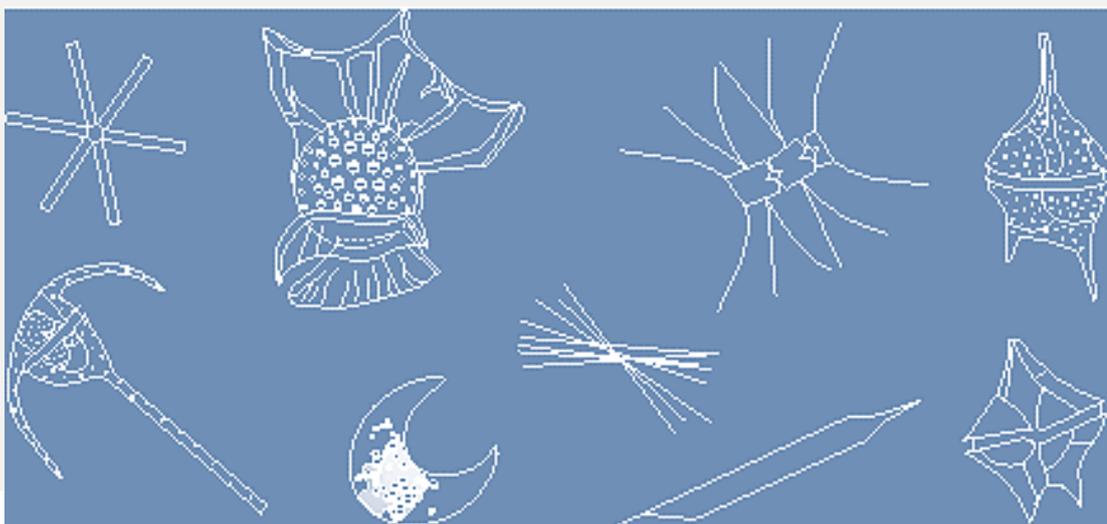


UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA

**Fitoplâncton como indicativo das condições oceanográficas de um arquipélago no
Atlântico Equatorial (Fernando de Noronha, Brasil).**

Eveline Pinheiro de Aquino



Recife, PE

2016

EVELINE PINHEIRO DE AQUINO

Fitoplâncton como indicativo das condições oceanográficas de um arquipélago no Atlântico Equatorial (Fernando de Noronha, Brasil).

Tese de Doutorado, apresentada ao Programa de Pós-graduação em Oceanografia - PPGO, como parte dos requisitos para o título de Doutor em Oceanografia, da Universidade Federal de Pernambuco - UFPE.

Orientador: Prof. Dr. José Zanon de O. Passavante

Co-orientador: Prof. Dr. Marcos Honorato da Silva

Recife, PE

2016

Catálogo na fonte
Bibliotecária Maria Luiza de Moura Ferreira, CRB-4 / 1469

- A657f Aquino, Eveline Pinheiro de.
Fitoplâncton como indicativo das condições oceanográficas de um arquipélago no Atlântico Equatorial (Fernando de Noronha, Brasil) / Eveline Pinheiro de Aquino. 2016.
93 folhas, il.
- Orientador: Prof. Dr. José Zanon de O. Passavante.
Coorientador: Prof. Dr. Marcos Honorato da Silva.
Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-graduação em Oceanografia, 2016.
Inclui Referências.
1. Oceanografia. 2. Estratificação. 3. Efeito de massa insular. 4. Dinoflagelados.
5. Densidade fitoplanctônica I. Passavante, José Zanon de O. (Orientador). II. Silva, Marcos Honorato (Coorientador). III. Título.
- 551.46 CDD (22. ed.) UFPE/BCTG/2016-144

**Fitoplâncton como indicativo das condições oceanográficas de um arquipélago no
Atlântico Equatorial (Fernando de Noronha, Brasil).**

EVELINE PINHEIRO DE AQUINO

Tese defendida e aprovada em: 15 de março de 2016

Banca examinadora:

José Zanon de Oliveira Passavante
Universidade Federal de Pernambuco
(Orientador)

Fernando Antônio do Nascimento Feitosa
Universidade Federal de Pernambuco
(Membro titular)

Maria da Glória Gonçalves da Silva Cunha
Universidade Federal de Pernambuco
(Membro titular)

Enide Eskinazi-Leça
Universidade Federal Rural de Pernambuco
(Membro titular)

Sírleis Rodrigues Lacerda
Universidade Regional do Cariri
(Membro titular)

Sigrid Neumann Leitão
Universidade Federal de Pernambuco
(Membro suplente)

Pedro Augusto Mendes de Castro Melo
Universidade Estadual de Santa Cruz
(Membro suplente)

Dedico a Jefferson Thiago Souza, por estar presente em cada processo de início, meio e finalização desse trabalho, participando, não só como companheiro, mas também como conselheiro e ao mesmo tempo aprendiz.

AGRADECIMENTOS

Ao Departamento de Oceanografia, da Universidade Federal de Pernambuco, pela viabilidade dos projetos Camadas Finas I e II (Edital MCT/ CNPq/ FNDTC, N° 71/ 2010), em que parte dos dados compõem a presente tese, bem como pela infra-estrutura de laboratório concedida;

À Marinha do Brasil, pela viabilidade dos projetos os quais este trabalho está vinculado, bem como pela logística em campo;

Ao Ministério Brasileiro de Ciência, Tecnologia e Inovação - MCTI, pela viabilidade dos projetos;

Ao Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade - ICMBio, pela licença requerida para o trabalho em campo;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior - CAPES, pela bolsa concedida;

À Pró-Reitora de Extensão - PROEXT/ UFPE (Edital n° 06/2014) e Editora Universitária da UFPE, pela viabilidade da publicação do livro “Fitoplâncton no arquipélago de Fernando de Noronha (Atlântico Sul, Brasil)”, elaborado com base nos dados dessa tese;

Aos professores membros da banca examinadora, José Zanon de O. Passavante, Fernando Antônio do N. Feitosa, Enide Eskinazi Leça, Sírlis Rodrigues Lacerda, Maria da Glória G. da Silva Cunha, Sigrid Neumann Leitão, Pedro Augusto M. de Castro Melo, pela participação e importantes contribuições; Em especial, à professora Enide Eskinazi-Leça, por todo o incentivo, bem como pela gentil revisão do texto do livro publicado e pelas palavras de apresentação do mesmo;

Aos professores orientadores José Zanon de Oliveira Passavante e Marcos Honorato da Silva, pela confiança em desenvolver esse trabalho, bem como ensinamentos para a minha vida profissional e pessoal;

Aos professores do Laboratório de Fitoplâncton, Maria Luise Koenig, Fernando Antônio do Nascimento Feitosa e Maria da Glória Gonçalves da Silva Cunha, pelas oportunidades, ensinamentos e apoio, fundamentais durante o doutorado;

Aos professores Sigrid Neumann Leitão e Ralf Schwamborn (Laboratório de Zooplâncton/ UFPE), na figura de coordenadores dos projetos Camadas Finas I e II;

Aos professores Manuel de Jesus Flores Montes (Laboratório de Oceanografia Química/ UFPE) e Alex Costa da Silva (Laboratório de Oceanografia Física Estuarina e

Costeira/ UFPE), pela contribuição com os dados químicos e físicos, os quais compõem os capítulos dessa tese;

À professora Denise Rivera Tenenbaum (Laboratório de Fitoplâncton Marinho/ Universidade Federal do Rio de Janeiro), pelos esclarecimentos e bibliografias sobre a reprodução dos dinoflagelados;

Aos colegas discentes do Programa de Pós-graduação em Oceanografia/ UFPE, pelo suporte em campo, em especial, à Marina Cavalcanti Jales (Laboratório de Fitoplâncton e Produção Primária/ UFPE) pelo apoio com os dados fitoplanctônicos;

Aos colegas discentes integrantes do Laboratório de fitoplâncton: Gyslaine, Marcella, Cristiana, Amanda, Laisa, Nize, Marina, Andressa, Leandro, Marilene, Raquel, pelos momentos de discussões teóricas e ocasiões de descontração.

Aos funcionários do Departamento de Oceanografia, pelo suporte no dia-a-dia;

À toda a minha família, pela confiança e apoio fundamental durante a jornada do doutorado;

À Deus, por me fazer capaz.

“As minhas obras não sou eu quem as realizo, mas
a força de Deus Pai que habita em mim. ”

*“O período de maior ganho de conhecimento
e experiência é o período de maior
dificuldade na vida de cada um”*

(S. S. Dalai Lama)

RESUMO

A dinâmica espaço-temporal do fitoplâncton está relacionada a um conjunto de variáveis ambientais. As camadas de estratificação vertical e a presença de ilhas oceânicas podem influenciar na distribuição desses organismos. Esse estudo objetivou investigar a distribuição e composição da comunidade fitoplanctônica nas águas oceânicas do arquipélago de Fernando de Noronha (Atlântico Sul Equatorial, Brasil), como um fator biológico indicativo das condições oceanográficas, evidenciando sua relação com as variáveis abióticas e sob influências da proximidade do arquipélago e da estratificação vertical, bem como registrar as populações de *Ornithocercus* sp. que apresentam diferentes horários e estágios de reprodução, sendo esta última uma abordagem complementar. Para tanto, as amostras da água foram coletadas ao longo de seis pontos, em escalas espacial (horizontal e vertical) e temporal, a saber: em diferentes distâncias do arquipélago, em duas posições geográficas (nordeste e sudoeste), em seis profundidades (entre 1 e 130 m), em dois períodos do dia (diurno, noturno e nictemeral) e durante dois anos (2010 e 2012). Foram coletadas as variáveis abióticas, como sendo os nutrientes inorgânicos dissolvidos, temperatura e salinidade. A clorofila *a* fitoplanctônica foi determinada, bem como a densidade celular, riqueza de espécies, abundância relativa, frequência de ocorrência, diversidade e uniformidade. Como resultados, horizontal e verticalmente, foram identificadas 115 espécies fitoplanctônicas, representadas essencialmente por dinoflagelados (>60% do total), seguidos por diatomáceas, cianobactérias e dictiofíceas. Foi registrado um decréscimo gradual da densidade de 1 m a 130 m e, portanto, mais elevada na camada de mistura. Por outro lado, não houve efeito significativo da estratificação para a clorofila *a*. Os dinoflagelados *Oxytoxum gracile* Schiller e *O. laticeps* Schiller foram dominantes, para todos os tratamentos em estudo. A alta dominância de dinoflagelados indica a estabilidade da água, devido à estratificação. Nitrato e fosfato estiveram relacionados com *O. laticeps*, favorecendo a sua dominância. A diversidade e composição de espécies, horizontal e verticalmente, foram homogêneas, sugerindo não ocorrer efeito de massa insular durante o período em estudo e para os tratamentos amostrais aplicados.

Palavras-chave: Estratificação. Efeito de massa insular. Dinoflagelados. Densidade fitoplanctônica.

ABSTRACT

The spatio-temporal dynamics of phytoplankton is connected to any environmental variables. The layers of vertical stratification and the occurrence of oceanic islands can induce the distribution of these organisms. This study aimed to investigate the distribution and composition of phytoplankton in the ocean waters of Fernando de Noronha archipelago (South Atlantic, Brazil), as an indicative biological of oceanographic conditions and their relationship with abiotic variables and under archipelago's proximity influences and vertical stratification, as well as record the populations of *Ornithocercus* sp. under different timings and reproduction stages and this is a complementary approach. Samples of water sampled over six points in spatial (horizontal and vertical) and temporal scales: at different distances, in two geographic positions (northeast and southwest), six depths (between 1 and 130 m), different periods of the day (daytime, night and nyctemeral) and two years (2010 and 2012). The abiotic variables were sampled (dissolved inorganic nutrients, temperature and salinity). Chlorophyll *a* was determined, and the phytoplanktonic density, species richness, abundance, frequency of occurrence, diversity and uniformity. In horizontal and vertical scale, were identified 115 phytoplankton species, represented by dinoflagellates (> 60% of the total), followed by diatoms, cyanobacteria and dyciophyceans. Were observed a gradual decrease in density from 1 m to 130 m and higher density in the mixing layer. Were dominant *Oxytoxum gracile* Schiller and *O. laticeps* Schiller in all samples. The high dominance of dinoflagellates indicates water stability due to stratification. On the other hand, there was no significant effect of stratification for chlorophyll *a*. Nitrate and phosphate were in significant relationship with *O. laticeps*, benefiting its dominance. The diversity and species composition, horizontal and vertical, were homogeneous, suggesting that no occur insular mass effect during the study period and for the applied sample treatments.

Key-words: Stratification. Island mass effect. Dinoflagellates. Phytoplanktonic density.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 3

- Figura 1. Localização do Arquipélago de Fernando de Noronha (Atlântico Sul Equatorial, Brasil), com a indicação dos pontos de coletas: Próximos (P), Intermediários (I) e Distantes (D), distribuídos em ambas as posições geográficas em estudo (Nordeste e Sudoeste). 33
- Figura 2. Nutrientes inorgânicos dissolvidos (nitrito $\text{NO}_2\text{-N}$, nitrato $\text{NO}_3\text{-N}$, fosfato $\text{PO}_4\text{-P}$ e silicato $\text{SiO}_2\text{-Si}$), expressos em $\mu\text{mol.l}^{-1}$, durante períodos do dia em estudo (diurno e noturno), em ambas as posições geográficas (Nordeste e Sudoeste) e nos pontos mais próximos do arquipélago (P), intermediários (I) e distantes (D), nessas duas posições, durante os anos I e II..... 36
- Figura 3. Índice de diversidade específica (bits.cel^{-1}) e uniformidade da comunidade fitoplanctônica ao longo dos tratamentos em estudo (períodos de dia e noite, posições nordeste e sudoeste, pontos próximos, intermediários e distantes do arquipélago, durante os anos I e II). 37
- Figura 4. Densidade total do fitoplâncton e das espécies dominantes, *Oxytoxum gracile* Schiller e *O. laticeps* Schiller, nos dois períodos do dia em estudo (diurno e noturno), em ambas as posições geográficas (Nordeste e Sudoeste) e nos pontos próximos do arquipélago (P), intermediários (I) e distantes (D) nas duas posições, para os anos I e II. 39
- Figura 5. Ordenação da ACC entre as espécies dominantes (*Ograc* = *Oxytoxum gracile* Schiller; *Olati* = *O. laticeps* Schiller), a densidade fitoplanctônica total (D_{total}) e os fatores químicos (nitrito - NO_2 , nitrato - NO_3 , fosfato - PO_4 e silicato - SiO_2) no do Arquipélago de Fernando de Noronha, durante os anos I e II. Outras legendas: quadrado = unidade amostral durante o período diurno (ou Dia); triângulo = noturno (ou Noi); vermelho = unidade amostral da posição nordeste; azul = sudoeste; P = ponto de localização mais próxima do arquipélago; I = intermediário; D = distante. 41

CAPÍTULO 4

- Figura 1.** Localização do Arquipélago de Fernando de Noronha (Atlântico Sul Equatorial, Brasil), com a indicação dos pontos de coletas (P1 ao P6). 48

Figura 2. Distribuição vertical da temperatura e salinidade no arquipélago de Fernando de Noronha, ao longo dos pontos de coletas (P1 ao P6) durante os períodos diurno e noturno, para o ano I. 53

Figura 3. Distribuição da temperatura e salinidade no arquipélago de Fernando de Noronha, ao longo dos pontos de coletas (P1 ao P6) durante os períodos diurno e noturno, para o ano II. 54

Figura 4. Espécies fitoplanctônicas presentes nas águas oceânicas do arquipélago de Fernando de Noronha: A) *Oxytoxum laticeps* Schiller; B) *Protoperidinium cassum* (Balech) Balech; C) *Trichodesmium erythraeum* Ehrenberg ex Gomont; D) *Gonyaulax spinifera* (Claparède & Lachmann) Diesing; E) *Thalassiosira* sp.; F) *Ceratium declinatum* Karsten; G) *C. tripos* (O.F.Müller) Ehrenber; H) *Lingulodinium polyedra* (F.Stein) J.D.Dodge; I) *Ornithocercus magnificus* Stein. 59

Figura 5. Distribuição vertical da média da densidade total do fitoplâncton em função das profundidades em estudo (1 m, 25 m, 50 m, PMC - 10 m, PMC, PMC + 10 m) e ao longo dos pontos de coletas (P1 ao P6), nas águas oceânicas do arquipélago de Fernando de Noronha, durante os anos I e II (PMC = Profundidade de Máximo de Clorofila *a*). 60

CAPÍTULO 5

Figura 1. Localização do arquipélago de Fernando de Noronha (Atlântico Sul, Brasil), com a indicação dos pontos de coletas, durante o ano I (posição nordeste do arquipélago) e ano II (posição sudoeste). 73

Figura 2. A) célula vegetativa de *Ornithocercus magnificus* Stein; B) em divisão, no estágio de zona megacítica; C) duas células de *O. thumii* (Schmidt) Kofoid & Skogsberg unidas; D) duas células de *O. quadratus* Schütt unidas e E) com aletas e costelas incompletas; F) *O. steinii* Schütt. As setas indicam a ponte dorsal megacítica, em células unidas ou remanescentes na célula individual. Escala vale 26 µm. Abreviações: LS = Aleta sulcal esquerda (left sulcal fin); PC = Aleta cingular posterior (posterior cingulate fin); AC = Aleta cingular anterior (anterior cingulate fin); PL = Lobo posterior (posterior lobe); AL = Lobo anterior. 75

Figura 3. Horários (h) em que as espécies de *Ornithocercus* foram registradas contendo os estágios de divisão, em função do nascer e pôr do sol, durante os anos I (linha sólida) e II (linha tracejada). 76

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 3

Tabela 1. Resumo estatístico e coeficientes de correlação entre as espécies fitoplanctônicas dominantes (*Oxytoxum laticeps* Schiller e *O. gracile* Schiller), a densidade total celular (Dtotal) e as variáveis químicas dos dois primeiros eixos da ACC, no Arquipélago de Fernando de Noronha, durante os anos I e II. 42

CAPÍTULO 4

Tabela 1. Média (\bar{x}) e valores máximos de produção primária, diversidade específica, equabilidade, densidade total do fitoplâncton e das espécies (expresso em $.10^2 \text{ cel.l}^{-1}$), de acordo com as profundidades relacionadas à camada de mistura (somatório das profundidades de 1 m até PMC - 10 m), ao início da termoclina (considerada a Profundidade de Máximo de Clorofila *a*/PMC) e à 10 m abaixo desta última (PMC + 10 m), bem como as espécies que ocorreram com exclusividade (Ex) nessas profundidades e em comum (Com) às mesmas, para os anos I e II. (X) ocorrência; (-) ausência. 61

Tabela 2. Dados comparativos do presente estudo e demais arquipélagos oceânicos brasileiros, de águas estratificadas, indicando o número de espécies identificado em cada local, os valores máximos de clorofila *a* (Chl*a*, em mg.m^{-3}), de diversidade específica (Div., em bits.cel^{-1}), de equabilidade (Equ.), de densidade celular fitoplanctônica (em cel.l^{-1}) e sua respectiva profundidade de registro, entre parênteses, bem como as principais espécies que caracterizaram o ambiente e a referência bibliográfica consultada. (-) dados ausentes. 66

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

μm	Micrômetros
$\mu\text{mol.l}^{-1}$	Micromol por litro
ACC	Análise de Correspondência Canônica
cel.l^{-1}	Célula por litro
km	Quilômetros
l	Litro
ml	Mililitro
NHo	Navio Hidro-oceanográfico
$\text{NO}_2\text{-N}$	Nitrito
$\text{NO}_3\text{-N}$	Nitrato
PMC	Profundidade de Máximo de Clorofila a
$\text{PO}_4\text{-P}$	Fosfato
$\text{SiO}_2\text{-Si}$	Silicato

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	16
CAPÍTULO 1: Revisão Bibliográfica	19
CAPÍTULO 2: O arquipélago de Fernando de Noronha.....	27
Características gerais	27
Sustentabilidade e preservação da área.....	28
CAPÍTULO 3. Abordagem fitoplanctônica: será que existe efeito de massa insular no arquipélago de Fernando de Noronha (Brasil)?.....	30
Resumo	30
Introdução	31
Material e Métodos	32
Desenho experimental	32
Variáveis químicas	33
Variáveis fitoplanctônicas	34
Análises estatísticas.....	34
Resultados.....	35
Variáveis químicas	35
Variáveis fitoplanctônicas	37
Interação entre espécies e variáveis químicas	39
Discussão	41
Considerações e perspectivas futuras.....	45
CAPÍTULO 4: Distribuição vertical do fitoplâncton em águas oceânicas permanentemente estratificadas do Atlântico Equatorial (Arquipélago de Fernando de Noronha, Brasil).	46
Resumo	46
Introdução	47
Material e Métodos	47
Características da coluna d'água	49
Características fitoplanctônicas.....	49
Análise dos dados.....	51

Resultados	51
Características da coluna d'água	51
<i>Temperatura</i>	51
<i>Salinidade</i>	52
Características fitoplanctônicas	55
<i>Produção primária</i>	55
<i>Comunidade fitoplanctônica</i>	55
Discussão	64
Conclusão.....	67
CAPÍTULO 5: Observações biológicas em campo para as populações de <i>Ornithocercus</i> spp. (Dinophysiales, Dinophyta): estágios reprodutivos e divisão celular faseada.	69
Resumo	69
Introdução	69
Material e Métodos	70
Resultados	71
Discussão	74
CONSIDERAÇÕES FINAIS	76
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	78

INTRODUÇÃO

No geral, o oceano Atlântico Sul é caracterizado especialmente pela condição oligotrófica. Além disso, apresenta estratificação térmica da coluna d'água, em larga escala, marcada pelas camadas de mistura, termoclina e profunda (MEDEIROS et al., 2009). A camada de mistura está localizada na zona superior da água, em que a luz incidente é predominante e, portanto, apresenta temperaturas constantes em seus primeiros metros de profundidade. Porém, a camada de mistura é caracterizada pela baixa concentração de nutrientes, devido ao isolamento dessas águas superficiais. O gradiente inverso das variáveis ambientais (luz e nutrientes) é observado para a camada profunda: em que a incidência de luz é ausente e, portanto, estão presentes as águas mais frias dos oceanos, porém ocorre uma maior riqueza de nutrientes (STRIEBEL et al., 2010). Em localização intermediária a estas (camada de mistura e profunda), encontra-se a termoclina, que compreende uma zona de rápida oscilação de temperatura, com o aumento da profundidade, de características particulares de temperatura, salinidade e densidade da água.

As camadas de água não possuem espessuras idênticas para todas as áreas, latitudes e períodos climáticos ao longo do ano. No caso das águas oceânicas do nordeste brasileiro, a camada de mistura se estende a uma profundidade entre 40 e 195 m, a depender da estação do ano (MEDEIROS et al., 2009). Em seguida, a camada termoclina ocorre durante todo o ano, porém com variações em espessura, alcançando cerca de 300 m (TRAVASSOS et al., 1999). Abaixo da termoclina está a camada profunda, a qual atinge o assoalho oceânico.

Essas características da água podem ser modificadas pela presença de ilhas oceânicas, que resulta na variação da estrutura de camadas verticais, bem como no enriquecimento de nutrientes e das comunidades biológicas ao redor da ilha. Esse fenômeno é denominado efeito de massa insular (LONGHURST; PAULY, 2007). O transporte de material orgânico da ilha para as águas próximas, a partir de ações mecânicas de ondas e correntes, ou mesmo do escoamento natural, a descarga antrópica de material orgânico, ou mesmo o guano comum em áreas insulares, podem contribuir para esse fenômeno. Além disso, o efeito é intensificado ou mascarado pelos acontecimentos de ressurgências, mesmo que de forma sutil (GILMARTIN;

RELEVANTE, 1974). Assim sendo, o efeito de massa insular está intimamente relacionado à turbulência da água, mistura vertical e disponibilidade de nutrientes.

A variabilidade das condições oceanográficas supracitadas (estratificação vertical e presença de ilhas) influencia na composição, fluatibilidade e locomoção dos organismos marinhos. No que se refere ao efeito de massa insular, especialmente os organismos fitoplanctônicos, tendem a aumentar em biomassa (SUSINI-RIBEIRO et al. 2013), o que resulta no incremento na produtividade pesqueira insular (LEITE et al., 2008). Em contrapartida, quando não há mistura da coluna d'água o suficiente, a composição e distribuição dos organismos fitoplanctônicos pode ser constante, diante das condições ambientais adequadas, uma vez que não existem eventuais entradas de nutrientes na água.

De forma adicional, além das mudanças provocadas pelo efeito de massa insular, as variáveis bióticas e abióticas da água estão sujeitas a mudanças ao longo do dia, como consequência das mudanças de radiação solar que, por sua vez interfere nas características da água, principalmente temperatura, incidência solar, oxigênio e nutrientes dissolvidos, dentre outros. Como consequência, é ocasionada a variabilidade temporal do fitoplâncton (RINES et al., 2002; MARTINY et al., 2013), o qual desenvolve estratégias de reprodução como um mecanismo de sobrevivência de suas espécies. Em especial, os dinoflagelados apresentam a divisão celular faseada, em que a sua multiplicação é iniciada em determinados horários do dia e essas fases são variáveis para cada espécie. Portanto, as espécies demonstram uma sincronia de reprodução e caracterizam os diferentes horários do dia (REGUERA et al., 2003).

Portanto, é observado que os organismos fitoplânctônicos reagem rapidamente às alterações ambientais, a partir de mudanças na sua composição, tamanho da população, ou mesmo a existência ou desaparecimento de determinadas espécies, sob condições ambientais favoráveis ou desfavoráveis à sua sobrevivência. Sob tais aspectos, têm-se o fitoplâncton como excelentes bioindicadores das condições ambientais de uma determinada área (LEE, 2008).

A partir de então, os estudos ressaltam as espécies do fitoplâncton características de áreas de particularidades distintas: as diatomáceas aparecem como dominantes em águas costeiras e rasas, ricas em silicato (CLOERN; JASSBY, 2007), ou mesmo dinoflagelados abundantes em regiões oceânicas oligotróficas, devido à sua capacidade de mixotrofia (FAN; GILBERT, 2005), cianobactérias em florações em águas eutrofizadas, ricas em fósforo (REYNOLDS, 1998), dentre outras situações.

Os estudos com foco na distribuição e composição do fitoplâncton em regiões insulares são escassos, bem como os padrões ecológicos de sua variabilidade no Atlântico Sul ainda não foram esclarecidos. Portanto, estudos nessa abordagem tornam-se imprescindíveis, no que se refere à dinâmica e ecologia desses organismos. Diante desse contexto, o presente trabalho evidenciou as características oceanográficas do Arquipélago de Fernando de Noronha (Nordeste do Brasil), sendo esta considerada uma abordagem pioneira para a região.

Conforme o exposto, esse trabalho teve como objetivo geral investigar a distribuição e composição da comunidade fitoplanctônica nas águas oceânicas do arquipélago de Fernando de Noronha, como um fator biológico indicativo das condições oceanográficas do arquipélago, em que os objetivos específicos foram 1) verificar o efeito da proximidade do arquipélago para a comunidade fitoplanctônica, evidenciando sua relação com os nutrientes inorgânicos dissolvidos, com o intuito de observar o contexto do efeito de massa insular para a área; 2) investigar o efeito da estratificação para a distribuição dos organismos fitoplanctônicos e 3) registrar a importância da abordagem temporal para o estudo das populações de *Ornithocercus* sp., uma vez que apresentam diferentes horários e estágios de reprodução.

Assim sendo, essa tese está estruturada em cinco capítulos: o **Capítulo 1** é referente à revisão bibliográfica, com a abordagem dos aspectos da distribuição do fitoplâncton nas águas oceânicas brasileiras e o efeito das mudanças ambientais para tais organismos; o **Capítulo 2** descreve as características gerais da área de estudo e seus aspectos de sustentabilidade e preservação ambiental; o **Capítulo 3** integra o manuscrito “Abordagem fitoplanctônica: será que existe efeito de massa insular no arquipélago de Fernando de Noronha (Brasil)?”, que será submetido para publicação na revista *Marine Ecology*; o **Capítulo 4** é referente ao manuscrito “Distribuição vertical do fitoplâncton em águas oceânicas permanentemente estratificadas do Atlântico Equatorial (Arquipélago de Fernando de Noronha, Brasil)”, com meta de submissão para publicação na revista *Ocean Science Journal*; o **Capítulo 5** é referente ao manuscrito “Observações biológicas em campo para as populações de *Ornithocercus* spp. (Dinophysiales, Dinophyta): estágios reprodutivos e divisão celular faseada”, sendo esta uma abordagem complementar, observada durante o processamento dos dados da tese. O mesmo encontra-se publicado na revista *Tropical Oceanography* (v. 42, n. 2, p. 170-176, 2014). Por fim, é apresentada uma seção de **Considerações finais**, contendo as conclusões do trabalho.

