campanha de março-1991 (verão). *Tropical Oceanography* 25. doi:10.5914/tropocean.v25i1.2726.
- Pizay, M.D., Lemée, R., Simon, N., Cras, A.L., Laugier, J.P., Dolan, J.R., 2009. Night and day morphologies in a planktonic dinoflagellate. *Protist* 160, 565–575. doi:10.1016/j.protis.2009.04.003.
- Queiroz, A.R., 2011. Estrutura do microfitoplâncton no arquipélago de São Pedro e São Paulo (Lat. 00°56'2"N e Long. 29°20'6"W): estimativa da biomassa em carbono através do biovolume celular. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Pernambuco. Recife.
- Queiroz, A.R., Koenig, M.L., Gaspar, F.L., 2014. Cell biovolume and biomass in carbon of microphytoplankton species of oceanic regions, equatorial atlantic. *Tropical Oceanography* 42, 131–144. doi:10.5914/tropocean.v42i2.5809.
- Queiroz, A.R., Montes, M.F., de Castro Melo, P.A.M., Silva, R.A., Koenig, M.L., 2015. Vertical and horizontal distribution of phytoplankton around an oceanic archipelago of the equatorial atlantic. *Marine Biodiversity Records* 8, e155. doi:10.1017/s175526721500130x.
- Richardson, P.L., McKee, T.K., 1984. Average seasonal variation of the atlantic equatorial currents from historical ship drifts. *Journal of Physical Oceanography* 14, 1226–1238. doi:10.1175/1520-0485(1984)014<1226:asvota>2.0.co;2.
- Sahu, G., Mohanty, A.K., Samantara, M.K., Satpathy, K.K., 2014. Seasonality in the distribution of dinoflagellates with special reference to harmful algal species in tropical coastal environment, bay of bengal. *Environmental Monitoring and Assessment* 186, 6627–6644. doi:10.1007/s10661-014-3878-3.
- Saldarriaga, J.F., Taylor, F.J.R., 2017. Dinoflagellata, in: Taylor, F.J.R. (Ed.), *Handbook of the Protists*. Springer International Publishing, pp. 625–678. doi:10.1007/978-3-319-28149-0_22.
- Sampaio, J.A.A., 1998. Distribuição horizontal e vertical da clorofila a fitoplanctônica em águas da Zona Econômica Exclusiva do Nordeste Brasileiro. Technical reports, João Pessoa.
- Scheffer, M., Carpenter, S.R., 2003. Catastrophic regime shifts in ecosystems: linking theory to observation. *Trends in Ecology & Evolution* 18, 648–656. doi:10.1016/j.tree.2003.09.002.
- Schnepf, E., Elbrächter, M., 1992. Nutritional strategies in dinoflagellates. review with emphasis on cell biological aspects. *European Journal of Protistology* 28, 3–24. doi:10.1016/s0932-4739(11)80315-9.
- Sherr, E.B., Sherr, B.F., 2007. Heterotrophic dinoflagellates: a significant component of microzooplankton biomass and major grazers of diatoms in the sea. *Marine Ecology Progress Series* 352, 187–197. doi:10.3354/meps07161.
- Smalley, G.W., Coats, D.W., Stoecker, D.K., 2003. Feeding in the mixotrophic dinoflagellate is influenced by intracellular nutrient concentrations. *Marine Ecology Progress Series* 262, 137–151. doi:10.3354/meps262137.
- Soares, M.O., Lemos, V.B., Kikuchi, R.K.P.D., 2009. Sedimentos carbonáticos bioclásticos do atol das rocas, atlântico sul equatorial. *Revista Brasileira de Geociências* 39, 624–634. doi:10.25249/0375-7536.2009394624634.
- Somsap, N., Gajasen, N., Piumsomboon, A., 2015. Physico-chemical factors influencing blooms of chaetoceros spp. and ceratium furca in the inner gulf of thailand. *Kasetsart Journal - Natural Science* 49, 200–210.
- Song, J., 2010. Biogeochemical Processes of Biogenic Elements in China Marginal Seas. Springer Berlin Heidelberg. doi:10.1007/978-3-642-04060-3.
- Sournia, A., 1975. Circadian periodicities in natural populations of marine phytoplankton. *Advances in Marine Biology* 12, 325–389. doi:10.1016/s0065-2881(08)60460-5.
- Sousa, L., Rivas-Carballo, M.R., Pais, J., 1999. Dinoflagelados. Nomenclatura portuguesa. 13, Centro de Estudos Geológicos, Dep. Ciências da

- 566 Terra, Faculdade de Ciências e Tecnologia (UNL), Caparica, Portugal.
- 567 Souza, C.A., Pecqueur, D., Floc'h, E.L., Mas, S., Roques, C., Mostajir, B., Vidussi, F., Velo-Suárez, L., Sourisseau, M., Fouilland, E., Guillou, L.,
568 2015. Significance of plankton community structure and nutrient availability for the control of dinoflagellate blooms by parasites: A modeling
569 approach. *PLoS ONE* 10, e0127623. doi:10.1371/journal.pone.0127623.
- 570 Souza, C.S., Luz, J.A.G., Macedo, S., Montes, M.J.F., Mafalda, P., 2013. Chlorophyll a and nutrient distribution around seamounts and islands of
571 the tropical south-western atlantic. *Marine and Freshwater Research* 64, 168. doi:10.1071/mf12075.
- 572 Stenseth, N.C., Mysterud, A., 2002. Climate, changing phenology, and other life history traits: Nonlinearity and match-mismatch to the environment.
573 *Proceedings of the National Academy of Sciences* 99, 13379–13381. doi:10.1073/pnas.212519399.
- 574 Strickland, J.D.H., Parsons, T.R., 1972. *A Practical Handbook of Seawater Analysis*. 2nd edition ed., Fisheries Research Board of Canada.
- 575 Susini-Ribeiro, S.M.M., Pompeu, M., Gaeta, S.A., Souza, J.S.D., Masuda, L.S.D., 2013. Topographical and hydrographical impacts on the structure
576 of microphytoplankton assemblages on the abrolhos bank region, brazil. *Continental Shelf Research* 70, 88–96. doi:10.1016/j.csr.2013.09.
577 023.
- 578 Tarangkoon, W., Hansen, G., Hansen, P.J., 2010. Spatial distribution of symbiont-bearing dinoflagellates in the indian ocean in relation to oceano-
579 graphic regimes. *Aquatic Microbial Ecology* 58, 197–213. doi:10.3354/ame01356.
- 580 Taylor, F.J.R., 1973. General features of dinoflagellate material collected by the "anton bruun" during the international indian ocean expedi-
581 tion, in: Zeitzschel, B. (Ed.), *The biology of the Indian Ocean: biological studies*. Springer Berlin Heidelberg, pp. 155–169. doi:10.1007/
582 978-3-642-65468-8_11.
- 583 Taylor, F.J.R., 1976. Dinoflagellates from the international indian ocean expedition. *Bibliotheca Botannica* 132, 1–222.
- 584 Taylor, F.J.R., 1987. *The Biology of Dinoflagellates*. 1 ed., Wiley-Blackwell.
- 585 Taylor, F.J.R., 2004. Harmful dinoflagellate species in space and time and the value of morphospecies, in: Steidinger, K.A., Landsberg, J.H., Tomas,
586 C.R. (Eds.), *Harmful algae*. UNESCO, pp. 555–559.
- 587 Taylor, F.J.R., Hoppenrath, M., Saldarriaga, J.F., 2007. Dinoflagellate diversity and distribution. *Biodiversity and Conservation* 17, 407–418.
588 doi:10.1007/s10531-007-9258-3.
- 589 Tchamabi, C.C., Araujo, M., Silva, M., Bourlès, B., 2017. A study of the brazilian fernando de noronha island and rocas atoll wakes in the tropical
590 atlantic. *Ocean Modelling* 111, 9–18. doi:10.1016/j.ocemod.2016.12.009.
- 591 Tenenbaum, D.R., 2006. Dinoflagelados e tintínídeos da região central da Zona Econômica Exclusiva brasileira: guia de identificação. Museu
592 Nacional do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- 593 Tiburcio, A.S.X.S., Koenig, M.L., Macêdo, S.J., Melo, P.A.M.C., 2011. A comunidade microfítotoplanctônica do arquipélago de são pedro e são
594 paulo (atlântico norte-equatorial): variação diurna e espacial. *Biota Neotropica* 11, 203–215. doi:10.1590/s1676-06032011000200021.
- 595 Tunin-Ley, A., Lemée, R., 2013. The genus neoceratium (planktonic dinoflagellates) as a potential indicator of ocean warming. *Microorganisms* 1,
596 58–70. doi:10.3390/microorganisms1010058.
- 597 Vargas, C., Audic, S., Henry, N., Decelle, J., Mahe, F., Logares, R., Lara, E., Berney, C., Bescot, N.L., Probert, I., Carmichael, M., Poulain, J.,
598 Romac, S., Colin, S., Aury, J.M., Bittner, L., Chaffron, S., Dunthorn, M., Engelen, S., Flegontova, O., Guidi, L., Horak, A., Jaillon, O., Lima-
599 Mendez, G., Luke, J., Malviya, S., Morard, R., Mulot, M., Scalco, E., Siano, R., Vincent, F., Zingone, A., Dimier, C., Picheral, M., Searson,
600 S., Kandels-Lewis, S., Acinas, S.G., Bork, P., Bowler, C., Gorsky, G., Grimsley, N., Hingamp, P., Iudicone, D., Not, F., Ogata, H., Pesant, S.,
601 Raes, J., Sieracki, M.E., Speich, S., Stemmann, L., Sunagawa, S., Weissenbach, J., Wincker, P., Karsenti, E., Boss, E., Follows, M., Karp-Boss,
602 L., Krzic, U., Reynaud, E.G., Sardet, C., Sullivan, M.B., Velayoudon, D., 2015. Eukaryotic plankton diversity in the sunlit ocean. *Science* 348,
603 1261605–1261605. doi:10.1126/science.1261605.
- 604 Villaça, R., Jensen, V.K., 2006. taylor (phaeophyceae, dictyotales): nova ocorrência para o atol das rocas e primeira descrição para a costa brasileira.
605 *Arquivos do Museu Nacional* 64, 215–221.
- 606 Weiler, C.S., 1980. Population structure and in situ division rates of in oligotrophic waters of the north pacific central gyre. *Limnology and*
607 *Oceanography* 25, 610–619. doi:10.4319/lo.1980.25.4.0610.
- 608 Yang, J., Beyens, L., Shen, Y., Feng, W., 2004. Redescription of hu, shen, gu et gong, 1997 (protozoa: Rhizopoda: Arcellinida: Diffugiidae) from
609 china. *Acta protozoologica* 43, 281–289.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos nesse estudo contribuíram com o conhecimento sobre o microplâncton do Atol das Rocas, único do Oceano Atlântico Sul. Foi possível identificar os grupos de maior diversidade nessa área, como Copepoda, Radiozoa, Tintinnina, Foraminífero e Dinoflagellata.

