



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



Nayana Buarque Antão da Silva

**DIFERENTES CLASSES DE TAMANHO DAS CÉLULAS DA COMUNIDADE
FITOPLANCTÔNICA AO LONGO DE UM GRADIENTE TRÓFICO EM
ECOSSISTEMA COSTEIRO**

Recife

2017

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

Nayana Buarque Antão da Silva

**DIFERENTES CLASSES DE TAMANHO DAS CÉLULAS DA COMUNIDADE
FITOPLANCTÔNICA AO LONGO DE UM GRADIENTE TRÓFICO EM
ECOSSISTEMA COSTEIRO**

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

Área de concentração: Oceanografia Biológica.

Orientadora: Profa. Dra. Maria da Glória Gonçalves da Silva Cunha
Coorientador: Prof. Dr. Manuel de Jesus Flores Montes

Recife

2017

S586d Silva, Nayana Buarque Antão da.
Diferentes classes de tamanho das células da comunidade fitoplanctônica
ao longo de um gradiente trófico em Ecossistema costeiro / Nayana Buarque Antão
da Silva - 2017.
48 folhas. Il., e Tabs.

Orientadora: Profa. Dra. Maria da Glória Gonçalves da Silva Cunha.
Coorientador. Prof. Dr. Manuel de Jesus Flores Montes.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG.
Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, 2017.
Inclui Referências e Apêndices.

1. Oceanografia. 2. Clorofila a. 3. Densidade. 4. Estuário. 5. Fitoplâncton.
6. Nutrientes. I. Cunha, Maria da Glória Gonçalves da Silva (Orientadora).
II. Montes, Manuel de Jesus Flores (Coorientador). III. Título.

UFPE

551.46 CDD (22. ed.)

BCTG/2017 - 94

**DIFERENTES CLASSES DE TAMANHO DAS CÉLULAS DA COMUNIDADE
FITOPLANCTÔNICA AO LONGO DE UM GRADIENTE TRÓFICO EM
ECOSSISTEMA COSTEIRO**

Nayana Buarque Antão da Silva

Dissertação submetida ao curso de Pós-Graduação em Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do Grau de Mestre.

Aprovada em: 09/02/2017

Banca Examinadora:

Profa. Dra. Maria da Glória Gonçalves da Silva Cunha (Orientadora) – Presidente
(Departamento de Oceanografia - UFPE)

Prof. Dr. José Zanon de Oliveira Passavante – Titular interno
(Departamento de Oceanografia - UFPE)

Profa. Dra. Enide Eskinazi Leça – Titular externo
(Departamento de Botânica - UFRPE)

Prof. Dr. Fernando Antônio do Nascimento Feitosa – Suplente interno
(Departamento de Oceanografia - UFPE)

Prof. Dr. Marcos Honorato da Silva – Suplente externo
(Colégio de Aplicação - UFPE)

Dedico à minha mãe e à minha família.

AGRADECIMENTOS

Ao Departamento de Oceanografia, sob chefia do Prof. Dr. Alex Costa da Silva, e ao Programa de Pós-graduação em Oceanografia, na pessoa dos coordenadores Profª Drª. Tereza Cristina Medeiros de Araújo e Prof. Dr. Jesser Fidelis Souza Filho, por propiciar suporte estrutural e técnico, permitindo a utilização de todas as suas dependências.

Aos CNPq e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de mestrado.

Aos membros da banca Prof. Dr. Zanon Passavante, Profª Drª. Enide Eskinazi Leça, Prof. Dr. Fernando Feitosa e Prof. Dr. Marcos Honorato, pelas críticas e sugestões.

À minha orientadora, Profª Drª. Maria da Glória Gonçalves da Silva Cunha pelo incentivo, apoio, confiança, paciência e amizade que ultrapassou a sala de aula e o ambiente de trabalho.

Ao meu co-orientador Prof. Dr. Manuel de Jesus Flores Montes pelos ensinamentos, amizade e apoio durante a execução do trabalho.

A todos os professores do Departamento de Oceanografia, em especial aos que fazem parte do Laboratório de Fitoplâncton (Dra. Maria da Glória Gonçalves da Silva Cunha, Dr. Fernando Antônio do Nascimento Feitosa e Dr. Pedro Augusto Mendes de Castro Melo) pelos momentos de convivência, conhecimento e amizade.

Aos funcionários do DOCEAN sempre dispostos a ajudar, em especial à Myrna pela disponibilidade e atenção e à dona Edileuza, pela sua simpatia, atenção e cuidado com todos os alunos.

Aos meus amigos do Laboratório de Fitoplâncton, Amanda, Eveline, Isis, Laísa, Leandro, Marcos, Nane, Nize e Marcella pela amizade, aprendizado e momentos de diversão. Principalmente à Nane, Amanda e Marcella pelo apoio durante a execução deste trabalho.

Aos amigos do Laboratório de Química do Departamento de Oceanografia, pelo suporte durante as análises das amostras dos parâmetros abióticos.

Em especial ao técnico, Zinaldo pelo apoio durante as coletas.

Às minhas amigas Amanda, Isis e Marcella, pela amizade sincera, carinho e momentos de descontração.

À minha família pelo amor incondicional e apoio nessa jornada que está apenas começando.

A Deus por iluminar a minha vida e pela oportunidade de aprender a cada dia.

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo avaliar a variação quantitativa e o tamanho das células do fitoplâncton em decorrência da ação dos fatores ambientais, no sistema estuarino da Região Metropolitana do Recife (Nordeste do Brasil). As coletas foram executadas na baixa-mar, durante o período chuvoso (março, julho e agosto/2015) e período de estiagem (setembro, novembro e dezembro/2015), em três pontos fixos P1 (plataforma adjacente ao Porto do Recife), P2 (estuário do rio Capibaribe) e P3 (em frente ao Marco Zero do Recife). A temperatura da água foi medida *in situ*. As amostras para análise dos parâmetros ambientais e biológicos foram coletadas na superfície, com auxílio de garrafa oceanográfica (Kitahara), e acondicionadas em garrafas plásticas (1L), sendo as amostras para análise da densidade fixadas com solução de Lugol (2%). A temperatura, salinidade, fosfato e amônia apresentaram variação sazonal significativa, com valores mais altos durante o período de estiagem. A clorofila *a* total variou de 4,76 a 79,69 mg.m³ e a clorofila *a* fracionada de 1,28 a 28,35 mg.m³. A densidade celular variou de 172 x 10³ a 8,1 x 10⁶ cel.L⁻¹. Os maiores valores de densidade e clorofila *a* foram registrados durante o período de estiagem. A comunidade fitoplanctônica esteve mais bem representada pela fração <20 µm (nanofitoplâncton), com destaque para as cianobacterias, que apresentaram o maior número de células por litro. A biomassa fracionada (pico-nanofitoplâncton) contribuiu com 47% da biomassa total, representando 65% no ponto 1, 55% no ponto 3 e 38% no ponto 2. *Thalassiosira* sp₁, *Melosira* sp. e *Chroococcus* sp. foram as espécies dominantes. A maior variação das células ocorreu nas cianobacterias e diatomáceas, que dominaram na área e foram favorecidas pelo aumento de amônia e fosfato durante o período de estiagem. Os altos valores de clorofila *a* demonstraram que o ambiente encontra-se hipereutrofizado em consequência da grande urbanização da área e do lançamento de efluentes domésticos. Assim, pode-se concluir que a salinidade e os nutrientes interferem na quantidade e no tamanho das células da comunidade fitoplanctônica, levando a um selecionamento de espécies e ao domínio da fração <20 µm, e que a dominância da fração >20 µm no ponto de menor influência marinha (P2) foi atribuída ao fato das células maiores estarem armazenando maior quantidade de clorofila *a*.

Palavras-chave: Clorofila *a*. Densidade. Estuário. Fitoplâncton. Nutrientes.

ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the quantitative variation and size of phytoplankton cells due to the action of environmental factors in the estuarine system of the Metropolitan Region of Recife (Northeast Brazil). The collections were performed at low tide, during the rainy season (March, July and August/2015) and dry season (September, November and December/2015), at three fixed points, P1 (platform adjacent to the Port of Recife), P2 (estuary of the Capibaribe river) and P3 (in front of the Marco Zero of Recife). The water temperature was measured *in situ*. The samples for analysis of environmental and biological parameters were collected on the surface with the aid of an oceanographic bottle (Kitahara) and conditioned in plastic bottles (1L), being the samples for density analysis fixed with Lugol's solution (2%). The temperature, salinity, phosphate and ammonia showed a significant seasonal variation, with higher values during the dry season. The total chlorophyll varied from 4.76 to 79.69 mg.m³ and the fractionated chlorophyll from 1.28 to 28.35 mg.m³. Cell density ranged from 172 x 10³ to 8.1 x 10⁶ cel.L⁻¹. The highest values of density and chlorophyll a were registered during the dry season. The phytoplankton community was better represented by the fraction <20 µm (nano-phytoplankton), with emphasis on cyanobacteria, which presented the highest number of cells per liter. Fractionated biomass (pico-nanophytoplankton) contributed 47% of the total biomass, representing 65% in point 1, 55% in point 3 and 38% in point 2. *Thalassiosira* sp₁, *Melosira* sp. and *Chroococcus* sp. were the dominant species. The greatest variation of the cells occurred in the cyanobacteria and diatoms, which dominated the area and were favored by the increase of ammonia and phosphate during the dry season. The high values of chlorophyll a have shown that the environment is hypereutrofizado as a consequence of the great urbanization of the area and the release of domestic effluents. Thus, it can be concluded that salinity and nutrients interfere in the quantity and size of the phytoplankton community cells, leading to a selection of species and to the domain of the fraction <20 µm, and that the dominance of the fraction >20 µm at the point of smaller marine influence (P2) was attributed to the fact of the larger cells are storing more chlorophyll a.

Keywords: Chlorophyll a. Density. Estuary. Phytoplankton. Nutrients.

LISTA DE FIGURAS

Introdução geral

Figura 1- Área de estudo com os pontos de coleta no sistema estuarino da cidade do Recife, Nordeste do Brasil (P1 = Ponto 1; P2 = Ponto 2; P3 = Ponto 3).....19

Capítulo 1: Variação no tamanho das células do fitoplâncton em um sistema estuarino tropical (Nordeste, Brasil).

Figura 1 - Área de estudo com os pontos de coletas no sistema estuarino da cidade do Recife, Nordeste do Brasil (P1 = Ponto 1; P2 = Ponto 2; P3 = Ponto 3).....29

Figura 2 - Pluviometria do ano de coleta (2015) e dos 22 anos anteriores (1992-2014) para região estudada.....31

Figura 3 - Variação sazonal e espacial dos parâmetros ambientais analisados no sistema estuarino da cidade do Recife, Nordeste do Brasil: (A) Temperatura; (B) Salinidade; (C) pH; (D) MPS.....32

Figura 4 - Variação sazonal e espacial dos sais nutrientes analisados no sistema estuarino da cidade do Recife, Nordeste do Brasil: (A) Nitrito; (B) Nitrato; (C) Fosfato; (D) Silicato e (E) Amônia.....33

Figura 5 - Variação sazonal e espacial da Clorofila *a* (mg.m^3), Diversidade (H'), Equitabilidade (J') e Densidade total (Cel. L^{-1}) no sistema estuarino da cidade do Recife, Nordeste do Brasil: (A) Clorofila *a* total; (B) Clorofila *a* fracionada; (C) Diversidade; (D) Equitabilidade e (E) Densidade total (Cel. L^{-1}).....35

LISTA DE TABELAS

Capítulo 1: Variação no tamanho das células do fitoplâncton em um sistema estuarino tropical (Nordeste, Brasil).

- Tabela 1** - Valores e medianas de temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$), salinidade, fosfato (PO_4 ; $\mu\text{mol/L}^{-1}$), silicato (SiO_2 ; $\mu\text{mol/L}^{-1}$), nitrito (NO_2 ; $\mu\text{mol/L}^{-1}$), nitrato (NO_3 ; $\mu\text{mol/L}^{-1}$), amônia (NH_3 ; $\mu\text{mol/L}^{-1}$), pH e material particulado em suspensão (MPS; mg.L^{-1}) no sistema estuarino da cidade do Recife, Nordeste do Brasil).....33
- Tabela 2** - Táxons identificados no sistema estuarino da cidade do Recife, Nordeste do Brasil.....36
- Tabela 3** - Variação do tamanho (μm) com as medianas das espécies mais frequentes e dominantes no sistema estuarino da cidade do Recife, Nordeste do Brasil.....37
- Tabela 4** - Coeficiente de correlação de Spearman entre a biomassa fitoplanctônica e os parâmetros ambientais no sistema estuarino da cidade do Recife, Nordeste do Brasil. n.s = não significativo; * $P < 0,05$38
- Tabela 5** - Coeficiente de correlação de Spearman entre as classes de tamanho do fitoplâncton e os parâmetros ambientais no sistema estuarino da cidade do Recife, Nordeste do Brasil. n.s = não significativo; * $P < 0,05$38
- Tabela 6** - Coeficiente de correlação de Spearman entre o tamanho das células das espécies mais frequentes e os parâmetros ambientais no sistema estuarino da cidade do Recife, Nordeste do Brasil. n.s = não significativo; * $P < 0,05$39

LISTA DE APÊNDICES

- Apêndice A** - Variação sazonal e espacial dos parâmetros hidrológicos no sistema estuarino da cidade do Recife, Nordeste do Brasil.....46
- Apêndice B** - Variação sazonal e espacial da biomassa fitoplanctônica (mg.m^{-3}) no sistema estuarino da cidade do Recife, Nordeste do Brasil.....46
- Apêndice C** - Variações do tamanho das células (μm) da comunidade fitoplanctônica durante o período chuvoso, no sistema estuarino da cidade do Recife, Nordeste do Brasil.....47
- Apêndice D** - Variações do tamanho das células (μm) da comunidade fitoplanctônica durante o período de estiagem, no sistema estuarino da cidade do Recife, Nordeste do Brasil.....48

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	12
2. OBJETIVOS	16
2.1 Objetivo geral	16
2.2 Objetivos específicos	16
3. MATERIAL E MÉTODOS	17
3.1 Área de estudo	17
3.2 Atividades de campo	18
3.3 Atividades de laboratório	19
REFERÊNCIAS	22
4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	26
CAPÍTULO 1: Variação no tamanho das células do fitoplâncton em um sistema estuarino tropical (Nordeste, Brasil).	
Resumo	27
Abstract	27
Introdução	28
Material e métodos	29
Descrição da área.....	29
Amostragem de campo	29
Amostras e análise dos dados	30
Análise estatística.....	30
Resultados	31
Parâmetros ambientais.....	31
Parâmetros biológicos.....	33
Análise de correlação.....	37
Discussão	39
Conclusão	41
Referências	41
APÊNDICE A	47
APÊNDICE B	47
APÊNDICE C	48
APÊNDICE D	49

1. INTRODUÇÃO GERAL

Os estuários formam zonas de transição entre ambientes marinhos e de água doce e caracterizam-se por uma grande variabilidade nas propriedades físicas, químicas e biológicas, sob influência do clima e das mudanças antropogênicas (PAERL et al., 2010).

Os sistemas estuarinos são os principais fornecedores de nutrientes para a região costeira, pois recebem e concentram o material originado de sua bacia de drenagem e podem vir a receber aportes significativos por ação antrópica. Todo esse aporte de nutrientes coloca os estuários entre os sistemas mais produtivos do mundo, com altas taxas de produtividade primária e teores de biomassa (PEREIRA-FILHO et al., 2001; AZEVEDO et al., 2008).

Devido à alta produtividade, esses sistemas apresentam uma grande diversidade de organismos, entre os quais está incluído o fitoplâncton, principal produtor primário e responsável pela base da teia trófica. Os organismos fitoplanctônicos possuem uma ampla distribuição geográfica, devido à grande diversidade de espécies e capacidade de tolerância aos inúmeros fatores ambientais. As variações temporais e espaciais que esses organismos sofrem indicam as alterações ocorridas nos ecossistemas, sejam elas naturais ou antrópicas (COELHO et al., 2004), evidenciando sua capacidade de bioindicadores ambientais.

