



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



**Albenize Neves de Lima**

**CONDIÇÕES AMBIENTAIS DO ESTUÁRIO DO RIO FORMOSO  
(TAMANDARÉ/PERNAMBUCO/BRASIL): BIOMASSA FITOPLANCTÔNICA E  
HIDROLOGIA**

**RECIFE**

**2016**

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

**Albenize Neves de Lima**

**CONDIÇÕES AMBIENTAIS DO ESTUÁRIO DO RIO FORMOSO**  
**(TAMANDARÉ/PERNAMBUCO/BRASIL): BIOMASSA FITOPLANCTÔNICA E**  
**HIDROLOGIA**

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

Área de concentração: Oceanografia Biológica.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Antônio do Nascimento Feitosa  
Coorientador: Prof. Dr. Manuel de Jesus Flores-Montes

**RECIFE**

**2016**

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

L732c      Lima, Albenize Neves de.  
              Condições ambientais do estuário do Rio Formoso  
              (Tamandaré/Pernambuco/ Brasil): biomassa fitoplanctônica e hidrologia /  
              Albenize Neves de Lima. - Recife: O Autor, 2016.  
              66 folhas, il.

              Orientador: Prof. Dr. Fernando Antônio do Nascimento Feitosa.  
              Coorientador: Prof. Dr. Manuel de Jesus Flores-Montes.  
              Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco.  
              CTG. Programa de Pós-graduação em Oceanografia, 2016.  
              Inclui Referências e apêndices.

              1. Oceanografia. 2. Clorofila *a* 3. Variáveis ambientais. 4. Área estuarina.  
              5. Sazonalidade. 6. Fitoplâncton. I. Feitosa, Fernando Antônio do  
              Nascimento (Orientador). II. Flores-Montes, Manuel de Jesus  
              (Coorientador). III. Título.

551.46 CDD (22. ed.)      UFPE/BCTG/2016-154

CONDIÇÕES AMBIENTAIS DO ESTUÁRIO DO RIO FORMOSO  
(TAMANDARÉ/PERNAMBUCO/BRASIL): BIOMASSA FITOPLANCTÔNICA E  
HIDROLOGIA

Albenize Neve de Lima

Dissertação aprovada no dia 25 de fevereiro de 2016 pela banca examinadora

---

Prof. Dr. Fernando Antônio do Nascimento Feitosa (Orientador) – Presidente (Universidade  
Federal de Pernambuco – UFPE)

---

Prof. Dr. Manuel de Jesus Flores Montes (Coorientador)  
(Universidade Federal de Pernambuco – UFPE)

---

Prof. Dr. José Zanon de Oliveira Passavante – Titular Interno  
(Universidade Federal de Pernambuco – UFPE)

---

Dr. Marcos Honorato da Silva – Titular Externo  
(Universidade Federal de Pernambuco - UFPE)

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Sigrid Neumann-Leitão - Suplente Interno  
(Universidade Federal de Pernambuco – UFPE)

---

Dr<sup>a</sup> Raquel Correia de Assis Machado – Suplente Externo  
(Universidade Federal de Pernambuco – UFPE)

*Dedico esta obra:*

*Ao Deus eterno, pelo dom da vida.*

*Aos Meus Pais: José Maria de Lima e Rita Neves  
da Silva Lima, por compartilhar comigo o amor e  
ensinamentos da vida.*

## AGRADECIMENTOS

Ao meu Deus todo poderoso, que me criou e me deu vida em abundância. Agradeço a Ele pelo dom da vida, pelas vitórias concedidas e por suprir minhas necessidades, sejam elas físicas, emocionais ou espirituais.

À minha mãe pelo imenso amor incondicional que existe em seu coração por mim; pela dedicação, cuidado e paciência; por ter muitas vezes chorado comigo; pelas orações pedindo proteção e bênçãos para minha vida.