CAPÍTULO 1: Revisão Bibliográfica

Este capítulo foi desenvolvido em dois tópicos. Inicialmente, são referenciados os aspectos da distribuição das espécies do fitoplâncton nas águas oceânicas brasileiras, com o intuito de abordar os índices ecológicos qualitativos e quantitativos da comunidade fitoplanctônica. Para tanto, foram consultadas bibliografias que englobam as áreas oceânicas e neríticas (plataforma continental) do Brasil.

Adicionalmente, a segunda parte envolve o efeito das mudanças ambientais para a comunidade fitoplanctônica, de um modo geral. Para tanto, foram consultadas bibliografias com enfoque em ocorrências de blooms e aparecimento de espécies nocivas, efeito das ações antrópicas, efeito de massa insular, espécies fitoplanctônicas invasoras, estratificação oceânica, mudanças climáticas em larga escala e acidificação oceânica. O texto referente à essa segunda parte integra o livro publicado com base nos dados dessa tese, intitulado “Fitoplâncton do arquipélago de Fernando de Noronha (Atlântico Sul, Brasil)” (AQUINO et al., 2014).

O fitoplâncton em águas oceânicas brasileiras

No que se refere às áreas insulares oceânicas do Brasil, são os poucos trabalhos que existem com enfoque em fitoplâncton. Estes destacam a alta diversidade de dinoflagelados e dominância das cianobactérias *Trichodesmium erythraeum* Ehrenberg ex Gomont e *Trichodesmium thiebautii* Gomont ex Gomont.

Para o arquipélago de Abrolhos (Bahia), Susini-Ribeiro et al. (2013) apontam que a diversidade do fitoplâncton nessa área insular tem aumentado em níveis intermediários de perturbação ambiental. Uma vez que as águas do Atlântico Sul Equatorial são estratificadas e, portanto, de estabilidade vertical, este fato aparece intimamente relacionado à baixa diversidade específica e densidade celular, comumente registrada na região e em outras áreas oceânicas oligotróficas. Ao mesmo tempo, semelhante ao registrado por esses autores, baixos índices de diversidade têm sido registrados na plataforma continental brasileira, devido, dentre outros fatores, ao predomínio da cianobactéria *T. erythraeum* (KOENING et al., 2009).

Complementando os registros dos autores supracitados, os estudos nas águas oceânicas subsuperficiais do arquipélago de São Pedro e São Paulo (Rio Grande do

Norte), realizados por Koenig & Oliveira (2009), Tiburcio et al. (2011) e Queiroz et al. (2014), demonstram que o fitoplâncton está caracterizado por uma comunidade típica de ambiente estável, habitante de águas transparentes e oligotróficas. Nestes trabalhos, *T. thiebautti* tem sido registrada como dominante. Esta cianobactéria influenciou a estrutura da comunidade e atuou como a espécie característica do fitoplâncton da área. Da mesma forma, a dominância de outras cianobactérias filamentosas (*Oscillatoria* spp.) também tem sido registrada para as águas da costa do arquipélago de Fernando de Noronha (Pernambuco), por Lima (2012).

Além disso, as espécies fitoplanctônicas encontradas não só no arquipélago de São Pedro e São Paulo, pelos autores supracitados, mas também na ilha Trindade (Espírito Santo), por Lubiana et al. (2009), sugerem uma ligação entre as espécies das áreas insulares e a plataforma continental brasileira, uma vez que algumas dessas espécies são consideradas indicadoras da Corrente do Brasil, principalmente aquelas pertencentes ao gênero *Ceratium*. Para ambas as áreas insulares, *Ceratium* spp. são de amplo destaque, pela elevada riqueza, densidade celular e frequência de ocorrência.

Diante desse contexto, em ambientes insulares e em extensões de plataforma continental, as espécies do fitoplâncton aparecem como indicadores de massas de água. Como exemplo, tem sido registrado *Ceratium tripos* (O. F. Müller) Ehrenber, *Dictyocha fibula* Ehrenberg e *Distephanus speculum* (Ehrenberg) Haeckel para a plataforma continental do Estado de Santa Catarina (BRANDINI, 1988; 1990). Estes trabalhos destacam o monitoramento de tais espécies como uma ferramenta biológica para a avaliação os efeitos de águas subantárticas na distribuição das espécies fitoplanctônicas. Demais trabalhos, como Haraguchi e Odebrecht (2010), Islabão e Odebrecht (2011) e Fernandes e Frassão-Santos (2011), abordam de forma análoga os aspectos ecológicos dos dinoflagelados e das diatomáceas em toda a plataforma do sul do País, com indicação das espécies características de determinadas massas d'água.

Para as demais áreas de plataformas continentais brasileiras, Brandini & Fernandes (1996), descrevem, tendo como base a plataforma continental do Estado do Paraná, que a comunidade fitoplanctônica é formada pelo conjunto de dois tipos de associações, a saber: 1) a associação costeira, formada por espécies neríticas eurialinas (*Skeletonema costatum* (Greville) Cleve e *Chaetoceros* spp., por exemplo) e diatomáceas ticoplanctônicas (*Coscinodiscus* spp., *Nitzschia* spp., *Navicula* spp., dentre outras); 2) associação de plataforma continental, formada por espécies flageladas (dinoflagelados e crisofíceas, por exemplo) e diatomáceas planctônicas (*Cerataulina pelagica* (Cleve)

Hendey, *Dactyliosolen fragilissimus* (Bergon) Hasle, *Lauderia annulata* Cleve, *Leptocylindrus* spp., *Pseudonitzschia* spp. e *Rhizosolenia* spp.), cujo domínio depende do regime hidrográfico na plataforma.

Considerando as massas d'água que ocorrem na plataforma do Rio de Janeiro, incluindo os efeitos da ressurgência de Cabo Frio, Moser et al. (2014) consideram que a comunidade fitoplanctônica está adaptada às diversas condições tróficas. Neste aspecto, os autores identificaram vários agrupamentos de espécies que caracterizam as condições oceanográficas, tanto em escala espacial, na plataforma, quanto em escala sazonal. Assim sendo, existem registros de diferenças qualitativas para o fitoplâncton, dentre as massas d'água na região de confluência da corrente do Brasil e a corrente das Malvinas (GONÇALVES-ARAÚJO et al., 2012): caracterizaram a água sub-antártica as diatomáceas *Chaetoceros* spp., *Thalassiosira* spp., *Pseudonitzschia* spp. e os dinoflagelados *Gymnodinium* spp., *C. lineatum* (Ehrenberg) Cleve, *Prorocentrum minimum* (Pavillard) J. Schiller, *Amphidinium sphenoides* Wülf e *Gyrodinium fusiforme* Kofoid & Swezy; enquanto que para a área intermediária (zona de mistura), foi mais representativa a diatomácea *Cylindrotheca closterium* (Ehrenberg) Reimann & J. C. Lewin; caracterizaram a Água Tropical as diatomáceas *Guinardia* spp. e *Thalassionema nitzschioides* (Grunow) Mereschkowsky; e, por fim, foram exclusivas da zona costeira as diatomáceas *Asteromphalus sarcophagus* Wallich, *Guinardia delicatula* (Cleve) Hasle e *Rhizosolenia* spp. Esses autores enfatizam não só a importância das condições ambientais de cada massa d'água, como também o *grazing*, como elementos estruturadores da comunidade fitoplanctônica na região pesquisada.

Para a plataforma continental do norte e nordeste brasileiro, os trabalhos realizados por Eskinazi-Leça e Passavante (1972) e Silva-Cunha et al. (1991) apontam o destaque, em riqueza específica, densidade celular e abundância relativa, para os representantes dos grupos das diatomáceas, dinoflagelados e cianobactérias, principalmente. Para estes autores, são espécies com ênfase durante todo o ano: *Chaetoceros coarctatus* Lauder, *C. didymus* Ehrenberg, *Isthmia enervis* Ehrenberg, *Pseudosolenia calcar-avis* (Schultze) B. G. Sundström, *Rhizosolenia hebetata f. semispina* (Hensen) Gran, *C. massiliense* (Gourret) Karsten, *C. furca* (Ehrenberg) Claparède & Lachmann, *Pyrocystis pseudonociluca* Wyville-Thompson e *Dinophysis caudata* Saville-Kent. Além disso, vale ressaltar que os dinoflagelados *Ceratium* spp. tem sido destaque para a plataforma continental, com espécies comuns de águas tropicais e outras de distribuição cosmopolita (PASSAVANTE, 1979; ESKINAZI-LEÇA;

PASSAVANTE, 1972), bem como aquelas de distribuição nerítica e/ou oceânica, ou mesmo de latitudes tropicais e subtropicais (KOENING; LIRA, 2005; KOENING et al., 2009). Assim, com base em estudos em áreas oceânicas brasileiras, é observado o destaque de *Ceratium* spp. ilhas e plataformas continentais.

Diante desse contexto, é observada a importância das espécies de dinoflagelados, diatomáceas e cianobactérias para as áreas neríticas e de plataformas continentais brasileiras. Especialmente para os dinoflagelados, sua elevada representatividade nesse tipo de ambiente demonstra suas estratégias ecológicas para permanência em diferentes massas d'água. Assim sendo, o fitoplâncton aparece como excelentes indicadores ambientais.

Mudanças ambientais oceânicas

As alterações dos fatores ambientais físicos e químicos, que resultam na destruição de habitats e modificações hidrológicas, podem causar mudanças na comunidade fitoplanctônica, em escalas estruturais ou mesmo sucessionais, como nas mudanças no seu *standing stock* e nas suas características morfométricas (HARRIS, 1986; BONEY, 1989). Neste contexto, as perturbações às populações fitoplanctônicas, como os fenômenos naturais (mudanças climáticas, tempestades, ressurgências, dentre outros) e/ou ações antrópicas, acarretam a mudança e o desequilíbrio do habitat.

Uma das principais mudanças ambientais, relacionadas à comunidade do fitoplâncton, refere-se aos eventos de florações ou *blooms* (o termo em inglês é conhecido como *Harmful Algal Blooms* ou a sua abreviação HAB). Esse fenômeno está relacionado ao crescimento excessivo do fitoplâncton na água. Isso ocorre devido à rápida resposta dos mesmos às alterações ambientais. Diante disso, são considerados excelentes bioindicadores da qualidade do ecossistema (ESKINAZI-LEÇA et al., 2004).

Os trabalhos, ao longo das áreas abertas do Oceano Atlântico, tais como Pitcher et al. (1992), Partensky et al. (1996), Koenig et al. (2009) e Tiburcio et al. (2011), apontam que, no geral, as cianobactérias dos gêneros *Synechococcus* e *Trichodesmium*, adicionadas a outros de dinoflagelados e pequenos cocolitofórides, são mais abundantes, estando as diatomáceas em menor diversidade, devido à baixa concentração de silicato em áreas oceânicas. Porém, a presença de ilhas, por sua vez, modifica esse padrão ambiental (LONGHURST; PAULY, 2007) e, conseqüentemente, afeta a distribuição e composição do fitoplâncton. Além disso, é promovido um aumento da biomassa algal no

entorno da ilha (SUSINI-RIBEIRO, 1999), o que pode até resultar em uma floração fitoplanctônica. Como consequência, ocorre um incremento da taxa de produtividade pesqueira insular. Tal fenômeno é conhecido como efeito de massa insular. Essas modificações são causadas, principalmente, devido à interrupção das correntes marinhas locais pela presença da ilha, que provoca a mistura turbulenta da água ao redor da ilha. Ou mesmo, pela contribuição de nutrientes oriundos da área insular, como o ferro (HOPPENRATH et al., 2009).

As florações fitoplanctônicas comumente alteram a qualidade do corpo aquático, trazendo consequências no odor e na coloração da água, variações no teor de oxigênio dissolvido, além do aparecimento de espécies potencialmente tóxicas e nocivas ao homem e meio ambiente. Devido a essas características, nos ecossistemas marinhos, os eventos de florações são comumente relatados em associação à ocorrência de intoxicação de crustáceos e morte de peixes.

Dentre os organismos fitoplanctônicos marinhos que são capazes de produzir toxinas nocivas, os gêneros mais comuns englobam os dinoflagelados *Alexandrium* spp., *Gonyaulax* spp., *Dinophysis* spp., *Prorocentrum* spp., a diatomácea *Pseudonitzschia* spp., dentre outros. Em condições ambientais específicas, tais espécies podem ser tóxicas mesmo em baixa densidade celular e não necessariamente em floração (HOPPENRATH et al., 2009). Portanto, o monitoramento dessas e de outras espécies é essencial para prevenir os eventos de intoxicação humana e desequilíbrio à produtividade pesqueira local.

Vale ressaltar que as florações podem estar associadas a espécies tóxicas ou não. Algumas espécies não tóxicas, quando em floração, ocasionam a diminuição de oxigênio dissolvido na água, dificultando a sobrevivência dos demais seres aquáticos.

Os organismos fitoplanctônicos demonstram ter, de um modo geral, pouca amplitude de tolerância às alterações ambientais e, conseqüentemente, demonstram, de forma rápida, qualquer mudança, mesmo quando sutil. Diante disso, o fitoplâncton é considerado excelente indicador do fenômeno das mudanças climáticas. Logo, as modificações em sua comunidade, a longo prazo, podem ser atribuídas a variações ambientais. Adicionalmente, os estudiosos as consideram ferramentas-chave para esse tipo de abordagem científica devido ao seu curto ciclo de vida. Em função das mudanças ambientais, esses organismos possuem a capacidade de expandir ou diminuir facilmente sua distribuição geográfica (VALENTIN, 2006).

Para os ecossistemas marinhos do Atlântico Norte, existem estudos de longas séries temporais para a comunidade fitoplanctônica, com foco em mudanças climáticas. Por outro lado, nessa abordagem são escassos os estudos para o Atlântico Sul.

De uma maneira geral, existem algumas evidências de alterações na abundância e estrutura da comunidade fitoplanctônica nas últimas décadas, para os ecossistemas estuarinos, como a substituição das populações de diatomáceas por cianobactérias (HAYS et al., 2005), com o aparecimento de espécies tóxicas (MOORE et al., 2008). Para as águas oceânicas, por sua vez, a literatura aponta que as amplitudes de ocorrência de algumas espécies do fitoplâncton tropical e subtropical estão sendo deslocadas para latitudes mais elevadas. Assim, espécies de dinoflagelados, por exemplo, habitantes de águas quentes tropicais, têm ampliado suas estratégias de sobrevivência, possibilitando a expansão de sua ocorrência para as áreas temperadas, de águas mais frias (VALENTIN, 2006). Isso resulta em um crescente número de espécies exóticas, com alterações na estrutura trófica local.

Além disso, o termo desertificação dos oceanos já tem sido bem disseminado nas últimas décadas e faz referência à diminuição da biomassa algal nos oceanos (BOYCE et al., 2010). Esse termo tem sido aplicado, principalmente, para oceanos atualmente oligotróficos, como é o caso do Atlântico Sul. Tal fenômeno é consequência do aumento da espessura da camada termoclina devido à elevação da temperatura superficial da água. Isso faz os eventos de mistura da coluna d'água nessas áreas estarem cada vez mais reduzidos, o que diminui, conseqüentemente, os nutrientes disponíveis para o fitoplâncton, limitando o seu desenvolvimento.

A acidificação dos oceanos, como consequência das mudanças climáticas, também resulta em alterações na comunidade fitoplanctônica. A diminuição do pH da água, ocasionado pelo aumento de dióxido de carbono, altera a disponibilidade de carbonato de cálcio para os seres marinhos, como os cocolitoforídeos. Esses terão sua taxa de crescimento diminuídas, afetando os demais níveis tróficos. Da mesma forma, o tamanho das células do fitoplâncton é afetado pelo aumento da temperatura da água. Assim, em águas mais quentes, dominam células menores devido à eficácia na competição por nutrientes (HILLIGSOE et al., 2011). Conseqüentemente, águas dominadas por nano e picofitoplâncton alteram a quantidade de energia transferida aos níveis tróficos. Assim sendo, a abundância de frações do fitoplâncton são de grande valor para a previsão das mudanças climáticas (VIANNA; SANQUETTA, 2012).

Além disso, o aumento de dióxido de carbono na água pode favorecer o crescimento de uma determinada espécie em detrimento de outras e resultar em proliferações eventuais de espécies tóxicas, as quais trazem consequências negativas para a produtividade pesqueira. As transformações climáticas possibilitam condições como temperaturas elevadas e estratificação, necessárias à ocorrência de florações (HALLAGRAEFF, 2010). Apesar de comprovadas em algumas situações, as previsões acerca das consequências da acidificação dos oceanos para algumas comunidades biológicas ainda podem ser consideradas prematuras para o Atlântico Sul, sendo essas evidências registradas para os ecossistemas em latitudes maiores (VALENTIN, 2006).

A ocorrência de espécies exóticas, como consequência das mudanças climáticas e das ações antrópicas, também resulta em alterações na biota local. Com o crescente aumento do transporte marítimo, os organismos têm sido transferidos, principalmente, por água de lastro, para outros ecossistemas, onde podem ser encontradas condições adequadas à sobrevivência e reprodução. Ao atingir esse novo ambiente, essas espécies invasoras causam impactos (CARLTON, 1996), como a redução da biodiversidade nativa (TEIXEIRA et al., 2010), danos à economia pesqueira, em hidrelétricas, plataformas de petróleo (LOPES et al., 2009) e aparecimento de organismos tóxicos, nocivos à saúde humana (BUTRÓN et al., 2011).

Além de água em tanques de lastro, outras atividades humanas são também consideradas vetores de transporte, como a aquicultura, o comércio de espécies ornamentais, incrustações em cascos de navios, em plataformas de petróleo, em detritos sólidos flutuantes (lixo marinho), hidroaviões, boias de navegação e flutuantes, canais de irrigação, aquários públicos e domésticos, pesquisas científicas, educação, equipamentos de recreação e restauração, etc. Essas são ações antrópicas de potencial risco ambiental. O fitoplâncton surge como um dos principais organismos de sucesso na introdução, devido às suas características morfológicas, fisiológicas e ecológicas, tais como tamanho, capacidade de formação de cistos e ampla tolerância ambiental (HALLAGRAEFF, 2010).

Dentre a comunidade fitoplanctônica, para a costa brasileira, são consideradas espécies invasoras o dinoflagelado *Alexandrium tamarense* (Lebour) Balech e a diatomácea *Coscinodiscus wailesii* Gran & Angst, enquanto que o dinoflagelado *Gymnodinium catenatum* H. W. Graham é uma espécie estabelecida. De um modo geral, possuem a capacidade de formar florações e produzir toxinas nocivas, tendo até o ano de 2009 aparecido distribuídas do litoral da Bahia ao Rio Grande do Sul (VILLAC et al., 2009). Porém, possuem a capacidade de se estabelecerem nos demais Estados do país,

por transporte marítimo nacional. Assim sendo, Carlton (1996) ressalta a importância do monitoramento da distribuição e variação anual das comunidades biológicas nativas, uma vez que algumas espécies podem permanecer rigidamente fechadas em seu nicho específico, de forma a impedir a introdução de outras exóticas.

Diante do exposto, observa-se, portanto, a importância da identificação e do monitoramento da biota local, para se conhecer o funcionamento de um ecossistema marinho. Estudos com abordagem no conhecimento da biodiversidade são de fundamental importância para o acompanhamento de eventuais e possíveis modificações ambientais, comumente ocasionadas pelo crescimento excessivo de espécies, aparecimento de indivíduos exóticos, toxicidade das espécies, ou mesmo, fenômenos de desertificação e acidificação oceânica.

CAPÍTULO 2: O arquipélago de Fernando de Noronha

As informações deste capítulo integram o livro publicado com base nos dados da presente tese, intitulado “Fitoplâncton do arquipélago de Fernando de Noronha (Atlântico Sul, Brasil)” (AQUINO et al., 2014).

Características gerais

O Arquipélago de Fernando de Noronha, localizado no Atlântico Sul Equatorial (Figura 1), pertence ao estado de Pernambuco e se encontra distante aproximadamente 545 km da capital, Recife (outras principais distâncias: 345 km do Cabo de São Roque no Rio Grande do Norte; 145 km do Atol das Rocas; 625 km do Arquipélago de São Pedro e São Paulo; 2.600 km da costa africana/ Libéria).

Formado por um conjunto de ilhas, que totalizam cerca de 26 km², afigura-se como a maior área brasileira em ilhas oceânicas (BRASIL, 2005). Sua principal ilha, Fernando de Noronha, ocupa 90% da área total, estando adicionada a outras 20 ilhas pequenas. De origem vulcânica, possui rochas piroclásticas, ígneas alcalinas e basálticas, com o pico da ilha principal capeado por arenitos calcários, em sua maioria, constituído por fragmentos de alga. No geral, a área do arquipélago é caracterizada por um relevo irregular, associada a uma zona de fratura transversal de montes vulcânicos submarinos (ALMEIDA, 2002).

O clima da região é tropical oceânico, do tipo Awi (escala de Koppen), de domínio oceânico, com predominantes ventos alísios, que agem diretamente no lado noroeste, voltado para o continente africano, o qual apresenta águas agitadas durante todo o ano. O lado sudeste, voltado para o Atlântico Norte, é mais protegido de ventos e correntes. Predomina a corrente oceânica Sul Equatorial, com médias anuais de 26°C de temperatura da água e 36 de salinidade. Apresenta influências na distribuição das isotermas, com a indução de misturas da coluna d'água, que atingem a camada eufótica nas áreas dos bancos mais profundos (TEIXEIRA et al., 2003).

Com o intuito de proteger os ecossistemas marinho e terrestre do Arquipélago, foi criada a Área de Proteção Ambiental, englobando, também, o Atol das Rocas e o Arquipélago São Pedro e São Paulo (Decreto 92.755, de 05 de junho de 1986), com a posterior criação do Parque Nacional Marinho de Fernando de Noronha (Decreto nº

96.693, de 14 de setembro de 1988). O arquipélago apresenta população estável atualmente, com aproximadamente 3000 habitantes, sendo este um número sujeito à limitação. O mesmo é aplicado ao número de turistas. Tais limitações e fiscalizações ambientais parecem ser hoje satisfatórias para garantir a manutenção da área.

Semelhante às demais ilhas oceânicas do Brasil (Ilhas da Trindade, Martin Vaz, Atol das Rocas, Arquipélagos dos Abrolhos e de São Pedro e São Paulo), o Arquipélago de Fernando de Noronha é de fundamental importância no processo de reprodução, dispersão e colonização dos organismos marinhos, bem como para a conservação de importantes espécies de aves, cetáceos e quelônios ameaçados de extinção (BRASIL, 2005). Além disso, representa uma área de grande importância pesqueira e turística. Assim sendo, as informações científicas nessas abordagens são consideradas necessárias ao conhecimento da biota marinha do arquipélago e à preservação das espécies e habitats.

Sustentabilidade e preservação da área

Os trabalhos desenvolvidos em áreas oceânicas objetivam compreender melhor o funcionamento desse ecossistema amplo em função da composição das comunidades biológicas, sua dinâmica e interações com as variáveis ambientais. Nesse contexto, as espécies previamente identificadas apontam informações básicas para avaliar a qualidade da água e indicar o funcionamento do ecossistema. Assim, o conhecimento acerca da biodiversidade é considerado uma importante ferramenta para a administração dos recursos naturais, no intuito de prevenir e minimizar os impactos ambientais. De forma semelhante, pode ser considerado como subsídio futuro que contribua com o manejo e uso sustentável desse ecossistema, indicando a necessidade ou não do monitoramento ambiental e medidas de preservação da área.

As atividades de pesca e o turismo estão como as principais ações antrópicas, observadas no arquipélago de Fernando de Noronha. Além do desenvolvimento turístico crescente e a sobrepesca, no geral, outros aspectos são considerados como ameaças à preservação ambiental marinha, como a erosão costeira, acidentes relacionados à indústria petrolífera, mudanças climáticas, dentre outros. Esses acontecimentos têm como consequência o aumento da produção de resíduos sólidos, despejo de efluentes diretamente no ecossistema aquático, ou seja, sem tratamento prévio, lixiviação intensa, contaminação da água, desmatamento, erosão, degradação da paisagem e perda da

biodiversidade. Dentre essas características, a qualidade da água e os parâmetros biológicos são ferramentas-chave para a manutenção de um ecossistema aquático.

Faz-se necessário o conhecimento prévio das populações biológicas marinhas locais. Diante desse contexto, a Unesco (2011) elaborou as recomendações necessárias para a manutenção da qualidade dos oceanos. Dentre estas, está a prioridade para uma maior proteção e recuperação da biodiversidade e de habitats oceânicos e costeiros, bem como o tratamento efetivo das espécies marinhas invasoras e a implementação de ações para se adaptar e mitigar a acidificação dos oceanos.

As atividades antrópicas relatadas para a área em estudo, atualmente, não resultam em impactos visíveis para as águas marinhas próximas ao arquipélago. Porém, as atividades antrópicas observadas podem acarretar uma futura degradação ambiental a médio ou longo prazo. Diante disso, faz-se necessário conhecer a biota local e os seus processos ecológicos naturais, com o intuito de utilizar esse conhecimento para aprimorar medidas de manejo do ecossistema marinho.

CAPÍTULO 3. Abordagem fitoplanctônica: será que existe efeito de massa insular no arquipélago de Fernando de Noronha (Brasil)?

Resumo

A dinâmica espaço-temporal do fitoplâncton está relacionada a um conjunto de variáveis ambientais, em que a presença de ilhas oceânicas pode influenciar na distribuição de tais variáveis bióticas e abióticas. Assim, o presente estudo foi desenvolvido nas águas oceânicas do arquipélago de Fernando de Noronha (Atlântico Sul Equatorial, Brasil) e objetivou verificar como a distância do arquipélago, posição geográfica, períodos do dia e mudanças interanuais influenciam na estrutura da comunidade fitoplanctônica e analisar qual a relação entre o fitoplâncton e os nutrientes inorgânicos dissolvidos na água, dentre estes mesmos tratamentos. Para tanto, as amostras da água foram coletadas na camada subsuperficial, ao longo de seis pontos, distribuídos em diferentes distâncias do arquipélago (próximo, intermediário e distante), posições geográficas (nordeste e sudoeste), períodos do dia (diurno e noturno) e durante dois anos (2010 e 2012), para análise da comunidade fitoplanctônica e dos nutrientes inorgânicos dissolvidos (nitrito, nitrato, fosfato e silicato). A densidade fitoplanctônica foi determinada, bem como a riqueza de espécies, abundância relativa, frequência de ocorrência, diversidade e uniformidade. Foram identificadas 38 espécies fitoplanctônicas, representadas essencialmente por dinoflagelados (>95% do total da comunidade), estando *Oxytoxum gracile* Schiller e *O. laticeps* Schiller como dominantes, estas com densidades máximas de 31.10^2 cel.l⁻¹ e 47.10^2 cel.l⁻¹, respectivamente. Foi registrado efeito significativo de nitrato e fosfato para dominância do dinoflagelado *O. laticeps*. Adicionado a este fato, o presente estudo indica diversidade e composição espacial horizontal homogênea para a comunidade fitoplanctônica, sendo esta a condição biológica indicativa de que não ocorreu efeito de massa insular para esse arquipélago, ao longo de todo o período em estudo e diante das condições de distância e posições geográficas aplicadas. Porém, para confirmar tal afirmativa, estudos futuros são recomendados, que abordem demais variáveis ambientais e outras extensões no entorno desse arquipélago.

Palavras-chave: dinoflagelados, uniformidade, Atlântico Sul Equatorial.