Entre os grupos do microzooplâncton encontramos alta abundância de Copepoda, mostrando que eles contribuem de maneira notável como elo na cadeia alimentar. As espécies indicadoras do Atol foram características de águas tropicais oligotróficas sob condições esporádicas de ressurgência, sugerindo que o Atol realmente atua como barreira física para as correntes, ocasionando possível instabilidade, elevando o fluxo de nutrientes e garantindo o aumento da diversidade local.

A classe Policistina, foi mais bem-sucedida no ano de 2014 entre os protistas, provavelmente devido as características intrínsecas deste ano, como maior concentração de nutrientes, o que contribuiu positivamente para a abundância dessa classe. Entretanto, também é importante enfatizar que características de cada espécie (como propriedades morfológicas, mecânicas e fisiológicas) podem ser mais sensíveis à disponibilidade de nutrientes do que a outros parâmetros ambientais.

A temperatura foi o fator que melhor explicou a diferença entre os anos, entretanto para a diferença da comunidade de Dinoflagellata ela não foi a mais explicativa. De modo geral eles parecem ter sucesso nas áreas próximas ao Atol das Rocas, mostrado pela riqueza e densidade observadas, o que pode ser reflexo do grande número de espécies mixotróficas encontradas lá.

Uma questão importante levantada com base em nossos resultados, foi a influência dos efeitos climáticos (El Niño - La Niña) sobre o microplâncton, principalmente sobre a diversidade de Radiozoa e Dinoflagellata.

Devido a localização e por estar em uma área de proteção ambiental o Atol das Rocas não passa por impactos antropogênicos diretos que possam justificar a variação apresentada nessas comunidades entre os anos estudados, podemos sugerir, portanto, que a dinâmica observada seja reflexo de variações climáticas.

As conclusões tiradas nesse trabalho ampliam a importância de novos estudos, assim

como a importância desses grupos no monitoramento dos efeitos das mudanças climáticas nos oceanos tropicais, isso porque variações nas comunidades gerariam impactos gradativos em toda teia trófica, já que eles ocuparem os primeiros níveis da cadeia.

REFERÊNCIAS

- ABDENADHER, M.; HAMZA, A.; FEKIH, W.; HANNACHI, I.; BELLAAJ, A. Z.; BRADAI, M. N.; ALEYA, L. Factors determining the dynamics of toxic blooms of *Alexandrium minutum* during a 10-year study along the shallow southwestern Mediterranean coasts. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, [s.l.], v. 106, p. 102–111, 2012.
- ALMEIDA, F. F. M. Ilhas oceânicas brasileiras e suas relações com a tectônica atlântica. **Terrae Didactica**, [s.l.], v. 2, n. 1, p. 3, 2015.
- ARAÚJO, M.; CINTRA, M. Modelagem matemática da circulação oceânica na região equatorial do Arquipélago de São Pedro e São Paulo. *in*: VIANA, D. L.; HAZIN, F. H. V.; SOUZA, M. A. C. **O arquipélago de São Pedro e São Paulo: 10 anos de estação científica**. Brasília: SECRIM, 2009. P. 106–113.
- ARNAULT, S. Tropical Atlantic geostrophic currents and ship drifts. **Journal of Geophysical Research**, [s.l.], v. 92, n. C5, p. 5076, 1987.
- ATKINSON, A.; SIEGEL, V.; PAKHOMOV, E.; ROTHERY, P. Long-term decline in krill stock and increase in salps within the Southern Ocean. **Nature**, [s.l.], v. 432, n. 7013, p. 100–103, 2004.
- BAEK, S. H.; SHIMODE, S.; HAN, M.-S.; KIKUCHI, T. Growth of dinoflagellates, *Ceratium furca* and *Ceratium fusus* in Sagami Bay, Japan: The role of nutrients. **Harmful Algae**, [s.l.], v. 7, n. 6, p. 729–739, out. 2008.
- BAEK, S. H.; SHIMODE, S.; SHIN, K.; HAN, M.-S.; KIKUCHI, T. Growth of dinoflagellates, *Ceratium furca* and *Ceratium fusus* in Sagami Bay, Japan: The role of vertical migration and cell division. **Harmful Algae**, [s.l.], v. 8, n. 6, p. 843–856, 2009.
- BEAUGRAND, G. Reorganization of North Atlantic marine copepod biodiversity and climate. **Science**, [s.l.], v. 296, n. 5573, p. 1692–1694, 2002.
- BECKER, H. **Hidrologia dos bancos e ilhas oceânicas do nordeste brasileiro. Uma contribuição ao Programa REVIZEE**. 2001. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.
- BEERS, J. R. Determinación de la biomasa del zooplancton. *in*: BOLTOVSKOY, D. (Ed.). **Atlas del zooplancton del Atlantico Sudoccidental y métodos de trabajo com el zooplancton marino**. Mar del Plata: INIDEP, 1981. v. 2. P. 133–141.
- BEHRENFELD, M. J.; WESTBERRY, T. K.; BOSS, E. S.; O'MALLEY, R. T.; SIEGEL, D. A.; WIGGERT, J. D.; FRANZ, B. A.; MCCLAIN, C. R.; FELDMAN, G. C.; DONEY, S. C.; MOORE, J. K.; DALL'OLMO, G.; MILLIGAN, A. J.; LIMA, I.; MAHOWALD, N. Satellite-detected fluorescence reveals global physiology of ocean phytoplankton. **Biogeosciences**, [s.l.], v. 6, n. 5, p. 779–794, 2009.
- BERNARD, R.; BATTEN, S.; BEAUGRAND, G.; BUCKLAND, C. Continuous plankton records: Plankton atlas of the North Atlantic Ocean (1958-1999). II. Biogeographical charts. **Marine Ecology Progress Series**, [s.l.], Supplement, p. 11–75, 2011.

BOEHLERT, G. W.; GENIN, A. A review of the effects of seamounts on biological processes. *in*: KEATING, B. H.; FRYER, P.; BATIZA, R.; BOEHLERT, G. W. (Ed.). **Seamounts Islands and Atolls**. Washington: American Geophysical Union, 1987. (Geophysical Monograph, 43). P. 319–334.