Ao meu pai, seu Lima (*In memorian*), que mesmo querendo que eu fosse enfermeira e não professora, sempre me incentivou a crescer e buscar o melhor para minha vida, e foi quem me incentivou a ser apaixonado pela natureza. Sei que ficaria orgulhoso de mim agora.

À minha GRANDE família, que sempre me ajudou e incentivou nos meus estudos, de todas as formas possíveis. Aos meus irmãos por sempre cuidarem dessa caçulinha aqui, e em especial à primogênita Alba Lima (*In memorian*), que onde quer que esteja, está feliz pela minha conquista. Aos meus queridos sobrinhos por fazerem parte das minhas conquistas e torcerem por mim. Aos agregados da família Lima. Amo todos vocês.

Aos amigos que fiz no meu período de graduação e estágios da vida acadêmica, que por serem muitos, não dá pra citar nomes, mas que são muito preciosos em minha vida, obrigada pela torcida de sempre e pelo carinho.

Aos demais amigos que fiz em vários momentos da vida e acompanham a jornada dessa incansável sonhadora, muito obrigada pelas palavras de apoio e incentivo.

Ao Professor Dr. Fernando Antônio do Nascimento Feitosa, por ter aberto com tanto carinho as portas do Laboratório de Fitoplâncton, mesmo sem me conhecer. Obrigada pela confiança, dedicação, apoio, incentivo e tantos ensinamentos durante esses dois anos. Obrigada também por muitas vezes me orientar não só como professor, mas também como pai.

À Dra. Maria Luise Koenig, à Dra. Maria da Glória Silva-Cunha e ao Dr. José Zanon de Oliveira Passavante, por me receberem tão bem no laboratório, pelos ensinamentos, orientações, e conversas proveitosas.

Ao coorientador Dr. Manuel de Jesus Flores-Montes pelo apoio e importantes contribuições nessa pesquisa.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Oceanografia (PPGO), com os quais tive o prazer de aprender, não só em sala de aula, mas em momentos de campo ou nos

corredores do departamento. Muito obrigada pela dedicação e carinho em repassar seus conhecimentos.

Aos Drs. Marcos Honorato da Silva e Christiana Kelly da Silva Grego pela amizade, pelas orientações e contribuições, mesmo que em raros momentos. Saibam que admiro muito vocês.

À Gyslaine, Marcela e Eveline, que nos poucos momentos em que passamos juntas, muitas foram suas contribuições e ensinamentos.

À florida equipe de laboratório pelo companheirismo e apoio de sempre: Andressa, Marina, Isis, e em especial à Laisa e Amanda pela linda amizade e imensa contribuição em cada etapa desse trabalho.

Aos integrantes do Laboratório de Oceanografia Química, em especial às amigas Josiane e Keyla, pelo auxílio e orientações da análise dos dados químicos e pelo apoio.

Ao meteorologista Thiago Luiz, pela amizade, carinho e pela contribuição nos dados meteorológicos.

Aos demais amigos que fiz no departamento, do Laboratório de Zooplankton, Geologia, Física e tantos outros, obrigada pelos momentos de descontração e aprendizagem.

Aos funcionários e secretários do Departamento de Oceanografia, em especial a Dona Edileuza pelo carinho de sempre e à Myrna Lins pela paciência e admirável dedicação ao PPGO.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnologia (CNPq) processo nº: 482494/2012-3 pelo financiamento desta pesquisa, e em especial às Dras Maria Elisabeth Araújo e Simone Rabelo Cunha, pelo apoio e dedicação para que este projeto fosse executado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão de bolsa.