Os fatores ambientais podem causar variações tanto na abundância, quanto na composição e no tamanho das espécies fitoplanctônicas. A intensa diversidade filogenética do fitoplâncton reflete-se em uma enorme variedade de características morfológicas e biológicas que fazem com que as espécies mostrem diferentes respostas à disponibilidade de recursos, estímulos ambientais, predadores e competição interespecífica (ZINGONE et al., 2011).

Estas espécies desempenham um papel central na ciclagem de carbono, nutrientes e oxigênio nos estuários, devido ao curto espaço de tempo de crescimento e resposta rápida a uma ampla gama de perturbações ambientais, representando um indicador sensível e importante para a detecção de mudanças ecológicas em estuários. Modificações na estrutura e na atividade do fitoplâncton, frequentemente precedem, em longo prazo, mudanças na função do ecossistema,

incluindo alterações nos ciclos de nutrientes, teias alimentares e da pesca (PAERL et al., 2010).

A comunidade fitoplanctônica apresenta uma grande diversidade de tamanho, estando assim, classificada nas seguintes classes: picoplâncton $<2 \mu\text{m}$; nanoplâncton $\geq 2 - 20 \mu\text{m}$; micropoplâncton $\geq 20 - 200 \mu\text{m}$; macropoplâncton $>200 \mu\text{m}$ (SIEBURTH et al., 1978).

Em geral, considera-se que as comunidades dominadas por células maiores são responsáveis pela acumulação de biomassa fitoplanctônica e dominam os sistemas costeiros eutróficos, ao passo que as células pequenas são típicas de sistemas oligotróficos (SIOKOU-FRANGOU et al., 2009; SOLIĆ et al., 2010). No entanto, existem exemplos na literatura que representam exceções a esta regra, como relatado por Zingone et al. (2011), onde uma elevada biomassa fitoplanctônica foi vinculada com as células de tamanho pequeno.

Uma característica chave dos ecossistemas marinhos é o tamanho da estrutura do fitoplâncton, pois afeta a abundância e diversidade dos organismos. A abundância relativa das células, pequenas e grandes do fitoplâncton, pode influenciar os processos climáticos e os ciclos biogeoquímicos globais dos principais elementos. A maior parte da biomassa produzida pelas pequenas células, por exemplo, é prevista para ser rapidamente reciclada dentro da zona eufótica, enquanto as grandes células transportam rapidamente o carbono para o interior do oceano (MARAÑÓN, 2014).

O tamanho das células fitoplanctônicas também pode responder às mudanças ambientais, estando diretamente relacionado ao nível trófico do sistema: À medida que as células maiores apresentam menor eficiência de absorção de nutrientes devido a uma menor relação superfície/volume, elas prosperam em sistemas mais produtivos, enquanto as células menores prevalecem em condições mais oligotróficas (GUENTHER; BOZELLI, 2004; GUENTHER et al., 2008a).

Os diversos fatores naturais e antrópicos que atuam no ambiente podem causar variações quantitativas e no tamanho das células da comunidade fitoplanctônica. Essa variação no tamanho da célula tem sido reconhecida como uma ferramenta útil no entendimento de comunidades marinhas, tal como a dinâmica da teia alimentar e estudo de modelagem do ecossistema (KOCUM;

SUTCU, 2014). Em sistemas onde a produção primária é baseada no microfitoplâncton, predominam as teias alimentares mais curtas (herbívoras), enquanto que as teias alimentares mais longas (microbianas) são baseadas no piconanofitoplâncton (LEGENDRE; RASSOULZADEGAN, 1996; GUENTHER et al., 2008a, 2012).

Deste modo, fatores ambientais como salinidade e nutrientes, muitas vezes variam acentuadamente em escalas espaciais e temporais, resultando em grandes mudanças na biomassa fitoplanctônica, na composição de espécies e na produção primária. Por outro lado, a entrada de nutrientes também tem sido observada para aumentar a produtividade estuarina e levar ao desenvolvimento de florescimentos de algas (GANG et al., 2014).

Sendo assim, a medição das diversas classes de tamanho da comunidade fitoplanctônica torna-se uma ferramenta promissora para a predição da resposta dos ecossistemas pelágicos às alterações ambientais. Sendo as formas mais tradicionais e eficientes a medição da biomassa fitoplanctônica através da quantificação da clorofila *a* e da densidade dos organismos (SOURNIA, 1978).

A área estudada, está localizada em um sistema estuarino no centro da cidade do Recife, compreendendo a bacia portuária do Recife e o estuário do rio Capibaribe. A área possui um elevado grau de urbanização em seus arredores e um dos principais centros comerciais da região. Vários trabalhos já foram realizados na área para entender os efeitos dos fatores impactantes que atuam no ambiente. No estuário do rio Capibaribe, trabalhos prévios foram realizados por Ottmann e Ottmann (1959) para analisar a penetração da salinidade; Koenig et al. (1995) para avaliar a biomassa fitoplanctônica; Passavante et al. (2007), analisando o grau de eutrofização, classificaram o estuário do rio Capibaribe como hipereutrófico; Anjos et al. (2012) avaliaram a concentração de clorofila *a* e Noriega et al. (2013), analisando o transporte de nutrientes no estuário. Estes autores observaram a ocorrência de um estado eutrófico com elevada biomassa fitoplanctônica, baixa transparência da água e baixas concentrações de oxigênio.

Biovolume e biomassa em carbono foram estudados por Borges et al. (2014), os quais observaram que as cianobactérias *Oscillatoria* sp. e *Planktothrix isoethrix* (Skuja) Komárek e Komárková apresentaram-se como as principais produtoras no período chuvoso, e a diatomácea *Coscinodiscus* sp. no período de estiagem.

Estudos sobre a composição florística da área foram realizados por Aquino et al. (2014a; 2015b), confirmando uma dominância de *Planktothrix agardhii* (G.) Anagnostidis e Komárek no período chuvoso, e *Cyclotella* sp. no período de estiagem (AQUINO et al., 2015b).

Na bacia portuária do Recife, Ressurreição et al. (1996) estudando a variação sazonal da biomassa fitoplanctônica, observaram que o fator limitante para clorofila *a*, durante o período chuvoso, foi a alta concentração de material em suspensão e a diminuição na camada fótica. Santiago (2010), Santiago et al. (2010a), avaliando a dinâmica e a interação da comunidade fitoplanctônica, observaram concentrações de clorofila *a* oscilando entre 3,30 e 54,40 mg.m⁻³, com as espécies *Coscinodiscus* sp. e *Helicotheca tamesis* (Shrubsole) M. Ricard sendo características do período de estiagem e, *Oscillatoria* sp. e *Coscinodiscus centralis* Ehrenberg características do período chuvoso. Foi observada diferença sazonal na contribuição do piconanofitoplâncton, apresentando-se mais expressiva no período de estiagem (SANTIAGO, 2010). Flores-Montes et al. (2011), analisando o estado trófico, observou valores de clorofila *a* variando consideravelmente e revelando um intenso grau de eutrofização na área.

Borges et al. (2012), analisando a comunidade fitoplanctônica juntamente com as variáveis ambientais na área portuária, observaram dominância de *Plagiogramma* sp. e *Asterionellopsis glacialis* (Castracane) Round in Round. Melo et al. (2014) estudaram a variação sazonal e espacial do microfitoplâncton nas áreas costeiras adjacentes ao Porto do Recife, e observaram a ocorrência de florescimentos das cianobactérias *Planktothrix agardhii* e *Trichodesmium thiebautii* Gomont ex Gomont no período chuvoso. Os efeitos da eutrofização na biomassa fracionada e na produção foram estudados por Guenther et al. (2015), tendo sido constatada uma intensa carga de fosfato, resultando em uma elevada biomassa fitoplanctônica (clorofila *a*) com uma maior contribuição da fração <20 µm (pico-nanofitoplâncton).

Sendo assim, o presente trabalho pretende produzir mais conhecimentos sobre as variações quantitativas e gerar novos dados sobre a variação do tamanho das células fitoplanctônicas, tendo em vista ser o primeiro trabalho a utilizar essas medições, para assim, melhor compreender esses organismos e seu funcionamento dentro do ecossistema estuarino. Testando a hipótese de que a distribuição da

biomassa e da densidade celular, entre as classes de tamanho das células, diferem espacialmente e sazonalmente, em diferentes níveis de nutrientes e salinidade.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Avaliar a variação quantitativa e o tamanho das células do fitoplâncton em decorrência da ação dos fatores ambientais, no sistema estuarino do Recife, Nordeste do Brasil.

2.2. Objetivos Específicos

- Identificar, medir e quantificar os organismos fitoplanctônicos em níveis específicos e infraespecíficos;
- analisar a assembléia fitoplanctônica em função da abundância relativa, frequência de ocorrência, diversidade específica, equitabilidade e tamanho das células;
- determinar a variação espacial e temporal da biomassa fitoplanctônica e dos parâmetros ambientais;
- analisar a distribuição da biomassa fitoplanctônica (clorofila *a* total e fracionada) por diferentes classes de tamanho (pico-nanofitoplâncton e microfitoplâncton);
- caracterizar o ecossistema em função do grau de eutrofização;
- analisar o grau de correlação entre os parâmetros biológicos e parâmetros ambientais.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Área de estudo

O Estado de Pernambuco está situado na Região Nordeste do Brasil entre as coordenadas 07°32'00" e 08°55'30" S e 34°48'35" e 41°19'54" W. A área do Estado corresponde a 98.281 km², subdividindo-se em áreas fitogeográficas do Litoral, Mata, Agreste e Sertão, com suas características próprias. A zona litoral e mata situam-se na faixa úmida costeira e ocupa uma área de 11.776 km² (JACOMINE; CAVALCANTI; BURGOS, 1973) (MACEDO; KOENING, 1987), enquanto a extensão do litoral pernambucano está em torno de 178 km.

A área escolhida para realização do estudo é um sistema estuarino localizado no centro da cidade do Recife, estando os pontos 1 e 3 localizados na bacia portuária do Recife conhecida também como Cais Alfredo Lisboa, situada próximo a um dos principais centros urbanos do estado de Pernambuco, na Região Metropolitana do Recife - RMR (entre os paralelos 8°02'50" e 08°04'12" latitude sul; e os meridianos 35°57'20" e 35°58'20" longitude oeste).

Possui extensão de cerca de 3.000 metros de comprimento, desde a foz do rio Beberibe ao norte, e a do rio Capibaribe e a bacia do Pina, ao Sul. Sua comunicação com o mar é feita por meio de um intermédio de uma embocadura de dimensões reduzidas e o acesso de navios ao porto do Recife se dá por um canal Sul, com 3,4 mil metros de extensão, 260 metros de largura e 10,8 metros de profundidade (SANTIAGO, 2010).

Localizado no estuário do rio Capibaribe encontra-se o ponto 2. Atravessando 43 cidades em sua bacia, o rio Capibaribe possui como principais efluentes os reservatórios de água, Tapacurá, Jucazinho, Carpina, Goitá e Poço Fundo. A área tem um elevado grau de urbanização, levando a diferentes utilizações da água, tais como a pesca intensiva, turismo, descarga de efluentes domésticos e industriais e transporte de produtos através do Porto do Recife.

Em todas as áreas de sua bacia, o rio Capibaribe, é considerado poluído e eutrófico, como confirmado pelas altas concentrações de nutrientes, coliformes termotolerantes, e indetectáveis níveis de oxigênio dissolvido (BRAYNER et al., 2003; FLORES-MONTES et al., 2011).

A região possui um clima tropical quente e úmido, classificado como Grupo A na escala de Köppen, a temperatura média anual do ar e da água está em torno de 25 °C, a umidade relativa do ar varia de 80 a 90% e a precipitação anual varia de 1760 a 2270 mm, com 80% da sua ocorrência entre abril e julho. O vento dominante é o de sudeste (ARAGÃO, 2004).

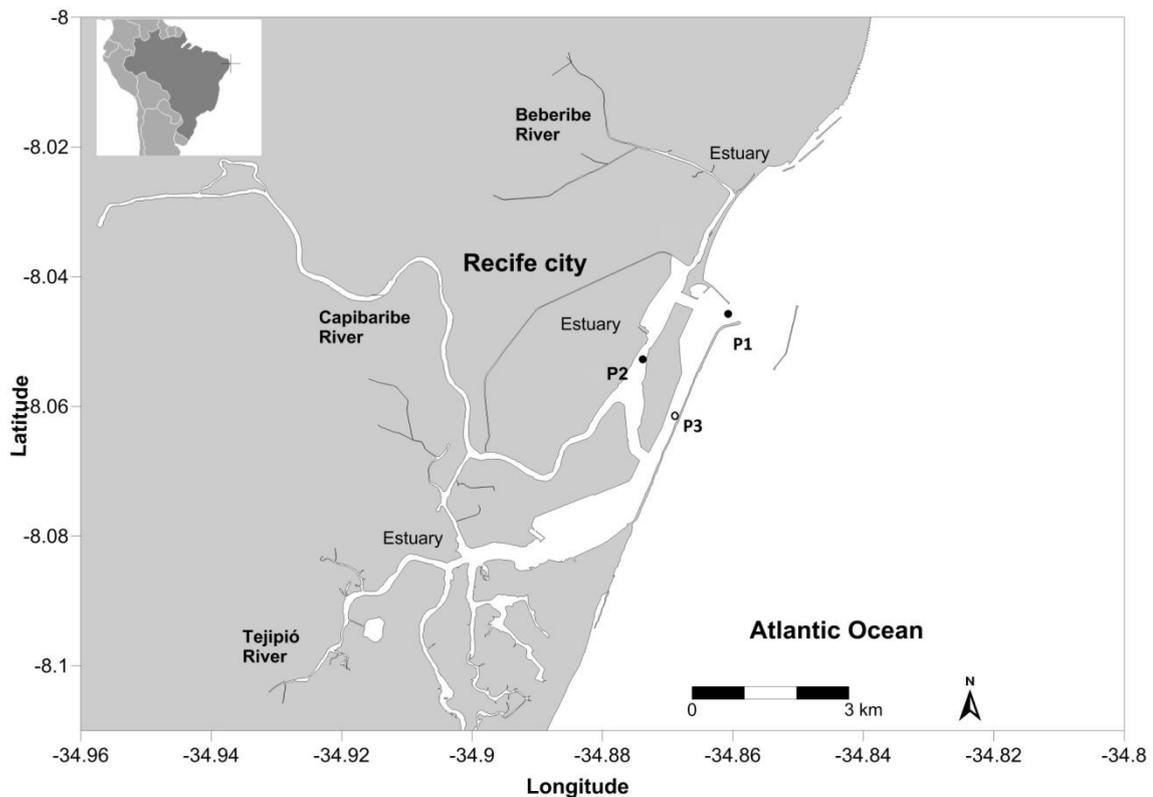
Os rios Capibaribe, Beberibe, Tejipió e a bacia Portuária compreendem um sistema estuarino no Recife que sofre forte influência antropogênica, através da ocupação desordenada das margens e pelo despejo de resíduos domésticos e industriais nos rios (SANTIAGO et al., 2010). Como consequência dessa descarga intensa e inadequada dos efluentes, o nível de poluição tem se elevado ao longo dos anos, em decorrência do aumento do desenvolvimento industrial e do crescimento da urbanização na área de estudo.

3.2. Atividades de campo

As coletas foram realizadas no regime de baixa-mar, durante o período chuvoso, nos meses de março, julho e agosto de 2015, e durante o período de estiagem nos meses de setembro, novembro e dezembro de 2015, em três pontos fixos (Figura 1).

- Ponto 1: Situado na plataforma adjacente ao Porto do Recife (8°02'46"S; 34°51'37"W);
- Ponto 2: Localizado no estuário do rio Capibaribe (8°03'15"S; 34°52'26"W);
- Ponto 3: Localizado em frente ao Marco Zero do Recife (8°03'50"S; 34°52'10"W).

Figura 1 - Área de estudo com os pontos de coleta no sistema estuarino do Recife, Nordeste do Brasil (P1 = Ponto 1; P2 = Ponto 2; P3 = Ponto 3).



Fonte: Carlos Delgado Noriega.