BOLTOVSKOY, D. **Atlas del Zooplaneton del Atlantico Sudoccidental y métodos de trabajo con el zooplancton marino**. 1. ed. Mar del Plata: Instituto Nacional de Investigacion y Desarrollo Pesquero, 1981.

_____. Radiolaria Polycystina. *in*: _____. **South Atlantic Zooplankton**. [S.l.]: The Netherlands: Backhuys Publishers, 1999. P. 149–212.

BOLTOVSKOY, D.; PUJANA, I. Radiozoa. *in*: CAMACHO, H. (Ed.). **Invertebrados Fósiles**. Buenos Aires: Universidad Buenos Aires Maimónides, 2007. P. 111–132.

BOURLÈS, B.; GOURIOU, Y.; CHUCHLA, R. On the circulation in the upper layer of the western equatorial Atlantic. **Journal of Geophysical Research: Oceans**, [s.l.], v. 104, n. C9, p. 21151–21170, 1999.

BRADFORD-GRIEVE, J.; MARKHASEVA, E.; ROCHA, C.; ABIAHY, B. Copepoda. *in*: BOLTOVSKOY, D. (Ed.). **South Atlantic Zooplankton**. [S.l.]: Backhuys Publishers, 1999. v. 2. P. 869–1098.

BRANDINI, F. P.; FERNANDES, L. F. Microalgae of the continental shelf off Paraná State, southeastern Brazil: a review of studies. **Revista Brasileira de Oceanografia**, [s.l.], v. 44, n. 1, p. 69–80, 1996.

BRASIL. **Plano de Manejo para a Reserva Biológica do Atol das Rocas**. 1. ed. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, 2007. Disponível em: http://www.icmbio.gov.br/portal/im%20ages/stories/imgs-unidadescoservacao/rebio_atol-das-rocas.pdf.

BRUCE, D.; VASIL'EV, S. Excess light stress: multiple dissipative processes of excess excitation. *in*: PAPAGEORGIOU, G. C.; GOVINDJEE (Ed.). **Chlorophyll a Fluorescence: A signature of Photosynthesis. Advances in Photosynthesis and Respiration**. [S.l.]: Springer, 2004. v. 19. P. 497–523.

BRUGGEMAN, J.; KOOIJMAN, S. A. L. M. A biodiversity-inspired approach to aquatic ecosystem modeling. **Limnology and Oceanography**, [s.l.], v. 52, n. 4, p. 1533–1544, 2007.

BURKILL, P. H.; EDWARDS, E. S.; JOHN, A. W. G.; SLEIGH, M. A. Microzooplankton and their herbivorous activity in the northeastern Atlantic Ocean. **Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography**, [s.l.], v. 40, n. 1-2, p. 479–493, 1993.

CALBET, A.; LANDRY, M. R. Phytoplankton growth, microzooplankton grazing, and carbon cycling in marine systems. **Limnology and Oceanography**, [s.l.], v. 49, n. 1, p. 51–57, 2004.

CAMPBELL, A. S. Radiozoa. *in*: MOORE, R. C. (Ed.). **Treatise on Invertebrate Paleontology. Part D, Protista 3: Protozoa (chiefly Radiozoa and Tintinnina)**. Lawrence: Geological Society of America e University of Kansas Academic Press, 1954. P. 11–163.

- CAPRIULO, G.; CARPENTER, E. Abundance, species composition and feeding impact of Tintinnid micro-zooplankton in central long island sound. **Marine Ecology Progress Series**, [s.l.], v. 10, p. 277–288, 1983.
- CASTRO-FILHO, B.; BRANDINI, F.; PIRES-VANIN, A. M. S.; MIRANDA, L. B. Multidisciplinary Oceanographic Processes on the Western Atlantic Continental Shelf between 4°N and 34°S. *in*: THE Sea, Vol. 14A - The Global Coastal Ocean: Interdisciplinary Regional Studies and Syntheses. Cambridge: Harvard University Academic Press, 2006. P. 259–293.
- CHEN, R. F.; BADA, J. L. The fluorescence of dissolved organic matter in seawater. **Marine Chemistry**, [s.l.], v. 37, p. 191–221, 1992.
- CHEW, L.-L.; CHONG, V. C.; OOI, A. L.; SASEKUMAR, A. Vertical migration and positioning behavior of copepods in a mangrove estuary: Interactions between tidal, diel light and lunar cycles. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, [s.l.], v. 152, p. 142–152, 2015.
- CLAY, T. W.; BOLLENS, S. M.; BOCHDANSKY, A. B.; IGNOFFO, T. R. The effects of thin layers on the vertical distribution of larval Pacific herring, *Clupea pallasii*. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, [s.l.], v. 305, n. 2, p. 171–189, 2004.
- COHEN, J. H.; FORWARD, R. B. Diel vertical migration of the marine copepod *Calanopia americana*. **Marine Biology**, [s.l.], v. 147, n. 2, p. 399–410, 2005.
- COLLOS, Y.; MAESTRINI, S. Y.; ROBERT, J. M. Nocturnal synthesis and diurnal degradation of phytoplankton biomass in surface waters. **Marine Biology**, [s.l.], v. 101, n. 4, p. 457–462, 1989.
- 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**, [s.l.], v. 3, n. 1, p. 30–37, 2013.
- CORREIA, E. P. **Migração vertical do microzooplâncton do Arquipélago de São Pedro e São Paulo**. 2014. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- COSTA, A. E. S. F.; SANTANA, J. R.; MELO, P. A. M. C.; NEUMANN-LEITÃO, S. Polycystine radiolarians within oligotrophic waters: higher abundance closer to tropical oceanic islands. **Tropical Ecology**, [s.l.], v. 60, n. 2, p. 261–270, 2019.
- CREITZ, G. I.; RICHARDS, F. A. The estimation and characterization of the plankton populations by pigment analysis. III. A note of the use of Millipore membrane filters in the estimation of plankton pigments. **Journal of Marine Research**, [s.l.], v. 14, n. 3, p. 211–216, 1955.
- DOLAN, J. R.; LEMÉE, R.; GASPARINI, S.; MOUSSEAU, L.; HEYNDRIKX, C. Probing diversity in the plankton: using patterns in Tintinnids (planktonic marine ciliates) to identify mechanisms. **Hydrobiologia**, [s.l.], v. 555, n. 1, p. 143–157, 2006.
- DOLAN, J. Tintinnid ciliate diversity in the Mediterranean Sea: longitudinal patterns related to water column structure in late spring-early summer. **Aquatic Microbial Ecology**, [s.l.], v. 22, p. 69–78, 2000.

- DOTY, M. S.; OGURI, M. The Island Mass Effect. **ICES Journal of Marine Science**, [s.l.], v. 22, n. 1, p. 33–37, 1956.
- DU, P.; JIANG, Z. B.; WANG, Y. M.; QIAN, P.; HU, H. J.; LIAO, Y. B.; ZHOU, K. L.; ZENG, J. N.; CHEN, Q. Z.; SHOU, L.; ZHANG, D. M. Spatial heterogeneity of the planktonic protistan community in a semi-closed eutrophic bay, China. **Journal of Plankton Research**, [s.l.], v. 41, n. 3, p. 223–239, 2017.
- DUFRENE, M.; LEGENDRE, P. Species assemblages and indicator species: The need for a flexible asymmetrical approach. **Ecological Monographs**, [s.l.], v. 67, n. 3, p. 345–366, 1997.
- EDWARDS, M.; BEAUGRAND, G.; REID, P. C.; ROWDEN, A. A.; JONES, M. B. Ocean climate anomalies and the ecology of the North Sea. **Marine Ecology Progress Series**, [s.l.], v. 239, p. 1–10, 2002.
- EDWARDS, M.; RICHARDSON, A. J. The impact of climate change on the phenology of the plankton community and trophic mismatch. **Nature**, [s.l.], v. 430, n. 7002, p. 881–884, 2004.
- EKAU, W.; KNOPPERS, B. A. An introduction to the pelagic system of the North-East and East Brazilian Shelf. **Archive of Fishery and Marine Research**, [s.l.], v. 47, n. 2, p. 113–132, 1999.
- ELANGO VAN, S.; ARUN KUMAR, M.; KARTHIK, R.; SIVA SANKAR, R.; JAYABARATHI, R.; PADMAVATI, G. Abundance, species composition of microzooplankton from the coastal waters of Port Blair, South Andaman Island. **Aquatic Biosystems**, [s.l.], v. 8, n. 1, p. 20, 2012.
- ESKINAZI-LEÇA, E.; MOURA, A.; SILVA-CUNHA, M.; KOENING, M. Microalgas marinhas do estado de Pernambuco: diagnóstico da biodiversidade de Pernambuco. *in*: TABARELLI, M.; SILVA, J. M. C. (Ed.). **Diagnóstico da biodiversidade de Pernambuco**. [S.l.]: Secretaria de Ciência Tecnologia e Meio Ambiente/Editora Massangana, 2002. v. 1. P. 79–96.
- FALKOWSKI, P. G.; FENCHEL, T.; DELONG, E. F. The Microbial Engines That Drive Earth's Biogeochemical Cycles. **Science**, [s.l.], v. 320, n. 5879, p. 1034–1039, 2008.
- FALKOWSKI, P. G.; KOLBER, Z. Variations in Chlorophyll Fluorescence Yields in Phytoplankton in the World Oceans. **Functional Plant Biology**, [s.l.], v. 22, n. 2, p. 341, 1995.
- FALKOWSKI, P.; KIEFER, D. A. Chlorophyll a fluorescence in phytoplankton: relationship to photosynthesis and biomass. **Journal of Plankton Research**, [s.l.], v. 7, n. 5, p. 715–731, 1985.
- FAURE, E.; NOT, F.; BENOISTON, A.-S.; LABADIE, K.; BITTNER, L.; AYATA, S.-D. Mixotrophic protists display contrasted biogeographies in the global ocean. **The ISME Journal**, [s.l.], v. 13, n. 4, p. 1072–1083, 2019.
- FEHLING, J.; DAVIDSON, K.; BOLCH, C. J. S.; BRAND, T. D.; NARAYANASWAMY, B. E. The Relationship between Phytoplankton Distribution and Water