## RESUMO

O rio Formoso tem 12km de extensão e nasce na porção noroeste do município de mesmo nome, no estado de Pernambuco, Brasil. O estuário do rio Formoso apresenta relevante importância ecológica devido à presença de manguezais, prados de fanerógamas e área recifal. Está inserido em duas Áreas de Proteção Ambiental (APA): a APA de Guadalupe e a APA Costa dos Corais e ao longo do seu percurso recebe efluentes domésticos, resíduos provenientes da agroindústria açucareira e atividade de carcinicultura. Esse trabalho teve como objetivo avaliar a condição ambiental da zona estuarina do rio Formoso (Tamandaré, Pernambuco, Brasil), através da distribuição da biomassa fitoplanctônica e da hidrologia. As amostras de água foram coletadas na superfície durante três meses do período chuvoso (maio/ julho/ agosto/ 2014) e três de estiagem (outubro/ novembro/ dezembro/ 2014), durante a baixa-mar e preamar de um mesmo dia, em maré de sizígia. Foi realizada também uma segunda campanha em novembro/2014 para verificação da distribuição longitudinal e vertical da salinidade. Foi observada uma influência sazonal sobre os parâmetros hidrológicos e biológicos, condicionando durante o período chuvoso menores valores de temperatura, transparência da água, salinidade e da clorofila *a* e maiores concentrações dos nutrientes, exceto do N-amoniaco. A profundidade apresentou o mínimo de 2,00 m e o máximo de 8,30 m. A temperatura variou de 26,00°C a 29,5 °C, a transparência de 1,00 m a 4,00 m e a salinidade de 20 a 35. Os teores de oxigênio dissolvido oscilaram de 3,36 ml L<sup>-1</sup> a 5,84 ml L<sup>-1</sup> e seu percentual de saturação de 69,49% a 125,82%. O material particulado em suspensão (MPS) variou de 13,2 mg L<sup>-1</sup> a 30,4 mg L<sup>-1</sup>. Os valores de N-amoniaco variaram de não detectável a 0,02 µmol L<sup>-1</sup>, de N-nitrito de não detectável a 0,20 µmol L<sup>-1</sup>, e de N-nitrato de não detectável a 3,47 µmol L<sup>-1</sup>. Para as concentrações de P-fosfato foram registrados valores de não detectável a 0,80 µmol L<sup>-1</sup> e o Si-silicato de 1,56 µmol L<sup>-1</sup> a 39,22 µmol L<sup>-1</sup>. As concentrações de clorofila *a* oscilaram de 0,67 mg.m<sup>-3</sup> a 12,64 mg m<sup>-3</sup>. A comunidade fitoplanctônica <20 µm (pico/nanofitoplâncton) apresentou uma maior contribuição, sendo responsável por até 100% da biomassa algal. O estuário caracterizou-se como homogêneo em função da forte intrusão marinha, havendo um gradiente decrescente de jusante para montante do oxigênio dissolvido, salinidade e MPS, ao contrário da clorofila *a* e do silicato. O ambiente caracterizou-se como mesotrófico e livre, momentaneamente, do processo de eutrofização antrópica em função da melhoria do tratamento dos efluentes domésticos.

Palavras-chave: Clorofila *a*. Variáveis ambientais. Área estuarina. Sazonalidade. Fitoplâncton.