Introdução

A dinâmica espaço-temporal do fitoplâncton está relacionada a um conjunto de variáveis ambientais, das quais atuam no oceano aberto, principalmente, a mistura e estratificação da água, disponibilidade de nutrientes, dentre outros, que agem de formas isoladas ou combinadas (SVENDSEN, 1997; MARTINEZ; MAAMATUAIAHUTAPU, 2004; BAKKER et al., 2007; KOENING; OLIVEIRA, 2009).

Essas características da água podem ser modificadas com a presença de ilhas oceânicas, com efeito no aumento de nutrientes e, conseqüentemente, na produtividade primária no entorno da ilha, fenômeno denominado de efeito de massa insular (LONGHURST; PAULY, 2007). Esse efeito pode ser intensificado ou mascarado pelos acontecimentos de ressurgências, mesmo que de forma sutil (GILMARTIN; RELEVANTE, 1974). Assim sendo, os mecanismos de enriquecimento no entorno de uma área insular podem estar intimamente relacionados à turbulência da água, mistura vertical e disponibilidade de nutrientes. Logo, a distribuição e composição do fitoplâncton é modificada (SUSINI-RIBEIRO et al. 2013), o que resulta no incremento na produtividade pesqueira insular (LEITE et al., 2008).

Assim sendo, os indicativos demonstram que o enriquecimento biológico, no geral, tende a ser mais elevado na porção da ilha mais afetada por correntes. Contudo, um estudo realizado em uma ilha subantártica evidencia que concentrações graduais de indivíduos fitoplanctônicos podem ocorrer ao redor da ilha, especialmente nas posições onde as correntes são fracas e, portanto, onde a água tem um tempo de residência maior (BAKKER et al., 2007). Além disso, estes mesmos autores demonstram atuar como principais fatores limitantes para a comunidade fitoplanctônica a baixa radiação solar, característica dessa região, a menor espessura da camada de mistura, dentre outros fatores.

Adicionado a este fato, ao longo do dia, as concentrações dos nutrientes na água não são constantes (MARTINY et al., 2013), uma vez que ocorrem diferenças de radiação solar. Conseqüentemente, são modificadas as características da água no decorrer do dia (SVENDSEN, 1997), tais como temperatura e luminosidade, o que promove uma dinâmica temporal do fitoplâncton (RINES et al. 2002).

Diante desse contexto, o presente estudo objetivou verificar como a distância do arquipélago, posição geográfica, períodos do dia e mudanças interanuais influenciam na distribuição e composição da comunidade fitoplanctônica, nas proximidades de uma área insular oceânica, bem como analisar qual a relação entre o fitoplâncton e os nutrientes

inorgânicos dissolvidos na água, dentre estes mesmos tratamentos (distância, posição geográfica, períodos do dia e mudanças interanuais). Assim, espera-se que o fitoplâncton esteja melhor representado pelos dinoflagelados, com maiores abundâncias e densidades de indivíduos nas porções mais próximas da área costeira do arquipélago, na posição geográfica de maior mistura da água e durante o período diurno.

Material e Métodos

Desenho experimental

As coletas foram realizadas no entorno do Arquipélago de Fernando de Noronha (Atlântico Sul Equatorial, Brasil), a bordo do navio oceanográfico NHo Cruzeiro do Sul, durante três dias dos meses de agosto de 2010 (considerado o ano I) e de outubro de 2012 (ano II), correspondendo ao período de estiagem da região. As amostras da água foram obtidas na camada subsuperficial, com uso de garrafas de Niskin, em rosette, para análise das variáveis químicas e fitoplanctônicas.

Para verificar a distribuição das variáveis estudadas, de acordo com a distância do arquipélago, foram realizadas amostragens em seis pontos lineares, definidos de acordo com a posição da corrente predominante, por Perfilador ADCP. Consistiram, portanto, na posição à nordeste do arquipélago e na posição à sudoeste, em que a porção à nordeste apresenta águas mais agitadas durante todo o ano. Ambas as posições englobaram três pontos de coletas, a saber: um de localização mais próxima (com distância em cerca de 4 e 1,5 km da área mais costeira do arquipélago, para nordeste e sudoeste, respectivamente), outro intermediário (com cerca de 6 e 3 km de distância, para nordeste e sudoeste, respectivamente) e mais distante (em cerca de 10 e 8 km, para nordeste e sudoeste, respectivamente; Figura 1). Para verificar as mudanças de acordo com os períodos do dia, em todos os pontos, foram realizadas amostragens em dois períodos, diurno e noturno.

Com base nos dados subsuperficiais de salinidade e temperatura da água, através do Perfilador CTD com fluorímetro, os valores estão aproximadamente constantes para todas as amostragens realizadas, cerca de 36 e 27°C, respectivamente.

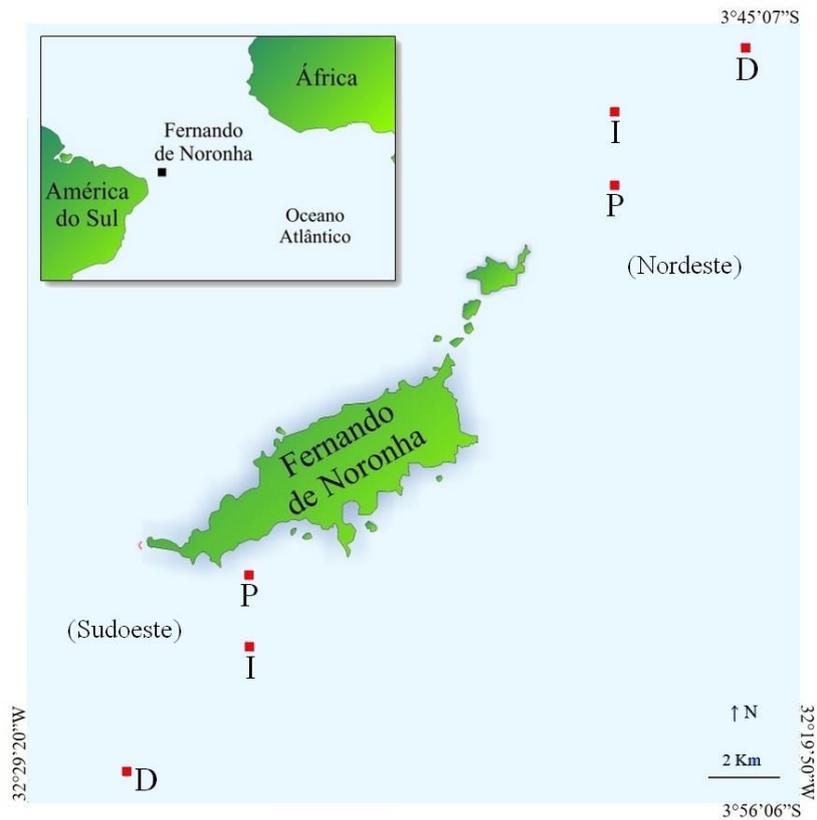


Figura 1. Localização do Arquipélago de Fernando de Noronha (Atlântico Sul Equatorial, Brasil), com a indicação dos pontos de coletas: Próximos (P), Intermediários (I) e Distantes (D), distribuídos em ambas as posições geográficas em estudo (Nordeste e Sudoeste).

Variáveis químicas

Para todos os seis pontos, posições (nordeste e sudoeste), períodos do dia (dia e noite) e anos (I e II), foram verificados os valores dos principais nutrientes inorgânicos dissolvidos que influenciam a comunidade fitoplanctônica: nitrito ($\text{NO}_2\text{-N}$), nitrato ($\text{NO}_3\text{-N}$), fosfato ($\text{PO}_4\text{-P}$) e silicato ($\text{SiO}_2\text{-Si}$). Para análise de tais nutrientes, as amostras de água foram acondicionadas em frascos plásticos (300 mL), congeladas a bordo, imediatamente após as coletas. Posteriormente, foram seguidos os procedimentos de análise das amostras como recomendado por Strickland e Parsons (1972) e Grasshoff et al. (1983), realizados no Laboratório de Oceanografia Química, da Universidade Federal de Pernambuco.

Variáveis fitoplanctônicas

Para todos os seis pontos, posições (nordeste e sudoeste), períodos do dia (dia e noite) e anos (I e II), foi determinada a densidade fitoplanctônica, a partir das amostras da água coletadas ($n = 24$). As amostras foram acondicionadas em garrafas plásticas (1 L) e imediatamente preservamos em lugol acético, segundo THRONDSSEN (1978). A densidade celular foi calculada baseada no método de Utermöhl, como descrito em Hasle (1978), com uso de câmaras de sedimentação de 10 ml (sendo considerada para contagem todo o fundo da câmara) e análise em microscópio óptico invertido. A densidade fitoplanctônica esteve expressa em cel.l^{-1} , considerado todo o indivíduo (quando formado por uma única célula ou quando em colônia ou filamento). Esse procedimento foi realizado no Laboratório de Fitoplâncton da Universidade Federal de Pernambuco. Os indivíduos foram identificados até o menor nível hierárquico possível. O sistema de classificação utilizado foi de Guiry e Guiry (2013).

Para o entendimento da estrutura da comunidade fitoplanctônica, foram calculados os valores de riqueza de espécie, bem como os valores de abundância relativa, como recomendado por Lobo e Leighton (1986), com as categorias dominante (para a espécie cuja ocorrência numérica é maior que 50% do número total de indivíduos da amostra) e abundante (para a espécie cuja ocorrência supera o valor médio de indivíduos da amostra). Baseado na sua frequência de ocorrência (MATEUCCI e COLMA, 1982), as espécies foram classificadas em quatro categorias: muito frequente (com valores acima de 70% de ocorrência), frequente (entre 69 e 40%), pouco frequente (entre 39 e 10%) e rara (abaixo de 10%). A diversidade específica foi calculada (Índice de Shannon-Weiner; SHANNON, 1948), com os dados expressos em bits.cel^{-1} , em que 1 bit equivale à uma unidade, bem como a uniformidade, seguindo o recomendado por Pielou (1977), utilizando o software Primer 6.

Análises estatísticas

Para verificar a normalidade dos dados, foi utilizado o teste de Shapiro-Wilk (ZAR, 1996). Para analisar a variação temporal (períodos dia e noite; anos I e II) e espacial (posições nordeste e sudoeste; distâncias próximas, intermediárias e distantes) dos fatores

químicos e fitoplanctônicos (somatório da densidade fitoplanctônica e densidade de cada espécie dominante, *Oxytoxum laticeps* Schiller e *O. gracile* Schiller, em que, para esta última, não foi usado o tratamento entre anos, uma vez que esta dominou apenas durante o ano II), foi utilizado o teste da Anova fatorial, com teste a posteriori de Tukey (ZAR, 1996). Para todas essas análises, foi utilizado o programa Statistica 7.0 (STATSOFT, 2004).

Para verificar a relação entre as variáveis químicas e as espécies do fitoplâncton, foi realizado o teste de Análise de Correspondência Canônica (ACC), a partir de uma matriz contendo o somatório da densidade total fitoplanctônica, a densidade das espécies dominantes e os dados químicos, através do programa Canoco 4.5 (BRAAK; SMILAUER, 2002). A significância das variáveis foi verificada através do teste de permutação de Monte Carlo, com 999 permutações irrestritas.

Resultados

Variáveis químicas

Para os tratamentos em estudo (períodos do dia, posição e distância do arquipélago, mudanças interanuais), não houveram diferenças significativas para os nutrientes inorgânicos dissolvidos: nitrito, nitrato, fosfato e silicato. A figura 2 ilustra os valores médios para esses nutrientes, dentre os quais, no geral, foram registrados em baixas concentrações na água: média de $0,26 \mu\text{mol.l}^{-1}$ para o nitrito; $1,17 \mu\text{mol.l}^{-1}$ para o nitrato; $0,13 \mu\text{mol.l}^{-1}$ para o fosfato; e $1,21 \mu\text{mol.l}^{-1}$ para o silicato (Figura 2).

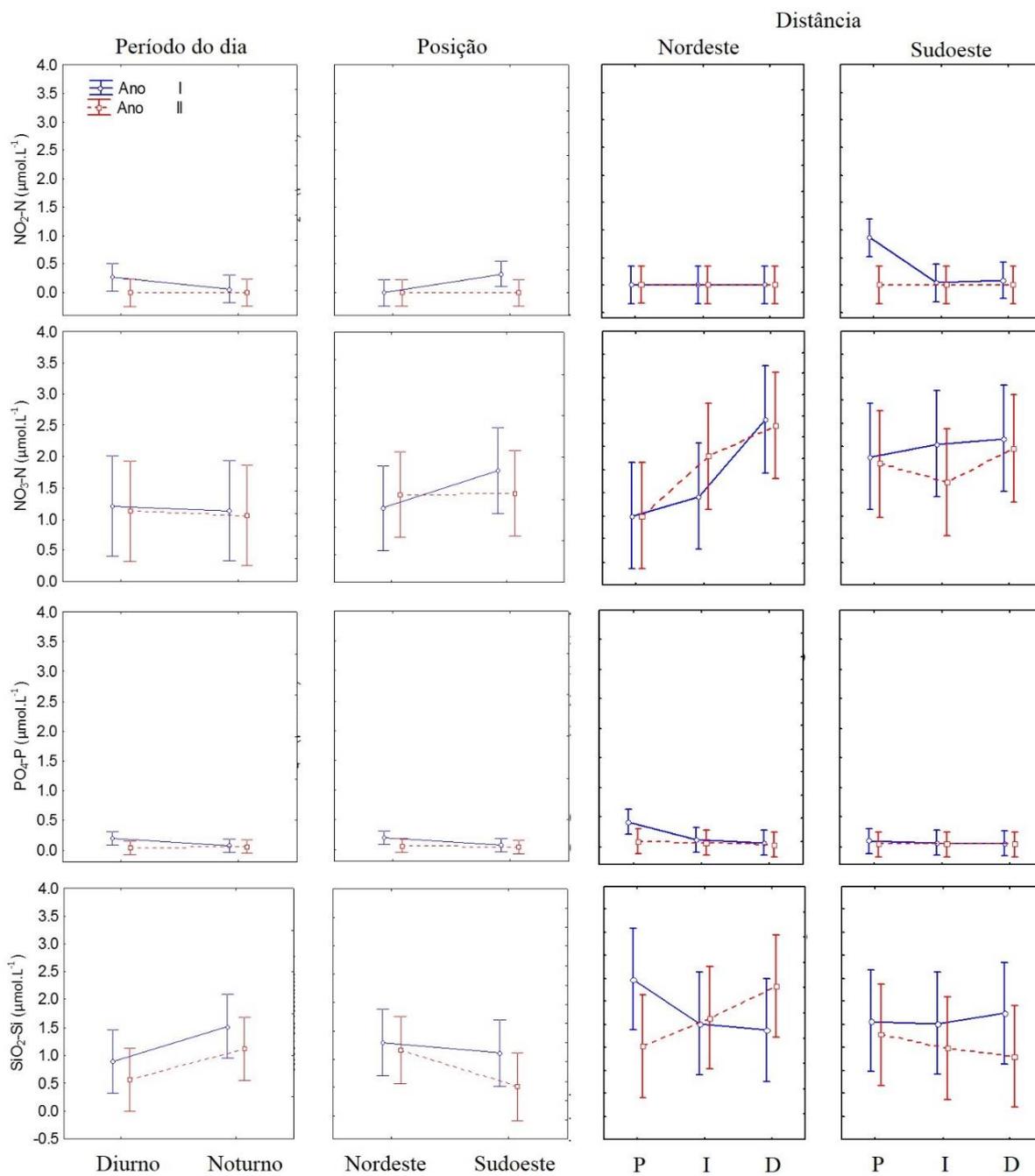


Figura 2. Nutrientes inorgânicos dissolvidos (nitrito $\text{NO}_2\text{-N}$, nitrato $\text{NO}_3\text{-N}$, fosfato $\text{PO}_4\text{-P}$ e silicato $\text{SiO}_2\text{-Si}$), expressos em $\mu\text{mol.L}^{-1}$, durante períodos do dia em estudo (diurno e noturno), em ambas as posições geográficas (Nordeste e Sudoeste) e nos pontos mais próximos do arquipélago (P), intermediários (I) e distantes (D), nessas duas posições, durante os anos I e II.

Variáveis fitoplanctônicas

No total, foram identificadas 38 espécies fitoplanctônicas, em que os dinoflagelados (Dinophyceae) estiveram melhor representados em ambos os anos, com cerca de 96% do total. Além destes, as cianobactérias (Cyanobacteria) estiveram representadas apenas durante o ano I, por uma única espécie, *Trichodesmium erythraeum* Ehrenberg ex Gomont, englobando 3% do total. Esta esteve presente nos pontos intermediários e distantes, em ambas as posições geográficas, durante o período diurno, alcançando até 5.10^5 ind.ml⁻¹. Da mesma forma, as diatomáceas (filo Ochrophyta) estiveram representadas apenas no ano II, por *Navicula* sp., com 4% do total, presente apenas no ponto próximo e na posição sudoeste, no período diurno, com 2.10^2 cel.l⁻¹.

A diversidade específica foi baixa para ambos os anos, de 0,89 bits.cel⁻¹ a 1,71 bits.cel⁻¹. A uniformidade foi significativa (acima de 0,5) para ambos os anos e, portanto, houve uma distribuição uniforme das espécies durante o estudo (Figura 3).

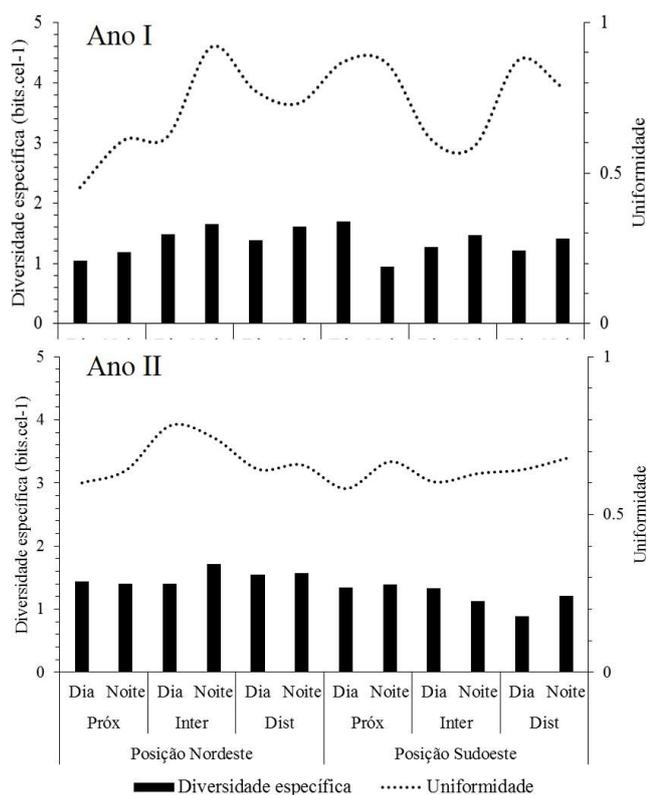


Figura 3. Índice de diversidade específica (bits.cel⁻¹) e uniformidade da comunidade fitoplanctônica ao longo dos tratamentos em estudo (períodos de dia e noite, posições nordeste e sudoeste, pontos próximos, intermediários e distantes do arquipélago, durante os anos I e II).

Quanto à abundância relativa, em comum aos dois anos, esteve como dominante o dinoflagelado *O. laticeps* (entre 53% e 75,5% de abundância no ano I; de 50 à 51,6% no ano II). Além deste, durante o ano II, esteve também como dominante o dinoflagelado *O. gracile* (entre 50 e 58%). Cerca de 15 outras espécies foram abundantes, para ambos os anos, sendo a maioria rara.

Quanto à frequência de ocorrência das espécies, além de dominante, *O. laticeps* esteve como muito frequente durante os períodos diurno e noturno, com 100% de ocorrência. Além dessa, para o ano I, *P. cassum* dominou durante o período diurno (100%) e, para o ano II estiveram também como dominantes *Ceratium setaceum* E. G. Jorgensen e *O. curvatum* (Kofoid) Kofoid, com 83,3% de ocorrência para ambas as espécies, para ambos os períodos. De forma semelhante, na posição nordeste, ocorreram como muito frequentes *O. laticeps* e *P. cassum* (100% e 83,3 % de ocorrência, respectivamente) durante o ano I e *O. laticeps*, *O. gracile*, *C. setaceum* e *O. curvatum* (100% para todos) durante o ano II. Enquanto que, para a posição sudoeste, estiveram como muito frequentes *O. laticeps* (100%) durante o ano I, além de *O. laticeps* e *O. gracile* (100% para ambas) durante o ano II. A maioria das espécies foi considerada pouco frequente e esporádica para os tratamentos em estudo.

A Figura 4 demonstra a média de densidade fitoplanctônica total e a densidade das duas espécies dominantes, *O. laticeps* e *O. gracile*. Entre os tratamentos em estudo (períodos do dia, posições geográficas e distâncias do arquipélago), não houveram diferenças significativas para a densidade (Figura 4). Porém, a densidade total apresentou efeito significativo entre anos, ao longo dos períodos do dia ($p < 0,01$; $F = 1,38$) e posições geográficas ($p < 0,01$; $F = 10,53$), com os maiores valores registrados no ano II (Figura 4).

As maiores contribuições para a densidade celular, durante o ano I, foram da espécie *O. laticeps*, de até 47.10^2 cel.l⁻¹. Outras eventuais contribuições para o total de densidade do fitoplâncton durante o ano I foram da cianobactéria *T. erythraeum* (5.10^2 cel.l⁻¹) para o ponto mais distante da posição nordeste, durante o dia, bem como dos dinoflagelados *Protoperdinium cassum* (Balech) Balech (6.10^2 cel.l⁻¹) e *Lingulodinium polyedra* (F. Stein) J. D. Dodge (5.10^2 cel.l⁻¹), para os pontos intermediários da posição nordeste e sudoeste, respectivamente, nos períodos diurno e noturno. Durante o ano II, as maiores contribuições para a densidade total do fitoplâncton foram das duas espécies dominantes, *O. gracile* e *O. laticeps*, em que seus valores máximos foram de 47.10^2 cel.l⁻¹ e 31.10^2 cel.l⁻¹, respectivamente (Figura 4).

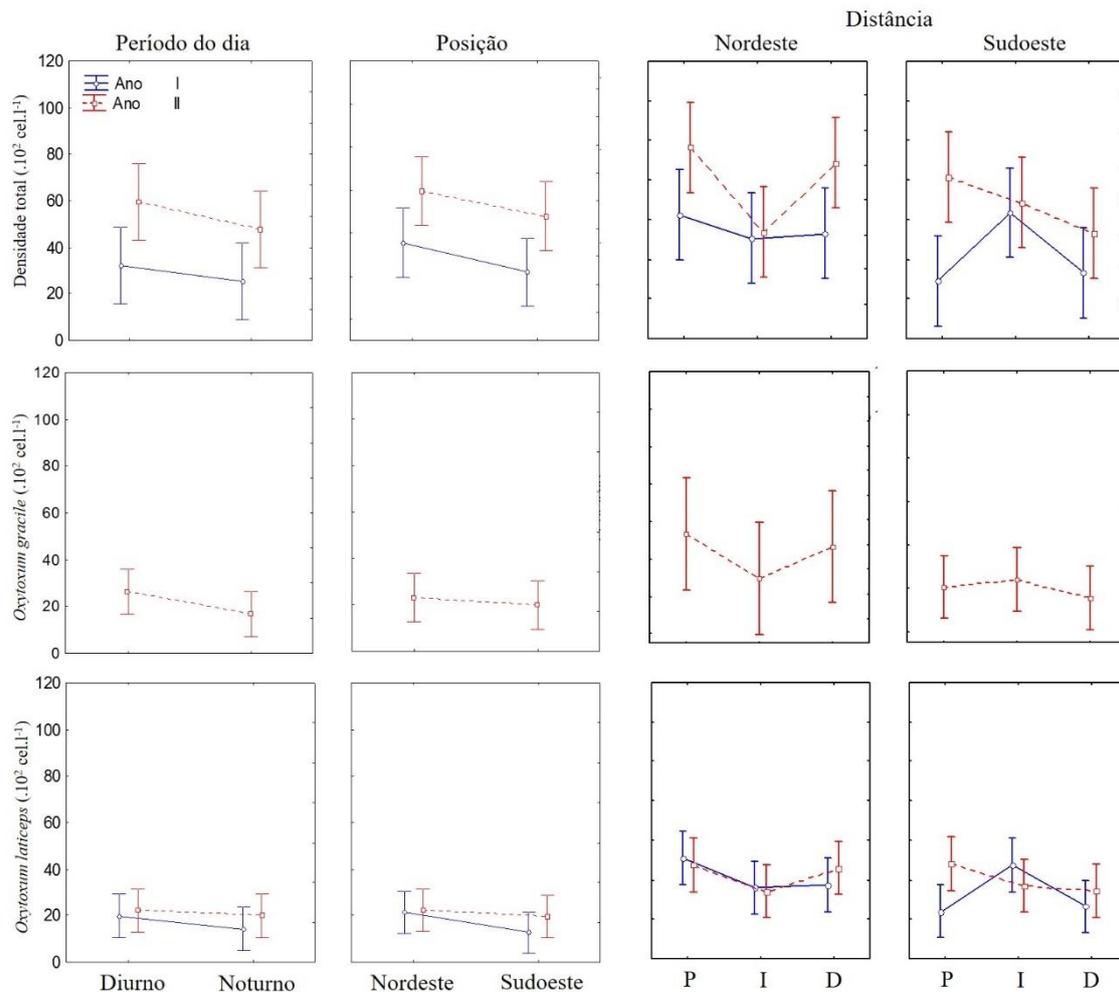


Figura 4. Densidade total do fitoplâncton e das espécies dominantes, *Oxytoxum gracile* Schiller e *O. laticeps* Schiller, nos dois períodos do dia em estudo (diurno e noturno), em ambas as posições geográficas (Nordeste e Sudoeste) e nos pontos próximos do arquipélago (P), intermediários (I) e distantes (D) nas duas posições, para os anos I e II.

Interação entre espécies e variáveis químicas

A análise de correspondência canônica (ACC) demonstrou haver relação significativa ($p < 0,01$) entre as espécies dominantes (*O. laticeps* e *O. gracile*) e os dados de nutrientes inorgânicos dissolvidos. As ordenações representam essas variáveis, pontos de coleta, períodos do dia e posição geográfica (Figura 5). Os eixos 1 e 2 explicaram 83,9% e 91,3% da variância das espécies no gradiente da variação ambiental, para os anos I e II, respectivamente. Nesse contexto, a correlação das espécies com as variáveis

ambientais foi alta, explicando 84,6% (ano I) e 92,6% (ano II) da ordenação canônica nos dois primeiros eixos (Tabela 1).

Para o ano I, os maiores valores de densidade fitoplanctônica (total e de ambas as espécies dominantes) foram registrados no período do dia, na posição nordeste. Esse fato é justificado, através da ACC, pelo agrupamento das unidades amostrais no eixo 2, relacionadas proporcionalmente com os valores de fosfato (Figura 5). Em contrapartida, não foram detectados agrupamentos e interações visíveis para as distribuições temporais e espaciais para o ano II.

Em relação à distância do arquipélago, durante o ano I, através da distribuição espacial dos valores de densidade de *O. laticeps*, o fitoplâncton demonstrou relação significativa com nitrato e fosfato, confirmados pelos coeficientes canônicos da ACC (Tabela 1; Figura 5), o que indica a contribuição dos mesmos para a dominância da espécie, durante o ano I.

Tabela 1. Resumo estatístico e coeficientes de correlação entre as espécies fitoplanctônicas dominantes (*Oxytoxum laticeps* Schiller e *O. gracile* Schiller), a densidade total celular (Dtotal) e as variáveis químicas dos dois primeiros eixos da ACC, no Arquipélago de Fernando de Noronha, durante os anos I e II.