Column Characteristics in North West European Shelf Sea Waters. **PLoS ONE**, [s.l.], v. 7, n. 3, e34098, 2012.

FEITOSA, F. A. D. N.; PASSAVANTE, J. Z. O. Produtividade fitoplanctônica e hidrologia do Atol das Rocas (Brasil). *in*: CHELLAPPA, N. T.; CHELLAPA, S.; PASSAVANTE, J. Z. O. (Ed.). **Ecologia aquática tropical**. [S.l.]: ServGraf, 2004. P. 143–156.

FERNÁNDEZ, F. Efecto de la intensidad de luz natural en la actividad metabólica y en la alimentación de varias especies de copépodos planctónicos. **Investigación Pesquera**, [s.l.], v. 41, p. 575–602, 1977.

FLYNN, K. J.; STOECKER, D. K.; MITRA, A.; RAVEN, J. A.; GLIBERT, P. M.; HANSEN, P. J.; GRANÉLI, E.; BURKHOLDER, J. M. Misuse of the phytoplankton–zooplankton dichotomy: the need to assign organisms as mixotrophs within plankton functional types. **Journal of Plankton Research**, [s.l.], v. 35, n. 1, p. 3–11, 2012.

FOISSNER, W.; HAWKSWORTH, D. L. **Protist Diversity and Geographical Distribution**. [S.l.]: Springer Netherlands, 2009. DOI: 10.1007/978-90-481-2801-3.

FONTENEAU, A. Monts sous-marins et thons dans l’Atlantique tropical est. **Aquatic Living Resources**, [s.l.], v. 4, n. 1, p. 13–25, 1991.

FORWARD, R. B. J.; TANKERSLEY, R. A. Selective tidal stream transport of marine animals. *Oceanography and Marine Biology: an annual Review*. **Aberdeen University Press**, [s.l.], v. 39, p. 305–353, 2001.

FRANZÈ, G.; LAVRENTYEV, P. J. Microzooplankton Growth Rates Examined across a Temperature Gradient in the Barents Sea. **PLoS ONE**, [s.l.], v. 9, n. 1, e86429, 2014.

FUKAMI, K.; WATANABE, A.; FUJITA, S.; YAMAOKA, K.; NISHIJIMA, T. Predation on naked protozoan microzooplankton by fish larvae. **Marine Ecology Progress Series**, [s.l.], v. 185, p. 285–291, 1999.

GAINES, G.; ELBRÄCHTER, M. Heterotrophic nutrition. *in*: TAYLOR, F. J. R. (Ed.). **The biology of Dinoflagellates**. [S.l.]: Botanical monographs, 1987. v. 21. P. 224–268.

GARCÉS, E.; DELGADO, M.; MASÓ, M.; CAMP, J. Life history and growth rates of *Alexandrium taylori* (Dinophyceae, Pyrrophyta). **Journal of Phycology**, [s.l.], v. 34, n. 5, p. 880–887, 1998.

GARRISON, T. **Fundamentos de Oceanografia**. São Paulo: Cengage Learning, 2010.

GAUNS, M.; MOHANRAJU, R.; MADHUPRATAP, M. Studies on the microzooplankton from the central and eastern Arabian Sea. **Current Science**, [s.l.], v. 71, p. 874–877, 1996.

GENIN, A. Bio-physical coupling in the formation of zooplankton and fish aggregations over abrupt topographies. **Journal of Marine Systems**, [s.l.], 2004.

GIFFORD, D. J. The protozoan-metazoan trophic link in pelagic ecosystems. **The Journal of Protozoology**, [s.l.], v. 38, n. 1, p. 81–86, 1991.

GODHANTARAMAN, N. Seasonal variations in species composition, abundance, biomass and estimated production rates of tintinnids at tropical estuarine and mangrove waters, Parangipettai, southeast coast of India. **Journal of Marine Systems**, [s.l.], v. 36, n. 3-4, p. 161–171, 2002.

_____. Seasonal variations in taxonomic composition, abundance and food web relationship of microzooplankton in estuarine and mangrove waters, Parangipettai region, southeast coast of India. **Indian Journal of Marine Sciences**, [s.l.], v. 30, p. 151–160, 2001.

GODHANTARAMAN, N.; UYE, S.-I. Geographical variations in abundance, biomass and trophic role of microzooplankton across an inshore - offshore gradient in the Inland Sea of Japan and adjacent Pacific Ocean. **Plankton Biology & Ecology**, [s.l.], v. 48, n. 1, p. 19–27, 2001.

GOES, C. A. **Análise Da Dispersão de Larvas de Lagostas No Atlântico Tropical a Partir de Correntes Geostróficas Superficiais Derivadas Por Satélites**. 2006. 93 f. Dissertação (Mestrado) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

GÓMEZ, F. Reinstatement of the dinoflagellate genus *Tripes* to replace *Neoceratium*, marine species of *Ceratium* (Dinophyceae, Alveolata). **CICIMAR Oceánides**, [s.l.], v. 28, n. 1, p. 1–22, 2013.

GÓMEZ, F. A quantitative review of the lifestyle, habitat and trophic diversity of dinoflagellates (Dinoflagellata, Alveolata). **Systematics and Biodiversity**, [s.l.], v. 10, n. 3, p. 267–275, 2012.

GONZÁLEZ-QUIRÓS, R.; CABAL, J.; ÁLVAREZ-MARQUÉS, F.; ISLA, A. Ichthyoplankton distribution and plankton production related to the shelf break front at the Avilés Canyon. **ICES Journal of Marine Science**, [s.l.], v. 60, n. 2, p. 198–210, 2003.

GORINI, M. A.; BRYAN, G. M. Semi-isolated basin off Northeast Brazilian margin. **Transactions American Geophysical Union**, [s.l.], v. 55, n. 4, p. 278–279, 1974.

GOVE, J. M.; MCMANUS, M. A.; NEUHEIMER, A. B.; POLOVINA, J. J.; DRAZEN, J. C.; SMITH, C. R.; MERRIFIELD, M. A.; FRIEDLANDER, A. M.; EHSES, J. S.; YOUNG, C. W.; DILLON, A. K.; WILLIAMS, G. J. Near-Island Biological Hotspots in Barren Ocean Basins. **Nature Communications**, [s.l.], v. 7, n. 1, p. 10581, 2016.

GRANÉLI, E.; HANSEN, P. J. Allelopathy in harmful algae: A mechanism to compete for resources? *in*: GRANÉLI, E.; TURNER, J. T. (Ed.). **Ecology of Harmful Algae**. Amsterdam: Springer, 2006. P. 125–146.

GRASSHOFF, K.; EHRHARDT, M. **Methods of seawater analysis**. 3. ed. Weinheim: Verlag Chemie, 1983.

HANSEN, P. J. Quantitative importance and trophic role of heterotrophic dinoflagellates in a coastal pelagial food web. **Marine Ecology Progress Series**, [s.l.], 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**, [s.l.], v. 10, n. 3, p. 101–114, 2010.

HAYS, G. C.; RICHARDSON, A. J.; ROBINSON, C. Climate Change and Marine Plankton. **Trends in ecology & evolution**, [s.l.], v. 20, n. 6, p. 337–344, 2005.