## ABSTRACT

The river Formoso is 12km long and it is born in the northwest portion of the municipality of the same name in the state of Pernambuco, Brazil. The estuary of river Formoso presents relevant ecological importance due to its mangroves, meadows of phanerogams and reef area. It is inserted in two environmental protection areas (APA): the APA of Guadalupe and the APA Costa dos Corais. Along its course, the estuary receives household wastewater and waste from the sugar agroindustry and shrimp farming activity. The aim of this work was to evaluate the environmental condition of the estuarine zone of river Formoso (Tamandaré, Pernambuco, Brazil) through the distribution of phytoplankton biomass and hydrology. Surface water samples were collected for three months of the rainy season (May/July/August 2014) and three months of the dry season (October/November/December 2014) at low tide and high tide of the same day in the spring tide. A second campaign was also held in November 2014 to verify the longitudinal and vertical distribution of salinity. The biological and hydrological parameters were influenced by seasonal factors during the rainy season resulting in lower temperatures, water transparency, salinity and chlorophyll *a* and higher concentrations of nutrients, except ammoniacal-N. The minimum depth was 2.00 m and the maximum depth was 8.30 m. Temperature ranged from 26.00°C to 29.5°C, transparency ranged from 1.00 m to 4.00 m, and salinity ranged from 20 to 35. The dissolved oxygen levels varied between 3.36 ml L<sup>-1</sup> and 5.84 ml L<sup>-1</sup> and its percentage of saturation ranged from 69.49% to 125.82%. Suspended particulate matter (SPM) varied between 13.2 mg L<sup>-1</sup> and 30.4 mg L<sup>-1</sup>. Ammoniacal-N varied from non-detectable to 0.02 µmol L<sup>-1</sup>, nitrite-N ranged from non-detectable to 0.20 µmol L<sup>-1</sup>, and nitrate-N ranged from non-detectable to 3.47 µmol L<sup>-1</sup>. The recorded phosphate-P concentrations varied from non-detectable to 0.80 µmol L<sup>-1</sup> and the concentrations of silicate-Si ranged from 1.56 µmol L<sup>-1</sup> and 39.22 µmol L<sup>-1</sup>. Chlorophyll *a* concentrations varied between 0.67 mg.m and 12.64 mg m<sup>-3</sup>. The phytoplankton community <20 µm (pico-/nanophytoplankton) presented a greater contribution with up to 100% of the algal biomass. The estuary was characterised as homogenous due to the strong marine intrusion. There was a descending downstream to upstream gradient of dissolved oxygen, salinity, and SPM and the contrary was observed for chlorophyll *a* and silicate. The environment was characterised as mesotrophic and momentarily free of the anthropogenic eutrophication process due to improved domestic effluent treatment.

Key words: Chlorophyll *a*. Environmental variables. Estuarine area. Seasonality. Phytoplankton.

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                                                                                 |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Área de estudo evidenciando os pontos de coleta no estuário do rio Formoso, Pernambuco, Brasil (Fonte: Google Earth, 2015).....                                                                       | 26 |
| Figura 2. Precipitação pluviométrica (mm) referente à média mensal do ano de realização das coletas (2014) e média mensal dos últimos 16 anos (Fonte: Agência Pernambucana de Águas e Climas – APAC, 2014)..... | 30 |
| Figura 3. Temperatura da água no período chuvoso e de estiagem, em ambos os estágios de maré, registrados no estuário do rio Formoso, Pernambuco, Brasil (Fonte: Autoria própria).....                          | 30 |
| Figura 4. Salinidade no período chuvoso e de estiagem, em ambos os estágios de maré, registrados no estuário do rio Formoso, Pernambuco, Brasil (Fonte: Autoria própria).....                                   | 31 |
| Figura 5. Distribuição longitudinal de salinidade no estuário do rio Formoso, Pernambuco, Brasil (Fonte: Autoria própria).....                                                                                  | 32 |
| Figura 6. Profundidade local no período chuvoso e de estiagem, em ambos os estágios de maré, registrados no estuário do rio Formoso, Pernambuco, Brasil (Fonte: Autoria própria).....                           | 33 |
| Figura 7. Transparência da água no período chuvoso e de estiagem, em ambos os estágios de maré, registrados no estuário do rio Formoso, Pernambuco, Brasil (Fonte: Autoria própria).....                        | 34 |
| Figura 8. Material particulado em suspensão no período chuvoso e de estiagem, em ambos os estágios de maré, registrados no estuário do rio Formoso, Pernambuco, Brasil (Fonte: Autoria própria).....            | 35 |