	Ano I		Ano II	
	Eixo 1	Eixo 2	Eixo 1	Eixo 2
Eigenvalues	0,059	0,014	0,036	0,030
Varição dos dados bióticos (%)	67,600	16,300	49,500	41,800
Varição da relação espécie-ambiente (%)	68,100	16,500	50,200	42,400
Correlação espécie-ambiente	0,996	0,998	0,991	0,996
Significância do primeiro eixo canônico – <i>p</i>	<0,010		<0,010	
Coefficiente canônico				
Nitrito (NO ₂ -N)	0,441	-0,236	0,092	-0,293
Nitrato (NO ₃ -N)	0,510	0,854	-0,256	-0,234
Fosfato (PO ₄ -P)	-0,437	0,171	0,208	0,286
Silicato (SiO ₂ -Si)	0,314	-0,238	-0,025	-0,473
Densidade total do fitoplâncton	-0,946	0,063	0,973	-0,123
Densidade de <i>Oxytoxum laticeps</i> Schiller	-0,461	-0,183	-0,448	-0,784
Densidade de <i>O. gracile</i> Schiller			0,220	0,951

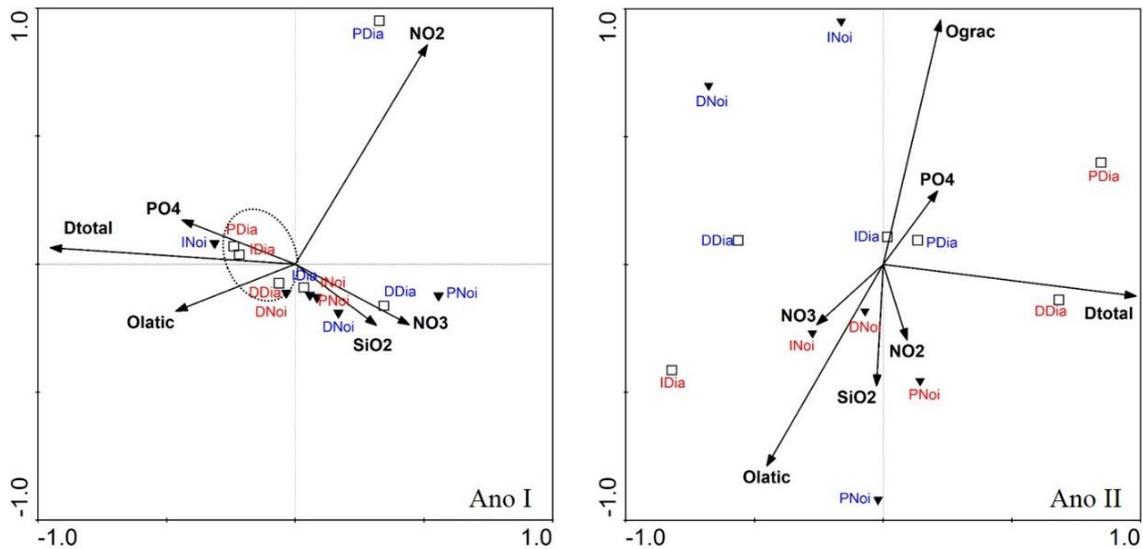


Figura 5. Ordenação da ACC entre as espécies dominantes (Ograc = *Oxytoxum gracile* Schiller; Olatic = *O. laticeps* Schiller), a densidade fitoplanctônica total (Dtotal) e os fatores químicos (nitrito - NO₂, nitrato - NO₃, fosfato - PO₄ e silicato - SiO₂) no do Arquipélago de Fernando de Noronha, durante os anos I e II. Outras legendas: quadrado = unidade amostral durante o período diurno (ou Dia); triângulo = noturno (ou Noi); vermelho = unidade amostral da posição nordeste; azul = sudoeste; P = ponto de localização mais próxima do arquipélago; I = intermediário; D = distante.

Discussão

Uma vez que foram registradas como dominantes apenas duas espécies, de tamanhos pequenos, para o arquipélago de Fernando de Noronha, a co-dominância de um número restrito de espécies pequenas ocorre devido à limitação por nutrientes (IRIGOLEN et al., 2004). Elas são favorecidas pelo seu tamanho, pois demonstram uma baixa taxa de afundamento e alta eficiência no uso de nutrientes, em águas tropicais oligotróficas. Ambas as espécies dominantes no presente estudo foram relatadas como importantes componentes da comunidade fitoplanctônica para águas do Pacífico equatorial, por demonstrarem persistência na comunidade ao longo dos anos (IRIARTE; FRIXELL, 1995; VENRICK et al., 1999). Outros estudos as apontam como co-dominantes, muitas vezes, com outras espécies de dinoflagelados móveis (*Oxytoxum*, *Ceratium*, *Histioneis* e *Protoperdinium*), bem como com outros cocolitoforídeos e diatomáceas (IRIARTE; FRIXELL, 1995; LICEA et al., 2004; GOMEZ et al., 2008).

Adicionada à população de dinoflagelados, a presença da cianobactéria *Trichodesmium* spp. indica uma comunidade característica de ambiente estável, em águas oligotróficas (QUEIROZ et al., 2014). *Trichodesmium* spp. tem sido amplamente registrada em áreas insulares brasileiras (TIBURCIO et al., 2011; QUEIROZ et al., 2014) e na plataforma continental do nordeste do Brasil (MONTEIRO et al., 2012). Globalmente, demais estudos revelam ser uma espécie importante dentro da comunidade, bem como para o ambiente oceânico, uma vez que é uma cianobactéria importante como fixador de nitrogênio atmosférico (GILMARTIN; REVELANTE, 1974; CAPONE et al., 1997). Para as águas oceânicas do arquipélago de Fernando de Noronha, foram registradas densidades importantes para *T. erythraeum*, porém, não o suficiente para que demonstre interações com as variáveis químicas estudadas. Além desta, a diatomácea *Navicula* sp. foi registrada, mesmo quando em baixos valores de densidade. Para essa diatomácea, alguns autores sugerem ser uma espécie indicativa de ressurgências e turbulências (AVANCINI et al., 2006; QUEIROZ, 2011), uma vez que apresenta forma de vida comumente bentônica. Porém, os registros de sua densidade fitoplanctônica para o arquipélago de Fernando de Noronha não foram o suficiente para indicar tal fenômeno.

A baixa concentração de nitrito e nitrato em águas oceânicas oligotróficas tem sido relatada em estudos tradicionais sobre o fitoplâncton e hidrologia em regiões insulares e de plataforma continental do Atlântico Sul Equatorial, dentre os quais tem sido revelado o esgotamento de compostos nitrogenados na camada subsuperficial da água (MACEDO et al., 2009; REZENDE et al., 2007). Estes estudos associam sua baixa disponibilidade ou mesmo esgotamento com a ocorrência da termoclina permanente na região (MEDEIROS et al., 2009), a qual dificulta a transferência vertical de nutrientes e, conseqüentemente, limita o desenvolvimento do fitoplâncton. Assim sendo, este fato indica que os compostos nitrogenados aparecem como um dos principais limitantes para a produtividade primária de áreas oceânicas oligotróficas (GILMARTIN; REVELANTE, 1974). Além dos compostos nitrogenados, demais nutrientes em áreas oceânicas aparecem em baixas concentrações, bem como em poucas variações espaciais e temporais na camada subsuperficial, como é o caso do fosfato, comumente registrado em valores menores que $1,0 \mu\text{mol.l}^{-1}$ (GILMARTIN; REVELANTE, 1974; MACEDO et al., 2009). Este nutriente é apontado na literatura como um dos principais limitantes para o desenvolvimento da comunidade fitoplanctônica em oceanos oligotróficos (BAKKER et al., 2007). No geral, apesar de baixos valores de nutrientes, o fitoplâncton pode permanecer em distribuição uniforme nas áreas oceânicas, por competição intraespecífica

por nutrientes, como sendo uma estratégia de equilíbrio da comunidade (MELLARD et al., 2011). De forma suplementar, as variações não significativas dos nutrientes dissolvidos nas águas oceânicas do arquipélago de Fernando de Noronha sugerem a distribuição uniforme das espécies, de forma não significativa.

A presença de ilhas oceânicas tem efeito na distribuição espacial dos nutrientes. O transporte de material orgânico da ilha para as águas próximas, a partir de ações mecânicas de ondas e correntes, ou mesmo do escoamento natural, a descarga antrópica de material orgânico e o guano comum em áreas insulares, podem contribuir para o efeito de massa insular. Este fenômeno corresponde ao enriquecimento de nutrientes e, conseqüentemente, das comunidades biológicas, no entorno de ilhas oceânicas, em águas oligotróficas (LONGHURST; PAULY, 2007).

No geral, o enriquecimento gradual dos aspectos biológicos e abióticos no entorno de ilhas oceânicas tem sido um dos principais fatores que suportam a teoria do efeito de massa insular. Porém, os fatores atribuídos a esse fenômeno não são completamente conhecidos, devido à complexidade dos fluxos turbulentos ao redor das ilhas e dificuldades em campo (HASEGAWA et al., 2008). Estudos acerca do efeito de massa insular indicam que o principal mecanismo responsável pelo enriquecimento biológico ao redor de ilhas é a mistura turbulenta (GILMARTIN; REVELANTE, 1974; MARTINEZ; MAAMAATUAI AHUTAPU, 2004). É observado que essa mistura turbulenta está comumente relacionada ao tamanho da ilha e, portanto, o efeito de massa insular está presente em ilhas de tamanhos menores, como tem sido relatado para um conjunto de pequenas ilhas oceânicas no Japão (HASEGAWA et al., 2008), bem como para o arquipélago de São Pedro e São Paulo (QUEIROZ et al., 2015) e para o Atol das Rocas (JALES et al., 2015), estes dois últimos localizados no Brasil e menores que o arquipélago de Fernando de Noronha.

Em contrapartida, quando não há mistura da coluna d'água o suficiente, a composição e distribuição espacial horizontal dos indivíduos fitoplanctônicos pode ser praticamente uniforme, uma vez que não existem entradas eventuais de nutrientes inorgânicos dissolvidos. Portanto, estudos sobre composição e biomassa de plâncton nos oceanos constataam que, tradicionalmente, sua composição é explicada pela disponibilidade de nutrientes e pela turbulência (IRIGOLEN et al., 2004; MARTINEZ; MAAMAATUAI AHUTAPU, 2004; HASEGAWA et al., 2008). Diante desse contexto, mesmo que em baixas concentrações de nutrientes, foi registrado efeito significativo do

nitrito e fosfato para a dominância do dinoflagelado *O. laticeps* nas águas oceânicas do arquipélago de Fernando de Noronha.

Em uma pequena ilha no Japão, de águas oligotróficas e fortemente estratificadas, Hasegawa et al. (2008) demonstraram haver o efeito de massa insular. Para tanto, além dos requisitos de enriquecimento gradual e turbulência para a área, estes mesmos autores enfatizaram a temperatura da água superficial praticamente constante, de 28°C, bem como a baixa disponibilidade de nutrientes, este o suficiente para suportar eventuais florescimentos fitoplanctônicos, em apenas uma posição da ilha. Tais aspectos de temperatura da água e nutrientes, foram característicos no presente estudo (constante e baixo, respectivamente), reforçado pelos achados de temperatura constante por Souza et al (2013), para o arquipélago de Fernando de Noronha, demonstrando a ausência de pontos frios na superfície para a área. Porém, de maneira geral, os registros para as águas oceânicas do arquipélago de Fernando de Noronha não demonstraram ser o suficiente para constatar o efeito de massa insular, de maneira geral, uma vez que, como relatado acima, faz-se necessário o registro de mistura e turbulência da área, aliado a outras variáveis físicas e químicas.

Em ilhas com enriquecimento biológico no seu entorno, as diatomáceas aparecem como dominantes nas proximidades da costa da ilha, mesmo considerando que a sua população é de baixa porcentagem de contribuição em águas oligotróficas (GILMARTIN; REVELANTE, 1974). Nessas proximidades, as diatomáceas com altas taxas de crescimento podem aumentar rapidamente, porém em um intervalo de tempo maior (HASEGAWA et al., 2008). Além disso, as informações acerca das extensões horizontais dos agregados fitoplanctônicos apresentam ampla variabilidade no decorrer dos anos (DURHAM; STOCKER, 2012). Um estudo de longa duração em oceanos oligotróficos, desenvolvido por Moline et al. (2010), demonstra a variabilidade horizontal fitoplanctônica de cerca de 1 até 7 km de extensão, caracterizada, principalmente, por uma mudança na composição da comunidade fitoplanctônica, de diatomáceas imóveis para dinoflagelados móveis. Para aqueles pontos localizados mais distantes da costa da ilha, a diversidade de espécies do fitoplâncton tende a ser maior quando há ocorrência de distúrbios ambientais de níveis intermediários (SUSINI-RIBEIRO et al., 2013).

Condição oposta é apontada a partir dos registros para o arquipélago de Fernando de Noronha, que indicam uma diversidade e composição espacial horizontal uniforme para a comunidade fitoplanctônica, de diversidade baixa e composta principalmente por dinoflagelados. Assim sendo, esse estudo corrobora e complementa Lira et al. (2014), em

sua abordagem biológica, sobre a variabilidade horizontal do zoonêuston no arquipélago de Fernando de Noronha, em que foram aplicadas distâncias e posições semelhantes ao presente estudo para o arquipélago de Fernando de Noronha. Portanto, os dados fitoplanctônicos do presente estudo reforçam os achados semelhantes desses autores, de que a uniformidade horizontal das espécies planctônicas sugere não ocorrer o efeito de massa insular para esse arquipélago durante o período em estudo, para as distâncias e posições aplicadas.

Considerações e perspectivas futuras

Como conclusão, no geral, o presente estudo indica a importância dos nutrientes (nitrato e fosfato) para a comunidade fitoplanctônica nas águas oceânicas do arquipélago de Fernando de Noronha, mesmo quando em baixas concentrações. Adicionalmente, a composição e distribuição uniforme das espécies fitoplanctônicas sugere ser um indicativo de não ocorrer efeito de massa insular nesse arquipélago ao longo de todo o período em estudo, bem como nas condições aplicadas, de períodos do dia, distâncias e posições geográficas.

Todavia, corroborando com Lira et al (2014), as distâncias e posições aplicadas para o estudo não demonstram ser o suficiente para as observações de efeitos espaciais significativos para as espécies. Diante desse contexto, é ressaltada a necessidade de estudos futuros acerca da composição e distribuição dos organismos fitoplanctônicos ao longo de extensões horizontais maiores, bem como abrangendo demais posições geográficas, no entorno desse arquipélago. Além disso, são recomendadas abordagens posteriores que observem a relação do fitoplâncton com outras variáveis oceanográficas, principalmente a turbulência da área, em escalas espaciais e temporais maiores.

CAPÍTULO 4: Distribuição vertical do fitoplâncton em águas oceânicas permanentemente estratificadas do Atlântico Equatorial (Arquipélago de Fernando de Noronha, Brasil).

Resumo

As variações nas comunidades biológicas ocorrem de acordo com a profundidade e espessura das camadas de estratificação nos oceanos. Assim sendo, o objetivo desse estudo foi verificar como está distribuída a densidade do fitoplâncton ao longo da coluna d'água estratificada, bem como as características da comunidade, nas águas oceânicas do Arquipélago de Fernando de Noronha, Brasil. Para tanto, as amostras da água foram coletadas até a profundidade de 130 m, ao longo de seis pontos, períodos do dia (diurno e noturno) e em dois anos (I e II), para análise da comunidade fitoplanctônica, clorofila *a*, densidade celular e de temperatura e salinidade da água. A densidade fitoplanctônica foi determinada, bem como a riqueza de espécies, abundância relativa, frequência de ocorrência, diversidade e equabilidade. Foram identificadas 115 espécies fitoplanctônicas, em que os dinoflagelados estiveram melhor representados (64%), seguidos pelas diatomáceas (30%), cianobactérias (5%) e dictiofíceas (1%). Os maiores valores de densidade total estiveram registrados na camada de mistura, nas profundidades de 25 m e 50 m (anos I e II, respectivamente) e representados essencialmente por *Oxytoxum laticeps*, *O. gracile*, *Protoperidinium cassum* e *Trichodesmium erythraeum*. A ocorrência dessas espécies ao longo das profundidades sugere suas afinidades pelas condições ambientais das camadas de mistura e termoclina. A densidade apresentou um decréscimo gradual da superfície em direção aos 130 m em estudo. Para as áreas insulares, a alta diversidade dos dinoflagelados tem sido fortemente referida, especialmente para os arquipélagos oceânicos brasileiros, como Atol das Rocas e São Pedro e São Paulo. Essa diversidade de dinoflagelados comumente está associada a estabilidade vertical da água, como resultado da estratificação.

Introdução

As águas do oceano Atlântico Sul são particularmente conhecidas pela condição oligotrófica e de estratificação vertical permanente (TRAVASSOS et al., 1999; MEDEIROS et al., 2009). Tal estratificação está caracterizada pela camada superior bem misturada, nos primeiros metros de profundidade; em seguida, a camada termoclina, que é bem definida, permanente durante todo o ano e localizada entre 40 a 195 m, para as águas oceânicas do nordeste brasileiro; por fim, logo abaixo desta, está a camada de água profunda, mais fria. Vale ressaltar que na camada termoclina estão inseridas, normalmente, as camadas haloclina, nutriclina e profundidade de máximo de clorofila *a*.

A estratificação dos oceanos resulta na variação vertical das características da água, especialmente no gradiente de luz e nutrientes ao longo das profundidades (STRIEBEL et al., 2010). Como consequência, essa variação resulta numa heterogeneidade vertical das comunidades biológicas, em equilíbrio ou não, devido às estratégias de competição por esses recursos, ou mesmo por movimentos de espécies e dinâmica populacional (MELLARD et al., 2011). Estes fatores, dentre outros, determinam a distribuição vertical do fitoplâncton nas águas oceânicas.

Assim sendo, a literatura sugere que as variações nas comunidades biológicas ocorrem de acordo com a profundidade e espessura das camadas de estratificação. Diante desse contexto, esse estudo objetivou verificar como está distribuída a densidade celular fitoplanctônica ao longo da coluna d'água estratificada, bem como as características de sua comunidade (composição e estrutura), nas águas oceânicas de uma área insular equatorial (Arquipélago de Fernando de Noronha, Brasil). Espera-se que a densidade esteja em menores valores com o aumento da profundidade e que a comunidade fitoplanctônica esteja caracterizada, principalmente, pelos dinoflagelados, uma vez que demonstram melhor representatividade para o fitoplâncton em águas oceânicas estratificadas.

Material e Métodos

As coletas foram realizadas nas águas oceânicas do Arquipélago de Fernando de Noronha (Pernambuco, Brasil), a bordo do navio oceanográfico NHo Cruzeiro do Sul,

durante 3 dias dos meses de agosto de 2010 (considerado como o ano I) e outubro de 2012 (ano II).

As amostragens dos dados fitoplanctônicos e das características da coluna d'água foram realizadas em duas posições geográficas em relação ao arquipélago: a nordeste e a sudoeste, em que esta última correspondeu à porção do arquipélago voltada para o continente americano; enquanto que, a posição nordeste esteve voltada para o continente africano. Ambas as posições foram previamente definidas de acordo com a posição da corrente predominante, por Perfilador ADCP. Assim sendo, a posição nordeste consistiu na porção de maior atuação da corrente oceânica e, portanto, de águas mais agitadas. Por outro lado, a posição sudoeste esteve caracterizada por águas mais calmas. Em ambas as posições, estiveram distribuídos três pontos, ao longo de dois transectos lineares, a saber: P1, P2 e P3 (localizados na posição nordeste do arquipélago) e P4, P5 e P6 (na posição sudoeste; Figura 1). Os pontos estiveram distantes em cerca de 2 a 5 km entre si e os pontos P1 e P4 em aproximadamente 4 e 1,5 km de distância, respectivamente, da área costeira do arquipélago. Para cada ponto de amostragem, as coletas foram realizadas em dois períodos do dia (diurno e noturno), em dois anos (anos I e II).

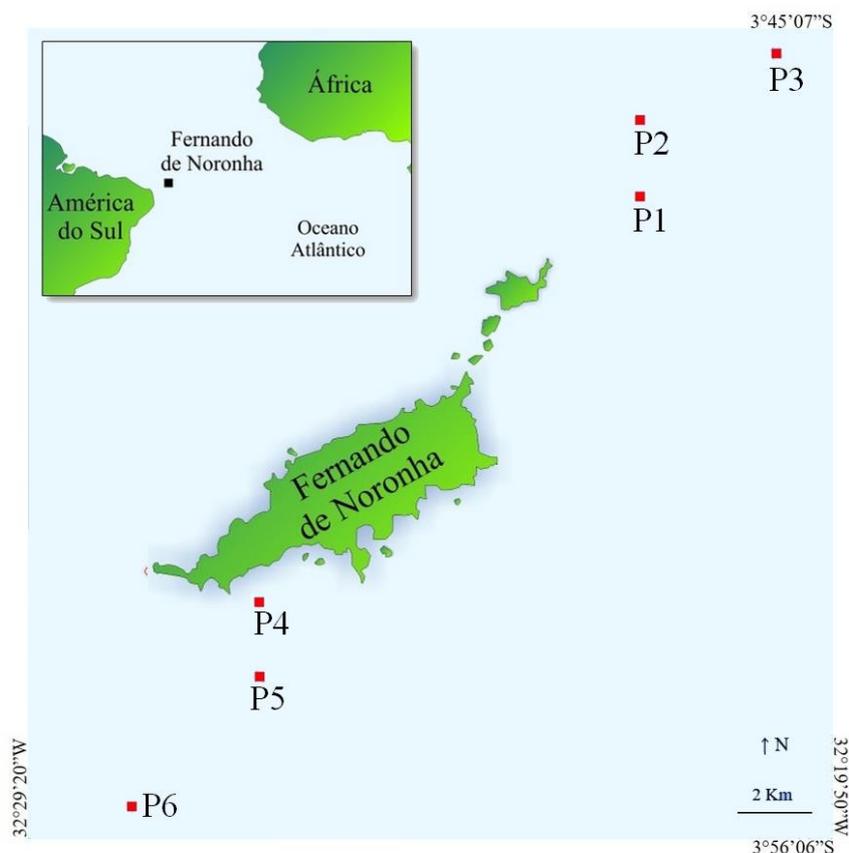


Figura 1. Localização do Arquipélago de Fernando de Noronha (Atlântico Sul Equatorial, Brasil), com a indicação dos pontos de coletas (P1 ao P6).

Características da coluna d'água

Como intuito de caracterizar as profundidades da camada de mistura superficial, termoclina e haloclina, foram determinados, previamente, os valores de temperatura e salinidade da água, através do Perfilador CTD com fluorímetro, acoplado à rossete. Tais variáveis foram observadas para todos os pontos de amostragem (P1 ao P6), ambos os períodos do dia (diurno e noturno) e anos (I e II), a cada 1 m de profundidade, até o máximo de 200 m.

Características fitoplanctônicas

Produção primária

Para análise da produção primária, foram coletadas as amostras da água para análise da clorofila *a* ($n = 12$) em duas profundidades, subsuperfície (1 m) e Profundidade de Máximo de Clorofila *a* (PMC), em todos os pontos de coletas, ambos os períodos do dia e anos. Para tanto, foram utilizadas garrafas de Niskin (5 l), em rosette. A PMC foi identificada, previamente, com auxílio de um Perfilador CTD com fluorímetro, acoplado à rossete.

Para determinar o teor de clorofila *a*, foram filtradas, a bordo, 3 l de cada amostra, imediatamente após a coleta. A filtração foi realizada com auxílio de bomba a vácuo e filtros de fibra de vidro (0,47 mm de diâmetro de 0,70 μm de porosidade). Em laboratório, a extração dos pigmentos foi feita com uso de acetona a 90% e a posterior análise espectrofotométrica seguiu o recomendado por Parsons e Strickland (1963), descrita pela UNESCO (1966).

Comunidade fitoplanctônica

Para verificar a composição da comunidade fitoplanctônica, foram realizados arrastos verticais de rede de plâncton (20 μm de abertura de malha), nos seis pontos de coletas, em ambos os períodos do dia (diurno e noturno) e ambos os anos (I e II). A profundidade máxima de arrasto alcançou até 130 m. As amostras ($n = 24$) foram

acondicionadas em frascos plásticos (500 ml) e em seguida fixadas em formol neutro (NEWELL; NEWELL, 1963).

Posteriormente, os indivíduos foram identificados em microscópio óptico a partir de subamostras (0,5 ml), no Laboratório de Fitoplâncton da UFPE. Quando necessário, para evidenciar os cloroplastos, foi utilizado o sistema de contraste de fase, com registro fotográfico. Para melhor observar a ornamentação de frústulas de algumas espécies de diatomáceas, foi utilizado o método proposto por Carr et al. (1986). Para o sistema de classificação, foi adotado o proposto por Guiry e Guiry (2013).

Para verificar a distribuição espacial vertical da densidade do fitoplâncton, as amostras da água ($n = 144$) foram coletadas com auxílio da garrafa de Niskin (5 l), em rosette, nos seis pontos de coletas, durante ambos os períodos do dia, em ambos os anos e ao longo de seis profundidades, desde a superfície até o máximo de 130 m, em função da PMC. Assim sendo, foram delimitadas as seguintes profundidades: subsuperfície (1 m), 25 m, 50 m, PMC, 10 m acima desta (PMC – 10 m) e 10 m abaixo (PMC + 10 m).

As amostras foram acondicionadas em garrafas plásticas (1 l) e imediatamente preservadas em lugol acético (THRONDSSEN, 1978). Assim, a densidade celular (cel.l^{-1}) foi calculada com base no método de Utermöhl, como descrito em Hasle (1978), com uso de câmaras de sedimentação de 10 ml, com análise de todo o fundo da câmara, em microscópio óptico invertido. Essa análise foi realizada no Laboratório de Fitoplâncton da Universidade Federal de Pernambuco.

Para o entendimento da estrutura da comunidade fitoplanctônica, foram calculados os valores de riqueza de espécie, como sendo o número de táxons por amostras. Foi calculada a abundância relativa (LOBO; LEIGHTON, 1986), considerando as categorias dominante (para a espécie cuja ocorrência numérica é maior que 50% do número total de indivíduos da amostra) e abundante (para a espécie cuja ocorrência supera o valor médio de indivíduos da amostra). Baseado na frequência de ocorrência dos indivíduos (MATEUCCI; COLMA, 1982), as espécies foram classificadas em quatro categorias: muito frequente (com valores acima de 70% de ocorrência), frequente (entre 69 e 40%), pouco frequente (entre 39 e 10%) e rara (abaixo de 10%). Foi calculada a diversidade específica (Índice de Shannon-Weiner; SHANNON, 1948), com os dados expressos em bits.cel^{-1} , bem como foi calculada a uniformidade (PIELOU, 1977). Essas análises foram feitas com uso do software Primer 6.

Análise dos dados

Para verificar a normalidade das variáveis em estudo (temperatura, salinidade, clorofila *a* e densidade celular) foi realizado o teste de Shapiro-Wilk (ZAR, 1996), com a transformação dos dados, quando necessário, em log10, para atender os pressupostos de normalidade, utilizando o programa Bioestat 5.0 (AYRES, et al. 2007). Para verificar a variação desses dados, em função da temporalidade (períodos do dia e interanual) e espacialidade vertical (profundidades) e horizontal (pontos de coletas), foi aplicado o teste Anova fatorial, com o teste a posteriori de Tukey (ZAR, 1996). Para todas essas análises foi utilizado o programa Statistica 7.0 (STATSOFT, 2004).

Resultados

Características da coluna d'água

Temperatura

A porção de água superior caracterizou a camada de mistura, inserida na camada de Água Tropical Superficial (ATS), diferenciada pelos valores de temperatura e salinidade da água. A camada de mistura estendeu-se até o limite superior da termoclina, por sua vez, localizada entre 77 e 125 m, durante o ano I e 100 e 135 m, durante o ano II (Figuras 2 e 3). Assim, a termoclina foi encontrada em ambos os anos e em toda a região do arquipélago em estudo.

Houve diferença significativa para a temperatura da água entre as profundidades ($F_{(5,66)} = 53,52$; $p < 0,01$ para o ano I e $F_{(5,66)} = 26,87$; $p < 0,01$ para o ano II), a saber: as profundidades 1 m, 25 m, 50 m e PMC – 10m caracterizaram a camada de mistura, uma vez que esteve homogênea termicamente (média de 27,10 °C durante o ano I e 26,30 °C durante o ano II; Figuras 2 e 3); enquanto que estas profundidades diferiram das demais, PMC e PMC + 10 m, com médias de 23,10 °C e 22,06 °C, para os anos I e II, respectivamente. Foi observado que a partir da profundidade PMC, ocorreram as maiores variabilidades de temperatura, como reflexo da presença da termoclina e, portanto, a profundidade PMC coincide com o limite superior da termoclina.