HEMLEBEN, C.; SPINDLER, M.; ANDERSON, O. R. **Modern Planktonic Foraminifera**. New York: Springer-Verlag, 1989.

HERNÁNDEZ LEÓN, S.; ALMEIDA, C.; GÓMEZ, M.; TORRES, S.; MONTERO, I.; PORTILLO HAHNEFELD, A. Zooplankton biomass and indices of feeding and metabolism in island generated eddies around Gran Canaria. **Journal of Marine Systems**, [s.l.], v. 30, n. 1-2, p. 51–66, 2001.

HERNÁNDEZ-LEÓN, S.; PUTZEYS, S.; ALMEIDA, C.; BÉCOGNÉE, P.; MARRERO-DÍAZ, A.; ARÍSTEGUI, J.; YEBRA, L. Carbon export through zooplankton active flux in the Canary Current. **Journal of Marine Systems**, [s.l.], v. 189, p. 12–21, 2019.

HILLARY, R. M.; BEES, M. A. Plankton lattices and the role of chaos in plankton patchiness. **Physical Review E**, [s.l.], v. 69, n. 3, p. 1–11, 2004.

HINDER, S. L.; MANNING, J. E.; GRAVENOR, M. B.; EDWARDS, M.; WALNE, A. W.; BURKILL, P. H.; HAYS, G. C. Long-term changes in abundance and distribution of microzooplankton in the NE Atlantic and North Sea. **Journal of Plankton Research**, [s.l.], v. 34, n. 1, p. 83–91, 2011.

HOUGH, A. R.; NAYLOR, E. Endogenous rhythms of circatidal swimming activity in the estuarine copepod *Eurytemora affinis* (Poppe). **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, [s.l.], v. 161, n. 1, p. 27–32, 1992.

HUGHES, L. Biological consequences of global warming: is the signal already apparent? **Trends in Ecology & Evolution**, [s.l.], v. 15, n. 2, p. 56–61, 2000.

HUNTER, M. D.; PRICE, P. W. Playing Chutes and Ladders: Heterogeneity and the Relative Roles of Bottom-up and Top-down Forces in Natural Communities. **Ecology**, [s.l.], v. 73, n. 3, p. 724–732, 1992.

IRIGOIEN, X.; FLYNN, K. J.; HARRIS, R. P. Phytoplankton blooms: a ‘loophole’ in microzooplankton grazing impact? **Journal of Plankton Research**, [s.l.], v. 27, n. 4, p. 313–321, 2005.

JACOBSON, D. M.; ANDERSON, D. M. Thecate heterotrophic dinoflagellates: Feeding behavior and mechanisms. **Journal of Phycology**, [s.l.], v. 22, n. 3, p. 249–258, 1986.

JALES, M. C. **Influência das condições oceanográficas sobre a estrutura da comunidade fitoplanctônica no Atol das Rocas, Atlântico Sul Equatorial, Brasil**. 2015. F. 94. Diss. (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

JALES, M. C.; FEITOSA, F. A. d. N.; KOENING, M. L.; MONTES, M. d. J. F.; ARAÚJO FILHO, M. C. de; SILVA, R. A. da. Phytoplankton biomass dynamics and environmental variables around the Rocas Atoll Biological Reserve, South Atlantic. **Brazilian Journal of Oceanography**, [s.l.], v. 63, n. 4, p. 443–454, 2015.

JI, R.; FRANKS, P. J. S. Vertical migration of dinoflagellates: model analysis of strategies, growth, and vertical distribution patterns. **Marine Ecology Progress Series**, [s.l.], v. 344, p. 49–61, 2007.

JOSEPH, K. J.; PILLAI, V. K. Seasonal and spatial distribution of phytoplankton in Cochin backwaters. **Bulletin of the Department of Marine Science University of Cochin**, [s.l.], v. 7, p. 171–180, 1975.

JYOTHIBABU, R.; MADHU, N.; JAYALAKSHMI, K.; BALACHANDRAN, K.; SHIYAS, C.; MARTIN, G.; NAIR, K. Impact of freshwater influx on microzooplankton mediated food web in a tropical estuary (Cochin backwaters – India). **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, [s.l.], v. 69, n. 3-4, p. 505–518, 2006.

KIEFER, D. A.; REYNOLDS, R. A. Advances in Understanding Phytoplankton Fluorescence and Photosynthesis. *in*: FALKOWSKI, P. G. (Ed.). **Primary Productivity and Biogeochemical Cycles in the Sea**. [S.l.]: Springer US, 1992. P. 155–174. DOI: 10.1007/978-1-4899-0762-2_10.

KIKUCHI, R. K. P. D. Atol das Rocas, Litoral do Nordeste do Brasil - Único atol do Atlântico Sul Equatorial Ocidental. *in*: SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D. A.; QUEIROZ, E. T.; WINGE, M.; BERBERT-BORN, M. L. C. (Ed.). **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil**. Brasília: DNPM/CPRM, 2002. P. 379–390.

_____. **Geomorfologia, Estratigrafia e Sedimentologia do Atol das Rocas (Rebio, IBAMA / RN)**. 1994. Diss. (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia, Salvador.

KOENING, M. L.; OLIVEIRA, M. S. Estrutura da comunidade fitoplanctônica. *in*: VIANA, D. L.; HAZIN, F. H. V.; SOUZA, M. A. C. (Ed.). **O arquipélago São Pedro e São Paulo: 10 anos de Estação Científica**. 1. ed. Brasília: SECRIM, 2009. P. 117–128.

KOENING, M. L.; LIRA, C. G. O gênero *Ceratium* Schrank (Dinophyta) na plataforma continental e águas oceânicas do Estado de Pernambuco, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, [s.l.], v. 19, n. 2, p. 391–397, 2005.

KOENING, M. L.; MACÊDO, S. J. Hydrology and phytoplankton community structure at Itamaracá-Pernambuco (Northeast Brazil). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, [s.l.], v. 42, n. 4, 1999.

KOFOID, C. A. **Exuviation, autotomy and regeneration in *Ceratium***. [S.l.]: The University Press, 1908. DOI: 10.5962/bhl.title.57672.

KRSINIC, F.; GRBEC, B. Horizontal distribution of tintinnids in the open waters of the South Adriatic (Eastern Mediterranean). **Scientia Marina**, [s.l.], v. 70, n. 1, p. 77–88, 2006.

LAVRENTYEV, P.; FRANZÈ, G.; PIERSON, J.; STOECKER, D. The effect of dissolved polyunsaturated aldehydes on microzooplankton growth rates in the Chesapeake Bay and Atlantic coastal waters. **Marine Drugs**, [s.l.], v. 13, n. 5, p. 2834–2856, 2015.

LENZ, J. Introduction. *in*: HARRIS, R.; WIEBE, P.; LENZ, J.; SKOLJOLDAL, H. R.; HUNTLEY, M. **ICES zooplankton methodology manual**. [S.l.]: Elsevier, 2000. P. 193–221.

LESSA, R.; MAFALDA-JR., P.; ADVÍNCULA, R.; LUCCHESI, R.; BEZERRA-JR., J.; VASKE-JR., T.; HELLEBRANDT, D. Distribution and abundance of ichthyoneuston at seamounts and islands off north-eastern Brazil. **Archive of Fishery and Marine Research**, [s.l.], v. 47, n. 2/3, p. 239–252, 1999.

LIMA-MENDEZ, G.; FAUST, K.; HENRY, N.; DECELLE, J.; COLIN, S.; CARCILLO, F.; CHAFFRON, S.; IGNACIO-ESPINOSA, J. C.; ROUX, S.; VINCENT, F.; BITTNER, L.; DARZI, Y.; WANG, J.; AUDIC, S.; BERLINE, L.; BONTEMPI, G.; CABELLO, A. M.; COPPOLA, L.; CORNEJO-CASTILLO, F. M.; D'OVIDIO, F.; MEESTER, L. D.; FERRERA, I.; GARET-DELMAS, M.-J.; GUIDI, L.; LARA, E.; PESANT, S.; ROYO-LLONCH, M.; SALAZAR, G.; SANCHEZ, P.; SEBASTIAN, M.; SOUFFREAU, C.; DIMIER, C.; PICHERAL, M.; SEARSON, S.; KANDELS-LEWIS, S.; GORSKY, G.; NOT, F.; OGATA, H.; SPEICH, S.; STEMMANN, L.; WEISSENBAACH, J.; WINCKER, P.; ACINAS, S. G.; SUNAGAWA, S.; BORK, P.; SULLIVAN, M. B.; KARSENTI, E.; BOWLER, C.; VARGAS, C. de; RAES, J. Determinants of community structure in the global plankton interactome. **Science**, [s.l.], v. 348, n. 6237, p. 1262073–1262073, 2015.