As amostras para análise dos parâmetros ambientais e biológicos foram coletadas na superfície, simultaneamente, com auxílio de garrafa modelo Kitahara, e acondicionadas em garrafas plásticas (1L), sendo as amostras para análise da densidade celular fixadas com solução de Lugol (2%). A medição da temperatura da água foi realizada *in situ* utilizando um termômetro comum de mercúrio. Posteriormente, o material coletado foi encaminhado ao Departamento de Oceanografia da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) para ser analisado.

3.3. Atividades Laboratoriais

Os dados de precipitação pluviométrica foram provenientes da Estação Meteorológica do Recife (PE), e disponibilizados no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

A salinidade foi determinada pelo método indireto de Morh-Knudsen, descrito por Strickland e Parsons (1972), os nutrientes, nitrito, nitrato e fosfato, foram determinados segundo Strickland e Parsons (1972) e silicato e amônia segundo Grasshoff et al. (1983). O potencial hidrogeniônico (pH) foi determinado através de um pH-metro e o material particulado em suspensão (MPS) foi determinado através do método de Baumgarten et al. (1996).

Para quantificação das células foi aplicado o método de Utermöhl (1958), que consiste na sedimentação das amostras por 24 horas em cubetas de 10 ml coradas com Rosa de Bengala. Posteriormente, as cubetas foram analisadas através de microscópio invertido (Zeiss, AXIOVERT), com aumento de 450X em técnica de transecção, padronizando-se a contagem de 2 transectos em cruz. Durante as contagens os organismos foram identificados, medidos (comprimento e diâmetro) e classificados por tamanho, sendo separados nas frações: nanofitoplâncton ($\geq 2 - 20 \mu\text{m}$) e microfitoplâncton ($\geq 20 - 200 \mu\text{m}$). No caso dos táxons formadores de colônias, foi considerado o comprimento da colônia em vez da dimensão de uma única célula. A densidade celular foi expressa em cél.L^{-1} , baseada no número de células, e a identificação dos táxons foi feita através de bibliografia especializada (BALECH, 1988; CHRETIÉNNOT-DINET et al., 1990; CUPP, 1943; PERÁGALLO; PERÁGALLO, 1897-1908; PRESCOTT, 1978; TOMAS, 1997; HOPPENRATH; ELBRÄCHTER; DREBES, 2009).

Os valores de abundância foram calculados, como recomendado por Lobo & Leighton (1986), com as espécies dominantes definidas como sendo responsáveis por mais de 50% do número total de organismos na amostra, e espécies abundantes nas quais a ocorrência é maior do que o valor médio dos indivíduos da amostra. Baseado nos cálculos de frequência de ocorrência (MATEUCCI; COLMA, 1982), as espécies foram classificadas em quatro categorias: muito frequente (com os valores acima de 70% de ocorrência), frequente (entre 40 e 70%), pouco frequente (entre 40 e 10%) e esporádica (inferior a 10%). Posteriormente, foi calculado o índice de diversidade específica para cada amostra, segundo Shannon-Weiner (SHANNON, 1948), com os dados expressos em bits.cél^{-1} (1 bit equivale a uma unidade), e a equitabilidade calculada de acordo com o recomendado por Pielou (1967). A diversidade específica e a equitabilidade foram calculadas utilizando o programa Primer 6.

As amostras para a análise da clorofila *a* total e fracionada foram submetidas a processo de filtração, passando por filtros de Milipore (0,47 µm de diâmetro e 0,45 µm de porosidade). Para o fracionamento, um determinado volume foi passado em tubo de PVC com uma tela de 20 µm, antes do processo de filtração, para separação das frações do microfitoplâncton (>20 µm) e do pico-nanofitoplâncton (<20 µm). Após a secagem, os filtros foram acondicionados no freezer onde foram mantidos até sua análise. Antes de serem analisados, os filtros foram colocados em tubos de ensaio com acetona 90% e deixados no freezer por 24 horas. Posteriormente, os tubos foram colocados na centrífuga por 10 minutos, para então ser feita a leitura no espectrofotômetro através do método descrito pela UNESCO (1966).

Para avaliar o grau de eutrofização do ambiente estudado utilizou-se a classificação de Passavante (2003), sendo os estuários classificados como: Oligotrófico ou de baixa produção fitoplanctônica (clorofila *a* entre 0 e 5 mg/m³); Mesotrófico ou de média produção fitoplanctônica (clorofila *a* entre 5 e 10 mg/m³); Eutrófico ou de alta produção fitoplanctônica (clorofila *a* entre 10 e 20 mg/m³) e Hipereutrófico ou de altíssima produção fitoplanctônica (clorofila *a* superior a 20 mg/m³).

As variações nos parâmetros ambientais e biológicos foram avaliadas em função dos fatores sazonalidade (períodos chuvoso e de estiagem) e espacialidade (P1, P2 e P3), utilizando o teste-t. Para análise da variação das células mais frequentes, foi utilizada a mediana do tamanho das espécies. A relação entre a biomassa, as classes de tamanho e o tamanho das espécies mais frequentes com os parâmetros ambientais foram testadas através da correlação de Spearman. O programa utilizado para a realização das análises estatísticas foi o Statistica 7.0, considerando para o teste, o nível de significância $p < 0,05$.

REFERÊNCIAS

- ANJOS, D.L; PASSAVANTE, J.Z.O; SILVA-CUNHA, M.G.G; HONORATO DA SILVA, M. Biomassa fitoplanctônica correlacionada aos fatores hidrológicos no estuário do rio Capibaribe (Recife, Pernambuco, Brasil). **Tropical Oceanography**, Recife, v. 40, n. 1, p. 167-184, 2012.
- AQUINO, E.P; BORGES, G.C.P; HONORATO DA SILVA, M; PASSAVANTE, J.Z.O; SILVA-CUNHA, M.G.G. Microphytoplankton community and environmental variables in na urban eutrophic estuary (Capibaribe River, Northeast Brazil). **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**, v. 9, n. 4, p. 267-277, 2014a.
- AQUINO, E.P; BORGES, G.C.P; HONORATO DA SILVA, M; PASSAVANTE, J.Z.O; SILVA-CUNHA, M.G.G. Phytoplankton in a tropical estuary, Northeast Brazil: composition and life forms. **CheckList**. São Paulo, v. 11, p. 1633-1637, 2015b.
- ARAGÃO, J.O.R. A influência dos oceanos Pacífico e Atlântico na dinâmica do tempo e do clima do Nordeste do Brasil. In: ESKINAZI-LEÇA, E; NEUMANN-LEITÃO, S; COSTA, M.F. (Org.). **Oceanografia – Um cenário tropical**. Recife: Bagaço. 2004. p. 287-317.
- AZEVEDO, A.C.G; FEITOSA, F.A.N; KOENING, M.L. Distribuição espacial e temporal da biomassa fitoplanctônica e variáveis ambientais no Golfão Maranhense, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 22, n. 3, p. 870-877, 2008.
- BALECH, E. **Los dinoflagelados del Atlantico Sudoccidental**. Madrid: Ministério de Agricultura Pesca y Alimentacion. (Publicaciones Especiales Instituto Español de Oceanografia), 1988.
- BAUMGARTEN, M.D.G.Z; BARROS ROCHA, J.M; NIENCHESKI, L.F.H. **Manual de análises em oceanografia química**, Furg. 1996.
- BORGES, G.C.P; SILVA-CUNHA, M.G.G; SANTIAGO, M.F; LIMA, J.C. Comunidade fitoplanctônica e variáveis ambientais em área portuária, Nordeste do Brasil. **Tropical Oceanography**, Recife, v. 40, n. 2, p. 309-318, 2012.
- BRAYNER, F.M.M; BARBOSA, F.M.M; SILVA, H.K.P; MELO, L.V. Behaviour of heavy metals in the estuarine area of the Capibaribe River in the Northeast of Brazil. **Journal de Physique**, v. 107, n. 4, p. 221-225, 2003.
- CHRETIÉNNOT-DINNET, M.J; BILARD, C; SOURNIA, A. **Chlorarachniophycées, Chlorophycées, Chrysophycées, Cryptophycées, Euglénophycées, Eustigmatophycées, Prasinophycées, Prymnesiophycées, Rhodophycées et Tribophycées**. Paris, Editions du Centre National Recherche Scientifique (Atlas du phytoplankton marin 3), 1990.
- COELHO, P.A; BATISTA-LEITE, L.M.A; SANTOS, M.A.C; TORRES, M.A.F. O manguezal. In: ESKINAZI-LEÇA, E; NEUMANN-LEITÃO, S; COSTA, M.F. (Org.). **Oceanografia – Um cenário tropical**. Recife: Bagaço, 2004. p. 641-688.

CUPP, E.D. **Marine plankton diatoms of the west coast of North America**. 6. ed. Bulletin of the Institution of Oceanography, 1943.

FLORES MONTES, M.J; PAULO, J.G; NASCIMENTO FILHO, G.A; GASPAR, F.L; FEITOSA, F.A; SANTOS JÚNIOR, A.C; BATISTA, T.N.F; TRAVASSOS, R.K; PITANGA, M.E. The trophic status of an urban estuarine complex in Northeast Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. 64(SI), p. 408-411, 2011.

GANG, L; QIANG, L; JUNDA, L; XINGYU, S; YE HUI, T; LIANGMIN, H. Environmental gradients regulate the spatial variations of phytoplankton biomass and community structure in surface water of the Pearl River estuary. **Acta Ecologica Sinica**, v. 34, p. 129-133, 2014.

GRASSHOFF, F.K; ENRHARDT, M; KREMLING, K. **Methods of seawater analysis**. Verlag Chemie, Weinheim, 1983.

GUENTHER, M; BOZELLI, R. Factors influencing algae–clay aggregation. **Hydrobiologia**, v. 523, p. 217–223, 2004.

GUENTHER, M; GONZALEZ-RODRIGUEZ, E; CARVALHO, W.F; REZENDE, C.E; MUGRABE, G; VALENTIN, J.L. Plankton trophic structure and particulate organic carbon production during a coastal downwelling–upwelling cycle. **Marine Ecology Progress Serie**, v. 363, p. 109–119, 2008a.

GUENTHER, M; LIMA, I; MUGRABE, G; TENENBAUM, D.R; GONZALEZ-RODRIGUEZ, E; VALENTIN, J.L. Small time scale plankton structure variations at the entrance of a tropical eutrophic bay (Guanabara Bay, Brazil). **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 60, p. 405–414, 2012.

GUENTHER, M; ARAÚJO, M; FLORES-MONTES, M.J; GONZALEZ-RODRIGUEZ, E; NEUMANN-LEITÃO, S. Eutrophication effects on phytoplankton size-fractionated biomass and production at a tropical estuary. **Marine Pollution Bulletin**, v. 91, n. 2, p. 537-547, 2015.

HOPPENRATH, M; ELBRÄCHTER, M; DREBES, G. **Marine phytoplankton Selected microphytoplankton species from the North Sea around Helgoland and Sylt**. Stuttgart: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, 2009.

JACOMINE, P.K.T.; CAVALCANTI, A.C.; BURGOS, N.; PESSOA, S.C.P; SILVEIRA, C.O. Levantamento exploratório-reconhecimento de solos do estado de Pernambuco. Recife, Ministério da Agricultura/Sudene, 1973b. 359p. v.1. (Boletim Técnico, 26; Série Pedologia, 14).

KOCUM, E; SUTCU, A. Analysis of variations in phytoplankton community size-structure along a coastal trophic gradient. **Journal of Coastal Research**, v. 30, n. 4, p. 777-784, 2014.

KOENING, M.L; MACÊDO, S.J; TRAVASSOS, P.E.P.F; PASSAVANTE, J.Z.O. Biomassa fitoplanctônica no estuário do rio Capibaribe (Recife - Pernambuco -

Brasil). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 38, n. 4, p. 1071-1083, 1995.

LEGENDRE, L; RASSOULZADEGAN, F. Food-web mediated export of biogenic carbon in oceans: hydrodynamic control. **Marine Ecology Progress Serie**, v. 145, p.179–193, 1996.

LOBO, E; LEIGHTON, G. Estructuras comunitarias de las fitocenosis planctonicas de los sistemas de desembocaduras de ríos y esteros de la zona central de Chile. **Revista de Biología Marina y Oceanografía**, v. 22, p. 1-29, 1986.

MACEDO, S; KOENING, M.. Áreas estuarinas do estado de Pernambuco. Recife: CPRH. 1987.

MARAÑÓN, E. Cell size as a key determinant of phytoplankton metabolism and community structure. **Annual Review of Marine Science**, v. 7, p. 1–24, 2014.

MATEUCCI, S.D; COLMA, A. La metodología para el estudio de la vegetación. **Collection de Monografias Cientificas**. 22: 1-168, 1982.

NORIEGA, C.E; SANTIAGO, M.F; FAÇANHA, P; SILVA, M.D.G.G; SILVA, R.A; MONTES, M.D.J.F; ARAÚJO FILHO, M; COSTA, A.M.P; ESKINAZI LEÇA, E; NEUMANN-LEITÃO, S. The instantaneous transport of inorganic and organic material in a highly polluted tropical estuary. **Marine and Freshwater Research**, v. 64, n. 6, p. 562-572, 2013.

OTTMANN, F; OTTMANN, F.N. La maree de salinite dans le Capibaribe, Recife - Brasil. **Trabalhos do Instituto de Biologia Marítima e Oceanografía, Universidade do Recife**, v. 1, n. 1, p. 39-49, 1959.

PAERL, H.W; ROSSIGNOL, K.L; HALL, N.S; PEIERLS, B.L; WETZ, M.S. Phytoplankton community indicators of short- and long-term ecological changes in the anthropogenically and climatically impacted Neuse River estuary, North Carolina, USA. **Estuaries and Coasts**, v. 33, p. 485–497, 2010.

PASSAVANTE, J.Z.O. Produção fitoplanctônica do estuário do rio Capibaribe (Recife, Pernambuco, Brasil). In: CONGRESSO NORDESTINO DE ECOLOGIA, 2003, Recife. **Anais...** Recife

PÉRAGALLO, H; PÉRAGALLO, M. **Diatomées marines de France et des districts maritimes voisins**. Paris, 1897-1908.

PEREIRA-FILHO, J; SCHETTINI, C.A.F; RÖRIG, L; SIEGLE, E. Intratidal variation and net transport of dissolved inorganic nutrients, POC and chlorophyll a in the Camboriu river estuary, Brazil. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 53, p. 249-257, 2001.

PIELOU, E.C. **Mathematical ecology**. New York: Wiley, 1967.

PRESCOTT, G.W. **How to know the freshwater phytoplankton**. 3. ed. UK: Cambridge University Press. Romero, J; Kagalou, I; Imberger, J; Hela, D; Kotti, M. Cambridge, 1978.

RESSURREIÇÃO, M; PASSAVANTE, J.Z.O; MACEDO, S. Estudo da plataforma continental na área do Porto do Recife (Brasil): Variação sazonal da biomassa fitoplanctônica (08°03'38" lat. S; 34°42'28" W a 34 52'00" long. W). **Trabalhos Oceanográficos**, Recife, v. 24, p. 39-60, 1996.

SANTIAGO, M.F. **Dinâmica e interações das comunidades planctônicas na Bacia Portuária do Recife (Pernambuco-Brasil)**. 2010. 180 f. Tese (Doutorado em Oceanografia) – CTG, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2010.

SANTIAGO, M.F; SILVA-CUNHA, M.G.G; NEUMANN-LEITÃO, S; COSTA, K.M.P; BORGES, G.C.P; PORTO NETO, F.F; NUNES, F.S. Phytoplankton dynamics in a highly eutrophic estuary in tropical Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, São Paulo, v. 58, n. 3, p. 189- 205, 2010.

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

SIEBURTH, J. Pelagic ecosystem structure: Heterotrophic compartments of the plankton and their relationship to plankton size fractions. **Limnology and Oceanography**, v. 23, n. 6, p.1256-1263, 1978.

SIOKOU-FRANGOU, I; CHRISTAKI, U; MAZZOCCHI, M.G; MONTRESOR, M; RIBERA, D; VAQUE, D; ZINGONE, A. Plankton in the open Mediterranean Sea: A review. **Biogeosciences**, v. 6, n. 11, p.187–293, 2009.