A PMC esteve localizada entre 80 e 90 m, durante o ano I e entre 100 e 120 m, durante o ano II e, portanto, inserida na camada termoclina (Figuras 2 e 3). Essa profundidade esteve em valores semelhantes para ambos os anos (média de 23,5 °C). Contudo, para o ano I, a temperatura da água na PMC apresentou diferença significativa entre os pontos de amostragem ($F_{(5,6)}= 6,66$; $p<0,01$), em que a água esteve em temperaturas mais baixas nos pontos P4, P5 e P6, com média de 22,4 °C. Por outro lado, para a PMC, não houveram diferenças significativas para a temperatura, durante o ano II, entre os tratamentos em estudo (pontos e períodos do dia).

A profundidade PMC + 10 m esteve inserida na camada termoclina, porém registrou águas de temperatura mais baixas, com os valores mínimos de 20,70 °C e 16,35 °C, durante os anos I e II, respectivamente. Aos 200 m de profundidade, em ambos os anos, a temperatura apresentou amplitude de até 13,5°C, em relação camada superficial (Figuras 2 e 3).

Salinidade

Houve diferença significativa entre as profundidades ($F_{(5,66)}= 3,69$; $p<0,01$ para o ano I e $F_{(5,66)}= 3,65$; $p<0,01$ para o ano II), a saber: as profundidades 1 m, 25 m, 50 m e PMC – 10m estiveram em valores semelhantes (média de 36,19), e estas diferiram das profundidades PMC e PMC + 10 m (médias de 36,23 e 36,09, nos anos I e II, respectivamente).

A profundidade PMC (ou limite superior da termoclina) esteve em valores semelhantes para ambos os anos, com média de 36,23. Para o ano I, a salinidade nesta profundidade apresentou efeito significativo para os pontos de amostragem ($F_{(5,6)}= 4,19$; $p<0,01$), em que a água esteve em salinidade mais elevada nos pontos P1, P2 e P3, com o valor máximo de 36,31 ‰ (Figuras 2 e 3). Não houveram diferenças significativas para a salinidade para o ano II entre pontos amostrais e períodos do dia, para a PMC. Coincidindo com a profundidade PMC, foi observada a zona de máximo de salinidade subsuperficial, comumente marcando o limite inferior da camada de mistura, com salinidade de 0,90 e 0,60 (anos I e II, respectivamente) unidades a mais que a superfície. Abaixo desta, a profundidade PMC + 10 m apresentou média de salinidade de 35,45.

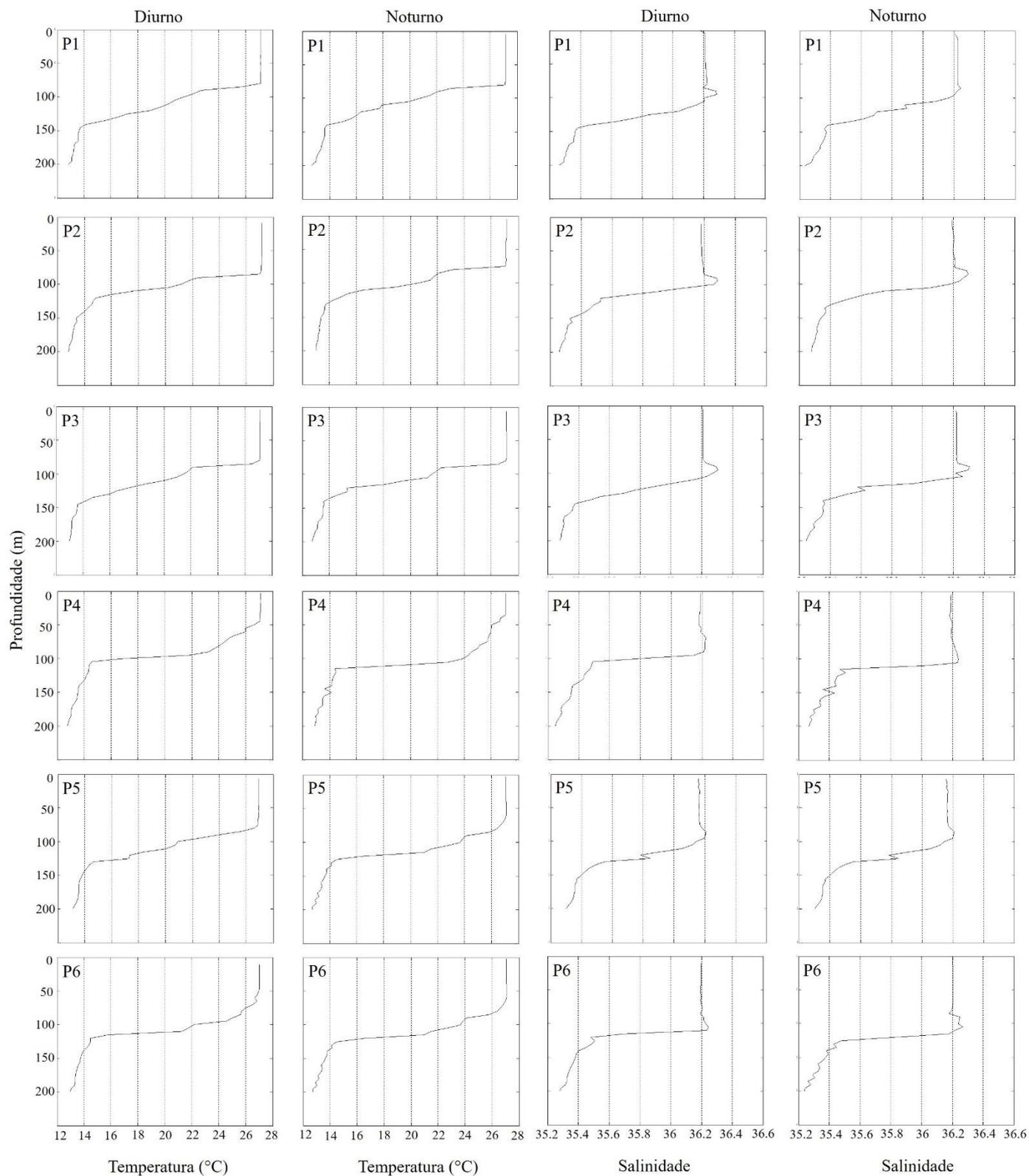


Figura 2. Distribuição vertical da temperatura e salinidade no arquipélago de Fernando de Noronha, ao longo dos pontos de coletas (P1 a P6) durante os períodos diurno e noturno, para o ano I.

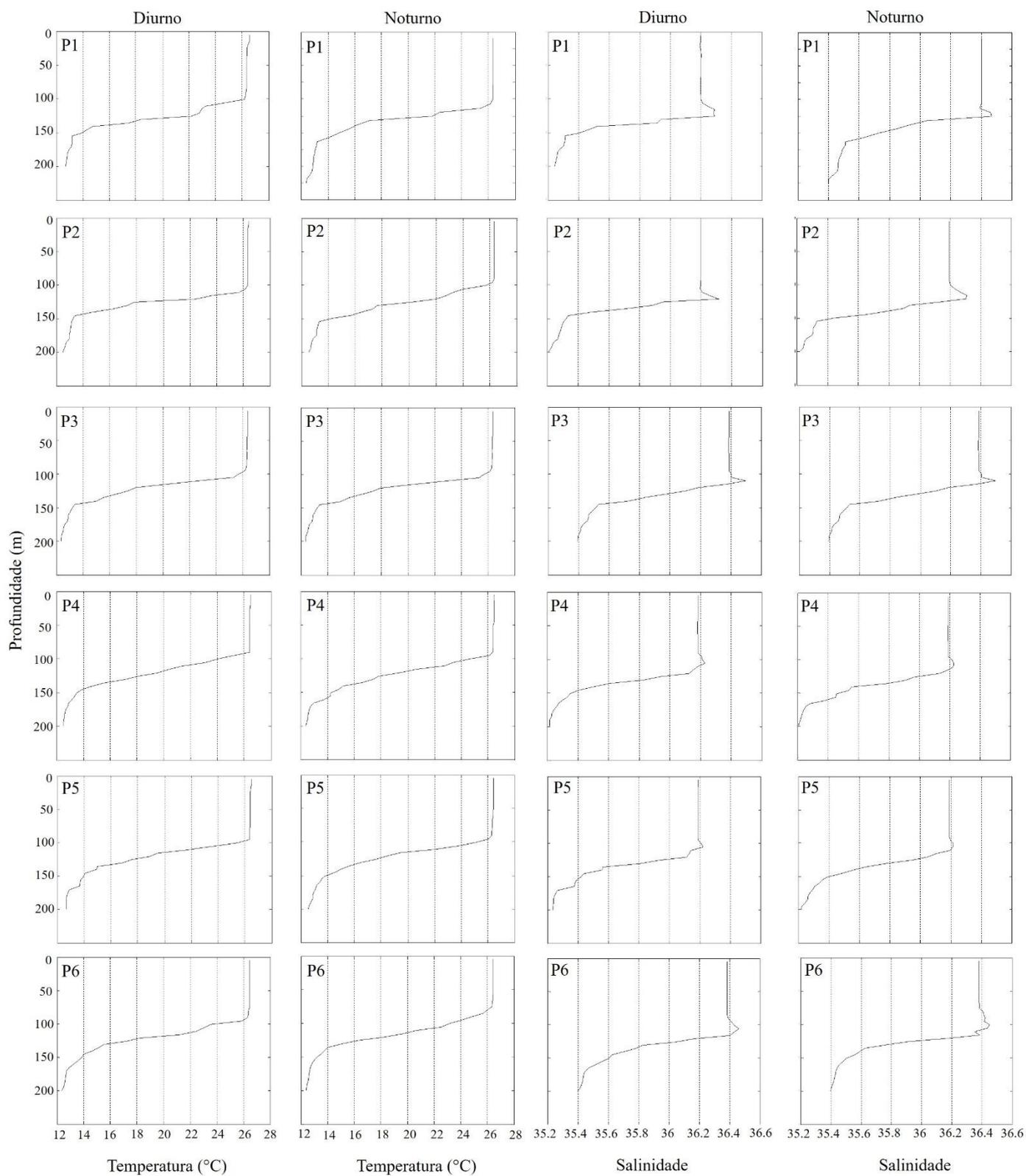


Figura 3. Distribuição da temperatura e salinidade no arquipélago de Fernando de Noronha, ao longo dos pontos de coletas (P1 ao P6) durante os períodos diurno e noturno, para o ano II.

Características fitoplanctônicas

Produção primária

Os valores de clorofila *a*, como estimativas da produção primária, apresentaram efeito significativo apenas para os pontos de amostragem, durante o ano I ($F_{(1,22)} = 15,77$; $p < 0,01$), com os maiores valores registrados nos pontos P4, P5 e P6 (média de $0,90 \text{ mg.m}^{-3}$). Da mesma forma, houve diferença significativa entre os anos, com os maiores valores registrados durante o ano I (média de $0,73 \text{ mg.m}^{-3}$), em comparação ao ano II (média de $0,08 \text{ mg.m}^{-3}$). Para os demais tratamentos em estudo, não houveram diferenças significativas, com seus valores semelhantes na camada superficial da água (de $0,01$ a $1,27 \text{ mg.m}^{-3}$) e na profundidade PMC, no limite superior da termocline (de $0,03$ a $1,21 \text{ mg.m}^{-3}$; Tabela 1).

Comunidade fitoplanctônica

Foram identificadas, no total, 115 espécies do fitoplâncton, em que os dinoflagelados (Miozoa/ Dinophyceae) estiveram melhor representados, englobando 64% da comunidade total. Em seguida, estiveram as diatomáceas (Bacillariophyta), representando 30% do total, as cianobactérias (Cyanobacteria), com 5% apenas e, por fim, em menor porcentagem, as dictiofíceas (Ochromyxa/ Dictyochophyceae), com 1%.

No geral, quatro espécies dominaram o ambiente em estudo. Em comum, para ambos os anos e para todos os pontos de amostragem, esteve como dominante o dinoflagelado *Oxytoxum laticeps* Schiller (entre 20% e 100% de abundância relativa; Figura 4A). Além deste, durante o ano II, estiveram como dominantes os dinoflagelados *O. gracile* Schiller (alcançando até 58,5% de abundância relativa), *Protoperidinium cassum* (Balech) Balech (até 50%; Figura 4B) e a cianobactéria *Trichodesmium erythraeum* Ehrenberg ex Gomont (até 62,5%; Figura 4C). Cerca de 26 espécies foram abundantes, sendo a maioria classificada como rara.

Cinco espécies estiveram como muito frequentes, para ambos os anos, a saber: os dinoflagelados *Ceratium pentagonum* Gourret, *C. teres* Kofoid, *Dinophysis exigua* Kofoid & Skogsberg, *Gonyaulax spinifera* (Claparède & Lachmann) Diesing (Figura 4D)

e a diatomácea *Thalassiosira* sp. (Figura 4E). Adicionadas a estas, para o ano I, outras nove espécies estiveram enquadradas nesta mesma categoria (*Trichodesmium thiebautii* Gomont ex Gomont, *T. erythraeum*, *Thalassiosira* sp., *C. declinatum* Karsten (Figura 4F), *C. tripos* (O.F.Müller) Ehrenber (Figura 4G), *C. fusus* (Ehrenberg) Dujardin, *Lingulodinium polyedra* (F.Stein) J.D.Dodge (Figura 4H), *Ornithocercus magnificus* Stein (Figura 4I), *P. cassum* e *Protoperidinium depressum* (Bailey) Balech). Durante o ano I, outras 17 espécies foram consideradas frequentes e 28 pouco frequentes. Durante o ano II, sete espécies ocorreram como frequentes e 20 pouco frequentes. Para ambos os anos, a maioria das espécies foi considerada esporádica.

Quanto à distribuição espacial horizontal, os dinoflagelados *O. laticeps* e *O. gracile* dominaram em todos os pontos de coletas. Enquanto que, *P. cassum* e *T. erythraeum* estiveram como dominantes apenas nos pontos mais distantes do arquipélago (P3 e P6, respectivamente). Houve diferença significativa para a densidade celular entre anos ($F_{(1,132)} = 8,73$; $p < 0,01$) quanto aos pontos de coletas, com maiores valores durante o ano II. Ao longo dos pontos, os valores médios de densidade estão representados na figura 5. As maiores médias foram de $68.10^2 \text{ cel.l}^{-1}$ (em P2, na profundidade 25 m) e $113,5.10^2 \text{ cel.l}^{-1}$ (em P5, na profundidade 50 m), durante os anos I e II, respectivamente (Figura 5).

Quanto à distribuição vertical do fitoplâncton, os dinoflagelados *O. laticeps* e *O. gracile* ocorreram como dominantes desde a superfície até 130 m, ou seja, em toda a camada de mistura e nas profundidades relacionadas à termoclina (PMC e PMC + 10 m). O dinoflagelado *P. cassum* e a cianobactéria *T. erythraeum* dominaram na profundidade de início da termoclina (PMC).

Para ambos os anos, seis dinoflagelados estiveram presentes apenas entre as profundidades de 1 m até PMC – 10 m e, portanto, exclusivos da camada de mistura, a saber: *C. declinatum*, *C. teres*, *Histioneis crateriformis* Stein, *Oxytoxum scolopax* Stein, *O. tessellatum* (Stein) F.Schütt e *P. depressum* (Tabela 1). Adicionadas a estas, outras 14 espécies do fitoplâncton foram exclusivas destas profundidades durante o ano I (resultando em 20 espécies exclusivas para a camada de mistura) e outras dez durante o ano II (resultando em 16; Tabela 1). Enquanto que, quatro espécies ocorreram, com exclusividade, na profundidade PMC, de início da termoclina, a saber: três dinoflagelados durante o ano I (*C. gibberum* Gourret, *Dinophysis* sp2 e *Phalacroma scrobiculatum* (Balech) Díaz-Ramos & G.J. Estrella) e um dinoflagelado durante o ano II (*Dinophysis ovata* Claparède & Lachmann). Em seguida, para a profundidade PMC + 10 m, estiveram com ocorrência exclusiva, três espécies durante o ano I (*Goniodoma*

polyedricum Lebour, *Protoperidinium longipes* Balech e a diatomácea *Licmophora remulus* Grunow) e uma diatomácea durante o ano II (*Planktoniella sol* (C.G.Wallich) Schütt). Considerando ambas as profundidades, oito espécies foram exclusivas da camada termoclina para a presente abordagem.

Por fim, estiveram presentes em todas as profundidades em estudo, tanto ao longo da camada de mistura, quanto da termoclina, para ambos os anos, nove dinoflagelados, a saber: *Dinophysis exigua* Kofoid & Skogsberg, *Dinophysis* sp1, *O. curvatum* (Kofoid) Kofoid, *O. gracile*, *O. laticeps*, *O. obliquum* Schiller, *Podolampas palmipes* Stein, *Prorocentrum* sp. e *P. cassum*. Adicionadas a essas, ocorreram em comum às camadas d'água outras seis espécies, durante o ano I e outras quatro, durante o ano II (Tabela 1).

Os maiores valores de densidade total estiveram registrados na camada de mistura. Durante o ano I, o máximo de densidade foi de 99.10^2 cel.l⁻¹. Para este total, as maiores contribuições foram das espécies *O. laticeps* (71.10^2 cel.l⁻¹) e *P. cassum* (10.10^2 cel.l⁻¹). Durante o ano II, a maior densidade total foi de 139.10^2 cel.l⁻¹, com as maiores contribuições das espécies *O. gracile* e *O. laticeps* (ambas ligeiramente acima de 60.10^2 cel.l⁻¹).

Houve diferença significativa para a densidade fitoplanctônica total entre as profundidades ($F_{(5,66)} = 3,41$; $p < 0,01$ para o ano I e $F_{(5,66)} = 7,10$; $p < 0,01$ para o ano II) e entre anos ($F_{(1,132)} = 11,53$; $p < 0,01$). Assim sendo, os maiores valores ocorreram durante o ano II, bem como nas profundidades de 25 m (ano I) e 50 m (ano II). Ou seja, as maiores densidades de indivíduos fitoplanctônicos estiveram inseridas na camada de mistura (Figura 6). Em seguida, a média para o limite superior da termoclina esteve ligeiramente acima de 20.10^2 cel.l⁻¹ (ambos os anos). Por fim, a média para PMC + 10 m foi de $7,2.10^2$ cel.l⁻¹ e $8,7.10^2$ cel.l⁻¹, para os anos I e II, respectivamente (Tabela 1).

Em 42% das amostras estudadas, a densidade fitoplanctônica apresentou um decréscimo gradual da superfície em direção à profundidade PMC + 10 m (Figura 5). Outras 25% das amostras registraram um discreto aumento da densidade na profundidade PMC: nos pontos P3 e P4 do ano I e P1 do ano II, a média de densidade na profundidade PMC foi de $51,5.10^2$ cel.l⁻¹, $27,5.10^2$ cel.l⁻¹ e $28,5.10^2$ cel.l⁻¹, respectivamente (Figura 6). Por fim, foi observado que em 33,33% das amostras houve um discreto aumento da densidade nas profundidades inseridas na camada de mistura (Figura 5), porém, sem diferença significativa.

A diversidade específica variou de baixa a alta. Dentre as profundidades, a diversidade máxima encontrada para a camada de mistura foi de 2,03 bits.cel⁻¹ e 2,51

bits.cel⁻¹ (ambos no ponto P3, durante os anos I e II, respectivamente). Enquanto que, o máximo para PMC foi de 1,99 bits.cel⁻¹ (em P4, no ano I) e 1,88 bits.cel⁻¹ (em P3, no ano II) e para PMC + 10 m foi de 1,73 bits.cel⁻¹ (em P6, no ano I) e 2,50 bits.cel⁻¹ (em P3, no ano II; Tabela 1). A equabilidade foi considerada alta e seus valores máximos atingiram até 1,00, nas profundidades inseridas na termoclina (PMC e PMC + 10 m), em ambos os anos. Enquanto que na camada de mistura, o máximo de equabilidade foi de 0,96 (P4, no ano I) e 0,90 (P3, no ano II; Tabela 1).

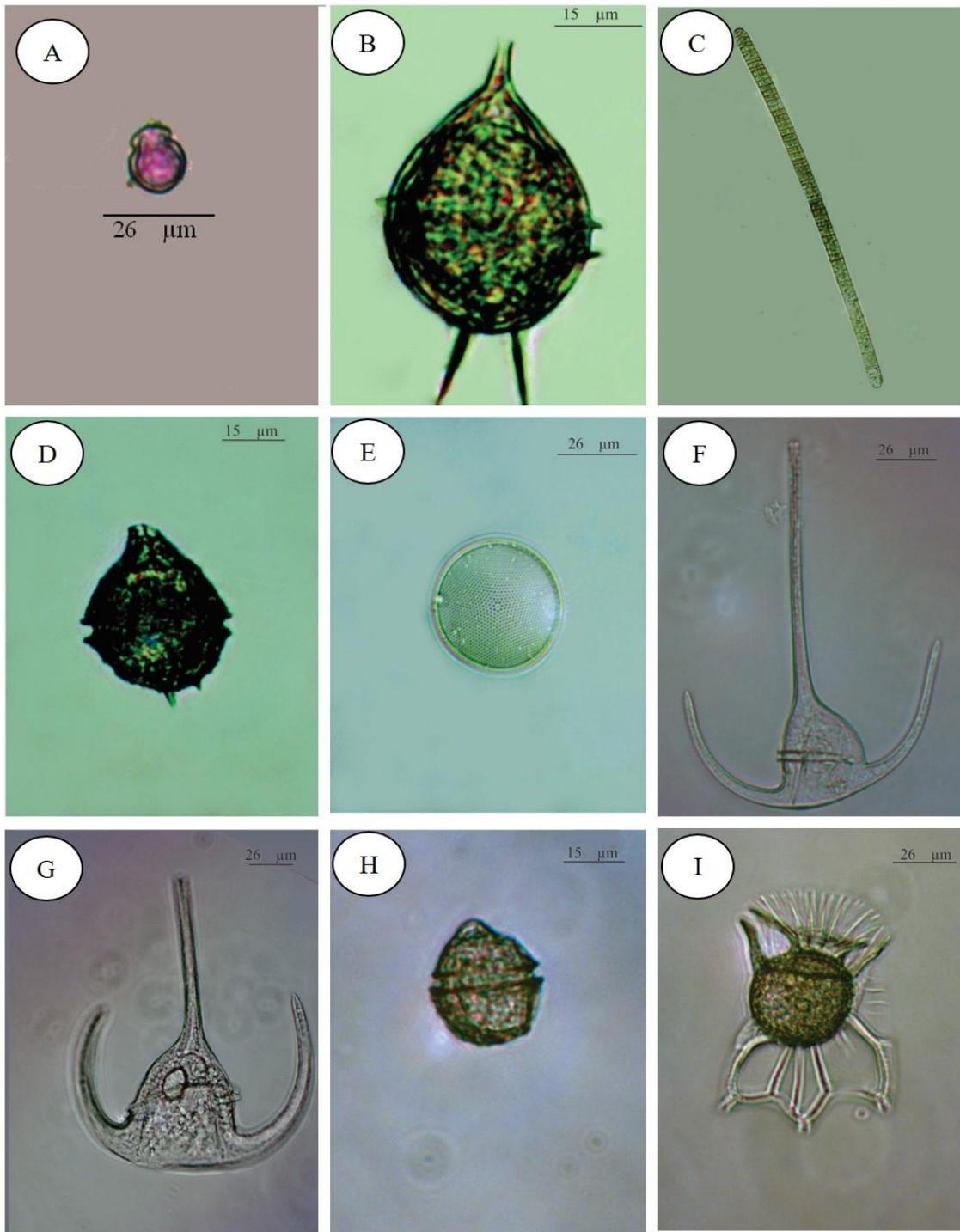


Figura 4. Espécies fitoplanctônicas presentes nas águas oceânicas do arquipélago de Fernando de Noronha: A) *Oxytoxum laticeps* Schiller; B) *Protoperidinium cassum* (Balech) Balech; C) *Trichodesmium erythraeum* Ehrenberg ex Gomont; D) *Gonyaulax spinifera* (Claparède & Lachmann) Diesing; E) *Thalassiosira* sp.; F) *Ceratium declinatum* Karsten; G) *C. tripos* (O.F.Müller) Ehrenber; H) *Lingulodinium polyedra* (F.Stein) J.D.Dodge; I) *Ornithocercus magnificus* Stein.

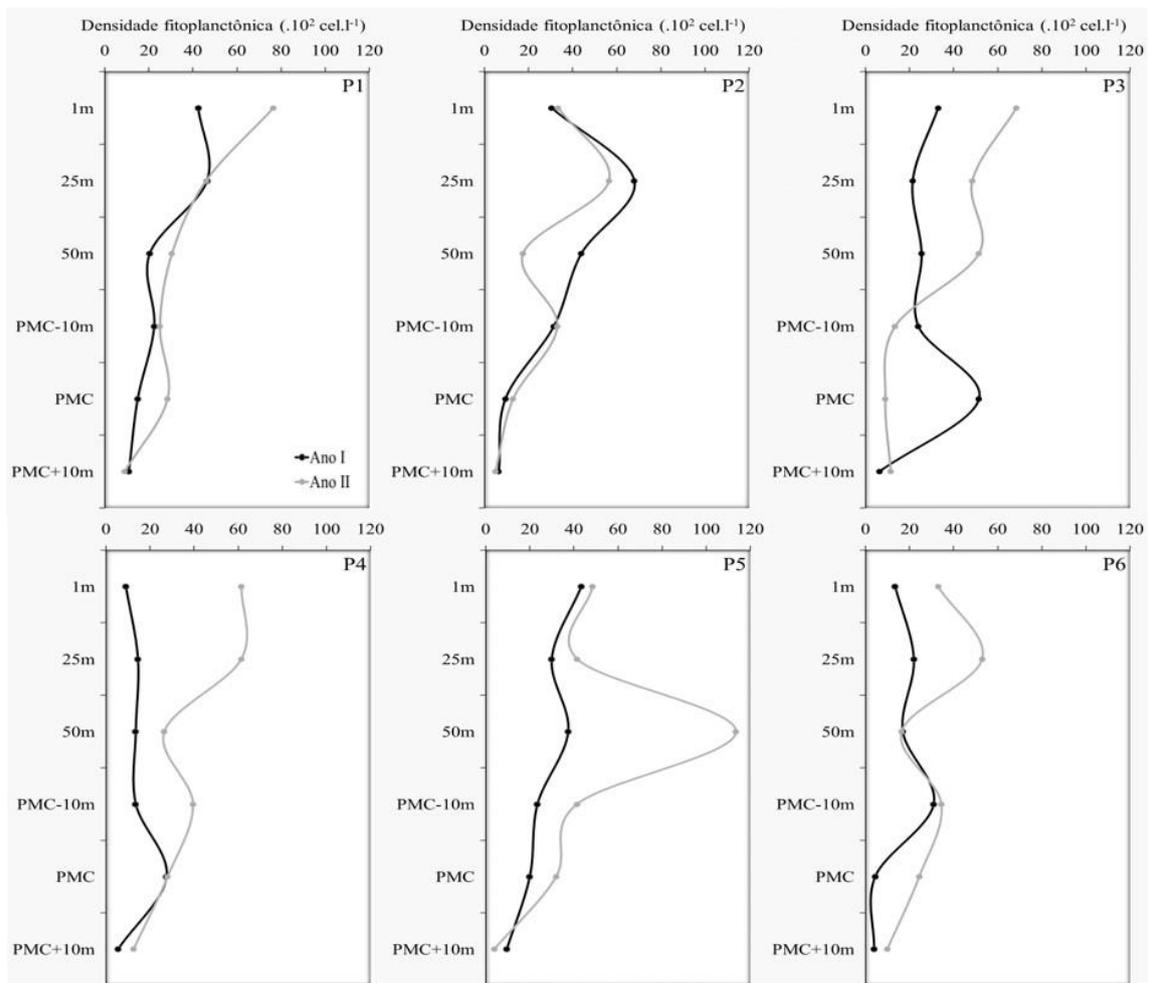


Figura 5. Distribuição vertical da média da densidade total do fitoplâncton em função das profundidades em estudo (1 m, 25 m, 50 m, PMC - 10 m, PMC, PMC + 10 m) e ao longo dos pontos de coletas (P1 ao P6), nas águas oceânicas do arquipélago de Fernando de Noronha, durante os anos I e II (PMC = Profundidade de Máximo de Clorofila *a*).