|                                                                                                                                                                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 9. Oxigênio dissolvido no período chuvoso e de estiagem, em ambos os estágios de maré, registrados no estuário do rio Formoso, Pernambuco, Brasil (Fonte: Autoria própria).....                             | 36 |
| Figura 10. Percentual de saturação do oxigênio dissolvido no período chuvoso e de estiagem, em ambos os estágios de maré, registrados no estuário do rio Formoso, Pernambuco, Brasil (Fonte: Autoria própria)..... | 37 |
| Figura 11. N- amoniacal no período chuvoso e de estiagem, em ambos os estágios de maré, registrados no estuário do rio Formoso, Pernambuco, Brasil (Fonte: Autoria própria).....                                   | 38 |
| Figura 12. N-nitrito no período chuvoso e de estiagem, em ambos os estágios de maré, registrados no estuário do rio Formoso, Pernambuco, Brasil (Fonte: Autoria própria).....                                      | 39 |
| Figura 13. N-nitrato no período chuvoso e de estiagem, em ambos os estágios de maré, registrados no estuário do rio Formoso, Pernambuco, Brasil (Fonte: Autoria própria).....                                      | 39 |
| Figura 14. P-fosfato no período chuvoso e de estiagem, em ambos os estágios de maré, registrados no estuário do rio Formoso, Pernambuco, Brasil (Fonte: Autoria própria).....                                      | 40 |
| Figura 15. Si-silicato (B), no período chuvoso e de estiagem, em ambos os estágios de maré, registrados no estuário do rio Formoso, Pernambuco, Brasil (Fonte: Autoria própria).....                               | 41 |
| Figura 16. Clorofila <i>a</i> total no período chuvoso e de estiagem, em ambos os estágios de maré, registrados no estuário do rio Formoso, Pernambuco, Brasil (Fonte: Autoria própria).....                       | 42 |

Figura 17. Clorofila *a* fracionada (<20µm) no período chuvoso e de estiagem, em ambos os estágios de maré, registrados no estuário do rio Formoso, Pernambuco, Brasil (Fonte: Autoria própria).....43

Figura 18. Análise de Componentes Principais (ACP) das variáveis ambientais analisadas no estuário do rio Formoso, Pernambuco, Brasil, para os dois componentes principais. Ordenação das variáveis ambientais (Fonte: Autoria própria).....44

Figura 19. Análise de Componentes Principais (ACP) das variáveis ambientais analisadas no estuário do rio Formoso, Pernambuco, Brasil, para os dois componentes principais. Ordenação das amostras (Fonte: Autoria própria).....45

## LISTA DE TABELA

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1. Variáveis ambientais analisadas no estuário do rio Formoso, Pernambuco, Brasil nos períodos chuvoso e de estiagem (mínimo, máximo, média e desvio padrão) e o teste Kruskal-Wallis com os valores de “p” para os vários tratamentos (sazonais, espaciais e marés). * $p \leq 0,05$ **não-detectável (Fonte: Autoria própria)..... | 45 |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

## LISTA DE APÊNDICES

**Apêndice A** – Variação sazonal da altura das marés (m) no período chuvoso e de estiagem, em ambos os estágios de maré no estuário do rio Formoso, Pernambuco, Brasil.....62

**Apêndice B** – Variação sazonal dos parâmetros hidrológicos no **ponto 1**, no período chuvoso e de estiagem, em ambos os estágios de maré no estuário do rio Formoso, Pernambuco, Brasil.....62

**Apêndice C** – Variação sazonal dos parâmetros hidrológicos no **ponto 2**, no período chuvoso e de estiagem, em ambos os estágios de maré no estuário do rio Formoso, Pernambuco, Brasil.....63

**Apêndice D** – Variação sazonal dos parâmetros hidrológicos no **ponto 3**, no período chuvoso e de estiagem, em ambos os estágios de maré no estuário do rio Formoso, Pernambuco, Brasil. ....63

**Apêndice E** – Variação sazonal da biomassa fitoplanctônica ( $\text{mg.m}^{-3}$ ) nos pontos de coleta, no período chuvoso e de estiagem, em ambos os estágios de maré no estuário do rio Formoso, Pernambuco, Brasil. ....64