SOLIĆ, M; KRSTULOVIĆ, N; KUŠPILIĆ, G; NINČEVIĆ GLADAN, Z; BOJANIĆ, N; ŠESTANOVIĆ, S; ŠANTIĆ, D; ORDULJ, M. Changes in microbial food web structure in response to changed environmental trophic status: A case study of the Vranjic Basin (Adriatic Sea). **Marine Environmental Research**, v. 70, n. 2, p. 239–249, 2010.

SOURNIA, A. **Phytoplankton Manual**. Paris: UNESCO, 1978. p. 337.

STRICKLAND, J.D.H; PARSONS, T.R.A. **Practical handbook of seawater analysis**. Bulletin Fisheries Research Board of Canada, 1972. p. 1-205.

TOMAS, C.R. **Identifying marine phytoplankton**. San Diego: Academic Press, 1997. p. 858.

UNESCO. **Determination of photosynthetic pigments in sea waters**. Report of SCOR/UNESCO working group 17. Paris: S.N., Monographs on Oceanology Methodology. 1966. 69 p.

UTERMÖHL, H. **Zur vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton Methodik**. Mitteilung Internationale Vereinigung für Theoretische Angewandte Limnologie, 1958. v. 9, p. 68-72.

ZINGONE, A; SARNO, D; SIANO, R; MARINO, D. The importance and distinctiveness of small-sized phytoplankton in the Magellan Straits. **Polar Biology**, v. 34, n. 9, p. 1269–1284, 2011.

4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

De acordo com os objetivos e resultados obtidos ao longo da realização do presente estudo, esta dissertação está formatada como manuscrito para publicação, onde o capítulo se refere ao artigo científico e segue a norma de publicação da revista selecionada.

Capítulo 1: “Variação no tamanho das células do fitoplâncton em um sistema estuarino tropical (Nordeste, Brasil)”

Este capítulo tem como objetivo avaliar a variação quantitativa e o tamanho das células do fitoplâncton em decorrência da ação dos fatores ambientais. Este capítulo foi submetido à revista *Tropical oceanography* (ISSN: 1679-3013).

Em anexo, este estudo apresenta os valores dos parâmetros bióticos e abióticos utilizados para composição do trabalho, assim como suas variações sazonais e espaciais apresentadas durante a realização das coletas.

Capítulo 1

Variação no tamanho das células do fitoplâncton em um sistema estuarino tropical (Nordeste, Brasil)

RESUMO

A variação quantitativa e o tamanho das células do fitoplâncton foram estudados em um sistema estuarino da Região Metropolitana do Recife, Nordeste do Brasil, em março, julho e agosto (período chuvoso), e setembro, novembro e dezembro/2015 (período de estiagem). A temperatura, salinidade, fosfato e amônia apresentaram variação sazonal significativa, com maiores valores durante o período de estiagem. A clorofila *a* total variou de 4,76 a 79,69 mg.m³ e a clorofila *a* fracionada de 1,28 a 28,35 mg.m³. A densidade celular oscilou de 172×10^3 a $8,1 \times 10^6$ cel.L⁻¹, ambos apresentaram maiores valores durante o período de estiagem. A comunidade fitoplanctônica esteve mais bem representada pela fração <20 µm (nanofitoplâncton), com destaque para as cianobacterias. A biomassa fracionada (pico-nanofitoplâncton) contribuiu com 47% da biomassa total, representando 65% no ponto 1, 55% no ponto 3 e 38% no ponto 2. *Thalassiosira* sp₁, *Melosira* sp. e *Chroococcus* sp. foram as espécies dominantes. A maior variação de tamanho das células ocorreu nas cianobacterias e diatomáceas, que dominaram na área e foram favorecidas pelo aumento da amônia e fosfato durante o período de estiagem. Os altos valores de clorofila *a* evidenciaram que o ambiente encontra-se hipereutrofizado em consequência da grande urbanização da área e do lançamento de efluentes domésticos. Pode-se concluir que a salinidade e os nutrientes interferem na quantidade e no tamanho das células da comunidade fitoplanctônica, levando a um selecionamento de espécies e domínio da fração <20 µm, e que a dominância da fração >20 µm no ponto de menor influência marinha (P2) é atribuída ao fato das células maiores estarem armazenando maior quantidade de clorofila *a*.

Palavras-chave: Clorofila *a*. Densidade. Estuário. Nutrientes.

ABSTRACT

The quantitative variation and size of the phytoplankton cells were studied in an estuarine system of the Metropolitan Region of Recife, Northeast Brazil, in March, July and August (rainy season), and September, November and December/2015 (during the dry season). The temperature, salinity, phosphate and ammonia presented a significant seasonal variation, with higher values during the dry season. The total chlorophyll varied from 4.76 to 79.69 mg.m³ and the fractionated chlorophyll from 1.28 to 28.35 mg.m³. Cell density ranged from 172×10^3 to 8.1×10^6 cel.L⁻¹, both of which presented higher values during the dry season. The phytoplankton community was better represented by the fraction <20 µm (nano-phytoplankton), with emphasis on cyanobacteria. Fractionated biomass (peak-nano-phytoplankton) contributed 47% of the total biomass, representing 65% in point 1, 55% in point 3 and 38% in point 2. *Thalassiosira* sp₁, *Melosira* sp. and *Chroococcus* sp. were the dominant species. The largest cell size variation occurred in the cyanobacteria and diatoms, which dominated the area and were favored by the increase of ammonia and phosphate during the dry season. The high values of chlorophyll have shown that the environment is hypereutrofizado as a consequence of the great urbanization of the area and the release of domestic effluents. It can be concluded that salinity and nutrients interfere with the quantity and size of the phytoplankton community cells, leading to a species selection and domain of the fraction <20 µm, and that the dominance of the fraction >20 µm at the point of smaller marine influence (P2) is attributed to the fact that the larger cells are storing more chlorophyll *a*.

Keywords: Chlorophyll *a*. Density. Estuary. Nutrients.

INTRODUÇÃO

Os sistemas estuarinos são os principais fornecedores de nutrientes para a região costeira, pois recebem e concentram o material originado de sua bacia de drenagem e podem vir a receber aportes significativos por ação antrópica. Todo esse aporte de nutrientes coloca os estuários entre os sistemas mais produtivos do mundo, com altas taxas de produtividade primária e teores de biomassa (PEREIRA-FILHO et al., 2001; AZEVEDO et al., 2008).

As influências antropogênicas nesses ecossistemas são crescentes, principalmente devido ao aumento da densidade populacional humana nas áreas costeiras, sendo descritos como "zonas de transição críticas", devido à sua posição de interfaces terrestres, de água doce e marinha (LEVIN et al., 2001). Portanto, em qualquer avaliação das consequências das atividades humanas, como urbanização e turismo, sobre o funcionamento dos ecossistemas costeiros, é essencial determinar as propriedades estruturais básicas das assembleias fitoplanctônicas nessas áreas (CLOERN, 1999). Levando em conta, que o fitoplâncton desempenha um importante papel no ciclo do carbono, dos nutrientes e do oxigênio, pois apresenta um tempo de crescimento curto e uma rápida resposta às perturbações ambientais, antrópicas ou naturais, pode ser considerado um indicador sensível para a detecção de mudanças ecológicas nos estuários (PAERL et al., 2010).

Estes organismos apresentam uma grande diversidade de tamanho, estando à comunidade fitoplanctônica classificada nas seguintes classes: picoplâncton $<2 \mu\text{m}$; nanoplâncton $\geq 2 - 20 \mu\text{m}$; micropoplâncton $\geq 20 - 200 \mu\text{m}$; macropoplâncton $>200 \mu\text{m}$ (SIEBURTH et al., 1978). Vários fatores ambientais, incluindo nutrientes, podem causar variações no tamanho das células da comunidade fitoplanctônica e essa variação tem sido reconhecida como uma ferramenta útil no entendimento de comunidades marinhas, tal como a dinâmica da teia alimentar e estudo de modelagem do ecossistema (KOCUM; SUTCU, 2014).

Portanto, a medição das classes de tamanho da comunidade fitoplanctônica pode ser usada para prever respostas dos ecossistemas pelágicos às alterações ambientais. Relacionando as variações no tamanho das células com as concentrações de nutrientes e teores de salinidade, pode-se obter uma resposta de como as variações desses parâmetros vão afetar a eficiência da transferência de materiais e energia através das teias alimentares dos ecossistemas costeiros (KOCUM; SUTCU, 2014). Sendo, as formas mais tradicionais e eficientes, a medição da biomassa fitoplanctônica através da avaliação do conteúdo de clorofila *a* e a quantificação da densidade dos organismos (SOURNIA, 1978).

A área estudada, possui um elevado grau de urbanização em seus arredores e um dos principais centros comerciais da região. Encontra-se localizada em um sistema estuarino no centro da cidade do Recife, compreendendo a bacia portuária do Recife e o estuário do rio Capibaribe. Vários trabalhos já foram realizados para melhor entender como a ação dos fatores impactantes agem no ambiente estudado. Ottmann e Ottmann (1959); Koenig et al. (1995); Passavante et al. (2007); Anjos et al. (2012); Noriega et al. (2013); Borges et al. (2014); Aquino et al. (2014; 2015); Ressurreição et al. (1996); Santiago et al. (2010); Flores-Montes et al. (2011); Borges et al. (2012); Melo et al. (2014) e Guenther et al. (2015), realizaram trabalhos na área de estudo, revelando, em sua maioria, a ocorrência de um estado eutrófico com elevada biomassa fitoplanctônica, baixa transparência da água e baixas concentrações de oxigênio.

Deste modo, os parâmetros ambientais juntamente com os fatores antrópicos que atuam no ambiente estudado, podem interferir no tamanho e no desenvolvimento do fitoplâncton levando a comunidade a apresentar variações quantitativas ao longo de um ciclo sazonal. O objetivo do estudo foi avaliar a variação quantitativa e o tamanho das células fitoplanctônicas em área estuarina sujeita a impactos antrópicos, testando a hipótese de que a distribuição da biomassa e da densidade entre as classes de tamanho

das células diferem espacialmente e sazonalmente, em diferentes níveis de nutrientes e salinidade.

MATERIAL E MÉTODOS

Descrição da área

O sistema estuarino do Recife compreende os rios Capibaribe, Beberibe, Tejipló e a bacia portuária do Recife. Esta área sofre forte influência antropogênica, através da ocupação desordenada das margens e pelo despejo de resíduos domésticos e industriais nos rios (SANTIAGO et al., 2010).

Os pontos 1 e 3 estão localizados na bacia portuária do Recife, situada em uma área urbanizada no centro da cidade onde encontra-se instalado o Complexo Integrado Comercial, Hoteleiro, de Convenções e Exposições Porto do Recife, com uma área de aproximadamente 3.000 m de extensão, entre a confluência da bacia do Pina com o braço sul do rio Capibaribe e a foz do rio Beberibe (RECIFE, 2002).

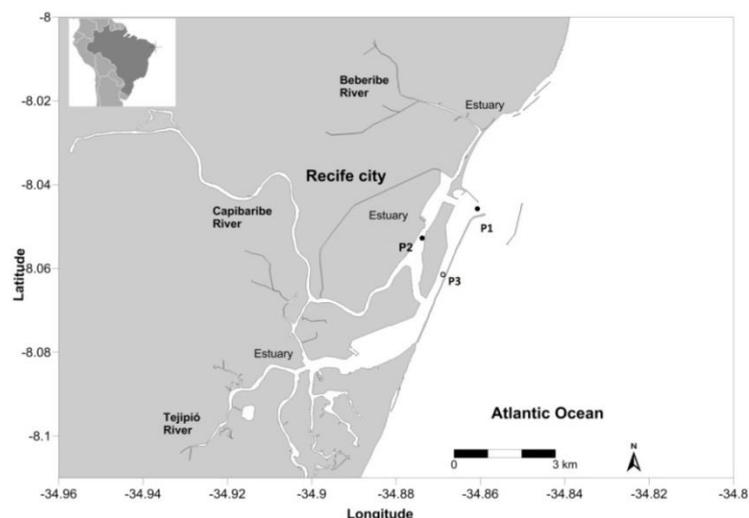
Adjacente a bacia portuária do Recife, em confluência com o rio Beberibe encontra-se o estuário do rio Capibaribe, onde está localizado o ponto 2. Sendo considerado um dos principais patrimônios hídricos do Estado de Pernambuco, o rio Capibaribe abastece 43 municípios, especialmente na zona urbana da Região Metropolitana do Recife (PROÁGUA, 2002).

A área possui diferentes utilizações da água, tais como a pesca intensiva, turismo, descarga de efluentes domésticos e industriais e transporte de produtos através do Porto do Recife (AQUINO et al., 2014). Em todas as áreas de sua bacia, o rio Capibaribe é considerado poluído e eutrófico, confirmado pelas altas concentrações de nutrientes, coliformes termotolerantes, e indetectáveis níveis de oxigênio dissolvido (BRAYNER et al., 2003; FLORES-MONTES et al., 2011).

Amostragem de campo

Para a execução da pesquisa, foram coletadas amostras da superfície, no regime de baixa-mar, durante o período chuvoso (março, julho e agosto/2015) e de estiagem (setembro, novembro e dezembro/2015), em três pontos fixos, inseridos no sistema estuarino da cidade do Recife, Nordeste do Brasil (Figura 1).

Figura 1 - Área de estudo com os pontos de coleta no sistema estuarino da cidade do Recife, Nordeste do Brasil. P1 = Ponto 1; P2 = Ponto 2; P3 = Ponto 3.



Fonte: Carlos Delgado Noriega.

As amostras para análise dos parâmetros ambientais e biológicos foram recolhidas na superfície, simultaneamente, com auxílio de garrafa modelo Kitahara, e acondicionadas em garrafas plásticas, sendo as amostras de densidade fixadas com solução de Lugol (2%). A medição da temperatura da água foi realizada *in situ* utilizando um termômetro comum de mercúrio. Posteriormente, o material coletado foi encaminhado ao Departamento de Oceanografia da UFPE para ser analisado.

Amostras e análise dos dados

Os dados de precipitação pluviométrica foram provenientes da Estação Meteorológica de Recife (PE), e disponibilizados no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). A salinidade, o nitrito, nitrato e fosfato, foram determinados através de métodos específicos descritos por Strickland e Parsons (1972) e o silicato e amônia segundo Grasshoff et al. (1983). O potencial hidrogeniônico (pH) foi determinado através de um pH-metro e o material particulado em suspensão (MPS) foi determinado através do método de Baumgarten et al. (1996).

Para identificação e quantificação das células do fitoplâncton foi aplicado o método de Utermöhl (1958), que consiste na sedimentação das amostras (24 horas) em cubetas de 10 ml coradas com Rosa de Bengala. Posteriormente, as cubetas foram analisadas através de microscópio invertido (Zeiss, AXIOVERT), com aumento de 450X em técnica de transecção (2 transectos em cruz), simultaneamente foi realizada a identificação, medição (comprimento e diâmetro) e classificação, separando nas frações nanofitoplâncton ($\geq 2-20 \mu\text{m}$) e microfitoplâncton ($\geq 20-200 \mu\text{m}$).

As amostras para a análise da clorofila *a* total e fracionada foram submetidas à processo de filtração, passando por filtros de Milipore de $0,47 \mu\text{m}$ de diâmetro e $0,45 \mu\text{m}$ de porosidade. Para o fracionamento, um determinado volume foi passado em tubo de PVC com uma tela de $20 \mu\text{m}$, antes do processo de filtração, para separação das frações do microfitoplâncton ($\geq 20 \mu\text{m}$) e do pico-nanofitoplâncton ($< 20 \mu\text{m}$). Após a secagem, os filtros foram mantidos em freezer até sua análise. Para análise foi utilizado o método espectrofotométrico da UNESCO (1966).

De acordo com os valores de clorofila *a* o ambiente foi classificado quanto ao grau de eutrofização (PASSAVANTE, 2003): Oligotrófico ou de baixa produção fitoplanctônica (clorofila *a* entre 0 e 5 mg/m^3); Mesotrófico ou de média produção fitoplanctônica (clorofila *a* entre 5 e 10 mg/m^3); Eutrófico ou de alta produção fitoplanctônica (clorofila *a* entre 10 e 20 mg/m^3) e Hipereutrófico ou de altíssima produção fitoplanctônica (clorofila *a* superior a 20 mg/m^3).