Tabela 1. Média (\bar{x}) e valores máximos de produção primária, diversidade específica, equabilidade, densidade total do fitoplâncton e das espécies (expresso em $\cdot 10^2 \text{ cel.l}^{-1}$), de acordo com as profundidades relacionadas à camada de mistura (somatório das profundidades de 1 m até PMC - 10 m), ao início da termoclina (considerada a Profundidade de Máximo de Clorofila *a*/PMC) e à 10 m abaixo desta última (PMC + 10 m), bem como as espécies que ocorreram com exclusividade (Ex) nessas profundidades e em comum (Com) às mesmas, para os anos I e II. (X) ocorrência; (-) ausência.

	Ano I										Ano II												
	Mistura			Início termoclina			PMC+10m			Em comum	Mistura			Início termoclina			PMC+10m			Em comum			
	\bar{x}	Máx	Ex.	\bar{x}	Máx	Ex.	\bar{x}	Máx	Ex.		\bar{x}	Máx	Ex.	\bar{x}	Máx	Ex.	\bar{x}	Máx	Ex.				
Clorofila a (mg.m⁻³)	-	1,27			1,21			-	-			-	0,15			-	0,70			-	-		
Diversidade (bits.cel⁻¹)	-	2,03			-	1,99			-	1,73			-	2,51			-	1,88			-	2,50	
Equabilidade	-	0,96			-	1,00			-	1,00			-	0,90			-	1,00			-	1,00	
Densidade total ($\cdot 10^2 \text{ cel.l}^{-1}$)	113,08	227,00			21,33	66,00			7,16	16,00			178,58	262,00			22,50	55,00			8,66	20,00	
Cyanobacteria																							
<i>Lyngbya sp.</i>	0,08	1,00	X		-	-			-	-			-	-			-	-			-	-	
<i>Trichodesmium erythraeum</i>	3,83	9,00			0,33	1,00			0,17	1,00		X	1,00	5,00			1,42	10,00			-	-	
Bacillariophyta																							
<i>Coscinodiscus granii</i>	0,08	1,00			-	-			0,08	1,00			0,08	1,00	X		-	-			-	-	
<i>Licmophora remulus</i>	-	-			-	-			0,08	1,00	X		-	-			-	-			-	-	
<i>Navicula sp.</i>	-	-			0,67	8,00	X		-	-			0,25	2,00			-	-			0,08	1,00	
<i>Planktoniella sol</i>	-	-			0,25	1,00			0,17	1,00			-	-			-	-			0,08	1,00	X
<i>Thalassiosira sp.</i>	-	-			-	-			-	-			0,08	1,00			-	-			0,08	1,00	
Dinophyceae																							
<i>Amphisolenia bidentata</i>	-	-			0,08	1,00			0,08	1,00			0,25	1,00	X		-	-			-	-	
<i>Ceratium declinatum</i>	0,25	1,00	X		-	-			-	-			0,25	2,00	X		-	-			-	-	
<i>Ceratium fusus</i>	0,08	1,00	X		-	-			-	-			1,17	4,00			-	-			0,08	1,00	
<i>Ceratium gibberum</i>	-	-			0,08	1,00	X		-	-			-	-			-	-			-	-	
<i>Ceratium macroceros</i>	-	-			-	-			-	-			0,08	1,00	X		-	-			-	-	
<i>Ceratium pentagonum</i>	1,00	4,00			0,08	1,00			-	-			1,33	5,00			0,08	1,00			-	-	
<i>Ceratium setaceum</i>	0,08	1,00	X		-	-			-	-			3,08	6,00			0,33	2,00			0,08	1,00	X
<i>Ceratium teres</i>	0,42	2,00	X		-	-			-	-			2,00	5,00	X		-	-			-	-	
<i>Ceratocorys horrida</i>	0,17	1,00	X		-	-			-	-			-	-			-	-			-	-	
<i>Corythodinium constrictum</i>	0,17	2,00	X		-	-			-	-			-	-			-	-			-	-	
<i>Dinophysis exigua</i>	1,08	3,00			0,33	4,00			0,33	2,00		X	1,50	3,00			0,50	3,00			0,17	1,00	X

	Ano I										Ano II									
	Mistura			Início termoclina			PMC+10m			Em	Mistura			Início termoclina			PMC+10m			Em
	\bar{X}	Máx	Ex.	\bar{X}	Máx	Ex.	\bar{X}	Máx	Ex.	comum	\bar{X}	Máx	Ex.	\bar{X}	Máx	Ex.	\bar{X}	Máx	Ex.	comum
<i>Dinophysis hastata</i>	-	-		-	-		-	-			0,08	1,00		0,50	4,00		0,08	1,00		X
<i>Dinophysis ovata</i>	-	-		-	-		-	-			-	-		0,08	1,00	X	-	-		
<i>Dinophysis pusilla</i>	0,08	1,00	X	-	-		-	-			-	-		-	-		-	-		
<i>Dinophysis schuetii</i>	-	-		-	-		-	-			0,17	1,00	X	-	-		-	-		
<i>Dinophysis sp1</i>	5,33	15,00		1,08	4,00		0,42	2,00		X	1,25	8,00		0,50	2,00		0,67	3,00		X
<i>Dinophysis sp2</i>	-	-		0,08	1,00	X	-	-			-	-		-	-		-	-		
<i>Goniodoma polyedricum</i>	-	-		-	-		0,08	1,00	X		-	-		-	-		-	-		
<i>Gonyaulax gracilis</i>	1,17	4,00		0,33	3,00		-	-			0,92	4,00		0,33	1,00		0,25	1,00		X
<i>Gonyaulax sp.</i>	2,50	12,00		0,42	4,00		0,08	1,00		X	-	-		-	-		-	-		
<i>Gonyaulax spinifera</i>	-	-		-	-		-	-			0,58	3,00		0,08	1,00		-	-		
<i>Gymnodinium sp1</i>	-	-		-	-		-	-			4,58	22,00		-	-		0,42	1,00		
<i>Gymnodinium sp2</i>	-	-		-	-		-	-			0,92	5,00		0,42	4,00		-	-		
<i>Histioneis crateriformis</i>	0,17	1,00	X	-	-		-	-			0,08	1,00	X	-	-		-	-		
<i>Histioneis hyalina</i>	0,08	1,00	X	-	-		-	-			-	-		-	-		-	-		
<i>Histioneis sp.</i>	0,08	1,00	X	-	-		-	-			-	-		-	-		-	-		
<i>Lingulodinium polyedra</i>	2,33	10,00		0,25	2,00		-	-			0,58	4,00	X	-	-		-	-		
<i>Ornithocercus magnificus</i>	0,42	2,00		0,08	1,00		-	-			0,25	1,00	X	-	-		-	-		
<i>Ornithocercus quadratus</i>	0,25	2,00	X	-	-		-	-			0,08	1,00		0,08	1,00		-	-		
<i>Oxytoxum curvatum</i>	0,17	1,00		0,08	1,00		0,08	1,00		X	4,17	10,00		0,75	2,00		0,92	7,00		X
<i>Oxytoxum gracile</i>	3,17	13,00		0,92	4,00		0,33	2,00		X	68,58	114,00		8,42	30,00		1,42	7,00		X
<i>Oxytoxum laticeps</i>	64,50	145,00		10,83	41,00		3,42	9,00		X	74,33	114,00		6,58	20,00		2,58	8,00		X
<i>Oxytoxum milneri</i>	0,17	1,00	X	-	-		-	-			-	-		-	-		-	-		
<i>Oxytoxum obliquum</i>	0,33	3,00		0,17	1,00		0,08	1,00		X	0,42	1,00		0,33	1,00		0,50	3,00		X
<i>Oxytoxum sceptrum</i>	2,58	8,00		0,08	1,00		-	-			2,42	6,00		0,08	1,00		-	-		
<i>Oxytoxum scolopax</i>	0,58	3,00	X	-	-		-	-			0,33	2,00	X	-	-		-	-		
<i>Oxytoxum tessellatum</i>	0,75	2,00	X	-	-		-	-			0,58	3,00	X	-	-		-	-		
<i>Phalacroma circumcinctum</i>	0,42	4,00	X	-	-		-	-			-	-		-	-		-	-		
<i>Phalacroma cuneus</i>	-	-		-	-		-	-			0,08	1,00	X	-	-		-	-		
<i>Phalacroma mitra</i>	0,08	1,00	X	-	-		-	-			-	-		-	-		-	-		
<i>Phalacroma rotundatum</i>	-	-		-	-		-	-			0,25	2,00		0,08	1,00		0,17	2,00		X

	Ano I									Ano II										
	Mistura			Início termoclina			PMC+10m			Em	Mistura			Início termoclina			PMC+10m			Em
	\bar{X}	Máx	Ex.	\bar{X}	Máx	Ex.	\bar{X}	Máx	Ex.	comum	\bar{X}	Máx	Ex.	\bar{X}	Máx	Ex.	\bar{X}	Máx	Ex.	comum
<i>Phalacroma scrobiculatum</i>	-	-		0,08	1,00	X	-	-			-	-		-	-		-	-		
<i>Podolampas palmipes</i>	1,75	4,00		0,42	3,00		0,08	1,00	X		0,75	2,00		0,50	3,00		0,42	2,00		X
<i>Prorocentrum balticum</i>	2,67	5,00		0,33	2,00		0,25	1,00	X		0,58	2,00	X	-	-		-	-		
<i>Prorocentrum gracile</i>	0,75	2,00		0,25	1,00		0,08	1,00	X		-	-		0,17	1,00		0,08	1,00		
<i>Prorocentrum hoffmanianum</i>	-	-		-	-		-	-			0,08	1,00	X	-	-		-	-		
<i>Prorocentrum rostratum</i>	-	-		-	-		-	-			1,17	4,00		0,17	1,00		-	-		
<i>Prorocentrum sp1</i>	1,67	9,00		0,33	3,00		0,08	1,00	X		1,42	3,00		0,33	1,00		0,17	1,00		X
<i>Prorocentrum sp2</i>	0,92	6,00		0,17	2,00		0,08	1,00	X		0,33	2,00	X	-	-		-	-		
<i>Protoperidinium cassum</i>	11,92	32,00		3,08	9,00		1,00	3,00	X		2,25	6,00		0,75	3,00		0,42	3,00		X
<i>Protoperidinium depressum</i>	0,33	2,00	X	-	-		-	-			0,25	3,00	X	-	-		-	-		
<i>Protoperidinium longipes</i>	-	-		-	-		0,08	1,00	X		-	-		-	-		-	-		
<i>Protoperidinium obtusum</i>	0,17	1,00		0,17	1,00		-	-			-	-		-	-		-	-		
<i>Protoperidinium sp1</i>	0,08	1,00	X	-	-		-	-			-	-		-	-		-	-		
<i>Protoperidinium sp2</i>	0,33	1,00		0,33	2,00		0,08	1,00	X		-	-		-	-		-	-		
<i>Pyrocystis robusta</i>	0,08	1,00	X	-	-		-	-			-	-		-	-		-	-		

Discussão

Estudos demonstram que a comunidade fitoplanctônica de águas oceânicas oligotróficas está representada por poucos filos, em que os dinoflagelados aparecem em maiores abundâncias (FEHLING et al., 2012). Dentre outras populações presentes nesse tipo de ambiente, estão as diatomáceas, as cianobactérias e os silicoflagelados (IRIARTE; FRIXELL, 1995; KOPCZYNSKA; FIALA, 2003).

Para as áreas insulares tropicais, a alta diversidade dos dinoflagelados tem sido fortemente referida, especialmente para os arquipélagos oceânicos brasileiros, conforme demonstra a tabela 2, a saber: arquipélago de Abrolhos (SUSINI-RIBEIRO et al., 2013), Trindade Martin Vaz (TENENBAUM, 2006), São Pedro e São Paulo (QUEIROZ et al., 2014; 2015) e Atol das Rocas (JALES, 2015), em que as espécies de dinoflagelados caracterizam o ambiente insular.

No que se refere às condições ambientais, segundo Koenig e Lira (2005), condições de salinidade (de 35 a 37) e temperatura da água (de 20 °C a 29 °C) contribuem para a alta diversidade de dinoflagelados nas águas oceânicas do nordeste do Brasil. Adicionalmente, Susini-Ribeiro et al. (2013) apontam que a dominância e diversidade de dinoflagelados comumente está associada a estabilidade vertical da água. Diante desse contexto, a forte estratificação da coluna d'água conhecida para as águas oceânicas do Atlântico Sul (MEDEIROS et al., 2009) contribui para a estrutura da comunidade fitoplanctônica registrada no presente estudo, composta essencialmente por dinoflagelados.

No presente estudo, a produção primária esteve em valores semelhantes para a camada de mistura e o início da termoclina. Este fato pode ser explicado pelas indicações na literatura, de ocorrências de elevados teores de clorofila *a*, não só na profundidade PCM, como também na camada de mistura, abaixo de 10 m de profundidade (Fehling et al., 2012). Porém, no presente estudo, não foi possível corroborar tal afirmativa, uma vez que não foram analisados perfis verticais de clorofila *a*. Porém, essa evidência pode ser atribuída pela presença de valores máximos de densidade fitoplanctônica, inseridos na camada de mistura, como será explanado mais adiante e exemplificados na tabela 1. Assim sendo, não só o início da termoclina, mas também a camada de mistura apresenta intensa atividade biológica, devido à zona de transição entre as camadas (no início da

termoclina), que disponibiliza os nutrientes na zona eufótica mais superficial, bem como devido à intensidade solar, marcante na camada de mistura (Metzler et al., 1997).

Caracterizaram as águas oceânicas do arquipélago de Fernando de Noronha os dinoflagelados *O. laticeps* e *O. gracile*, dominantes em toda a área em estudo e profundidades. Ambos tem sido relatados, concomitantemente, em águas oceânicas e áreas insulares de regiões equatoriais, subtropicais e temperadas, para os oceanos Atlântico e Pacífico (STEIDINGER; TANGEN, 1997; VENRICK et al., 1999). Diversos autores evidenciaram suas elevadas abundâncias (BURNS; MITCHEL, 1982; OKOLODKOV, 1993; IRIARTE; FRIXELL, 1995; VENRICK et al., 1999; KOPCZYNSKA; FIALA, 2003; LICEA et al., 2004) ou mesmo quando raras na comunidade (RABITTI et al. 1994; GOMEZ et al. 2008; ALVAREZ; GALLARDO, 2009). Para o presente estudo, foram de importante representatividade para a comunidade como um todo. Tais dinoflagelados, *O. laticeps* e *O. gracile*, são de distribuição cosmopolita (STEIDINGER; TANGEN, 1997) e demonstraram tolerância às mudanças de temperatura e salinidade dentre a camada de mistura e de termoclina nas águas oceânicas do arquipélago de Fernando de Noronha.

Além disso, dominaram a camada termoclina *O. gracile*, *P. cassum* e *T. erythraeum*, com afinidades pelas condições ambientais da termoclina e estratégias biológicas para a dominância nesta camada d'água. Especialmente para *T. erythraeum*, demais registros de sua presença marcante em profundidades inferiores a 10 m (ROBIN et al., 2010) tem confirmado sua afinidade ecológica para profundidades abaixo da camada superficial.

Condição semelhante se aplica para aquelas espécies de ocorrência exclusiva para cada camada d'água, mistura e termoclina. A interface entre a camada de mistura e o limite superior da termoclina sugere intensa atividade biológica, pois nessa transição as águas profundas, ricas em nutrientes, entram em contato com a camada fótica. Assim, essa interface caracteriza a profundidade de máximo de clorofila a e elevadas densidades celular (METZLER et al., 1997), resultando em características especiais para estratégias de sobrevivência das espécies.

As camadas de estratificação dependem de muitos fatores ambientais, os quais resultam em consequências para as comunidades biológicas. Por exemplo, uma redução na mistura da camada superficial, acima da termoclina, pode induzir oscilações na biomassa fitoplanctônica (DIEHL 2002). Nesse contexto, Raybov et al. (2010) e Mellard et al. (2011) demonstram, por modelos matemáticos, a importância da camada de mistura

superficial, principalmente para a distribuição vertical e composição de espécies do fitoplâncton, bem como na forma em que estas respondem ao gradiente inverso de luz e nutrientes (em águas oceânicas estratificadas, quanto maior a profundidade, menor é a luz disponível e maior é a concentração de nutrientes). Assim sendo, a literatura aponta que é possível uma camada de equilíbrio de estratégias verticais das espécies, tendo em vista sob quais condições essas estratégias acontecem, incluindo a taxa de afundamento, migrações diurnas, produção de toxinas, fontes de nutrientes, limitação por luz, condições de mistura, dentre outros (MERZOUK et al., 2004; JI; FRANKS, 2007).

Para as águas oceânicas estratificadas, a densidade de indivíduos tende a diminuir com o aumento da profundidade. Por esse motivo, Robin et al. (2010) e Fehling et al. (2012) desenvolveram seus estudos até os 100 primeiros metros de profundidade e, portanto, abrangendo apenas a zona eufótica, em que abaixo de 100 m os valores de densidade de indivíduos e clorofila *a* tenderam a não detectáveis. Robin et al. (2010) demonstraram que na plataforma continental do mar da Índia, a camada de 10 m apresentou o máximo de densidade, de $315,3 \cdot 10^2 \text{ cel.l}^{-1}$. Adicionalmente, em 10 m esteve localizada a camada de máximo de clorofila *a*. Condição semelhante foi assinalada por Fehling et al. (2012), para o oceano Atlântico Norte (Escócia). Os picos de densidade celular foram registrados, por esses mesmos autores, na camada do limite superior da termoclina (em 30 m), em que foi registrado $0,4 \text{ mg.m}^{-3}$ de máximo de clorofila *a*.

De forma semelhante, os dados gerais para o arquipélago de Fernando de Noronha seguiram essa tendência, com decréscimo marcante da densidade ao longo das profundidades, em que a maior densidade celular foi observada na profundidade de 50 m. Assim sendo, com base na literatura e, especialmente, em comparação às demais ilhas brasileiras (Tabela 2), observa-se, portanto, que esse máximo de densidade está comumente situado nos primeiros metros de profundidade.

Tabela 2. Dados comparativos do presente estudo e demais arquipélagos oceânicos brasileiros, de águas estratificadas, indicando o número de espécies identificado em cada local, os valores máximos de clorofila *a* (Chla, em mg.m⁻³), de diversidade específica (Div., em bits.cel⁻¹), de equabilidade (Equ.), de densidade celular fitoplanctônica (em cel.l⁻¹) e sua respectiva profundidade de registro, entre parênteses, bem como as principais espécies que caracterizaram o ambiente e a referência bibliográfica consultada. (-) dados ausentes.

Local	n° espécies	Chla	Div.	Equ.	Densidade	Espécies	Referência
Arquipélago de Fernando de Noronha	115	1,27	2,51	1,00	139.10 ² (50 m)	<i>Oxytoxum laticeps</i> , <i>O. gracile</i> , <i>Protoperidinium cassum</i> , <i>Trichodesmium erythraeum</i> .	Presente estudo
Arquipélago de São Pedro e São Paulo	128	-	4,32	0,73	1830.10 ² (0 m)	<i>Oxytoxum longiceps</i> , <i>Protoperidinium minimum</i> , <i>Trichodesmium thiebautii</i> .	Queiroz et al. (2015)
Atol das Rocas	150	0,87	3,37	-	28.10 ²	<i>Prorocentrum balticum</i> , <i>P. compressum</i> , <i>P. gracile</i> , <i>Coccolithus</i> sp. Dinoflagelados diversos, <i>Rhabdonema adriaticum</i> , <i>Asterolampra marylandica</i> .	Jales (2015)
Arquipélago de Abrolhos	326	1,33	5,00	0,91	-		Susini-Ribeiro et al. (2013)

Conclusão

Esse estudo fornece informações acerca da estratificação nas águas oceânicas do Arquipélago de Fernando de Noronha, em que os dados de temperatura e salinidade da água delimitam a camada de mistura (superior), a camada profunda (inferior) e a termoclina (intermediária). Vale ressaltar que a camada termoclina tem início aos 77 m de profundidade, aproximadamente e o seu limite superior é coincidente com a camada de máximo de salinidade e de clorofila *a*.

Tal condição de estratificação implica na variabilidade vertical da comunidade fitoplanctônica, em composição e densidade celular: os dinoflagelados *O. gracile* e *O. laticeps* representam todas as profundidades em estudo, abrangendo as camadas superior e intermediárias. Porém, para a camada termoclina, além desses dois dinoflagelados, dominam *P. cassum* e *T. erythraeum*. Assim sendo, a presença e abundância de determinadas espécies para cada camada d'água observada (de mistura e termoclina) demonstra suas afinidades para as condições ambientais específicas de cada camada.

Adicionalmente, a densidade do fitoplâncton tende a diminuir de acordo com a profundidade e, portanto, as maiores densidades permanecem na camada de mistura. Porém, a estratificação não tem efeito para as oscilações da produção primária fitoplanctônica vertical.

Diante desse contexto e tendo em vista a importância ambiental do Arquipélago de Fernando de Noronha para a conservação de espécies e de habitats, com enfoque para as mudanças climáticas, esse estudo fornece base de conhecimento para a estrutura da comunidade e abordagem quantitativa do fitoplâncton nas águas oceânicas do arquipélago, em referência às profundidades. Assim, por se tratar de um estudo pioneiro para a região, esses dados servem de subsídio para futuras avaliações ambientais de áreas insulares oceânicas do Atlântico Sul.

CAPÍTULO 5: Observações biológicas em campo para as populações de *Ornithocercus* spp. (Dinophysiales, Dinophyta): estágios reprodutivos e divisão celular faseada.

Resumo

O ciclo de vida dos dinoflagelados oceânicos tem sido pouco estudado. A divisão é iniciada em determinados tempos do dia (divisão celular faseada). Este estudo relata os estágios de divisão (zona e ponte dorsal megacítica) para a população de *Ornithocercus*, no Oceano Atlântico Sul Equatorial (Arquipélago de Fernando de Noronha), em diferentes tempos do dia. As amostras foram coletadas a cada 3h, em escala nictemeral, em dois pontos fixos, nos anos 2010 e 2012. Foi feito o arrasto vertical da rede de plâncton (malha de 20µm). As células em divisão de *Ornithocercus* foram registradas, em que ocorreram *O. magnificus* Stein, *O. thumii* (Schmidt) Kofoid & Skogsberg, *O. quadratus* Schütt e *O. steinii* Schütt, os quais apresentaram a divisão faseada e pelo menos um dos estágios de divisão celular. *O. quadratus* ocorreu no maior número de horários, desde antes, durante e depois do amanhecer, bem como durante e depois do pôr do sol.

Introdução

Dinophysiales compõe representantes de águas oceânicas e têm sido um grupo bem documentado em águas da corrente do Brasil (BALECH, 1988; HARAGUCHI; ODEBRECHT, 2010; KOENING et al., 2009). Estes dinoflagelados são bastante diversificados, abrangendo características e necessidades fisiológicas distintas, com capacidades de autotrofia, mixotrofia e heterotrofia.

O ciclo de vida de dinoflagelados oceânicos, no geral, é pouco estudado, principalmente, devido à dificuldade de obtenção das espécies e requerimento de condições muito específicas para o cultivo. Por isso, estudos acerca do ciclo de vida estão concentrados em formas neríticas e continentais (WALKER, 1984). A principal forma de reprodução de Dinophysiales é a divisão vegetativa, com produção de duas células filhas idênticas (REGUERA; GONZALEZ-GIL, 2001).

Walker (1984) descreve o ciclo de vida de Dynophysiales: associada à divisão celular acontece uma rápida expansão lateral, com a formação de uma banda semimeridional. É chamada de zona megacítica, a qual corresponde a uma área desenvolvida na porção dorsal da célula. Com as células ainda unidas e em formação,

essa zona mantém a integridade da parede da célula mãe durante a completa citocinese, a qual se completa com a nova parede celular formada. A partir de então, a zona megacítica será dissolvida naturalmente, desagregando as células formadas e terá início o desenvolvimento das aletas e costelas. Assim, a região dorsal é a última a ainda permanecer unida, em algumas espécies. As células formadas podem permanecer ainda unidas, mesmo em formação das aletas e costelas restantes. Isso acontece devido à extensão máxima da zona megacítica, originando uma estrutura estriada (PFIESTER; ANDERSON, 1987), denominada de ponte dorsal megacítica. Após a separação completa, remanescentes dessa ponte podem ainda permanecer nas células, por um período indeterminado, porém, breve (TAYLOR, 1973). No geral, a divisão para os dinoflagelados é iniciada em determinados tempos do dia e essas fases são variáveis para cada espécie. Tal fenômeno é chamado de divisão celular faseada. Devido à essa sincronia, o crescimento populacional ocorre durante certos períodos de tempo e, assim, a curva de crescimento é passo-a-passo (*stepwyse*). Vale ressaltar que, além disso, as condições ambientais locais influenciam no ciclo reprodutivo das espécies. Em condições adequadas, aqueles organismos que são marinhos fotossintéticos, por exemplo, geralmente, se dividem horas mais cedo, pela manhã, devido à intensidade da luz solar. As informações compiladas por Walker (1984) indicam que a taxa máxima de divisão do dinoflagelado *Pyrodinium bahamense* Plate (Gonyaulacales) foi registrada durante as duas primeiras horas depois do nascer do sol. Enquanto que, para outras espécies de *Ceratium* (Gonyaulacales), cultivadas em laboratório, a reprodução aconteceu pouco antes ou logo depois do amanhecer.

Diante desse contexto, nesse estudo objetivamos registrar a presença dos estágios de divisão (zona e ponte dorsal megacítica) em espécies de *Ornithocercus* (Dinophysiales), em diferentes horários do dia, em águas oceânicas do Atlântico Sul Equatorial, (Brasil).

Material e Métodos

Coletamos as amostras em dois pontos fixos, durante os anos de 2010 (considerado como ano I; 32° 20' 10" W e 3° 46' 49" S) e 2012 (ano II; 32° 27' 78" W e 3° 54' 65" S). Os pontos estiveram distante cerca de 5,25 km da costa, dos lados nordeste e sudoeste do Arquipélago de Fernando de Noronha, localizado no Atlântico Sul Equatorial, Brasil. As amostras foram coletadas a bordo do navio oceanográfico NHO

Cruzeiro do Sul. Realizamos as amostragens, aproximadamente, a cada 3 horas, abrangendo 24 horas de um mesmo dia, durante o período de estiagem da região (agosto de 2010 e setembro de 2012).

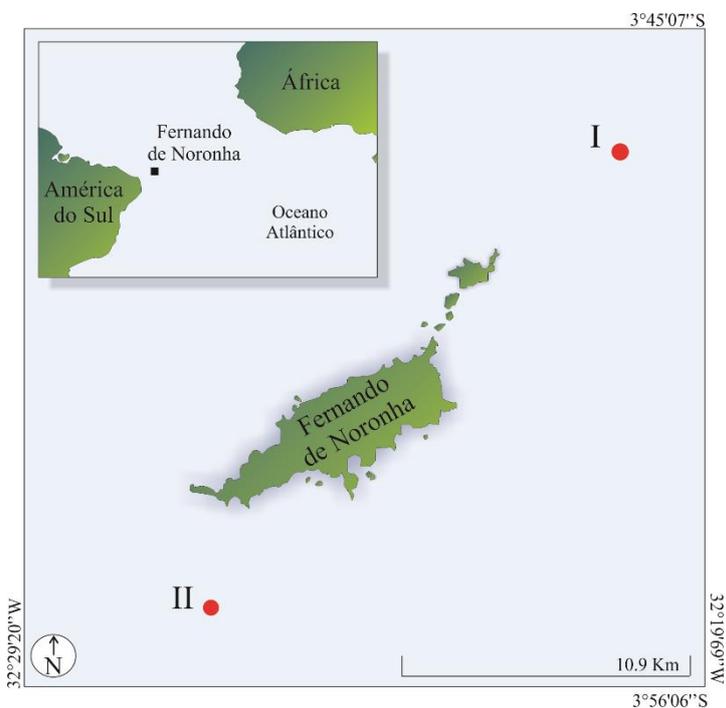


Figura 1. Localização do arquipélago de Fernando de Noronha (Atlântico Sul Equatorial, Brasil), com a indicação dos pontos de coletas, durante o ano I (posição nordeste do arquipélago) e ano II (posição sudoeste).