## LISTA DE ANEXO

|                                                                                                                                                                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Anexo A</b> - Variação sazonal da precipitação pluviométrica (mm) registrada na estação meteorológica do Instituto Agronômico de Pernambuco - IPA, localizada em Tamandaré durante os anos de 1999 a 2014..... | 66 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

## SUMÁRIO

|                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. INTRODUÇÃO.....                                                                 | 18 |
| 2. OBJETIVOS .....                                                                 | 20 |
| 3. FITOPLÂNCTON DOS ECOSISTEMAS COSTEIROS DE TAMANDARÉ-PE:<br>ESTADO DA ARTE ..... | 21 |
| 3.1. LITORAL DE TAMANDARÉ .....                                                    | 21 |
| 3.2. ESTUÁRIO DOS RIOS ILHETAS E MAMUCABA .....                                    | 22 |
| 3.3. COMPLEXO ESTUARINO DO RIO FORMOSO .....                                       | 23 |
| 4. DESCRIÇÃO DA ÁREA.....                                                          | 23 |
| 5. MATERIAL E MÉTODOS.....                                                         | 25 |
| 5.1. DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....                                           | 25 |
| 5.2. PARÂMETROS ABIÓTICOS .....                                                    | 25 |
| 5.2.1. Precipitação Pluviométrica.....                                             | 25 |
| 5.2.2. Hidrologia.....                                                             | 25 |
| 5.2.2.1. Temperatura .....                                                         | 25 |
| 5.2.2.2. Salinidade .....                                                          | 27 |
| 5.2.2.3. Profundidade .....                                                        | 27 |
| 5.2.2.4. Transparência da água.....                                                | 27 |
| 5.2.2.5. Material particulado em suspensão .....                                   | 27 |
| 5.2.2.6. Oxigênio dissolvido e percentual de saturação .....                       | 27 |
| 5.2.2.7. Sais nutrientes .....                                                     | 28 |
| 5.3. PARÂMETROS BIÓTICOS .....                                                     | 28 |
| 5.3.1. Biomassa Fitoplanctônica .....                                              | 28 |
| 5.5. TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS.....                                         | 28 |
| 6. NORMATIZAÇÃO DO TEXTO .....                                                     | 29 |
| 7. RESULTADOS .....                                                                | 29 |
| 7.1. PARÂMETROS ABIÓTICOS .....                                                    | 29 |
| 7.1.1. Precipitação Pluviométrica.....                                             | 29 |
| 7.1.2. Hidrologia.....                                                             | 29 |
| 7.1.2.1. Temperatura .....                                                         | 29 |
| 7.1.2.2. Salinidade .....                                                          | 31 |
| 7.1.2.3. Profundidade .....                                                        | 32 |
| 7.1.2.4. Transparência da água.....                                                | 33 |
| 7.1.2.5. Material particulado em suspensão - MPS .....                             | 34 |

|                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------|----|
| 7.1.2.6. Oxigênio dissolvido .....                           | 35 |
| 7.1.2.7. Percentual de saturação do oxigênio dissolvido..... | 36 |
| 7.1.2.8. Sais nutrientes .....                               | 38 |
| 7.2. PARÂMETROS BIÓTICOS .....                               | 41 |
| 7.2.1. Biomassa Fitoplanctônica .....                        | 41 |
| 7.2.1.1. Clorofila <i>a</i> total .....                      | 41 |
| 7.2.1.1. Clorofila <i>a</i> fracionada (< 20µm) .....        | 42 |
| 7.3. ANÁLISE DOS COMPONENTES PRINCIPAIS .....                | 43 |
| 8. DISCUSSÃO.....                                            | 46 |
| 9. CONCLUSÃO.....                                            | 52 |
| 10. REFERÊNCIAS .....                                        | 53 |
| APÊNDICE.....                                                | 61 |
| ANEXO.....                                                   | 65 |

## 1. INTRODUÇÃO

As áreas costeiras concentram grande parte da população mundial, sendo uma das áreas sob maior estresse ambiental em consequência da excessiva exploração de seus recursos naturais e do uso desordenado do solo (GRUBER et al., 2003; MMA, 2010).