LINLEY, E.; NEWELL, R.; LUCAS, M. Quantitative relationships between phytoplankton, bacteria and heterotrophic microflagellates in shelf waters. **Marine Ecology Progress Series**, [s.l.], v. 12, p. 77–89, 1983.

LONGHURST, A. R.; PAULY, D. **Ecologia de Oceanos Tropicais**. 1. ed. [S.l.: s.n.], 2007. 419 p.

MACKAS, D. L.; PEPIN, P.; VERHEYE, H. Interannual variability of marine zooplankton and their environments: within- and between-region comparisons. **Progress in Oceanography**, [s.l.], v. 97-100, p. 1–14, 2012.

MARGALEF, R. Life-Forms of Phytoplankton as Survival Alternatives in an Unstable Environment. Edição: Gauthier-Villars. **Oceanologica Acta**, [s.l.], v. 1, n. 4, p. 493–509, 1978.

MARSHALL, S. M. Respiration and Feeding in Copepods. *in*: **ADVANCES in Marine Biology**. [S.l.]: Elsevier, 1973. P. 57–120. DOI: 10.1016/s0065-2881(08)60268-0.

MCCLATCHIE, S. Time-series feeding rates of the euphausiid *Thysanoessa raschii* in a temporally patchy food environment. **Limnology and Oceanography**, [s.l.], v. 31, n. 3, p. 469–477, 1986.

MCKINNON, A. D.; RICHARDSON, A. J.; BURFORD, M. A.; FURNAS, M. J. Vulnerability of Great Barrier Reef plankton to climate change. *in*: JOHNSON, J. E.; MARSHALL, P. A. (Ed.). **Climate Change and the Great Barrier Reef**. [S.l.]: Great Barrier Reef Marine Park Authority, 2007. P. 121–152.

MCLAREN, I. A. Effects of temperature on growth of zooplankton, and the adaptive value of vertical migration. **Deep Sea Research and Oceanographic Abstracts**, [s.l.], v. 11, n. 3, p. 498, 1964.

MCMANUS, G. B.; EDERINGTON-CANTRELL, M. C. Phytoplankton pigments and growth rates, and microzooplankton grazing in a large temperate estuary. **Marine Ecology Progress Series**, [s.l.], v. 87, p. 77–85, 1992.

- MEDEIROS, C.; ARAÚJO, M.; FREITAS, I.; ROLLNIC, M. Massas d'água da região oeste do Atlântico tropical. *in*: HAZIN, F. H. V. (Ed.). **Meteorologia e Sensoriamento Remoto, Oceanografia Física, Oceanografia Química e Oceanografia Geológica. Programa REVIZEE - Score Nordeste**. [S.l.]: Martins & Cordeiro, 2009. P. 56–69.
- MEDEIROS, C.; MACEDO, S. J.; FEITOSA, F. A. N.; KOENING, M. L. Hydrography and Phytoplankton Biomass and Abundance of North-East Brazilian Waters. **Archive of Fishery and Marine Research**, [s.l.], v. 47, n. 2-3, p. 133–151, 1999.
- MEDVINSKY, A. B.; TIKHONOVA, I. A.; ALIEV, R. R.; LI, B.-L.; LIN, Z.-S.; MALCHOW, H. Patchy environment as a factor of complex plankton dynamics. **Physical Review E**, [s.l.], v. 64, n. 2, p. 1–7, 2001.
- MELO, P. A. M. C. **Dinâmica em microescala do mesozoplâncton do Arquipélago de São Pedro e São Paulo – NE, (Brasil)**. 2009. F. 64. Diss. (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco.
- MELO, P. A. M. C.; DIAZ, X. F. G.; MACEDO, S. J.; NEUMANN-LEITÃO, S. Diurnal and spatial variation of the mesozoplankton community in the Saint Peter and Saint Paul Archipelago, Equatorial Atlantic. **Marine Biodiversity Records**, [s.l.], v. 5, 2012.
- MISIC, C.; BAVESTRELLO, G.; BO, M.; BORGHINI, M.; CASTELLANO, M.; HARRIAGUE, A. C.; MASSA, F.; SPOTORNO, F.; POVERO, P. The "seamount effect" as revealed by organic matter dynamics around a shallow seamount in the Tyrrhenian Sea (Vercelli Seamount, western Mediterranean). **Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers**, [s.l.], v. 67, p. 1–11, 2012.
- MORATO, T.; HOYLE, S. D.; ALLAIN, V.; NICOL, S. J. Seamounts are hotspots of pelagic biodiversity in the open ocean. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, [s.l.], v. 107, n. 21, p. 9707–9711, 2010.
- MOURITSEN, L. T. Vertical microscale patchiness in nano- and microplankton distributions in a stratified estuary. **Journal of Plankton Research**, [s.l.], v. 25, n. 7, p. 783–797, 2003.
- MUNK, P.; LARSSON, P.; DANIELSEN, D.; MOKSNESS, E. Larval and small juvenile cod *Gadus morhua* concentrated in the highly productive areas of a shelf break front. **Marine Ecology Progress Series**, [s.l.], v. 125, p. 21–30, 1995.
- NEUMANN-LEITÃO, S.; GUSMÃO, L. M. O.; SILVA, T.; NASCIMENTO-VIEIRA, D. A.; SILVA, A. P. Mesozoplankton Biomass and Diversity in Coastal and Oceanic Waters off North-Eastern Brazil. **Archive of fishery and marine research**, [s.l.], v. 47, n. 2-3, p. 153–165, 1999.
- NOGUEIRA, E. M. S.; SASSI, R.; CORDEIRO, T. A. The Rhabdonellidae (Tintinnina, Oligotrichida) from Atol das Rocas and Fernando de Noronha Archipelago, southwestern Atlantic, Brazil. **Arquivos de Ciências do Mar**, [s.l.], v. 38, n. 1–2, p. 93–104, 2005.
- NOGUEIRA, E. M. S.; SASSI, R.; CORDEIRO, T. A. Estrutura da comunidade dos Tintinnina na região do Atol das Rocas (Rio Grande do Norte) e Arquipélago de Fernando de Noronha (Pernambuco). **Biota Neotropica**, [s.l.], v. 8, n. 3, p. 135–140, 2008.

NOGUEIRA, M. E. S.; SASSI, R. Nychthemeral variations of Tintinnina (Ciliata, Oligotrichida) near the Rocas Atoll (South Atlantic) and relationships with other microzooplanktonic components. **Arquivos de Ciências do Mar**, [s.l.], v. 44, n. 1, p. 5–11, 2011.

NUNES, R. D. **Zooplâncton da plataforma continental de Santa Catarina. Ênfase em Copepoda e Cladocera e suas relações com os processos físicos costeiros**. 2010. F. 71. Diss. (Mestrado) – Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí.

OMORI, M.; IKEDA, T. **Methods in marine zooplankton ecology**. 1. ed. New York: J. Wiley, 1984.

ORMOND, R. F.; GAGE, J. D.; ANGEL, M. V. Marine biodiversity: patterns and processes. **Oceanographic Literature Review**, [s.l.], v. 1, n. 45, p. 101, 1998.

PARMESAN, C.; YOHE, G. A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. **Nature**, [s.l.], v. 421, n. 6918, p. 37–42, 2003.

PASSAVANTE, J. Z. O. Contribuição ao estudo dos dinoflagelados da Plataforma Continental de Pernambuco-Brasil. **Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco**, [s.l.], v. 14, p. 31–54, 1979.

PEARMAN, J. K.; KÜRTEEN, S.; SARMA, Y. V. B.; JONES, B. H.; CARVALHO, S. Biodiversity patterns of plankton assemblages at the extremes of the Red Sea. **FEMS Microbiology Ecology**, [s.l.], v. 92, n. 3, p. fiw002, 2016.

PEREIRA, N. S.; MANSO, V. A. V.; SILVA, A. M. C.; SILVA, M. B. Mapeamento geomorfológico e morfodinâmica do Atol das Rocas, Atlântico Sul. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, [s.l.], v. 10, n. 3, p. 331–345, 2010.

PIERCE, R. W.; TURNER, J. T. Plankton studies in Buzzards Bay, Massachusetts, USA. IV. Tintinnids, 1987 to 1988. **Marine Ecology Progress Series**, [s.l.], v. 112, p. 235–240, 1994.