Realizamos arrastos verticais de rede de plâncton (20 μ m de abertura de malha). A profundidade de arrasto estendeu-se até o máximo de 130 m. Acondicionamos as amostras (n = 6) em frascos plásticos (500 ml), fixadas em formol neutro (THRONDSEN, 1978). Identificamos as espécies em microscópio óptico, no Laboratório de Fitoplâncton da Universidade Federal de Pernambuco, a partir de subamostras (0,5 ml) e com câmera fotográfica acoplada. Assim sendo, observamos a presença das espécies de *Ornithocercus* que continham ou não os estágios de divisão, os quais consideramos como sendo a zona e a ponte dorsal megacítica.

Resultados

Como resultados, para ambos os anos, observamos em todos os horários de amostragens, seja em célula vegetativa ou contendo os estágios de divisão, as seguintes espécies de *Ornithocercus*: *O. magnificus* Stein (Figuras 2A e 2B), *O. thummi* (Schmidt)

Kofoid & Skogsberg (Figura 2C), *O. quadratus* Schütt (Figuras 2D e 2E) e *O. steinii* Schütt (Figura 2F). Todas essas espécies apresentaram pelo menos um estágio de divisão celular (zona e/ou ponte dorsal megacítica) em, pelo menos, uma amostra. Porém, *O. magnificus* apresentou somente o estágio de zona megacítica, não sendo registrada a ponte dorsal megacítica para essa espécie. Durante o ano I, células de *O. magnificus* ocorreram em todos os horários em estudo, enquanto que *O. quadratus* ocorreu desde o pôr do sol até três horas depois do amanhecer. Assim, esta espécie esteve ausente nos horários antes do pôr do sol. Por fim, *O. steinii* e *O. thumii* estiveram presentes antes e depois do amanhecer e do pôr do sol. Durante o ano II, foram registrados apenas *O. magnificus* e *O. quadratus*. Esta última foi observada durante o horário do amanhecer, bem como antes e depois do pôr do sol. Em contrapartida, *O. magnificus* foi observada desde antes do pôr do sol até o amanhecer e, assim, esta espécie não ocorreu apenas no horário de três horas depois do amanhecer.

Registramos dois estágios de divisão celular: a primeira consiste em zona megacítica, caracterizada pelas células pareadas, unidas pela margem dorsal (Figura 2B) e a segunda compreende a ponte dorsal megacítica (Figuras 2C-2F), de aspecto fortemente estriado na direção horizontal. A mesma pode ocorrer de duas formas: em células unidas (Figuras 2C e 2D) ou remanescentes em apenas um único indivíduo (Figuras 2E e 2F). Quando unidas, as células são de igual tamanho. Registramos a célula filha, recentemente dividida, comumente, com aleta sucral esquerda e costelas dos lobos anterior e posterior incompletas, estando as aletas singulares anterior e posterior bem desenvolvidas (Figura 2C-2E).

Com base nos diferentes horários de coleta constatamos que a divisão celular foi faseada para as quatro espécies de *Ornithocercus*. Os estágios de divisão estiveram presentes, durante o ano I, a partir de três horas antes do amanhecer, para as espécies *O. magnificus*, *O. thumii* e *O. quadratus*. Apenas esta última ocorreu durante o nascer do sol. Enquanto que, até três horas depois do amanhecer observamos em estágios reprodutivos as espécies *O. steinii* e *O. quadratus*. Esta última apresentou os estágios de divisão durante e até três horas depois do pôr do sol. Portanto, observamos que *O. quadratus* apresentou os estágios de divisão em uma maior quantidade de horários, estendendo-se desde antes, durante e depois do amanhecer, bem como durante e depois do pôr do sol. Vale ressaltar que nenhuma das espécies citadas, durante o ano I, estiveram presentes no horário de três horas antes do pôr do sol, nem mesmo em horários além das três horas do amanhecer e/ou do pôr do sol. Durante o ano II, a divisão celular faseada

esteve presente apenas para *O. quadratus*, durante os horários de nascer e pôr do sol. Apresentamos um resumo dessas fases na figura 3.

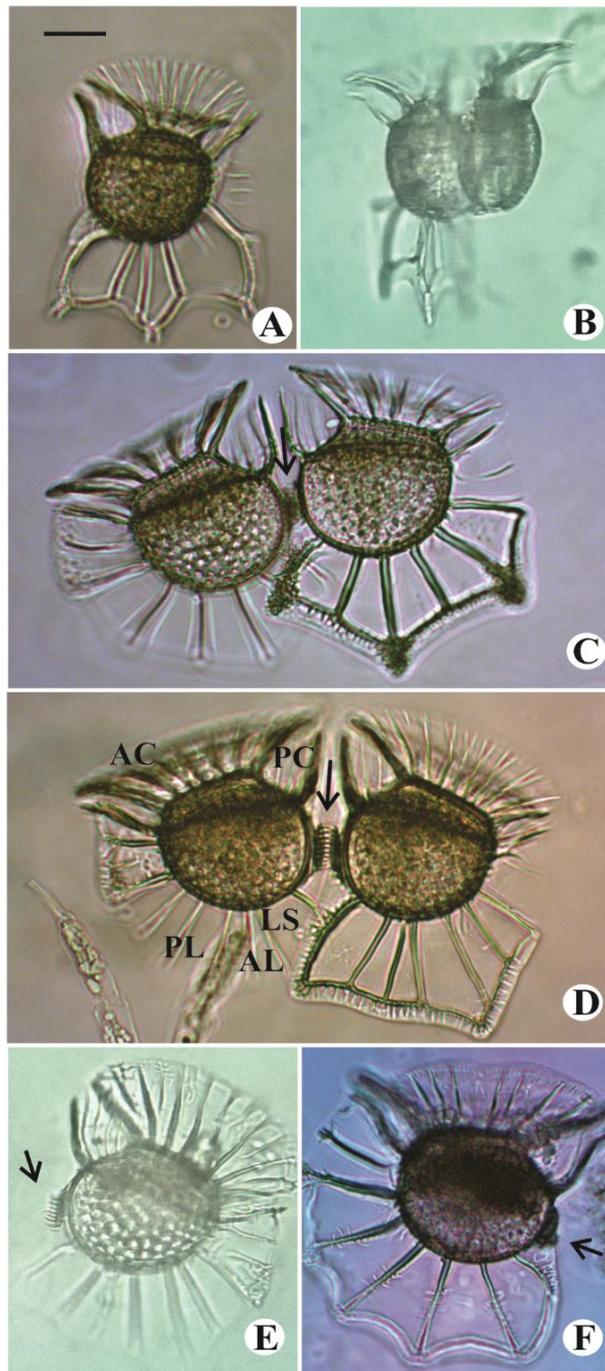


Figura 2. A) célula vegetativa de *Ornithocercus magnificus* Stein; B) em divisão, no estágio de zona megacítica; C) duas células de *O. thumii* (Schmidt) Kofoid & Skogsberg unidas; D) duas células de *O. quadratus* Schütt unidas e E) com aletas e costelas incompletas; F) *O. steinii* Schütt recém formado. As setas indicam a ponte dorsal megacítica, em células unidas ou remanescentes na célula individual. Escala vale 26 μm .

Abreviações: LS = Aleta sulcal esquerda; PC = Aleta cingular posterior; AC = Aleta cingular anterior; PL = Lobo posterior; AL = Lobo anterior.

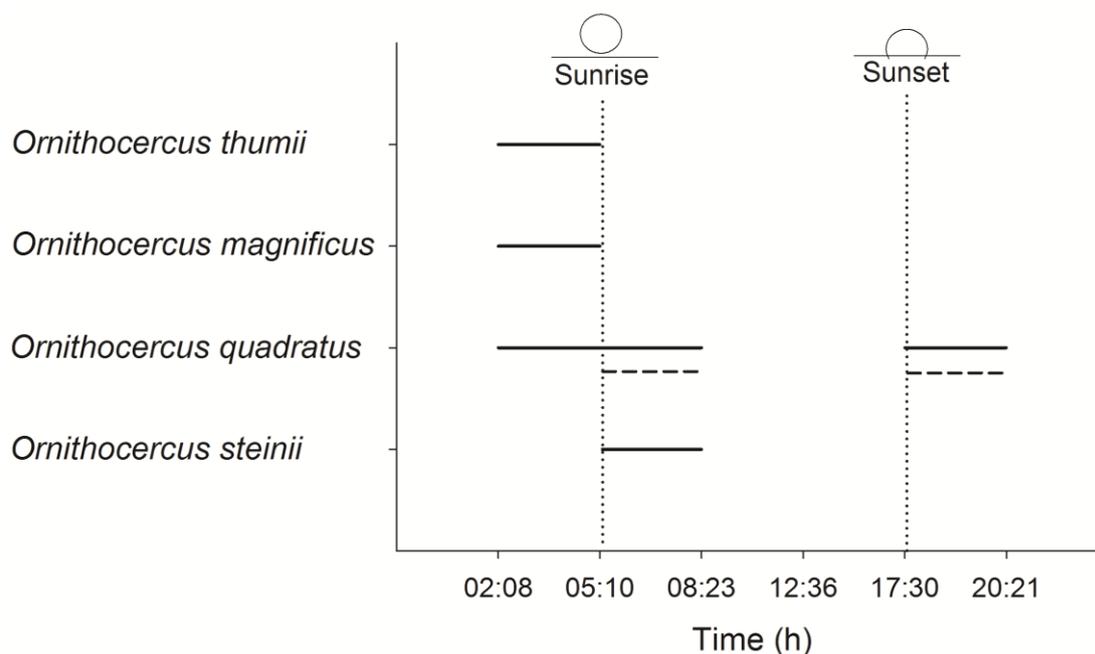


Figura 3. Horários (h) em que as espécies de *Ornithocercus* foram registradas contendo os estágios de divisão, em função do nascer e pôr do sol, durante os anos I (linha sólida) e II (linha tracejada).

Discussão

No geral, dentre os dinoflagelados, o ciclo de vida de *Dinophysis* spp. (Dinophysiales) tem sido amplamente investigado para responder perguntas acerca dos estágios de divisão e como acontece a divisão celular faseada. Além disso, é um grupo melhor estudado, por englobar representantes costeiros, de fácil acesso e cultivo já conhecido e por conter algumas espécies produtoras de toxinas, nocivas ao homem e ao meio ambiente, o que torna importante o conhecimento do seu ciclo de vida.

Os trabalhos apontam que ocorrem as características de zona e ponte dorsal megacítica como estágios reprodutivos para as espécies de *Dinophysis* (REGUERA; GONZALEZ-GIL 2001; REGUERA *et al.*, 2003; REGUERA; GONZALEZ-GIL, 2007; AISSAOUI *et al.*, 2013). De forma semelhante, com base em nossos registros para o Atlântico Sul, esses estágios estão presentes no gênero *Ornithocercus*, sendo a ponte dorsal megacítica de aspecto marcadamente estriado. Remanescentes dessa ponte podem

permanecer em células individuais recentemente divididas de *Ornithocercus* spp., mesmo após a dissolução da zona megacítica e separação das células (TAYLOR 1973). Porém, tal estrutura pode ser facilmente destruída pela manipulação da amostra, especialmente durante o arrasto, bem como pelo efeito da fixação do formol (AISSAOUI *et al.*, 2013). Assim sendo, uma vez que os nossos dados são baseados em observações de campo, ressaltamos a necessidade de experimentos em laboratório, que possam conduzir, confirmar e detalhar tais informações, principalmente a fim de relatar o tempo de formação e de permanência da ponte dorsal megacítica em *Ornithocercus* spp. Da mesma forma, observamos que durante esse estágio de divisão, a célula filha recentemente formada aparece com costelas e aletas incompletas. Essa é uma característica morfológica rotineiramente utilizada para delimitar o término de um estágio de reprodução, importante em estudos acerca das estimativas de taxas de divisão celular (HERNANDEZ-ROSAS *et al.*, 2007; REGUERA; GONZALEZ-GIL, 2001).

Dinophysis spp. comumente apresenta ciclo celular faseado (REGUERA *et al.*, 2003). O mesmo observamos para o gênero *Ornithocercus*, uma vez que encontramos, para quatro espécies, estágios de divisão em diferentes horários ao longo do dia, seja antes, durante ou depois do amanhecer e do pôr do sol. Para *Dinophysis acuminata* Claparède & Lachmann, Aissaoui *et al.* (2013), em seu estudo no Mar Mediterrâneo, demonstraram que a frequência máxima de determinados estágios de divisão ocorreram em pouco tempo antes ou depois do nascer do sol, mostrando que a divisão celular é ativada pelos primeiros raios solares do dia. Em contrapartida, esses mesmos autores observaram que outras espécies dentro do gênero apresentam a frequência máxima de divisão horas depois do amanhecer, sugerindo o requerimento de intensidades de luz solar mais elevadas. Outras espécies, por sua vez, apresentam máximos de divisão no período escuro e, portanto, demonstram o requerimento de baixa intensidade de luz para desencadear sua divisão (FARREL *et al.*, 2013). Diante desse contexto, nossas observações sugerem um requerimento de maior intensidade de luz por *O. steinii*, enquanto que *O. magnificus* e *O. thumii* fazem uso dos primeiros raios solares. O fato de *O. quadratus* apresentar estágios de divisão nos mais diversos horários, tanto em fases de luz, quanto de escuro, pode ser explicado, não só pelo requerimento da luz solar, mas, adicionalmente, pela disponibilidade de presas, uma vez que foi demonstrado que *D. acuminata* requer um somatório de baixa intensidade de luz (REGUERA *et al.*, 2003) e disponibilidade de presas (KIM *et al.*, 2008) para sua sobrevivência a longo prazo. Por se tratar de uma espécie mixotrófica (HARAGUICHI; ODEBRECHT, 2010), *D. acuminata*

pode apresentar altas taxas de crescimento em ausência ou luz mais baixa. Nesse contexto, essa combinação poderia ser aplicada a *O. quadratus*, por apresentar a capacidade de mixotrofia.

As estimativas de taxas de divisão variam consideravelmente entre as espécies de dinoflagelados e estão sujeitas às mudanças sazonais e espaciais (nas diferentes profundidades da coluna d'água, por exemplo). Aissaoui *et al.* (2013) demonstram altas taxas para diferentes espécies de *Dinophysis* nos meses de outono e verão, com proliferações presente em temperaturas de 13 a 30°C e salinidades de 33 a 40. Isso indica que as espécies apresentam ampla adaptação às variações ambientais ao longo do ano. Visto que o nosso trabalho aborda somente um único período climático (estiagem), com o intuito de verificar quais os efeitos das mudanças ambientais para o ciclo reprodutivo de *Ornithocercus* spp., sugerimos a observação da população durante os diferentes períodos climáticos (chuvoso e de estiagem). Além disso, essa abordagem pode agregar o efeito das condições ambientais sobre a divisão desses dinoflagelados. De forma semelhante, a variação espacial tem sido confirmada como um dos fatores que influenciam nas taxas de crescimento populacional, em que as maiores taxas foram encontradas em profundidades mais estreitas (VELO-SUAREZ *et al.*, 2009; FARREL *et al.*, 2013). O mesmo não podemos afirmar para *Ornithocercus* spp., pois, apesar de termos realizado um arrasto vertical desde os 130 m de profundidade, nosso estudo não compreende uma amostragem em profundidades isoladas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

De forma geral, os dados apresentados nesse estudo demonstram a importância dos dinoflagelados nas águas oceânicas oligotróficas e estratificadas, uma vez que suas estratégias de sobrevivência são indicativos da estabilidade das condições da água. Este fato corrobora, portanto, a importância do monitoramento das comunidades biológicas, para se conhecer o funcionamento de um ecossistema marinho. Estudos com abordagem no entendimento da biodiversidade são de fundamental importância para o acompanhamento de eventuais e possíveis alterações ambientais e, principalmente, diante do contexto atual das mudanças climáticas.

Porém, no que se refere às áreas insulares oceânicas mundiais, são os poucos trabalhos que existem com abordagem em fitoplâncton, tendo em vista os inúmeros enfoques para as áreas costeiras, por exemplo. Dentre os estudos aplicados em áreas insulares brasileiras, é observado o destaque para a alta diversidade de dinoflagelados e

dominância da cianobactéria *Trichodesmium* spp. Tais trabalhos ressaltam esse monitoramento como uma ferramenta biológica para a avaliação os efeitos das variáveis ambientais na distribuição das comunidades fitoplanctônicas.

Diante desse contexto, a presente abordagem fitoplanctônica é pioneira para o arquipélago de Fernando de Noronha. Os dados apresentados evidenciam que determinadas espécies são características de cada camada d'água, de mistura e termoclina, em que os dinoflagelados *O. gracile* e *O. laticeps* representam ambas as camadas em estudo. Porém, para a camada termoclina, além desses dois dinoflagelados, dominam *P. cassum* e *T. erythraeum*. Além disso, a densidade fitoplanctônica está melhor representada na camada de mistura. Porém, não há efeito significativo da estratificação para a produção primária, no contexto aplicado.

Adicionalmente, nas condições de estudo aplicadas, a tendência de distribuição homogênea das espécies e de mudanças horizontais discretas e não significativas de sua densidade, aparece como um indicativo biológico de não ocorrer efeito de massa insular durante o período em estudo e nos tratamentos aplicados. Todavia, são recomendados estudos futuros, que englobem um maior número de extensões horizontais e posições geográficas no entorno desse arquipélago, para o estudo das comunidades biológicas e sua relação com outras variáveis ambientais.

Vale ressaltar a importância da abordagem temporal para a dinâmica das comunidades biológicas. Nesse contexto, os diferentes períodos do dia delimitam a reprodução celular faseada dos dinoflagelados, especialmente para as populações de *Ornithocercus* sp. Seus períodos reprodutivos estão alinhados aos horários de nascer e pôr do sol, o que sugere diferentes tendências reprodutivas, com sincronismos e não sincronismos temporais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AISSAOUI, A.; ARMI, Z.; TURKI, S.; HASSINE, O. K. B. Seasonal dynamic and in situ division rates of the dominant *Dinophysis* species in Punic harbors of Carthage (Gulf of Tunis, South Mediterranean). **Environmental Monitoring Assessment**, v.185, n.11, p.9361-84, 2013.
- ALMEIDA, F. F. M. Arquipélago de Fernando de Noronha: Registro de monte vulcânico do Atlântico Sul. In: SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D. A.; QUEIROZ, E. T.; WINGE, M.; BERBERT-BORN, M. (Eds). **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil**. Brasília: DNPM/CPRM, p. 361-368. 2002
- ALVAREZ S.L.; GALLARDO, G.M.L. Diversidad del microfitoplancton en las aguas oceánicas alrededor de Cuba. **Revista Mar. y Cost.**, 1: 29-47. 2009
- AQUINO, E. P.; SILVA-CUNHA, M. G. G. ; FEITOSA, F. A. N. ; HONORATO-DASILVA, M. ; KOENING, M. L. ; PASSAVANTE, J. Z. O. **Fitoplâncton do Arquipélago de Fernando de Noronha**. 1. ed. Recife, PE: Editora Universitária da UFPE - Série Extensão, 2014. 74p.
- AVANCINI, M.; CICERO, A. M.; GIROLAMO, I.; INNAMORATI, M; MAGALETTI, E.; ZUNINI, T. S. **Guida al riconoscimento del plâncton dei mari italiani**: Volume I Fitoplancton Programma di monitoraggio per il controllo dell'ambiente marino costiero. Ministero dell'Ambiente della Tutela del Territorio e del Mare – DPN ICRAM - Istituto Centrale per la Ricerca Scientifica e Tecnologica Applicata al Mare. 263 p. 2006
- AYRES, M.M., J.R. AYRES, D.L. AYRES; A.S. SANTOS. **BioEstat 5.0**: aplicações estatísticas nas áreas de ciências biológicas e médicas. Instituto de Desenvolvimento Sustentável Mamirauá, Belém. 364p. 2007
- BAKKER D.E.C.; NIELSDOTTIR, M.C.; MORRIS, P.J.; VENABLES, H.J.; WATSON, A.J. The island mass effect and biological carbon uptake for the subantarctic Crozet Archipelago. **Deep-Sea Research II**, 54, 2174-2190. 2007
- BALECH, E. **Los dinoflagelados del Atlántico Sudoccidental**. 1ª Edição. Inst. Español Oceanogr., 1988. 310 p.

BOYCE, D. G., LEWIS, M. R., WORM, B. Global phytoplankton decline over the past century. **Nature**, v. 466,n. 29, p. 591-596, 2010.

BRAAK, C.J.F.; P. SMILAUER. **Canoco Reference Manual and CanoDraw for Windows Users guide**: Software for Canonical Community Ordination (version 4.5). Microcomputer Power, Ithaca, New York. 2002

BRANDINI, F.P. Composição e distribuição do fitoplâncton na região Sueste do Brasil e suas relações com as massas de água (Operação Sueste- Julho/Agosto 1982). **Ciência e Cultura**, 40(4): 334-341. 1988

BRANDINI, F.P. Hydrography and characteristics of the phytoplankton in shelf and oceanic waters off southeastern Brazil during winter (July/August 1982) and summer (February/March 1984). **Hydrobiologia**, 196:111-148. 1990

BRANDINI, F. P.; FERNANDES, L. F. Microalgae of the continental shelf off Paraná state, southeastern Brazil: a review of studies. **Revista Brasileira de Oceanografia**, 44(1): 69-80. 1996

BRANDINI, F.P; LOPES, R.M.; GUTSEIT, K.S.; SPACH, H.L.; SASSI, R. **Planctonologia na plataforma continental do Brasil**. Diagnose e revisão bibliográfica. REVIZEE, 196 p. 1997

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resumo executivo e Plano de Manejo**: APA Fernando de Noronha, Rocas, São Pedro e São Paulo. Brasília, DF, 2005. Disponível em: <<http://www.icmbio.gov.br>>. Acesso em: 29 de novembro de 2013.

BURNS, D.A.; MITCHELL, J.S. Some coastal marine dinoflagellates from around New Zealand. **New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research**, 16:1, 69-79. 1982

BUTRÓN, A.; ORIVE, E.; MADARIAGA, I. Potential risk of harmful algae transport by ballast waters: The case of Bilbao Harbour. **Marine Pollution Bulletin**, v. 62, p. 747-757, 2011.

CAPONE, D. G.; ZEHR, J.; PAERL, H. W.; BERGMAN, B.; CARPENTER, E. J. Trichodesmium, a globally significant marine Cyanobacterium. **Science**, 276, 1221-1229. 1997

CARLTON, J. T. Pattern, process, and prediction in marine invasion ecology. **Biological Conservation**, v. 78, p. 97-106, 1996.

- CARR, J.M., G.L. HERGENRADER; N.H. TROELSTRUP. A simple inexpensive method for cleaning diatoms. **Transactions of American Microscopical Society** 105: 152-157. 1986
- COSTA, L. S.; HUSZAR, V. L. M.; OVALLE, A. R. Phytoplankton Functional Groups in a Tropical Estuary: Hydrological Control and Nutrient Limitation. **Estuaries and Coasts**, v. 32, p. 508–521. 2009.
- COSTA, M. M. S.; ESKINAZI-LEÇA, E.; PEREIRA, S. M. B.; BANDEIRA-PEDROSA, M. E. Diatomáceas epífitas em *Galaxaura rugosa* (J. Ellis & Solander) J.V. Lamouroux (Rhodophyta) no Arquipélago de Fernando de Noronha, PE, Nordeste do Brasil. **Acta botânica brasílica**, 23(3): 713-719. 2009
- 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**, 14(3): 211-216. 1955
- DIEHL, S. Phytoplankton, light, and nutrients in a gradient of mixing depths: Theory. **Ecology**, 83: 386-398. 2002.
- DURHAM, W. M.; STOCKER, R. Thin Phytoplankton Layers: Characteristics, Mechanisms, and Consequences. **Annual Reviews of Marine Science**, 4: 177-207. 2012
- ESKINAZI-LEÇA, E.; KOENING, M. L.; SILVA-CUNHA, M. G. G. Estrutura e dinâmica da comunidade fitoplânctônica. In: ESKINAZI-LEÇA, E.; NEWMANN-LEITÃO, S.; COSTA, M. F. (Org.). **Oceanografia: um cenário tropical**. Recife: Edições Bagaço, p. 353-373. 2004
- ESKINAZI-LEÇA, E.; PASSAVANTE, J. Z. O. Estudo da Plataforma Continental na área do Recife (Brasil). IV. Aspectos quantitativos do fitoplâncton. **Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco**, 13:83-106. 1972
- ESKINAZI-LEÇA, E.; KOENING, M. L.; SILVA-CUNHA, M. G. G. Microalgas marinhas bioindicadoras da qualidade ambiental. Capítulo, pp.277-280. In: E. M. P. LUCENA & A. V. AMORIM (org.). **Botânica e Desenvolvimento Sustentável**. EDUECE, Fortaleza, 2011.