Análise estatística

Os valores de abundância relativa foram calculados, de acordo com Lobo & Leighton (1986), com uma espécie dominante definida como representando mais de 50% do número total de organismos presentes na amostra, e espécies abundantes em que a ocorrência é maior do que o valor médio dos indivíduos da amostra. Com base na frequência de ocorrência (MATEUCCI; COLMA, 1982), a espécie foi classificada em quatro categorias: muito frequente (com valores superiores a 70% de ocorrência), frequentes (entre 40 e 70%), pouco frequentes (entre 10 e 40%), e esporádica (menos de 10%). O cálculo da diversidade específica (H') seguiu as recomendações de Shannon (1948) e os resultados foram apresentados em bits.cel^{-1} (1 bit é igual a uma unidade), e a equitabilidade (J') foi calculada seguindo Pielou (1967), utilizando o programa Primer 6.

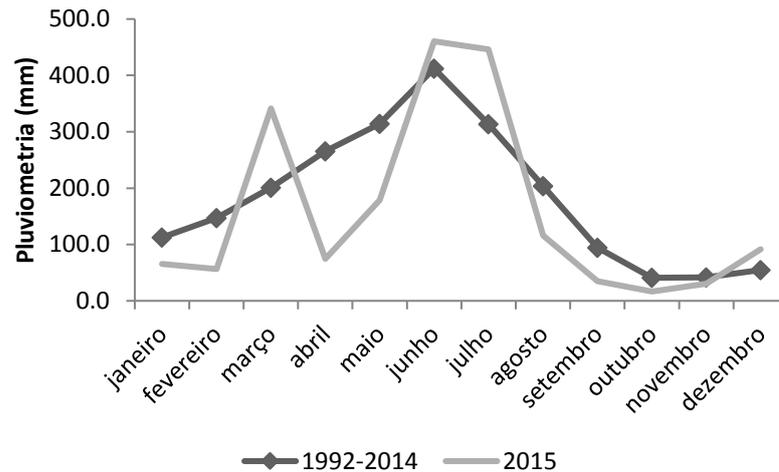
A variação sazonal e espacial nos parâmetros ambientais e biológicos foi testada usando o teste-t. Para análise da variação das células mais frequentes, foi utilizada a mediana do tamanho das espécies. A relação entre a biomassa, as classes de tamanho e o tamanho das espécies mais frequentes com os parâmetros ambientais foram testadas através da correlação de Spearman (STATISTICA 7.0). O nível de significância para o teste foi $p < 0,05$.

RESULTADOS

Parâmetros ambientais

A precipitação pluviométrica na região estudada durante o ano de coleta (2015) apresentou um total de 1.913,20 mm, com média de 301,17 mm no período chuvoso e de 52,50 mm no período de estiagem. Comparando-se o total de chuvas caídas durante o ano de estudo com a média de 22 anos (1992 a 2014), registrada de 2.201,7 mm, foi observado que os índices pluviométricos estiveram dentro do padrão normal (Figura 2).

Figura 2 – Distribuição da pluviometria do ano de coleta (2015) e dos 22 anos anteriores (1992-2014) para região estudada.



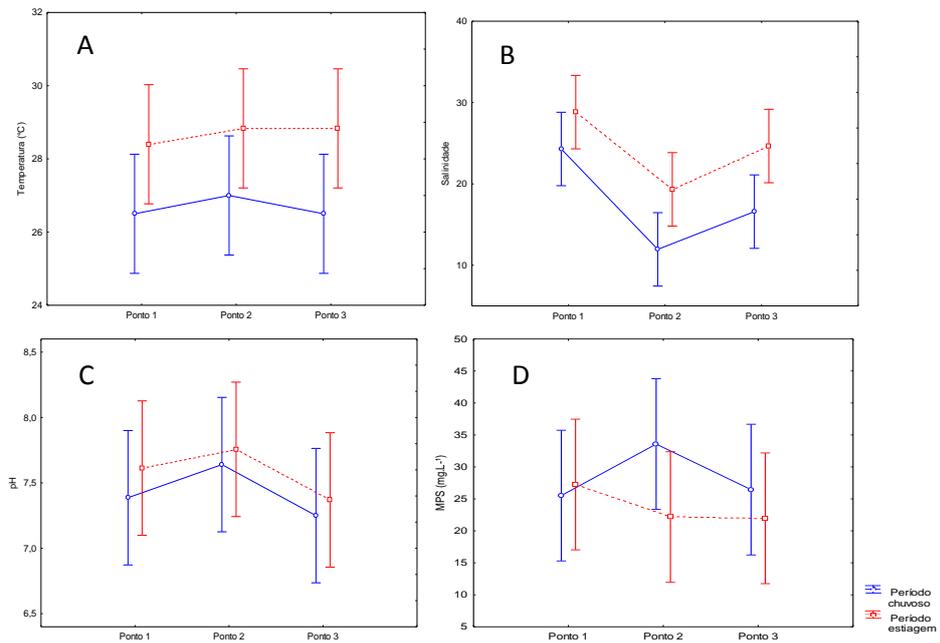
Fonte: Nayana Buarque Antão da Silva.

A temperatura da água apresentou variação sazonal significativa ($p < 0.05$), com valores mais elevados durante o período de estiagem, variando de 25,5 a 30,5°C, ambos no ponto de coleta 3 (Figura 3A; Tabela 1). A salinidade apresentou variação sazonal ($p < 0.05$) e espacial significativa ($p < 0.05$). Espacialmente a diferença significativa ocorreu entre os pontos 1 e 2 e as concentrações variaram de 10,73 a 31,77 no ponto 2 e 1, respectivamente, apresentando concentrações maiores no período de estiagem e no ponto 1 (Figura 3B; Tabela 1).

O MPS e o pH não apresentaram variações significativas entre os pontos ($p > 0.05$) e períodos de coleta ($p > 0.05$). Os valores de MPS oscilaram entre 11,25 e 42,60 com maiores valores encontradas no período chuvoso, devido ao maior aporte fluvial, e no ponto 2, possivelmente em decorrência do ponto ser localizado no estuário do rio Capibaribe (Figura 3C; Tabela 1). Os valores de pH apresentaram-se, na maioria das vezes, constantes e alcalinos, variando de 6,74 a 8,28 (Figura 3D; Tabela 1).

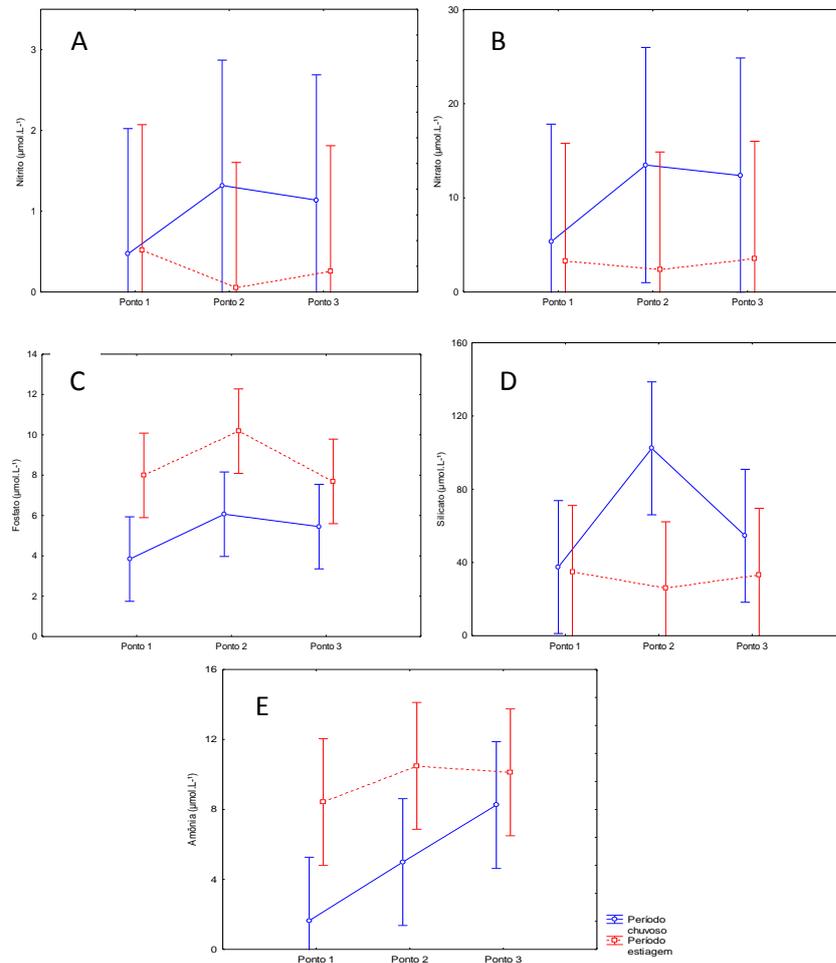
Em relação aos sais nutrientes, os teores de nitrito e nitrato não apresentaram variações significativas entre os pontos e períodos, havendo apenas um aumento no período chuvoso. Os valores de nitrito variaram de 0,01 a 3,94 e os de nitrato, oscilaram entre 1,5 e 32,32 (Figura 4A e 4B; Tabela 1). Houve variação sazonal significativa em relação ao fosfato ($p < 0.05$) e o silicato ($p < 0.05$), apresentando teores mínimos de 2,16 e 5,41, e máximos de 13,29 e 162,89, para fosfato e silicato, respectivamente. Os teores de fosfato foram mais elevados no período de estiagem e os de silicato no período chuvoso, ambos no ponto de coleta 2 (Figura 4C e 4D; Tabela 1). A amônia apresentou variação sazonal ($p < 0.05$) significativa, variando de 0,01 a 14,40 com aumento nos teores durante o período de estiagem e no ponto de coleta 2 (Figura 4E; Tabela 1).

Figura 3 - Variação sazonal e espacial dos parâmetros ambientais analisados no sistema estuarino da cidade do Recife, Nordeste do Brasil: (A) Temperatura; (B) Salinidade; (C) pH e (D) MPS.



Fonte: Nayana Buarque Antão da Silva.

Figura 4 - Variação sazonal e espacial dos sais nutrientes analisados no sistema estuarino da cidade do Recife, Nordeste do Brasil: Nitrito; (F) Nitrato; (G) Fosfato; (H) Silicato e (I) Amônia.



Fonte: Nayana Buarque Antão da Silva.

Tabela 1: Valores e medianas de temperatura da água (°C), salinidade, fosfato (PO₄; μmol/L⁻¹), silicato (SiO₂; μmol/L⁻¹), nitrito (NO₂; μmol/L⁻¹), nitrato (NO₃; μmol/L⁻¹), amônia (NH₃; μmol/L⁻¹), pH e MPS (mg.L⁻¹) no sistema estuarino da cidade do Recife, Nordeste do Brasil.

Parâmetros	Período chuvoso	Período de estiagem
Temperatura (°C)	27 (25.5-27.5)	29 (26.5-30.5)
Salinidade	14.59 (10.73-28.26)	25 (17.47-31.77)
PO ₄ (μmol.L ⁻¹)	5.16 (2.16-7.89)	8 (7.11-13.29)
SiO ₂ (μmol/L ⁻¹)	54.88 (26.86-162.89)	38 (5.41-54.88)
NO ₂ (μmol/L ⁻¹)	0.12 (0.01-3.94)	0 (0.01-0.62)
NO ₃ (μmol/L ⁻¹)	2.66 (1.50-32.32)	3 (1.52-4.44)
NH ₃ (μmol/L ⁻¹)	3.08 (0.01-9.99)	10 (5.56-14.40)
pH	7.39 (6.91-8.04)	8 (6.74-8.28)
MPS (mg.L ⁻¹)	27.11 (13.11-42.60)	25 (11.25-30.50)

Fonte: Nayana Buarque Antão da Silva.

Parâmetros biológicos

A concentração de clorofila *a* apresentou uma tendência a aumentar em direção ao estuário do rio Capibaribe (ponto 2) e durante o período de estiagem. Houve variação espacial significativa ($p < 0.05$), entre os pontos 1 e 2, para clorofila *a* total e fracionada, e entre os pontos 1 e 3, para a clorofila *a* total. Apenas a clorofila *a* fracionada apresentou variação significativa ($p < 0.05$) entre os períodos. A clorofila *a* total variou de 4,76 a 79,69 mg.m³ e a clorofila *a* fracionada de 1,28 a 28,35 mg.m³. A fração <20 μm contribuiu com 47% da clorofila *a* total. A maior contribuição da fração <20 μm (pico-nanofitoplâncton) ocorreu no ponto de coleta 1, representando 65% da clorofila *a* total, seguida do ponto 3 (55%) e ponto 2 (39%), onde há um maior predomínio da fração >20 μm (microfitoplâncton) (Figura 4A e 4B). De acordo com os dados de clorofila *a*, a área estuarina variou de oligotrófico a hipereutrófico. Apresentando-se na maioria das vezes como uma área de altíssima produção fitoplanctônica, com valor médio de clorofila *a* total de 35 mg/m³, característico de um ambiente hipereutrófico.

A comunidade fitoplanctônica esteve representada por 49 táxons distribuídos nos filos Bacillariophyta (23), Cyanobacteria (10), Miozoa (6), Clorophyta (6), Charophyta (2) e Euglenophyta (2) (Tabela 2). As diatomáceas *Thalassiosira* sp₁ e *Melosira* sp., e a cianobactéria *Chroococcus* sp. foram destacadas como dominantes, estando as diatomáceas dentre as que apresentaram maiores valores de abundância relativa. *Thalassiosira* sp₁ se destacou como espécie dominante durante o período chuvoso.

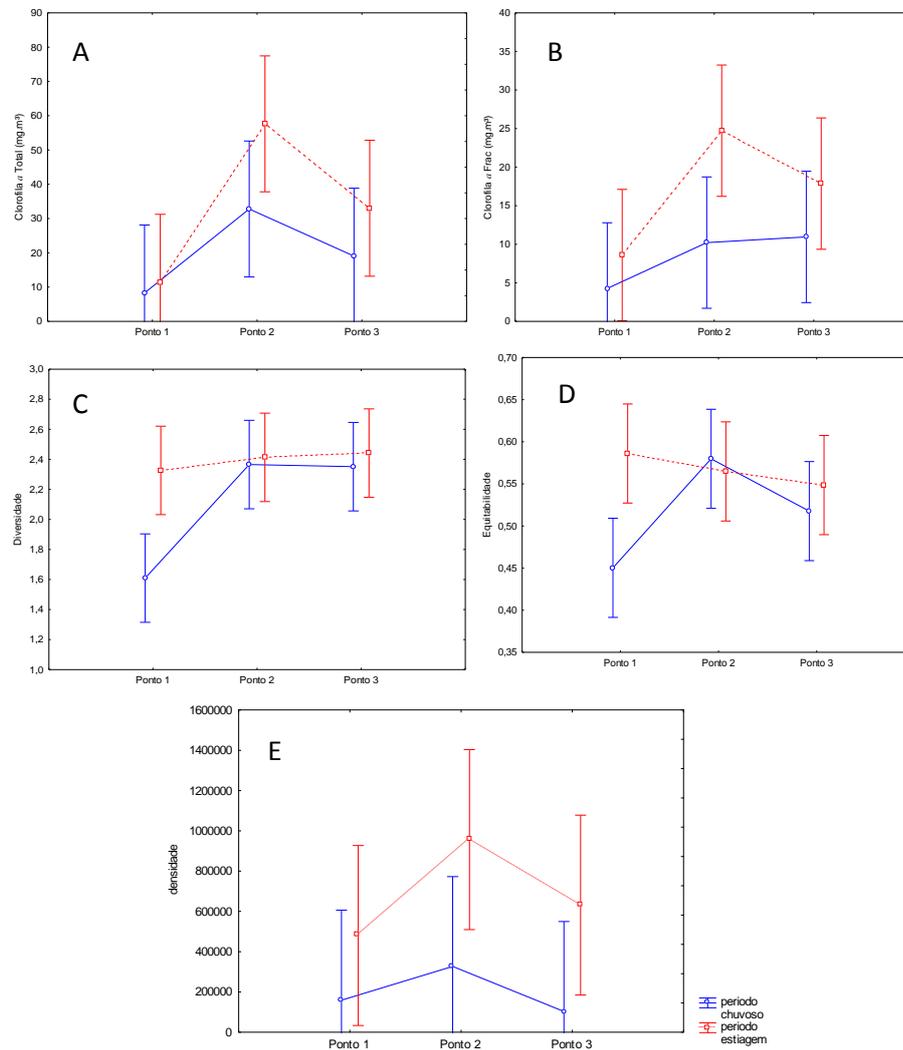
Na área de estudo foram consideradas como espécies muito frequente as diatomáceas, *Thalassiosira* sp₁, *Cylindrotheca closterium* (Ehrenberg) Reimann & J.C.Lewin, *Navicula* sp., *Melosira* sp. e *Cyclotella* sp., e as cianobacterias *Chroococcus turgidus* (Kützing) Nägeli, *Chroococcus* sp. e *Planktothrix isothrix* (Skuja) Komárek & Komárková. A diversidade específica apresentou variação sazonal ($p < 0.05$) e espacial ($p < 0.05$) significativa, com valores oscilando entre 1,49 bits.cel⁻¹ (ponto 3 em março/15) e 2,67 bits.cel⁻¹ (ponto 1 em setembro/15). Dentre as amostras analisadas, 72% foram classificadas como de baixa diversidade, enquanto 28% foram classificadas como de alta diversidade. Para a equitabilidade observou-se apenas variação sazonal significativa ($p < 0.05$), variando de 0,43 a 0,63. Os valores apresentaram-se acima de 0,5 na maioria das amostras analisadas, indicando que os táxons estão distribuídos equitativamente no ambiente estudado.