PINTO, N. C. T.; MAFALDA, P.; SANTOS, A. T. Caracterização do Zooplâncton da Reserva Biológica do Atol das Rocas, na Campanha de Março-1991 (Verão). **Tropical Oceanography**, [s.l.], v. 25, n. 1, 1997.

PIZAY, M.-D.; LEMÉE, R.; SIMON, N.; CRAS, A.-L.; LAUGIER, J.-P.; DOLAN, J. R. Night and Day Morphologies in a Planktonic Dinoflagellate. **Protist**, [s.l.], v. 160, n. 4, p. 565–575, 2009.

QUEIROZ, A. R. **Estrutura do microfitoplâncton no arquipélago de São Pedro e São Paulo (Lat. 00°56'2"N e Long. 29°20'6"W): estimativa da biomassa em carbono através do biovolume celular**. 2011. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Pernambuco, Recife.

QUEIROZ, A. R.; KOENING, M. L.; GASPAR, F. L. Cell biovolume and biomass in carbon of microphytoplankton species of oceanic regions, Equatorial Atlantic. **Tropical Oceanography**, [s.l.], v. 42, n. 2, p. 131–144, 2014.

- QUEIROZ, A. R.; MONTES, M. F.; CASTRO MELO, P. A. M. de; SILVA, R. A.; KOENING, M. L. Vertical and horizontal distribution of phytoplankton around an oceanic archipelago of the Equatorial Atlantic. **Marine Biodiversity Records**, [s.l.], v. 8, e155, 2015.
- QUEVEDO, M. The protistan microzooplankton community in the oligotrophic north-eastern Atlantic: large- and mesoscale patterns. **Journal of Plankton Research**, [s.l.], v. 25, n. 5, p. 551–563, 2003.
- RACKI, G. Silica-secreting biota and mass extinctions: survival patterns and processes. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, [s.l.], v. 154, n. 1-2, p. 107–132, 1999.
- REISS, J.; FORSTER, J.; CÁSSIO, F.; PASCOAL, C.; STEWART, R.; HIRST, A. G. When Microscopic Organisms Inform General Ecological Theory. *in*: WOODWARD, G. (Ed.). **Integrative Ecology: From Molecules to Ecosystems**. [S.l.]: Elsevier, 2010. v. 43. P. 45–85. DOI: 10.1016/b978-0-12-385005-8.00002-2.
- RICHARDS, F. A.; THOMPSON, T. G. The estimation and characterization of plankton populations by pigments analysis II. A spectrophotometric method for the estimations of plankton pigments. **Journal of Marine Research**, [s.l.], v. 11, n. 2, p. 156–172, 1952.
- RICHARDSON, A. J. In hot water: zooplankton and climate change. **ICES Journal of Marine Science**, [s.l.], v. 65, n. 3, p. 279–295, 2008.
- RICHARDSON, P. L.; MCKEE, T. K. Average seasonal variation of the Atlantic equatorial currents from historical ship drifts. **Journal of Physical Oceanography**, [s.l.], v. 14, n. 7, p. 1226–1238, 1984.
- RINGELBERG, J. Changes in Light Intensity and Diel Vertical Migration: a Comparison of Marine and Freshwater Environments. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, [s.l.], v. 75, n. 1, p. 15–25, 1995.
- RODRIGUES, O. A. A. O Atol das Rocas. **Rev. Mar. Brasil.**, [s.l.], v. 59, n. 11-12, p. 1181–1228, 1940.
- ROGERS, A. D. The Biology of Seamounts. *in*: ADVANCES in Marine Biology. [S.l.]: Elsevier, 1994. v. 30. P. 305–350. ISBN 978-0-12-026130-7. DOI: 10.1016/S0065-2881(08)60065-6.
- SAHU, G.; MOHANTY, A. K.; SAMANTARA, M. K.; SATPATHY, K. K. Seasonality in the distribution of dinoflagellates with special reference to harmful algal species in tropical coastal environment, Bay of Bengal. **Environmental Monitoring and Assessment**, [s.l.], v. 186, n. 10, p. 6627–6644, 2014.
- SALDARRIAGA, J. F.; TAYLOR, F. J. R. Dinoflagellata. *in*: TAYLOR, F. J. R. (Ed.). **Handbook of the Protists**. [S.l.]: Springer International Publishing, 2017. P. 625–678. DOI: 10.1007/978-3-319-28149-0_22.
- SAMPAIO, J. A. A. **Distribuição horizontal e vertical da clorofila a fitoplanctônica em águas da Zona Econômica Exclusiva do Nordeste Brasileiro**. João Pessoa: Technical reports, 1998.

- SCHEFFER, M.; CARPENTER, S. R. Catastrophic regime shifts in ecosystems: linking theory to observation. **Trends in Ecology & Evolution**, [s.l.], v. 18, n. 12, p. 648–656, 2003.
- SCHNEPF, E.; ELBRÄCHTER, M. Nutritional strategies in dinoflagellates. review with emphasis on cell biological aspects. **European Journal of Protistology**, [s.l.], v. 28, n. 1, p. 3–24, 1992.
- SCHOTT, F. A.; FISCHER, J.; STRAMMA, L. Transports and pathways of the upper-layer circulation in the western tropical Atlantic. **Journal of Physical Oceanography**, [s.l.], v. 28, n. 10, p. 1904–1928, 1998.
- SHAHEEN, P. A.; MANDERSON, J. P.; FAHAY, M. P. Stage-specific spatial and temporal variability in the diets of larval winter flounder (*Pseudopleuronectes americanus*) in a northeastern U.S. estuarine nursery. **Estuaries**, [s.l.], v. 27, n. 6, p. 958–965, 2004.
- SHERR, E. B.; SHERR, B. F. Heterotrophic dinoflagellates: a significant component of microzooplankton biomass and major grazers of diatoms in the sea. **Marine Ecology Progress Series**, [s.l.], v. 352, p. 187–197, 2007.
- SHERR, E. B.; SHERR, B. F.; PAFFEENHOFER, G. A. Phagotrophic Protozoa as food for metazoans: a "missing" trophic link in marine pelagic food webs? **Marine Microbial Food Webs**, [s.l.], v. 1, n. 2, p. 61–80, 1986.
- SMALLEY, G. W.; COATS, D. W.; STOECKER, D. K. Feeding in the mixotrophic dinoflagellate *Ceratium furca* is influenced by intracellular nutrient concentrations. **Marine Ecology Progress Series**, [s.l.], v. 262, p. 137–151, 2003.
- SOARES, M. O.; LEMOS, V. B.; KIKUCHI, R. K. P. D. Sedimentos carbonáticos bioclásticos do Atol das Rocas, Atlântico Sul Equatorial. **Revista Brasileira de Geociências**, [s.l.], v. 39, n. 4, p. 624–634, 2009.
- SOMSAP, N.; GAJASENI, N.; PIUMSOMBOON, A. Physico-Chemical Factors Influencing Blooms of *Chaetoceros* spp. and *Ceratium furca* in the Inner Gulf of Thailand. **Kasetsart Journal - Natural Science**, [s.l.], v. 49, n. 2, p. 200–210, 2015.
- SONG, J. **Biogeochemical Processes of Biogenic Elements in China Marginal Seas**. [S.l.]: Springer Berlin Heidelberg, 2010. DOI: 10.1007/978-3-642-04060-3.
- SOURNIA, A. Circadian Periodicities in Natural Populations of Marine Phytoplankton. **Advances in Marine Biology**, [s.l.], v. 12, p. 325–389, 1975.
- SOUSA, L.; RIVAS-CARBALLO, M. R.; PAIS, J. **Dinoflagelados. Nomenclatura portuguesa**. Caparica, Portugal: Centro de Estudos Geológicos, Dep. Ciências da Terra, Faculdade de Ciências e Tecnologia (UNL), 1999.
- SOUZA, C. A.; PECQUEUR, D.; FLOC'H, E. L.; MAS, S.; ROQUES, C.; MOSTAJIR, B.; VIDUSSI, F.; VELO-SUÁREZ, L.; SOURISSEAU, M.; FOUILLAND, E.; GUILLOU, L. Significance of Plankton Community Structure and Nutrient Availability for the Control of Dinoflagellate Blooms by Parasites: A Modeling Approach. **PLoS ONE**, [s.l.], v. 10, n. 6, e0127623, 2015.

SOUZA, C. S.; LUZ, J. A. G.; MACEDO, S.; MONTES, M. J. F.; MAFALDA, P. Chlorophyll a and nutrient distribution around seamounts and islands of the tropical south-western Atlantic. **Marine and Freshwater Research**, [s.l.], v. 64, n. 2, p. 168, 2013.