- ESTON, V. R.; MIGOTTO, A. E.; OLIVEIRA-FILHO, E. C.; RODRIGUES, S. A.; FREITAS, J. C. Vertical distribution of benthic marine organisms on rocky coasts of the Fernando de Noronha Archipelago (Brazil). **Boletim do Instituto Oceanográfico de São Paulo**, 34: 37-53. 1986
- FAN, C.L.; GLIBERT, P.M. Effects of light on nitrogen and carbon uptake during a *Prorocentrum minimum* bloom. **Harmful Algae**, 4:629-641. 2005
- FARRELL H.; VELO-SUAREZ L.; REGUERA, B.; RAINE, R. Phased cell division, specific division rates and other biological observations of *Dinophysis* populations in sub-surface layers off the south coast of Ireland. **Deep Sea Research II**, v.1, 2013.
- FAUSTO-FILHO, J. Stomatopod and decapod crustaceans of the Archipelago of Fernando de Noronha, Northeast Brazil. **Arquivos de Ciência do Mar**, 14(1): 1-35. 1974
- 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 seawaters. **PLoS One**, 7(3): e34098. 2012
- FERNANDES, L. F.; FRASSÃO-SANTOS, E. K. Mucilaginous species of *Thalassiosira Cleve emend. Hasle* (Diatomeae) in South Brazilian Waters. *Acta Botanica Brasilica*, 25(1): 31-42. 2011
- GILMARTIN, M.; REVELANTE, N. The island mass effect on the phytoplankton and primary production of the Hawaiian Islands. **Journal Expedition Marine Biology Ecology**, 16, 181-204. 1974
- GOMEZ, F., CLAUSTRE, H.; SOUISSI, S. Rarely reported dinoflagellates of the genera *Ceratium*, *Gloeodinium*, *Histioneis*, *Oxytoxum* and *Prorocentrum* (Dinophyceae) from the open southeast Pacific Ocean. **Revista de Biología Marina y Oceanografía**, 43(1): 25-40. 2008
- GONÇALVES-ARAÚJO, R.; SOUZA, M.S.; MENDES, C. R. B.; TAVANO, V.M.; POLLERY, R. C.; GARCIA, C.A.E. Brazil-Malvinas Confluence: effects of environmental variability on phytoplankton community structure. **Journal of Plankton Research**, 34:399-415. 2012

- GRASSHOFF K., EHRHARDT M., KREMLING K. 1983. **Methods of seawater analysis**, (2nd edn.) Verl. Chem., Weinheim, 419 pp.
- GUIRY, M. D.; GUIRY, G. M. **AlgaeBase**. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. 2013. Disponível em: <<http://www.algaebase.org>>.
- HALLEGRAEFF, G. M. Ocean climate change, phytoplankton community responses, and harmful algal blooms: a formidable predictive challenge. **Journal of Phycology**, p. 46, p. 220–235, 2010.
- HARAGUCHI, L.; ODEBRECHT, C. Dinophysiales (Dinophyceae) no extremo Sul do Brasil (inverno de 2005, verão de 2007). **Biota Neotropica**, v. 10, n.3, p.101-114, 2010.
- HASEGAWA, D.; YAMAZAKI, H.; ISHIMARU, T.; NAGASHIMA, H.; KOIKE, Y. Apparent phytoplankton bloom due to island mass effect. **Journal of Marine Systems**, 69, 238-246. 2008
- HASLE, G.R. The inverted-microscope method. In: SOURNIA, A. **Phytoplankton Manual**. UNESCO, New York. 1978
- HAYS, G. C.; RICHARDSON, A. J.; ROBINSON, C. Climate change and marine plankton. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 20, p. 337-344, 2005.
- HERNÁNDEZ-ROSAS, A.; MEAVE, M. E.; CASTILLO, M. E.; ZAMUDIO-RESENDIZ; CASTILLO-RIVERA, M. Morfometría y distribución de especies del género *Ornithocercus* (Dinophysiales: Dinophyta) del Pacífico Mexicano. **Hidrobiologica**, v. 17, p.257-272, 2007.
- HILLIGSOE, K. M.; RICHARDSON, K.; BENDTSEN, J.; SORENSEN, L. L.; NIELSEN, T. G.; LYNGSGAARD, M. M. Linking phytoplankton community size composition with temperature, plankton food web structure and sea-air CO₂ flux. **Deep-Sea Research I**, v. 58, p. 826-838, 2011.
- HOPPENRATH, M.; ELBRÄCHTER, M.; DREBES, G. **Marine Phytoplankton: Selected microphytoplankton species from the North Sea around Helgoland and Sylt**. Stuttgart: Kleine Senckenberg-Reihe, 2009. 264 p.
- IRIARTE, J.L.; FRYXELL, G.A. Micro-phytoplankton at the equatorial Pacific (140°W) during the JGOFS EqPac Time Series studies: March to April and October 1992. **Deep-Sea Research II**, 42(3), 559-583. 1995

- IRIGOIEN, X.; HUISMAN, J.; HARRIS, R. P. Global biodiversity patterns of marine phytoplankton and zooplankton. **Nature**. 429: 863-867. 2004.
- ISLABÃO, C. A.; ODEBRECHT, C. Dinoflagelados (Peridinales, Prorocentrales) do microplâncton na plataforma continental e talude do extremo sul do Brasil (inverno 2005, verão 2007). **Biota Neotropica**, 11:153-166. 2011
- JALES, M.C. Influências das condições oceanográficas sobre a estrutura da comunidade fitoplanctônica no Atol das Rocas, Atlântico Sul Equatorial, Brasil. Universidade Federal de Pernambuco (Tese, Doutorado em Oceanografia). 2015.
- JALES, M. C.; FEITOSA, F. A. N.; KOENING, M. L.; FLORES-MONTES, M. J.; ARAUJO-FILHO, M.; SILVA, R. Phytoplankton biomass dynamics and environmental variables around the Rocas Atoll Biological Reserve, South Atlantic. **Brazilian Journal of Oceanography**, 63(4): 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**, 344: 49–61, 2007.
- KIM, S.; KANG, Y. G.; KIM, H. S.; YIH, W.; COATS, D. W.; PARK, M. G. Growth and grazing responses of the mixotrophic dinoflagellate *Dinophysis acuminata* as functions of light intensity and prey concentration. **Aquatic Microbial Ecology**, v. 51, p.301–310, 2008.
- 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**, 19(2):391-397. 2005
- KOENING, M. L.; OLIVEIRA, M. S. Estrutura da comunidade fitoplanctônica. In: Vianna, D.L. et al. (Orgs). **O arquipélago São Pedro e São Paulo: 10 anos de Estação científica**. Brasília, DF: SECIRM. 348p. 2009
- KOENING, M. L.; WANDERLEY, B. E.; MACEDO, S. J. Microphytoplankton structure from the neritic and oceanic regions of Pernambuco State – Brazil. **Brazilian Journal of Biology**, v. 69, n. 4, p. 1037-1046, 2009.
- KOPCZYNSKA, E. E.; FIALA, M. Surface phytoplankton composition and carbon biomass distribution in the Crozet Basin during austral summer of 1999: variability across frontal zones. **Polar Biology**, 27: 17–28. 2003

- KRAJEWSKI, J. P.; FLOETER, S. R. Reef fish community structure of the Fernando de Noronha Archipelago (Equatorial Western Atlantic): the influence of exposure and benthic composition. **Environmental Biological Fisheries**, 92:25–40. 2011
- KRUK, C. et al. Classification schemes for phytoplankton: A local validation of a functional approach to the analysis of species temporal replacement. **Journal of Plankton Research**, 24: 901-912, 2002.
- LEITE, T. S.; HAIMOVICI, M.; LINS, J. E. A pesca de polvos no Arquipélago de Fernando de Noronha, Brasil. B. **Instituto de Pesca de São Paulo**, 34(2): 271-280, 2008.
- LICEA, S.; ZAMUDIO, M.E.; LUNA, R.; SOTO, J. Free-living dinoflagellates in the southern Gulf of Mexico: Report of data (1979–2002). *Phycological Research*, 52: 419–428. 2004
- LIMA, J. C. Dinâmica do fitoplâncton e microfitobentos da Baía do Sueste, Arquipélago Fernando de Noronha, Pernambuco, Brasil. Dissertação de mestrado (Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Oceanografia). 64pp. 2012
- LIRA, S. M. A.; TEIXEIRA, I.; LIMA, SANTOS, NEUMANN-LEITÃO, SCHWAMBORN, R. Spatial and nycthemeral distribution of the zooneuston off Fernando de Noronha, Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, 62(1): 35-45, 2014
- LOBO, E.; G. LEIGHTON. Estruturas comunitarias de las fitocenosis planctonicas de los sistemas de desembocaduras de rios y esteros de la zona central de Chile. **Revista Biologia Marina**, 22:1-29. 1986
- LONGHURST, A.R., PAULY, D. **Ecologia de oceanos tropicais**. São Paulo: Edusp, 2007. 419 p.
- LOPES, R. M.; CUNHA, D. R.; SANTOS, K. C. estatísticas sobre as espécies exóticas marinhas registradas na zona costeira brasileira. In: LOPES, R. M. (Ed.). **Informe sobre as espécies exóticas invasoras marinhas no Brasil**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2009. 31-35p.
- LUBIANA, K. M. F. Fitoplancton nas águas neríticas e oceânicas do trecho Vitória a Ilha de Trindade (Espírito Santo, Brasil): influência das variáveis ambientais na distribuição espacial e composição. In: **Anais do IX Congresso de Ecologia do Brasil**, São Lourenço – MG. 2009

- MACEDO, S. J.; FLORES-MONTES, M. J.; COSTA, K. M. P. Hidrologia. In: Viana, D.L. et al. (Orgs). **O Arquipélago de São Pedro e São Paulo: 10 anos de Estação Científica**. Brasília, DF: SECIRM, 348 p. 2009.
- MARGALEF, R., 1983. **Limnologia**. Omega, Barcelona
- MARTINEZ, E.; MAAMAATUAI AHUTAPU, K. Island mass effect in the Marquesas Islands: time variation. **Geophysical Research Letters**, 31: 2-5. 2004
- MARTINY, A. C., PHAM, C. T. A., PRIMEAU, F. P., VRUGT J. A., MOORE, J. K., LEVIN, S. A.; LOMAS, M. W. Strong latitudinal patterns in the elemental ratios of marine plankton and organic matter. **Nature Geoscience**, 6: 279–283. 2013
- MATEUCCI, S. D.; A. COLMA. La metodología para el estudio de la vegetacion. **Collection de Monografias Cientificas** 22: 1-168. 1982
- MEDEIROS, C.; ARAÚJO, M.; FREITAS, I.; ROLLNIC, M. Massas d'água da região oeste do Atlântico tropical. In: HAZIN, F. H. V. (Org.). **Meteorologia e Sensoriamento Remoto, Oceanografia Física, Oceanografia Química e Oceanografia Geológica. Programa REVIZEE - Score Nordeste**. Fortaleza: Martins & Cordeiro, 2009. p. 56-69.
- MELLARD, J.P.; YOSHIYAMA, K.; LITCHMAN, E.; KLAUSMEIER, C.A. The vertical distribution of phytoplankton in stratified water columns. **Journal of Theoretical Biology**, 269: 16–30. 2011
- MERZOUK, A.; LEVASSEUR, M.; SCARRATT, M.; MICHAUD, S.; GOSSELIN, M. Influence of dinoflagellate diurnal vertical migrations on dimethylsulfoniopropionate and dimethylsulfide distribution and dynamics (St. Lawrence Estuary, Canada). **Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences**, 61(5): 712-720, 2004.
- MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Resumo executivo e Plano de Manejo: APA Fernando de Noronha – Rocas – São Pedro e São Paulo**. 2005. Disponível em <<http://www.icmbio.gov.br>>
- MOLINE, M.A.; BENOIT-BIRD, K.J.; ROBBINS, I.C.; SCHROTH-MILLER, M.; WALUK, C.H.; ZELENKE, B. Integrated measurements of acoustical and optical thin layers II: Horizontal length scales. **Continental Shelf Research**, 30: 29-38. 2010
- MONTEIRO, J. J. F.; ESKINAZI-LEÇA, E.; KOENING, M. L.; MACEDO, S. J. Distribution and annual variation of *Trichodesmium thiebautii* Gomont ex Gomont

- (Oscillatoriales - Cyanophyta) in tropical waters of northeastern Brazil (Western Atlantic). **Tropical Oceanography**, 40(2), 319-326. 2012
- MOORE, S. K.; TRAINER, V. L.; MANTUA, N. J.; PARKER, M. S.; LAWS, E. A.; BACKER, L. C.; FLEMING, L. E. Impacts of climate variability and future climate change on harmful algal blooms and human health. **Environmental Health**, v. 7, n. 2, p. 1-12, 2008.
- MOSER, G. A. O.; TAKANOHASHI, R. A.; BRAZ, M. C.; LIMA, D. T.; KIRSTEN, F. V.; GUERRA, J. V.; FERNANDES, A. M. & POLLERY, R. C. G. Phytoplankton spatial distribution on the Continental Shelf off Rio de Janeiro, from Paraíba do Sul River to Cabo Frio. **Hydrobiologia**, 728:1–21. 2014
- MURICY, G.; MORAES, F. C. Marine sponges of Pernambuco State, NE Brazil. **Revista Brasileira de Oceanografia**, 46(2): 213-217. 1998
- NEWELL, G.H.; NEWELL, R. **Marine Plankton: a practical guide**. London, Hutchinson Educat. 1963
- NOGUEIRA, E.M.S., SASSI, R.; CORDEIRO, T.A. Community structure of Tintinnina near the Atol das Rocas Island (Rio Grande do Norte) and Fernando de Noronha Archipelago (Pernambuco). **Biota Neotropica**, 8(3): 135-140. 2008
- OKOLODKOV, Y.B. Armoured dinoflagellates from the Norwegian, Greenland and Barents seas collected in the cruise of the RV "Oceania" in August 1992. **Polish Polar Research**, 14(4), 321-330. 1993
- PARTENSKY, F.; BLANCHOT, J.; LANTOINE, F.; NEVEUXS, J.; MARIE, D. Vertical structure of picophytoplankton at different trophic sites of the tropical northeastern Atlantic Ocean. **Deep-Sea Research I**. 43(8): 1191-1213. 1996
- PATENSKY, F.; BLANCHOT, J.; VAULOT, D. Differential distribution and ecology of Prochlorococcus and Synechococcus in oceanic waters: a review. **Bulletin del Institut océanographique**. 19: pp. 457-475. 1999
- PASSAVANTE, J. Z. O. Contribuição ao estudo dos dinoflagelados da Plataforma Continental de Pernambuco-Brasil. **Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco**, 14:31-54. 1979

- PFIESTER L. & ANDERSON D.M. **Dinoflagellate reproduction**. In: TAYLOR, F. J. R. (Ed.). *Biology of dinoflagellates*. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1987. p. 611 - 648.
- PIELOU, E. C. 1967. **Mathematical Ecology**. Wiley, New York.
- PITCHER, G. C.; BROWN, P. C.; MITCHELL-INNES, B. F. Spatio-temporal variability of phytoplankton in the southern Benguela upwelling system. **African Journal of Marine Science**. 12: 439-456, 1992.
- 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**, v. 42, n. 2, p. 131-144, 2014.
- QUEIROZ, A. R.; FLORES-MONTES, M. J.; MELO, P. A.; SILVA, R.; KOENING, M. L. Vertical and horizontal distribution of phytoplankton around an oceanic archipelago of the Equatorial Atlantic. **Marine Biodiversity Records**, 8: 1-13. 2015
- RABITTI, S.; BIANCHI, F.; BOLDRIN, A.; DAROS, L.; SOCAL, G.; TOTTI, C. Particulate matter and phytoplankton in the Ionian Sea. **Oceanologica Acta**, 17(3), 297-307. 1994.
- REGUERA, B.; GONZÁLEZ-GIL, S. Small cell and intermediate cell formation in *Dinophysis* (Dinophyceae, Dinophysiales). **Journal of Phycology**, v. 37, p.318-333, 2001.
- REGUERA, B.; GARCÉS, E.; BRAVO, I.; PAZOS, Y.; RAMILO, I. In situ division rates of several species of *Dinophysis* estimated by a postmitotic index. **Marine Ecology Progress Series**, v. 249, p.117–131, 2003.
- REGUERA, B.; GONZALEZ-GIL, S. *Dinophysis diegensis* a life history stage of *Dinophysis caudata* (Dinophyceae, Dinophysiales). **Journal of Phycology**, v. 43, p. 1083-1093, 2007.
- REYNOLDS, C.S. What factors influence the species composition of phytoplankton in lakes of different trophic status?. **Hydrobiologia**, 369/370: 11–26, 1998
- REYNOLDS, C.S. **Ecology of phytoplankton**. Cambridge: Cambridge University Press, 2006.

REZENDE, C. E.; ANDRADE, L. SUZUKI, M. S.; FARO, B. C. M. T.; GONZALEZ, A. S. M.; PARANHOS, R. Hidroquímica. In: VALENTIN, J. L. (Ed.). **Características hidrobiológicas da região central da Zona Econômica Exclusiva brasileira (Salvador, BA, ao Cabo de São Tomé, RJ)**. Brasília: Ideal Gráfica e Editora. P. 31 -60 (Série Documentos REVIZEE-SCORE Central) 2007.

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**, 11(2): 156-172. 1952

RINES, J. E. B.; DONAGHAY, P. L.; DEKSHENIEKS, M. M.; SULLIVAN, J. M.; TWARDOWSKI, M. S. Thin layers and camouflage: hidden Pseudo-nitzschia spp. (Bacillariophyceae) populations in a fjord in the San Juan Islands, Washington, USA. **Marine Ecology Progress Series**, 225: 123–137. 2002

ROBIN, R.S.; VISHNU-VARDHAN, K.; MUDULI, P.R.; RAJKUMAR, J.S.I.; PALANISAMI, S. Vertical distribution of biological characteristics and phytoplankton community structure in the shelf waters off southwest coast of India. **International Journal of Current Research**, 8: 16-34, 2010.

RYABOV, A.B; RUDOLF, L.; BLASIUS, B. Vertical distribution and composition of phytoplankton under the influence of an upper mixed layer. **Journal of Theoretical Biology**, 263: 120–133. 2010

SHANNON, C. E. 1948. A mathematical theory of communication. **Bulletin of System Technology Journal** 27: 379-423.

SILVA-CUNHA, M. G. G.; ESKINAZI-LEÇA, E.; ALMEIDA, C. D. P. Estrutura e distribuição do microfitoplâncton na região compreendida entre o Amapá e Paraíba (operação Norte-Nordeste II). In: Anais IV Encontro Brasileiro de Plâncton, Recife: Sociedade Brasileira de Plâncton, p. 9-33. 1991

SOUZA C.S., BARREIRO A.S., MAFALDA-JR P. Padrões espaciais e temporais de larvas de Scaridae (Pisces: Perciformes) no nordeste do Brasil e suas relações com os fatores oceanográficos. **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, 14(2), 1-11. 2010

STATSOFT. **Statistica**: data analysis software system. 2004

- STEIDINGER K.A., TANGEN K. Dinoflagellates. In: TOMAS, C.R. **Identifying Marine Phytoplankton**. San Diego, Academic Press. p. 387-589. 1997.
- STRICKLAND, J. D. H., PARSONS, T. R. 1972. A practical handbook of sea water analysis. **Bull. Fish. Res. Board Can.**, 167: 1-311.
- STRICKLAND, J. D. H.; PARSONS, T. R. Discussion of spectrophotometric determination of marine plankton pigments, with revised equations of ascertaining chlorophyll and carotenoids. **Journal of Marine Research**, 21(3): 155-163, 1963.
- STRIEBEL, M.; PTACNIK, R.; STIBOR, H.; BEHL, S.; BERNINGER, U.; HAUPT, F.; HINGSAMER, P.; MANGOLD, C.; PTACNIKOVA, R.; STEINBÖCK, M.; STOCKENREITER, M.; WICKHAM, S.; WOLLRAB, S. Water column stratification, phytoplankton diversity and consequences for resource use and productivity. **Proceedings of the HYDRALAB III Joint User Meeting**, 2010.
- 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 Abrolhos Bank region, Brazil. *Continental Shelf Research*, 70, 88-96. 2013
- SUSINI-RIBEIRO, S. M. M. Biomass distribution of pico-, nano- and microplankton on the continental shelf of Abrolhos, East Brazil. **Archive of Fishery and Marine Research**. 47 (2/3). 271-284, 1999.
- SVENDSEN, H. Physical oceanography and marine ecosystems: some illustrative examples. **Scientia Marina**, 61(1): 93-108. 1997
- TAYLOR, F. J. R. Topography of cell division in the structurally complex dinoflagellate genus *Ornithocercus*. **Journal of Phycology**, v. 9, p. 1-10, 1973.
- TEIXEIRA W., CORDANI U., MENOR E.A. Caminhos do Tempo Geológico. In: R. LINSKER (ed.). **Arquipélago de Fernando de Noronha o Paraíso do Vulcão**. São Paulo, Terra Virgem Editora. Pp. 26-63. 2003
- TEIXEIRA, R. M.; BARBOSA, J. S. P.; LÓPEZ, M. S.; FERREIRA-SILVA, M. A. G.; COUTINHO, R.; VILLAÇA, R. C. Bioinvasão marinha: os bivalves exóticos de substrato consolidado e suas interações com a comunidade receptora. **Oecologia Australis**, v. 14, n. 2, p. 381-402, 2010.

- TENENBAUM D.R. Dinoflagelados e Tintínídeos da região central da Zona Econômica exclusiva brasileira: guia de identificação. Org. Denise R. Tenenbaum – Rio de Janeiro: Museu Nacional, 288p. 2006.
- TER BRAAK, C.J.F.; P. SMILAUER. 2002. **Canoco Reference Manual and CanoDraw for Windows Users guide**: Software for Canonical Community Ordination (version 4.5). Microcomputer Power, Ithaca, New York.
- THRONDSSEN, J. **Preservation and storage**. In: Sournia, A. (Ed.). *Phytoplankton Manual*. New York: UNESCO, 1978. p. 69 - 74.
- TIBURCIO, A. S. X. S., KOENING, M. L., MACÊDO, S. J.; MELO, P. A. M. C. A comunidade microfítolancônica do Arquipélago de São Pedro e São Paulo (Atlântico Norte-Equatorial): variação diurna e espacial. **Biota Neotropica**, v. 11, n. 2, p. 1-13, 2011.
- TRAVASSOS, P.; HAZIN, F. H. V.; ZAGAGLIA, J. R.; ADVÍNCULA, R.; SCHOBBER, J. Thermohaline structure around seamounts and islands off North-Eastern Brazil. **Archives of Fisheries and Marine Research**. 47(2/3): 211-222. 1999
- UNESCO. **A contribuição especial da Comissão Oceanográfica Intergovernamental para o desenvolvimento sustentável**. 2011. Disponível em:<<http://www.unesco.org>>. Acesso em: 28 de julho de 2014.
- UNESCO. **Determination of photosynthetic pigments in sea waters**. Report of SCOR/UNESCO working group 17 with meat from 4 to 6 june 1964, Paris. 1966. 69 p. (Monographys on Oceanology Methodology).
- VALENTIN, J. L. Consequências das mudanças climáticas para o plâncton do Atlântico Sul. In: REUNIÃO ANUAL DA SBPC, 58, 2006, Florianópolis. **Anais eletrônicos...** São Paulo: SBPC/UFSC, 2006. p.1-5.
- VELO-SUÁREZ, L.; REGUERA, B.; GARCÉS, E.; WYATT, T. Vertical distribution of division rates in coastal dinoflagellate *Dinophysis* spp. populations: implications for modelling. **Marine Ecology Progress Series**, v. 385, p. 87–96, 2009.
- VENRICK E.L. Phytoplankton species structure in the central North Pacific, 1973-1996: variability and persistence. *Journal of Plankton Research*, 21(6), 1029-1042. 1999
- VIANNA; SANQUETTA. Mudanças climáticas e o fitoplâncton marinho: uma revisão. **Enciclopédia Biosfera**, v.8, n.15, p. 1883-1901, 2012.

VILLAC, M. C.; LOPES, R. M.; RIVERA, I. N. G.; BASSANELO, R. T.; CUNHA, D. R.; MARTINELLI-FILHO, J. E.; SANTOS, D. B. Plâncton. In: LOPES, R. M. (Ed.).

Informe sobre as espécies exóticas invasoras marinhas no Brasil. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2009. p. 39-106.

WALKER, L. M. **Life histories, dispersal and survival in marine, planktonic dinoflagellates.** In: STEIDINGER, K. A.; WALKER, L. M. (Ed.). Marine Plankton Life Cycle Strategies. Florida: CRC press, 1984. p. 19 - 34.

ZAR, J. H. 1996. **Biostatistical analysis.** Prentice Hall, New Jersey

ZEHR, J. P.; KUDELA, R. M. Photosynthesis in the Open Ocean. **Science.** 326: 945-946. 2009.

APÊNDICE I. Lista de espécies que estiveram presentes no arquipélago de Fernando de Noronha, durante as amostragens realizadas nos anos de 2010 e 2012, de acordo com a metodologia aplicada (arrasto de rede de plâncton e garrafa de Niskin). (X) = ocorrência.

	Rede		Garrafa			Rede		Garrafa	
	2010	2012	2010	2012		2010	2012	2010	2012
Cyanobacteria					<i>Surirella sp.</i>				
<i>Lyngbya sp.</i>	X		X	X		X	X		X
<i>Planktolynghya sp.</i>	X				Miozoa/Dinophyceae				
<i>Richelia intracellularis</i>	X				<i>Amphisolenia bidentata</i>	X		X	X
<i>Synechococcus sp.</i>	X				<i>Ceratium contortum</i>	X			
<i>Trichodesmium erythraeum</i>	X	X	X	X	<i>Ceratium declinatum</i>	X	X	X	X
<i>Trichodesmium thiebautii</i>	X	X			<i>Ceratium extensum</i>	X			
Bacillariophyta					<i>Ceratium falcatifforme</i>	X			
<i>Achnanthes sp.</i>	X	X			<i>Ceratium fusus</i>	X	X	X	X
<i>Actinocyclus kützingii</i>	X				<i>Ceratium gibberum</i>	X		X	X
<i>Amphora sp.</i>	X	X			<i>Ceratium longirostrum</i>	X			
<i>Asterionellopsis glacialis</i>	X				<i>Ceratium macroceros</i>	X	X		X
<i>Asteromphalus arachne</i>		X			<i>Ceratium massiliense</i>	X	X		
<i>Campilodiscus sp.</i>	X				<i>Ceratium pentagonum</i>	X	X	X	X
<i>Chaetoceros coarctatus</i>	X	X			<i>Ceratium reflexum</i>	X			
<i>Chaetoceros peruvianus</i>	X				<i>Ceratium setaceum</i>			X	X
<i>Coscinodiscus granii</i>	X		X	X	<i>Ceratium teres</i>	X	X	X	X
<i>Diploneis incurvata</i>		X			<i>Ceratium tripos</i>	X			
<i>Fragilariopsis doliolus</i>	X				<i>Ceratium vultur</i>	X			
<i>Frustulia rhomboides</i>	X	X			<i>Ceratocorys horrida</i>	X		X	X
<i>Lampriscus orbiculatum</i>	X	X			<i>Corythodinium constrictum</i>		X	X	X
<i>Licmophora remulus</i>	X		X	X	<i>Dinophysis dubia</i>		X		
<i>Melchersiella hexagonalis</i>	X	X			<i>Dinophysis exigua</i>	X	X	X	X
<i>Navicula marina</i>	X				<i>Dinophysis hastata</i>				X
<i>Navicula sp1</i>	X		X	X	<i>Dinophysis ovata</i>			X	X
<i>Navicula sp2</i>	X				<i>Dinophysis pusilla</i>		X		X
<i>Navicula sp3</i>	X				<i>Dinophysis schuetti</i>		X		X
<i>Petroneis humerosa</i>	X				<i>Dinophysis sp1</i>	X	X	X	X
<i>Planktoniella sol</i>	X	X	X	X	<i>Dinophysis sp2</i>			X	X
<i>Pleurosigma sp.</i>	X				<i>Goniodoma polyedricum</i>		X	X	X
<i>Podocystis adriatica</i>	X	X			<i>Gonyaulax gracilis</i>		X	X	X
<i>Podocystis sp.</i>	X	X			<i>Gonyaulax sp1</i>	X	X	X	X
<i>Proboscia alata</i>	X				<i>Gonyaulax sp2</i>	X	X		
<i>Rhabdonema adriaticum</i>	X				<i>Gonyaulax spinifera</i>	X	X		X
<i>Rhizosolenia bergonii</i>	X				<i>Gymnodinium sp1</i>	X	X		X
<i>Rhizosolenia calcaravis</i>	X				<i>Gymnodinium sp2</i>				X
<i>Rhizosolenia hebetata</i>	X				<i>Histioneis crateriformis</i>			X	X
<i>Rhizosolenia imbricata</i>	X				<i>Histioneis hialina</i>			X	X
<i>Rhizosolenia styliformes</i>	X				<i>Histioneis megalocopa</i>	X			
<i>Surirella fastuosa</i>		X			<i>Histioneis mitchellana</i>	X			

	Rede		Garrafa	
	2010	2012	2010	2012
<i>Histioneis sp.</i>			X	X
<i>Lingulodinium polyedra</i>	X	X	X	X
<i>Ornithocercus magnificus</i>	X	X	X	X
<i>Ornithocercus quadratus</i>	X	X	X	X
<i>Ornithocercus thumii</i>	X			
<i>Oxytoxum curvatum</i>			X	X
<i>Oxytoxum gigas</i>	X			
<i>Oxytoxum gracile</i>	X		X	X
<i>Oxytoxum laticeps</i>	X	X	X	X
<i>Oxytoxum milneri</i>	X		X	X
<i>Oxytoxum obliquum</i>			X	X
<i>Oxytoxum sceptrum</i>			X	X
<i>Oxytoxum scolopax</i>	X		X	X
<i>Oxytoxum tessellatum</i>	X	X	X	X
<i>Phalachroma circumcinctum</i>			X	X
<i>Phalachroma cuneus</i>		X		X
<i>Phalachroma mitra</i>			X	X
<i>Phalachroma rapa</i>	X			
<i>Phalacroma rotundatum</i>	X	X		X
<i>Phalacroma scrobiculatum</i>			X	

	Rede		Garrafa	
	2010	2012	2010	2012
<i>Podolampas palmipes</i>	X	X	X	X
<i>Prorocentrum balticum</i>	X	X	X	X
<i>Prorocentrum compressum</i>		X		
<i>Prorocentrum gracile</i>	X	X	X	X
<i>Prorocentrum hoffmannianum</i>				X
<i>Prorocentrum rostratum</i>				X
<i>Prorocentrum sp1</i>	X		X	X
<i>Prorocentrum sp2</i>			X	X
<i>Protoperidinium brochii</i>		X		
<i>Protoperidinium cassum</i>	X	X	X	X
<i>Protoperidinium divergens</i>	X	X	X	X
<i>Protoperidinium longipes</i>			X	X
<i>Protoperidinium obtusum</i>	X		X	X
<i>Protoperidinium sp1</i>			X	X
<i>Protoperidinium sp2</i>		X	X	X
<i>Pyrocystis noctiluca</i>	X			
<i>Pyrocystis robusta</i>	X		X	X
Ochrophyta/ Dictyochophyceae				
<i>Dictyocha fibula</i>	X	X		