Semelhante às concentrações de clorofila *a*, a densidade celular total do fitoplâncton apresentou um aumento no período de estiagem e ponto 2, variando de $172 \times 10^3 \text{ cel.L}^{-1}$, no ponto 3 de março/15, a $8,1 \times 10^6 \text{ cel.L}^{-1}$, no ponto 2 de dezembro/15. Apresentando variação sazonal significativa ($p < 0.05$). As espécies pertencentes a classe do nanofitoplâncton apresentaram o maior número de células por litro para todos os filós e pontos estudados, com destaque para as cianobactérias.

Houve variação sazonal significativa para classe do nanofitoplâncton nos filós Cyanobacteria ($p < 0.05$) e Miozoa ($p < 0.05$), e para classe do microfitoplâncton no filo Miozoa ($p < 0.05$). Em relação à distribuição espacial, a classe do nanofitoplâncton do filo Bacillariophyta apresentou variação significativa entre os pontos de coleta 1 e 2 ($p < 0.05$), enquanto que para o filo Chlorophyta a classe do microfitoplâncton apresentou variação significativa ($p < 0.05$) entre os pontos 2 e 3, com um maior número de células por litro de ambos os filós encontradas no ponto 2. Todas as classes de tamanho apresentaram densidade celular mais elevada no período de estiagem.

Em relação à variação no tamanho das células, os filós Cyanobacteria e Bacillariophyta foram os que apresentaram maior variação, com células variando de 5 a 500 μm . De forma geral, dentre as espécies mais frequentes, as que apresentaram as menores células foram as cianobactérias, com a maioria das espécies medindo entre 5 e 12,5 μm , com destaque para *Chroococcus* sp. (mediana = 5 μm) (Tabela 3). E as maiores células foram representadas pelas diatomáceas, com a espécie *Cylindrotheca closterium*, apresentando a maior mediana (62,5 μm), com tamanhos variando de 37,5 a 87,5 (Tabela 3). A espécie *Thalassiosira* sp₁ foi a única a apresentar variação sazonal significativa ($p < 0.05$), apresentando indivíduos que variaram de 5 a 62,5 μm , com as maiores células encontradas durante o período de estiagem.

Figura 5 - Variação sazonal e espacial da clorofila *a* ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$), Diversidade (H'), Equitabilidade (J') e Densidade total ($\text{Cel}\cdot\text{L}^{-1}$) no sistema estuarino da cidade do Recife, Nordeste do Brasil: (A) Clorofila *a* total; (B) Clorofila *a* fracionada; (C) Diversidade; (D) Equitabilidade e (E) Densidade total ($\text{Cel}\cdot\text{L}^{-1}$).



Fonte: Nayana Buarque Antão da Silva.

Tabela 2: Táxons identificados no sistema estuarino da cidade do Recife, Nordeste do Brasil.

Filo	Táxon	Mês/ponto																	
		Mar			Jul			Ago			Set			Nov			Dez		
		P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
Cyanobacteria	<i>Chroococcus turgidus</i>	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	<i>Merismopedia</i> sp.														x				
	<i>Oscillatoria princeps</i>														x		x		x
	<i>Oscillatoria</i> sp.			x	x	x	x	x	x		x				x	x	x		x
	<i>Chroococcus</i> sp.	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	<i>Anabaena</i> sp.															x			
	<i>Spirulina</i> sp.								x			x			x	x			x
	<i>Planktothrix isothrix</i>			x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	<i>Chroococcus</i> sp. (colonial)	x	x	x	x	x	x	x	x	x		x				x	x	x	x
	<i>Microcystis</i> sp.									x						x			
Euglenophyta	<i>Euglena</i> sp ₁	x	x		x				x							x	x	x	x
	<i>Euglena</i> sp ₂								x			x	x	x	x		x		
Miozoa	<i>Protoperidinium</i> sp.					x				x	x			x	x	x		x	x
	<i>Scrippsiella</i> sp.				x					x				x		x	x	x	x
	<i>Scrippsiella trochoidea</i>									x	x			x	x	x		x	
	<i>Scrippsiella spinifera</i>										x	x	x	x	x	x	x	x	x
	<i>Gonyaulax</i> sp.													x	x				
	<i>Oxytoxum</i> sp.															x		x	x
Bacillariophyta	<i>Aulacoseira granulata</i>	x	x		x	x	x	x										x	x
	<i>Biddulphia</i> sp.															x	x	x	x
	<i>Cyclotella</i> sp.		x			x	x	x	x		x	x	x	x	x			x	x
	<i>Cylindrotheca closterium</i>	x		x	x	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	<i>Cocconeis</i> sp.		x			x													
	<i>Climacosphenia moniligera</i>		x																
	<i>Coscinodiscus centralis</i>					x													
	<i>Cymbella</i> sp.		x																
	<i>Coscinodiscus</i> sp.	x		x		x	x		x	x	x	x	x	x				x	x
	<i>Melosira</i> sp.					x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	<i>Navicula</i> sp.	x	x	x		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	<i>Nitzschia longissima</i>								x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	<i>Nitzschia</i> sp.	x																	
	<i>Pseudo-nitzschia pungens</i>												x		x				
	<i>Pleurosigma angulatum</i>					x													
	<i>Pleurosigma</i> sp.					x							x						x
	<i>Gyrosigma balticum</i>									x									
	<i>Skeletonema</i> sp.														x				
	<i>Synedra</i> sp.					x			x	x									
	<i>Thalassiosira</i> sp ₁	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	<i>Triceratium</i> sp.						x												x
	<i>Rhizosolenia</i> sp.																	x	x
<i>Thalassiosira</i> sp ₂					x	x		x		x	x		x	x	x	x	x	x	
Chlorophyta	<i>Scenedesmus dimorphus</i>		x					x	x	x						x			x
	<i>Scenedesmus quadricauda</i>	x	x													x			x
	<i>Scenedesmus</i> sp.	x	x							x			x				x		
	<i>Characium</i> sp.					x	x	x			x	x	x			x	x	x	
	<i>Crucigenia</i> sp.			x						x		x	x	x		x	x	x	x
	<i>Actinastrum hantzschii</i>							x											
Charophyta	<i>Gonatozigon monotaenium</i>				x														
	<i>Closterium</i> sp.													x	x	x			x

Fonte: Nayana Buarque Antão da Silva.

Tabela 3: Variação do tamanho (μm) com as medianas das espécies mais frequentes e dominantes no sistema estuarino da cidade do Recife, Nordeste do Brasil.

Táxon	Período chuvoso	Período de estiagem
<i>Chroococcus turgidus</i>	7,5 (5 – 12,5)	7,5 (7,5 – 12,5)
<i>Chroococcus</i> sp.	5 (5 – 15)	5 (5 – 12,5)
<i>Chroococcus</i> sp. (colonial)	10 (5 – 32,5)	12,5 (7,5 – 37,5)
<i>Cyclotella</i> sp.	12,5 (7,5 – 22,5)	15 (10 – 25)
<i>Cylindrotheca closterium</i>	62,5 (37,5 – 87,5)	62,5 (37,5 – 87,5)
<i>Melosira</i> sp.	20 (10 – 32,5)	25 (10 – 62,5)
<i>Navicula</i> sp.	25 (15 – 82,5)	25 (12,5 – 37,5)
<i>Planktothrix isoethrix</i>	30 (17,5 – 200)	30 (12,5 – 182,5)
<i>Thalassiosira</i> sp ₁	12,5 (5 – 62,5)	25 (10 – 50)

Fonte: Nayana Buarque Antão da Silva.

Análise de correlação

As correlações entre os parâmetros ambientais e a biomassa fitoplanctônica foram testadas usando a correlação de Spearman (Tabela 4). A clorofila *a* apresentou correlação positiva com os nutrientes, amônia e fosfato, sendo a clorofila *a* fracionada, também correlacionada negativamente com o MPS e o nitrito. Dentre os parâmetros ambientais, a temperatura apresentou correlação positiva com amônia e fosfato, e negativa com o silicato. Enquanto o MPS se correlacionou de forma positiva apenas com o nitrito. A amônia esteve correlacionada de forma negativa com o nitrato e positiva com o fosfato.

O coeficiente de correlação de Spearman também foi usado para testar as correlações entre os parâmetros ambientais e as classes de tamanho das células fitoplanctônicas (Tabela 5), como também com o tamanho das espécies mais frequentes (Tabela 6). A temperatura correlacionou-se positivamente com as cianobactérias, com as euglenófitas da classe do nanofitoplâncton, e com os dinoflagelados e as diatomáceas do microfitoplâncton. Também apresentou correlação positiva com a espécie *Planktothrix isoethrix*, *Melosira* sp. e *Thalassiosira* sp₁. A salinidade apresentou correlação positiva com dinoflagelados e euglenófitas da classe do nanofitoplâncton, e negativa com as clorófitas do microfitoplâncton.

O pH correlacionou-se positivamente com as euglenófitas do nanofitoplâncton e com a diatomácea *Cyclotella* sp. O MPS esteve correlacionado positivamente com as diatomáceas *Cyclotella* sp. e *Navicula* sp. e, negativamente com a *Cylindrotheca closterium*. Em relação aos nutrientes, a amônia foi o que apresentou mais correlações significativas, sendo positivamente correlacionada com as cianobactérias e os dinoflagelados, com as euglenófitas do nanofitoplâncton e as diatomáceas do microfitoplâncton. A correlação positiva também ocorreu em relação às diatomáceas *Melosira* sp. e *Thalassiosira* sp₁. O nitrito correlacionou-se negativamente com as diatomáceas da classe do nanofitoplâncton, e positivamente com a cianobactéria *Chroococcus* sp. .

O nitrato se correlacionou apenas de forma negativa, com as cianobactérias, com as diatomáceas do microfitoplâncton e com as clorófitas do nanofitoplâncton. Enquanto o

fosfato apresentou apenas correlação significativa positiva, estando correlacionado com as cianobactérias, dinoflagelados e diatomáceas, e com as clorófitas da classe do nanofitoplâncton. O silicato se correlacionou de forma negativa, com as cianobactérias do microfitoplâncton, as euglenófitas do nanofitoplâncton e os dinoflagelados. A correlação negativa também ocorreu com as diatomáceas *Melosira* sp. e *Thalassiosira* sp₁, e a única correlação positiva ocorreu com a espécie *Planktothrix isothrix*.

Tabela 4: Coeficiente de correlação de Spearman entre a biomassa fitoplanctônica e os parâmetros ambientais no sistema estuarino da cidade do Recife, Nordeste do Brasil. n.s = não significativo; *P<0,05.

Parâmetros	Clor. a (<20 µm) (mg.m ⁻³)	Clor. a total (mg.m ⁻³)	Temp. (°C)	Sal.	pH	MPS (mg.L ⁻¹)	NH ₃ (µmol L ⁻¹)	NO ₂ (µmol L ⁻¹)	NO ₃ (µmol L ⁻¹)	PO ₄ (µmol L ⁻¹)
Clor. a total	0,74*									
Temp.	n. s	n. s								
Sal.	n. s	n. s	n. s							
pH	n. s	n. s	n. s	n. s						
MPS (mg.L ⁻¹)	-0,61*	n. s	n. s	n. s	n. s					
NH ₃ (µmol L ⁻¹)	0,61*	0,66*	0,71*	n. s	n. s	n. s				
NO ₂ (µmol L ⁻¹)	-0,52*	n. s	n. s	n. s	n. s	0,52*	n. s			
NO ₃ (µmol L ⁻¹)	n. s	n. s	n. s	n. s	n. s	n. s	-0,49*	n. s		
PO ₄ (µmol L ⁻¹)	0,75*	0,61*	0,73*	n. s	n. s	n. s	0,77*	n. s	n. s	
SiO ₂ (µmol L ⁻¹)	n. s	n. s	-0,47*	n. s	n. s	n. s	n. s	n. s	n. s	n. s

Fonte: Nayana Buarque Antão da Silva.

Tabela 5: Coeficiente de correlação de Spearman entre as classes de tamanho do fitoplâncton e os parâmetros ambientais no sistema estuarino da cidade do Recife, Nordeste do Brasil. n.s = não significativo; *P<0,05.

	Temp. (°C)	Sal.	pH	MPS (mg.L ⁻¹)	NH ₃ (µmol L ⁻¹)	NO ₂ (µmol L ⁻¹)	NO ₃ (µmol L ⁻¹)	PO ₄ (µmol L ⁻¹)	SiO ₂ (µmol L ⁻¹)
Cyanobacteria (nano)	0,65*	n.s.	n.s.	n.s.	0,74*	n.s.	-0,72*	0,73*	n.s.
Cyanobacteria (micro)	0,84*	n.s.	n.s.	n.s.	0,74*	n.s.	-0,55*	0,72*	-0,51*
Euglenophyta (nano)	0,74*	0,59*	0,56*	n.s.	0,51*	n.s.	n.s.	n.s.	-0,52*
Euglenophyta (micro)	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Miozoa (nano)	n.s.	0,55*	n.s.	n.s.	0,48*	n.s.	n.s.	0,53*	-0,50*
Miozoa (micro)	0,62*	0,50*	n.s.	n.s.	0,56*	n.s.	n.s.	0,71*	-0,50*
Bacillariophyta (nano)	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	-0,61*	n.s.	0,51*	n.s.
Bacillariophyta (micro)	0,64*	n.s.	n.s.	n.s.	0,76*	n.s.	-0,51*	0,86*	n.s.
Clorophyta (nano)	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	-0,53*	0,65*	n.s.
Clorophyta (micro)	n.s.	0,47*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Charophyta (micro)	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

Fonte: Nayana Buarque Antão da Silva.

Tabela 6: Coeficiente de correlação de Spearman entre o tamanho das células das espécies mais frequentes e os parâmetros ambientais no sistema estuarino da cidade do Recife, Nordeste do Brasil. n.s = não significativo; * $P < 0,05$.