STENSETH, N. C.; MYSTERUD, A. Climate, changing phenology, and other life history traits: Nonlinearity and match-mismatch to the environment. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, [s.l.], v. 99, n. 21, p. 13379–13381, 2002.

STOECKER, D. K.; SANDERS, N. K. Differential grazing by *Acartia tonsa* on a dinoflagellate and a tintinnid. **Journal of Plankton Research**, [s.l.], v. 7, n. 1, p. 85–100, 1985.

STORZ, D.; SCHULZ, H.; WANIEK, J. J.; SCHULZ-BULL, D. E.; KUČERA, M. Seasonal and interannual variability of the planktic foraminiferal flux in the vicinity of the Azores Current. **Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers**, [s.l.], v. 56, n. 1, p. 107–124, 2009.

STRICKLAND, J. D. H.; PARSONS, T. R. A practical handbook of sea water analysis. **Bulletin of Fisheries Research**, [s.l.], v. 167, p. 1–311, 1972a.

_____. **A Practical Handbook of Seawater Analysis**. 2nd edition. [S.l.]: Fisheries Research Board of Canada, 1972b. 310 p.

SUSINI-RIBEIRO, S. M. M.; POMPEU, M.; GAETA, S. A.; SOUZA, J. S. D.; MASUDA, L. S. D. Topographical and hydrographical impacts on the structure of microphytoplankton assemblages on the Abrolhos Bank region, Brazil. **Continental Shelf Research**, [s.l.], v. 70, p. 88–96, 2013.

TARANGKOON, W.; HANSEN, G.; HANSEN, P. J. Spatial distribution of symbiont-bearing dinoflagellates in the Indian Ocean in relation to oceanographic regimes. **Aquatic Microbial Ecology**, [s.l.], v. 58, p. 197–213, 2010.

TAYLOR, F. J. R. Dinoflagellates from the International Indian Ocean Expedition. **Bibliotheca Botannica**, [s.l.], v. 132, p. 1–222, 1976.

_____. General Features of Dinoflagellate Material Collected by the "Anton Bruun" during the International Indian Ocean Expedition. in: ZEITZSCHEL, B. (Ed.). **The biology of the Indian Ocean: biological studies**. [S.l.]: Springer Berlin Heidelberg, 1973. P. 155–169. DOI: 10.1007/978-3-642-65468-8_11.

_____. Harmful dinoflagellate species in space and time and the value of morphospecies. in: STEIDINGER, K. A.; LANDSBERG, J. H.; TOMAS, C. R. (Ed.). **Harmful algae**. [S.l.]: UNESCO, 2004. P. 555–559.

_____. **The Biology of Dinoflagellates**. 1. ed. [S.l.]: Wiley-Blackwell, 1987.

TAYLOR, F. J. R.; HOPPENRATH, M.; SILDARRIAGA, J. F. Dinoflagellate diversity and distribution. **Biodiversity and Conservation**, [s.l.], v. 17, n. 2, p. 407–418, 2007.

TCHAMABI, C. C.; ARAUJO, M.; SILVA, M.; BOURLÈS, B. A study of the Brazilian Fernando de Noronha island and Rocas atoll wakes in the tropical Atlantic. **Ocean Modelling**, [s.l.], v. 111, p. 9–18, 2017.

TENENBAUM, D. R. **Dinoflagelados e tintinídeos da região central da Zona Econômica Exclusiva brasileira: guia de identificação**. Rio de Janeiro: Museu Nacional do Rio de Janeiro, 2006.

THOMPSON, G. A.; ALDER, V. A.; BOLTOVSKOY, D.; BRANDINI, F. Abundance and biogeography of tintinnids (Ciliophora) and associated microzooplankton in the Southwestern Atlantic Ocean. **Journal of Plankton Research**, [s.l.], v. 21, n. 7, p. 1265–1298, 1999.

THOMPSON, G. Tintinnid diversity trends in the southwestern Atlantic Ocean (29 to 60S). **Aquatic Microbial Ecology**, [s.l.], v. 35, p. 93–103, 2004.

THURMAN, H. V.; TRUJILLO, A. P. **Introductory oceanography**. 10. ed. [S.l.]: Pearson, 2003. ISBN 978-0131438880.

TIBURCIO, A. S. X. S.; KOENING, M. L.; MACÊDO, S. J.; MELO, P. A. M. C. A comunidade microfítotoplanctônica do Arquipélago de São Pedro e São Paulo (Atlântico Norte-Equatorial): variação diurna e espacial. **Biota Neotropica**, [s.l.], v. 11, n. 2, p. 203–215, 2011.

TINOCO, I. M. Foraminíferos do Atol das Rocas. **Tropical Oceanography**, [s.l.], v. 7, n. 1, 1965.

TRAVASSOS, P.; HAZIN, F. H. V.; ZAGAGLIA, J. R.; ADVÍNCULA, R.; SCHÖBER, J. Thermohaline structure around seamounts and islands off North-Eastern Brazil. **Archive of Fishery and Marine Research**, [s.l.], v. 47, n. 2/3, p. 211–222, 1999.

TUNIN-LEY, A.; LEMÉE, R. The Genus *Neoceratium* (Planktonic Dinoflagellates) as a Potential Indicator of Ocean Warming. **Microorganisms**, [s.l.], v. 1, n. 1, p. 58–70, 2013.

TURNER, J. T. The importance of small planktonic copepods and their roles in pelagic marine food webs. **Zoological studies**, [s.l.], v. 43, n. 2, p. 255–266, 2004.

VARGAS, C.; AUDIC, S.; HENRY, N.; DECELLE, J.; MAHE, F.; LOGARES, R.; LARA, E.; BERNEY, C.; BESCOT, N. L.; PROBERT, I.; CARMICHAEL, M.; POULAIN, J.; ROMAC, S.; COLIN, S.; AURY, J.-M.; BITTNER, L.; CHAFFRON, S.; DUNTHORN, M.; ENGELIN, S.; FLEGONTOVA, O.; GUIDI, L.; HORAK, A.; JAILLON, O.; LIMA-MENDEZ, G.; LUKE, J.; MALVIYA, S.; MORARD, R.; MULOT, M.; SCALCO, E.; SIANO, R.; VINCENT, F.; ZINGONE, A.; DIMIER, C.; PICHERAL, M.; SEARSON, S.; KANDELS-LEWIS, S.; ACINAS, S. G.; BORK, P.; BOWLER, C.; GORSKY, G.; GRIMSLEY, N.; HINGAMP, P.; IUDICONE, D.; NOT, F.; OGATA, H.; PESANT, S.; RAES, J.; SIERACKI, M. E.; SPEICH, S.; STEMMANN, L.; SUNAGAWA, S.; WEISSENBAACH, J.; WINCKER, P.; KARSENTI, E.; BOSS, E.; FOLLOWS, M.; KARP-BOSS, L.; KRZIC, U.; REYNAUD, E. G.; SARDET, C.; SULLIVAN, M. B.; VELAYOUDON, D. Eukaryotic plankton diversity in the sunlit ocean. **Science**, [s.l.], v. 348, n. 6237, p. 1261605–1261605, 2015.

VILLAÇA, R.; JENSEN, V. K. *Dictyopteris jamaicensis* Taylor (Phaeophyceae, Dictyotales): nova ocorrência para o Atol das Rocas e primeira descrição para a costa brasileira. **Arquivos do Museu Nacional**, [s.l.], v. 64, n. 3, p. 215–221, 2006.

VISSER, A. W.; STIPS, A. Turbulence and zooplankton production: insights from PROVESS. **Journal of Sea Research**, [s.l.], v. 47, n. 3-4, p. 317–329, 2002.

WALTHER, G.-r.; POST, E.; CONVEY, P.; MENZEL, A.; PARMESAN, C.; BEEBEE, T. J.; FROMENTIN, J.-m.; HOEGH-GULDBERG, O.; BAIRLEIN, F. Ecological responses to recent climate change. **Nature**, [s.l.], v. 416, n. 6879, p. 389, 2002.

WEILER, C. S. Population structure and in situ division rates of *Ceratium* in oligotrophic waters of the North Pacific central gyre. **Limnology and Oceanography**, [s.l.], v. 25, n. 4, p. 610–619, 1980.

YANG, J.; BEYENS, L.; SHEN, Y.; FENG, W. Redescription of *Diffflugia tuberspinifera* Hu, Shen, Gu et Gong, 1997 (Protozoa: Rhizopoda: Arcellinida: Difflogiidae) from China. **Acta protozoologica**, [s.l.], v. 43, n. 3, p. 281–289, 2004.

ZAR, J. H. **Biostatistical analysis**. Fifth edition. [S.l.]: Pearson, 2018. ISBN 978-0134995441.