Táxon	Temp. (°C)	Sal.	pH	MPS (mg.L ⁻¹)	NH ₃ (μmol L ⁻¹)	NO ₂ (μmol L ⁻¹)	NO ₃ (μmol L ⁻¹)	PO ₄ (μmol L ⁻¹)	SiO ₂ (μmol L ⁻¹)
<i>Chroococcus turgidus</i>	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
<i>Planktothrix isothrix</i>	-0,58*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	0,51*
<i>Chroococcus</i> sp. (colonial)	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
<i>Cyclotella</i> sp.	n.s.	n.s.	0,60*	0,65*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
<i>Cylindrotheca closterium</i>	n.s.	n.s.	n.s.	-0,56*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
<i>Melosira</i> sp.	0,77*	n.s.	n.s.	n.s.	0,64*	n.s.	n.s.	n.s.	-0,68*
<i>Navicula</i> sp.	n.s.	-0,61*	n.s.	0,48*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
<i>Thalassiosira</i> sp ₁	0,50*	n.s.	n.s.	n.s.	0,59*	n.s.	0,89*	n.s.	-0,64*

Fonte: Nayana Buarque Antão da Silva.

DISCUSSÃO

No presente trabalho, apesar dos nutrientes não apresentarem variação espacial significativa, teores mais elevados são encontrados no ponto 2, devido a maior proximidade com o rio Capibaribe. Este fato coincide com os maiores valores de clorofila *a* neste ponto, onde é registrada uma correlação positiva significativa de amônia e fosfato com a clorofila *a* total e fracionada, indicando a importância desses nutrientes para biomassa fitoplanctônica. Lie et al. (2013), estudando o Porto de Tolo (Hong Kong), observou uma correlação positiva do fosfato com a clorofila *a* total e fracionada, atribuindo isso, ao fato de que o fosfato foi o nutriente limitante para a fração <20 μm, e que concentrações de outros nutrientes foram suficientes para o ótimo crescimento do fitoplâncton.

O aumento nas concentrações desses nutrientes, durante o período de estiagem, ocorre devido à diminuição no escoamento das águas fluviais provocando uma menor diluição. Como consequência, é observado um aumento nos valores de clorofila *a* e na densidade celular das cianobactérias, além de uma correlação positiva significativa com a maioria dos filos (Cyanobacteria, Miozoa, Bacillariophyta) e tamanho das células do fitoplâncton. Resultados semelhantes foram observados por Gang et al. (2014), estudando o estuário do rio Pearl (Hong Kong), e em estudos anteriores no estuário do rio Capibaribe (KOENING et al., 1995); na bacia do Pina (FEITOSA & PASSAVANTE, 1990; FEITOSA et al., 1999) e na bacia portuária do Recife (SANTIAGO et al., 2010; NORIEGA et al., 2013a; AQUINO et al., 2014) onde também observaram elevados valores de clorofila *a* associados a altas concentrações de nutrientes, sendo considerados os efluentes domésticos e industriais liberados no entorno da cidade do Recife um dos principais contribuintes para o aumento de fosfato no ambiente estuarino.

Os menores valores de clorofila *a* registrados durante o período chuvoso ocorrem devido ao grande aporte de material particulado em suspensão do rio resultante da drenagem terrestre, o que acarreta diminuição da camada fótica na coluna da água e interfere na realização da fotossíntese pelo fitoplâncton. Fato este, também foi observado por Anjos et al. (2012), no estuário do rio Capibaribe, e por Santiago (2010) e Cordeiro et al. (2014), em estudos na área portuária do Recife. Por outro lado, teores elevados de salinidade coincidem com menores concentrações de biomassa fitoplanctônica (clorofila *a*) e com o domínio das menores frações (pico-nanofitoplâncton). Resultados semelhantes foram registrados na costa ocidental de Portugal (Almeida et al., 2002) e nos estuários dos rios Ilhetas e Mamucaba (Pernambuco, Brasil) (Losada et al., 2003).

No entanto, a contribuição percentual das classes de tamanho para a clorofila *a* total exibe um padrão de variação espacial desigual em relação à densidade celular. A biomassa fracionada apresenta, uma maior contribuição da fração <20 µm (pico-nanofitoplâncton) no ponto 1 (65%) e no ponto 3 (55%), e menor contribuição no ponto 2 (38%), diferentemente do observado em relação aos valores de densidade celular (cel.L⁻¹), onde as espécies classificadas na categoria do nanofitoplâncton (<20 µm) apresentam uma dominância em todos os filios e pontos de coleta. Isso pode ser explicado pelo fato da fração <20 µm (nanofitoplâncton) ser composta por espécies r-estrategistas e aproveitarem a disponibilidade de fósforo e nitrogênio para se multiplicarem rapidamente. Essa disparidade entre a biomassa e a densidade celular no ponto 2, pode estar relacionada a uma elevada concentração de clorofila *a* registrada nas células maiores (microfitoplâncton) ali presentes, estabelecendo uma maior contribuição para a biomassa total, ainda que apresentando um menor número de células por litro.

Estudo pretérito no Porto do Recife, realizado por Guenther et al. (2015) também demonstrou o domínio da fração <20 µm (nanofitoplâncton), porém com taxa de produção equivalente a fração >20 µm (microfitoplâncton). Os autores relacionaram este fato à saída da biomassa do microfitoplâncton, podendo ser exportada no transporte vertical, transporte lateral, ou incorporada na teia alimentar através da herbivoria pelo zooplâncton. Estudo realizado por Lie et al. (2013) mostrou a dominância da fração >20 µm, com uma forte correlação positiva entre os copépodes e a fração <3 µm, e uma forte correlação negativa entre os copépodes e a fração >20 µm.

Na área de estudo a comunidade de zooplâncton é composta principalmente por Copepoda, e de acordo com trabalho realizado por Pessoa (2009) na bacia do Pina, foi observado menor densidade desses organismos no final do período chuvoso. Trabalho pretérito realizado por Santiago (2010) no porto do Recife observou que a quantidade de copépodes aumenta quando a fração <20 µm se torna dominante durante o período de estiagem, e quando esses organismos estão ausentes acabam por diminuir a predação podendo gerar florescimentos de *Thalassiosira* sp. .

Na área em estudo ocorre florescimentos de diatomáceas com aumento no número de células por litro, chegando a alcançar $1,52 \times 10^6$ da *Thalassiosira* sp₁, como também uma variação sazonal significativa em relação ao tamanho das células dessa espécie, apresentando-se com células maiores durante o período de estiagem, este fato pode está relacionado à diminuição da predação pelo zooplâncton no mesmo período, como citado anteriormente.

Dentre os filios identificados, as cianobactérias apresentam o maior número de células por litro, com destaque para *Chroococcus* sp. ($2,04 \times 10^6$) e *Chroococcus turgidus* ($2,28 \times 10^6$). Os sais nutrientes amônia e fosfato, juntamente com a baixa salinidade, contribuem para o desenvolvimento deste filo, principalmente das espécies pertencentes à fração <20 µm (nanofitoplâncton). Uma explicação plausível é que o rápido crescimento populacional das cianobactérias pode estar associado ao aumento do despejo de esgotos domésticos e resíduos agrícolas (MEDEANIC & DILLENBURG, 2005), e sua capacidade de ajustar a flutuabilidade permite que permaneçam perto da superfície e maximizem a aquisição de luz e nutrientes em águas estratificadas, facilitando assim seu desenvolvimento (PAERL, 2002).

Estudo pretérito realizado no estuário do rio Capibaribe por Borges (2012) registrou uma co-dominância das cianobactérias com diatomáceas, onde a espécie *Planktothrix agardhii* foi encontrada em eventual co-dominância com as diatomáceas *Aulacoseira granulata* e *Cylindrotheca closterium*. No presente estudo pode-se observar uma eventual co-dominância da cianobactéria *Chroococcus* sp. com a *Thalassiosira* sp₁. .

A variação sazonal significativa observada para os dinoflagelados nas duas classes de tamanho ocorre em função da maior representatividade destes organismos durante o período de estiagem e aparições esporádicas durante o período chuvoso. Isso se deve ao

fato do aumento da salinidade durante o período de estiagem no qual gerou uma correlação positiva significativa. Também foi observado resultado semelhante em estudo realizado no Porto de Tolo (Hong Kong) por Tang et al. (2015), onde os dinoflagelados foram escassos durante o inverno.

De uma forma geral, a área em estudo apresenta concentrações de clorofila *a* elevadas com valores, na maioria das vezes, acima de 20 mg/m³, evidenciando que o ambiente encontra-se hipereutrofizado em consequência da grande urbanização da área e lançamentos de efluentes domésticos. Esse resultado também foi encontrado em estudos pretéritos por Flores-Montes et al. (2011) e por Santos et al. (2009), caracterizando essa região estuarina, como uma área que vem sofrendo fortemente com a ação de fatores impactantes.

CONCLUSÃO

Assim, pode-se concluir que os altos valores de clorofila *a* evidenciaram que o ambiente encontra-se hipereutrofizado e que a salinidade e os nutrientes interferem na quantidade e no tamanho das células da comunidade fitoplanctônica. Ocasionalmente em um selecionamento e domínio de espécies oportunistas da fração <20 µm, e que a dominância da fração >20 µm no ponto 2 é atribuída ao fato das células maiores estarem armazenando uma maior quantidade de clorofila *a*. Comprovando assim, a hipótese de que a forte ação antrópica na área influencia na variação espacial e sazonal da biomassa e no tamanho das células fitoplanctônicas.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, M.A.; CUNHA, M.A.; ALCÂNTARA, F. Seasonal change in the proportion of bacterial and phytoplankton production along a salinity gradient in a shallow estuary. **Hydrobiologia**, v. 476, p. 251–262, 2002.
- ANJOS, D.L.; PASSAVANTE, J.Z.O.; SILVA-CUNHA, M.G.G.; HONORATO DA SILVA, M. Biomassa fitoplanctônica correlacionada aos fatores hidrológicos no estuário do rio Capibaribe (Recife, Pernambuco, Brasil). **Tropical Oceanography**, v. 40, n. 1, p. 167-184, 2012.
- AQUINO, E.P.; BORGES, G.C.P.; HONORATO DA SILVA, M.; PASSAVANTE, J.Z.O.; SILVA-CUNHA, M.G.G. Microphytoplankton community and environmental variables in an urban eutrophic estuary (Capibaribe River, Northeast Brazil). **Pan-American Journal of Aquatic Sciences**, v. 9, n. 4, p. 267-277, 2014a.
- BAUMGARTEN, M.D.G.Z.; BARROS-ROCHA, J.M.; NIENCHESKI, L.F.H. **Manual de análises em oceanografia química**. Furg. 1996.
- BORGES, G.C.P.; SILVA-CUNHA, M.G.G.; SANTIAGO, M.F.; LIMA, J.C. Comunidade fitoplanctônica e variáveis ambientais em área portuária, nordeste do Brasil. **Tropical Oceanography**, Recife, v. 40, n. 2, p. 309-318, 2012.
- BRAYNER, F.M.M.; BARBOSA, F.M.M.; SILVA, H.K.P.; MELO, L.V. Behaviour of heavy metals in the estuarine area of the Capibaribe River in the Northeast of Brazil. **Journal de Physique**, v. 107, n. 4, p. 221-225, 2003.
- CLOERN, J.E. The relative importance of light and nutrient limitation of phytoplankton growth: a simple index of coastal ecosystem sensitivity to nutrient enrichment. **Aquatic Ecology**, v. 33, p. 3-16, 1999.

CORDEIRO, I.A.; FEITOSA, F.A.N.; FLORES-MONTES, M.J.; HONORATO DA SILVA, M.S. Distribuição sazonal e espacial da clorofila *a* e variáveis ambientais na plataforma continental de Pernambuco (Porto do Recife), Brasil. **Tropical Oceanography**, v. 42, p. 60 – 76, 2014.

FEITOSA, F.A.N.; PASSAVANTE, J.Z.O. Variação sazonal da biomassa primária do fitoplâncton da Baía do Pina (Recife, Pernambuco-Brasil). **Trabalhos Oceanográficos** da Universidade Federal de Pernambuco, v. 21, p. 33-46, 1990.

FEITOSA, F.A.N.; SILVA-CUNHA, M.G.G.; PASSAVANTE, J.Z.O.; NEUMANN-LEITÃO, S.; LINS, I.C. Estrutura do microfítoplâncton no sistema estuarino do rio Goiana, Pernambuco, Brasil. **Trabalhos Oceanográficos**, v. 27, p. 15-25, 1999.

FLORES-MONTES, M.J.; PAULO, J.G.; NASCIMENTO-FILHO, G.A.; GASPAR, F.L.; FEITOSA, F.A.; SANTOS-JÚNIOR, A.C.; BATISTA, T.N.F.; TRAVASSOS, R.K.; PITANGA, M.E. The trophic status of an urban estuarine complex in Northeast Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. 64(SI), p. 408-411, 2011.

GANG, L.; QIANG, L.; JUNDA, L.; XINGYU, S.; YEHUI, T.; LIANGMIN, H. Environmental gradients regulate the spatial variations of phytoplankton biomass and community structure in surface water of the Pearl River estuary. **Acta Ecologica Sinica**, v. 34, p. 129-133, 2014.

GRASSHOFF, F.K.; ENRHARDT, M.; KREMLING, K. **Methods of seawater analysis**. Verlag Chemie, Weinheim, 1983.

GUENTHER, M.; ARAÚJO, M.; FLORES-MONTES, M.J.; GONZALEZ-RODRIGUEZ, E.; NEUMANN-LEITÃO, S. Eutrophication effects on phytoplankton size-fractionated biomass and production at a tropical estuary. **Marine Pollution Bulletin**, v. 91, n. 2, p. 537-547, 2015.

HAYS, G.C.; RICHARDSON, A.J.; ROBINSON, C. Climate change and marine plankton. **Trends in Ecology & Evolution**, v. 20, p. 337-344, 2005.

KOCUM, E.; SUTCU, A. Análise das variações na estrutura do tamanho da comunidade do fitoplâncton ao longo de um gradiente trófico costeiro. **Journal of Coastal Research**, v. 30, n. 4, p. 777-784, 2014.

KOENING, M.L.; MACÊDO, S.J.; TRAVASSOS, P.E.P.F.; PASSAVANTE, J.Z.O. Biomassa fitoplanctônica no estuário do rio Capibaribe (Recife - Pernambuco - Brasil). **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 38, n. 4, p. 1071-1083, 1995.

LEVIN, L.A.; BOESCH, D.F.; COVICH, A.; DAHM, C.; ERSÉUS, C.; EWEL, K.C.; KNEIB, R.T.; MOLDENKE, A.; PALMER, M.A.; SNELGROVE, P.; STRAYER, D.; WESLAWSKI, J.M. The function of marine critical transition zones and the importance of sediment biodiversity. **Ecosystem**, v. 4, p. 430-451, 2001.

LIE, A.A.Y.; WONG, L.C.; WONG, C.K. Phytoplankton community size structure, primary production and copepod production in a subtropical coastal inlet in Hong Kong. **Journal of the Marine Biological Association**, v. 93, n. 8, p. 2155-2166, 2013.

LOBO, E.; LEIGHTON, G. Estructuras comunitarias de las fitocenosis planctónicas de los sistemas de desembocaduras de ríos y esteros de la zona central de Chile. **Revista de Biología Marina y Oceanografía**, v. 22, p. 1-29, 1986.

LOSADA, A.P.M.; FEITOSA, F.A.N.; LINS, I.C. Variação sazonal e espacial da biomassa fitoplanctônica nos estuários dos rios Ilhetas e Mamucaba (Tamandaré-PE) relacionada com parâmetros hidrológicos. **Tropical Oceanography**, v. 31, p. 1-26, 2003.

MATTEUCCI, S.D.; COLMA, A. **Metodología para el estudio de la vegetación**. Secretaría General de la Organización de los Estados Americanos, Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico, 1982.

MEDEANIC, S.; DILLENBURG, S.R. Palynology and 210Pb datings: first integrated approach to estimating anthropogenic impact on the environment of the Tramandaí Lagoon and adjacent areas during the last century. **Journal of Coastal Research**, v. 42, p. 271-276, 2005.

NORIEGA, C.E.; SANTIAGO, M.F.; FAÇANHA, P.; SILVA, M.D.G.G.; SILVA, R.A.; MONTES, M.D.J.F.; ARAÚJO-FILHO, M.; COSTA, A.M.P.; ESKINAZI-LEÇA, E.; NEUMANN-LEITÃO, S. The instantaneous transport of inorganic and organic material in a highly polluted tropical estuary. **Marine and Freshwater Research**, v. 64, n. 6, p. 562-572. 2013.

PAERL, H.W.; ROSSIGNOL, K.L.; HALL, N.S.; PEIERLS, B.L.; WETZ, M.S. Phytoplankton community indicators of short- and long-term ecological changes in the anthropogenically and climatically impacted Neuse River estuary, North Carolina, USA. **Estuaries and Coasts**, v. 33, p. 485-497, 2010.

PAERL, H.W.; PAUL, V.J. Climate change: links to global expansion of harmful cyanobacteria. **Water research**, v. 46, p. 1349 - 1363, 2012.

PASSAVANTE, J.Z.O. Produção fitoplanctônica do estuário do rio Capibaribe (Recife, Pernambuco, Brasil). In: CONGRESSO NORDESTINO DE ECOLOGIA, 2003, Recife. **Anais...** Recife

PEREIRA-FILHO, J.; SCHETTINI, C.A.F.; RÖRIG, L.; SIEGLE, E. Intratidal variation and net transport of dissolved inorganic nutrients, POC and chlorophyll a in the Camboriu river estuary, Brazil. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 53, p. 249-257, 2001.

PESSOA, V.T. **Mesozooplâncton da Baía do Pina, Recife, Pernambuco – Brasil**. Dissertação (Programa de Pós Graduação em Oceanografia). Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Brazil, 2009.

PIELOU, E.C. **Mathematical ecology**. New York: Wiley, 1967.

RECIFE. Porto do Recife – Complexo Integrado Comercial, Hoteleiro, de Convenções e Exposições. Projeto Básico - Termo de Referência. Prefeitura do Recife, 2002. Disponível em: Acesso em: 18/10/2016.

SANTIAGO, M.F. **Dinâmica e interações das comunidades planctônicas na Baía Portuária do Recife (Pernambuco-Brasil)**. 180 f. Tese (Doutorado em Oceanografia) – CTG, Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2010.

SANTIAGO, M.F.; SILVA-CUNHA, M.G.G.; NEUMANN-LEITÃO, S.; COSTA, K.M.P.; BORGES, G.C.P.; PORTO-NETO, F.F.; NUNES, F.S. Phytoplankton dynamics in a highly eutrophic estuary in tropical Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, São Paulo, v. 58, n. 3, p. 189- 205, 2010.

SANTOS, T.G.; BEZERRA-JUNIOR, J.L.; COSTA, K.M.P.; FEITOSA, F.A.N. Dinâmica da biomassa fitoplanctônica e variáveis ambientais em um estuário tropical (Baía do Pina, Recife, PE). **Revista Brasileira Engenharia de Pesca**, v. 4, p. 95-109, 2009.

SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS. Sub-Programa de Desenvolvimento Sustentável de Recursos Hídricos para o Semi-Árido Brasileiro – PROÁGUA. Diagnóstico e Estudos Básicos. Pernambuco, 2002. 201 p.

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

SIEBURTH, J. Pelagic ecosystem structure: Heterotrophic compartments of the plankton and their relationship to plankton size fractions. **Limnology and Oceanography**, v. 23, n. 6, p.1256-1263, 1978.

SOURNIA, A. **Phytoplankton Manual**. Paris: UNESCO, 1978, p. 337.

STRICKLAND, J.D.H.; PARSONS, T.R.A. **Practical handbook of seawater analysis**. Bulletin Fisheries Research Board of Canada, v. 167, p. 1-205, 1972.

TANG, C. H.; WONG, C. K.; LIE, A.A.Y.; YUNG, Y.K. Size structure and pigment composition of phytoplankton communities in different hydrographic zones in Hong Kong's coastal seas. **Journal of the Marine Biological Association**, v. 95, p. 885–896, 2015.

UNESCO. **Determination of photosynthetic pigments in sea waters**. Report of SCOR/UNESCO working group 17. Paris: S.N., Monographys on Oceanology Methodology. 1966. 69 p.

UTERMÖHL, H. **Zur vervollkommnung der quantitativen Phytoplankton Methodik**. Mitteilung Internationale Vereinigung für Theoretische Angewandte Limnologie, 1958. v. 9, p. 68-72.

APÊNDICE

Apêndice A - Variação sazonal e espacial dos parâmetros hidrológicos no sistema estuarino do Recife, Nordeste do Brasil.

Parâmetros	Mês/ponto																	
	Mar			Jul			Ago			Set			Nov			Dez		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
Temp. (°C)	26,5	27	26,5	27	27	27,5	26	27	25,5	26,5	27	27	28,7	29,5	29	30	30	30,5
Sal.	25,73	13,45	14,59	18,9	10,73	12,59	28,26	11,68	22,59	24,66	17,47	21,49	31,77	20,47	26,23	30,05	20,05	26,26
PO ₄ (µmol L ⁻¹)	2,16	3,93	4,44	5,37	6,38	6,76	3,99	7,89	5,16	7,65	8,9	7,29	7,11	8,36	7,76	9,22	13,29	8,03
SiO ₂ (µmol L ⁻¹)	29,9	65,72	26,86	27,76	78,42	51,5	54,88	162,89	85,36	39,93	54,88	46,46	26,62	5,41	10,26	37,94	17,57	43,1
NO ₂ (µmol L ⁻¹)	1,24	3,94	3,28	0,01*	0,01*	0,01*	0,16	0,01*	0,12	0,48	0,01*	0,13	0,55	0,14	0,62	0,52	0,01*	0,02
NO ₃ (µmol L ⁻¹)	10,8	32,1	32,32	2,64	6,85	2,66	2,57	1,5	2,13	3,36	4,01	4,44	3,3	1,52	2,12	3,24	1,61	4
NH ₃ (µmol L ⁻¹)	0,01*	3,08	8,57	2,73	1,89	9,22	2,19	9,99	6,96	7,65	8,35	5,56	8,08	9,76	10,4	9,54	13,36	14,4
pH	7,39	7,64	7,25	7,01	8,04	6,91	7,76	7,24	7,59	7,49	7,33	6,74	7,86	7,66	7,59	7,49	8,28	7,78
MPS (mg L ⁻¹)	37,2	42,6	31	13,11	37,11	27,11	26,25	21	21,25	24,75	11,25	22,25	26,5	26,25	22,25	30,5	29	21,4

*Não detectável

Apêndice B – Variação sazonal e espacial da biomassa fitoplanctônica (mg.m⁻³) no sistema estuarino do Recife, Nordeste do Brasil.

Biomassa	Mês/ponto																	
	Mar			Jul			Ago			Set			Nov			Dez		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
Clor. a Total (mg.m ³)	12,95	28,88	9,2	7,17	7,91	13,58	4,76	61,59	34,35	10,75	54,35	26,19	7,88	38,86	27,17	15,6	79,69	45,67
Clor. a Fracionada (mg.m ³)	1,28	4,54	3,16	7,17	7,91	6,66	4,36	18,2	23,04	10,39	28,24	9,85	7,88	21,87	15,4	7,53	24,08	28,35

Apêndice C - Variações do tamanho das células (μm) da comunidade fitoplanctônica durante o período chuvoso na área de estudo.

Táxon	Período chuvoso								
	mar/15			jul/15			ago/15		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
Cyanobacteria									
SOLITÁRIAS									
<i>Chroococcus turgidus</i>	5 - 7,5		5 - 12,5	5 - 10	7,5 - 12,5	7,5 - 12,5	5 - 7,5	7,5	7,5
<i>Oscillatoria</i> sp.			75	60	337,5 - 500	22,5 - 142,5	187,5 - 237,5	212,5 - 350	
<i>Chroococcus</i> sp.	5 - 12,5	7,5	7,5 - 10		7,5 - 12,5	5 - 7,5	5 - 7,5	7,5 - 15	5 - 7,5
<i>Spirulina</i> sp.							12,5 - 62,5		
<i>Planktothrix isothrix</i>			75	17,5 - 42,5	25 - 92,5	37,5 - 57,5	17,5 - 62,5	125 - 210	25 - 130
COLONIAIS									
<i>Chroococcus</i> sp.	10	7,5 - 32,5	15	10 - 12,5	2,5 - 15	7,5 - 17,5	7,5 - 20	5 - 20	10 - 15
<i>Microcystis</i> sp.								10 - 20	
Euglenophyta									
<i>Euglena</i> sp ₁	25	20 - 45		10 - 22,5			12,5 - 50		
<i>Euglena</i> sp ₂							30 - 50		
Miozoa									
<i>Protoperdinium</i> sp.					30				15 - 37,5
<i>Scrippsiella</i> sp.				27,5					15 - 37,5
<i>Scrippsiella trochoidea</i>									12,5
SOLITÁRIAS									
<i>Aulacoseira granulata</i>	50	30 - 50		65	50 - 87,5	50	42,5		
<i>Cyclotella</i> sp.		17,5			10 - 22,5	7,5 - 20	12,5 - 25	10 - 25	
<i>Cylindrotheca closterium</i>	50 - 62,5		62,5	37,5 - 75	50 - 62,5	37,5 - 75	50 - 75		50 - 87,5
<i>Cocconeis</i> sp.		27,5			27,5				
<i>Climacosphenia moniligera</i>		125							
<i>Coscinodiscus centralis</i>				15 - 22,5					
<i>Cymbella</i> sp.		42,5							
<i>Coscinodiscus</i> sp.	12,5 - 20		12,5 - 27,5		30 - 40	25 - 47,5		32,5	20
<i>Melosira</i> sp.					12,5 - 25	10 - 25	10 - 22,5	10 - 27,5	10 - 32,5
<i>Navicula</i> sp.	15 - 32,5	17,5 - 82,5	20 - 30		15 - 37,5	25 - 30	15 - 27,5	22,5 - 32,5	25
<i>Nitzschia longissima</i>							125	125	62,5
<i>Nitzschia</i> sp.	27,5								
<i>Pleurosigma angulati</i>				132,5					
<i>Pleurosigma</i> sp.					112,5				
<i>Gyrosigma balticum</i>								132,5	
<i>Synedra</i> sp.				130			25	27,5	
<i>Thalassiosira</i> sp ₁	5 - 37,5	7,5 - 32,5	7,5 - 62,5	7,5 - 30	7,5 - 37,5	7,5 - 27,5	7,5 - 25	10 - 40	10 - 25
<i>Triceratium</i> sp.					22,5				
<i>Rhizosolenia</i> sp.									
COLONIAIS									
<i>Thalassiosira</i> sp ₂				12,5 - 15	20 - 50		37,5 - 87,5		25 - 87,5
Chlorophyta									
<i>Scenedesmus dimorphus</i>		22,5 - 25				30 - 42,5	17,5	25	
<i>Scenedesmus quadricauda</i>	25	25 - 32,5							
<i>Scenedesmus</i> sp.	17,5 - 37,5	15						20	
<i>Characium</i> sp.					7,5 - 25	10 - 32,5	45		12,5
<i>Crucigenia</i> sp.		5						10	
<i>Actinastrum hantzschii</i>						37,5			
Charophyta									
<i>Gonatozigon monotaenium</i>			42,5						

Apêndice D - Variações do tamanho das células (μm) da comunidade fitoplanctônica durante o período de estiagem na área de estudo.

Táxon	Período de estiagem								
	set/15			nov/15			dez/15		
	P1	P2	P3	P1	P2	P3	P1	P2	P3
Cyanobacteria									
SOLITÁRIAS									
<i>Chroococcus turgidus</i>	7,5 - 10	7,5 - 12,5	7,5 - 12,5	7,5	7,5 - 10	7,5 - 10	7,5	7,5	7,5
<i>Merismopedia</i> sp.				12,5					
<i>Oscillatoria princeps</i>				62,5		37,5 - 87,5			25 - 87,5
<i>Oscillatoria</i> sp.	125 - 182,5			65 - 95	25 - 137,5	100 - 212,5		150 - 162,5	
<i>Chroococcus</i> sp.	5 - 10	5 - 7,5	5 - 7,5	5 - 10	5 - 10	7,5 - 12,5	5 - 10	5 - 7,5	5 - 10
<i>Anabaena</i> sp.				37,5 - 50					
<i>Spirulina</i> sp.	20			12,5 - 27,5	32,5				20 - 50
<i>Planktothrix isothrix</i>	35 - 112,5	37,5 - 182,5	20 - 132,5	17,5 - 62,5	20 - 62,5	12,5 - 50	25 - 75	25 - 125	20 - 75
COLONIAIS									
<i>Chroococcus</i> sp.		12,5 - 37,5			7,5 - 15	12,5	7,5 - 15	12,5	
<i>Microcystis</i> sp.				12,5 - 100					
Euglenophyta									
<i>Euglena</i> sp ₁					7,5 - 15	12,5 - 20	10 - 12,5	10	10
<i>Euglena</i> sp ₂	32,5 - 37,5	27,5 - 37,5	32,5 - 37,5	12,5 - 67,5		15 - 57,5			
Miozoa									
<i>Protoperidinium</i> sp.	32,5		37,5	15 - 32,5	20 - 30		15 - 45	22,5 - 50	17,5 - 55
<i>Scrippsiella</i> sp.			25		27,5 - 42,5	12,5 - 30	15 - 62,5	50	15 - 55
<i>Scrippsiella trochoidea</i>	15 - 20		15	12,5	25		15 - 25		
<i>Scrippsiella spinifera</i>	17,5 - 22,5	40 - 42,5	12,5 - 20	15	17,5 - 22,5	17,5 - 37,5	12,5 - 20	12,5 - 17,5	
<i>Gonyaulax</i> sp.			22,5 - 25	22,5					
<i>Oxytoxum</i> sp.					12,5 - 30		25	25	
Bacillariophyta									
SOLITÁRIAS									
<i>Aulacoseira granulata</i>						50	87,5		
<i>Bidulphia</i> sp.				20 - 87,5	57,5	20 - 100	32,5		
<i>Cyclotella</i> sp.	10 - 22,5	10 - 22,5	10 - 22,5	5 - 10	10 - 22,5		5 - 10	5 - 10	5 - 10
<i>Cylindrotheca closterium</i>	37,5	62,5 - 87,5	62,5	37,5 - 62,5	50 - 75	50 - 75	37,5 - 75	50 - 75	50 - 75
<i>Coscinodiscus</i> sp.	25 - 32,5	40		22,5 - 32,5			25 - 30	25 - 50	42,5
<i>Melosira</i> sp.	10 - 42,5	10 - 62,5	12,5 - 47,5	30	10 - 35	15 - 42,5	10 - 32,5	12,5 - 50	12,5 - 30
<i>Navicula</i> sp.	15 - 32,5	12,5 - 30	25	12,5 - 37,5	25 - 30	12,5 - 27,5	12,5 - 30	25 - 37,5	25
<i>Nitzschia longissima</i>	75 - 107,5	75 - 87,5	70 - 100	87,5	50 - 105	62,5 - 87,5	62,5 - 100	62,5 - 100	62,5 - 125
<i>Pseudo-nitzschia pungens</i>		87,5		87,5 - 162,5					
<i>Pleurosigma</i> sp.		130						100 - 142,5	
<i>Skeletonema</i> sp.			62,5						
<i>Thalassiosira</i> sp ₁	10 - 37,5	12,5 - 50	10 - 45	12,5 - 32,5	10 - 35	10 - 37,5	12,5 - 30	12,5 - 37,5	12,5 - 37,5
<i>Rhizosolenia</i> sp.							125 - 200		95
COLONIAIS									
<i>Thalassiosira</i> sp ₂	32,5 - 100		25 - 62,5	32,5 - 125	50 - 112,5	62,5	27,5 - 175	37,5	
Chlorophyta									
<i>Scenedesmus dimorphus</i>					25			25	
<i>Scenedesmus quadricauda</i>					25			17,5 - 20	12,5
<i>Scenedesmus</i> sp.		12,5				12,5			
<i>Characium</i> sp.	10 - 15	12,5	12,5 - 25		10 - 42,5	10 - 20	10		
<i>Crucigenia</i> sp.	10	10 - 12,5	10		7,5 - 12,5	10	7,5	5 - 7,5	10
Charophyta									
<i>Closterium</i> sp.		62,5 - 150	60 - 162,5	25				125	25 - 57,5