Essas atividades aceleram a expansão urbana irregular e todos os problemas dela decorrentes, que ameaçam a biodiversidade costeira e marinha, como a disseminação de espécies invasoras, o desmatamento da mata ciliar, a contaminação das águas continentais por agrotóxicos e fertilizantes em consequência da agricultura, o despejo de resíduos tóxicos industriais e de dejetos humanos sem tratamento ou parcialmente tratados, a sobreexploração e as mudanças climáticas provocadas em grande parte pelas emissões de gases poluentes e pelas alterações no uso da terra. (MMA, 2010)

No litoral brasileiro encontram-se grande variedade de ecossistemas que incluem manguezais, recifes de corais, dunas, restingas, praias arenosas, costões rochosos, lagoas e estuários, que abrigam inúmeras espécies de flora e fauna, muitas das quais endêmicas e algumas ameaçadas de extinção (MMA, 2008).

Dentre estes ecossistemas, destacam-se os estuários, que são ambientes transicionais entre o continente e o oceano, encontrados em todas as regiões litorâneas do globo, sob diferentes climas e regimes de marés (PEREIRA et al., 2010).

Estuário pode ser definido como um corpo de água costeiro, parcialmente ou totalmente fechado, que possui uma conexão permanente ou periódica com a água do mar, na qual esta pode ser diluída em uma extensão mensurável pelo aporte de água continental (ELLIOTT; MCLUSKY, 2002; PEREIRA et al., 2010; POTTER et al., 2010).

Este ambiente é uma das principais vias de transferência de água doce, sedimento, nutrientes e poluentes dos continentes para os oceanos, e é caracterizado pela grande variabilidade espacial e temporal na salinidade e pela instabilidade dos seus fatores ambientais (SILVA, 2000; COUCEIRO, 2010)

Os estuários estão entre os mais produtivos de todos os ecossistemas marinhos e possuem um relevante papel ecológico, por serem ambientes propícios para o ciclo de vida de várias espécies, servindo de berçários para muitos organismos, e via de migração para outros, principalmente no período de reprodução (CHUWEN et al., 2009; GREGO et al., 2009; SIN et al., 2013).

Esses ecossistemas apresentam uma importância econômica significativa, pois são grandes produtores de alimento para o homem, além de serem utilizados para fins recreativos,

como via de acesso para o interior do continente, para atividades portuárias, instalação de indústria pesqueira, extração de areia, entre outros (LOSADA et al., 2003; CHUWEN, 2009; PEREIRA et al., 2010).

Essa grande sobrecarga de atividades nesses ambientes proporciona um aumento da entrada de nutrientes de origem continental nas águas costeiras, sendo esse enriquecimento cada vez mais atribuído ao declínio na qualidade da água e alterações de funções do ecossistema (WHITE et al., 2008)

O aumento da entrada de nutrientes nas águas costeiras pode trazer uma série de consequências ecológicas, como o aumento da biomassa e produtividade fitoplanctônica, aumentando assim a quantidade de matéria orgânica e resultando num processo eutrofização (BRAGA et al., 2000; YIN, 2002; BASTOS et al., 2011).

Em águas costeiras e estuarinas, o aumento da eutrofização é um dos principais problemas ambientais e tem sido considerado como uma grande ameaça para a saúde dos ecossistemas marinhos por várias décadas (ZHOU et al., 2014).

Nesse contexto, o monitoramento das alterações de fitoplâncton em sistemas costeiros se faz necessário para avaliar o status desses ambientes, em relação ao seu papel na produção primária, teias alimentares, ciclagem de nutrientes, mudança na qualidade da água e às respostas às mudanças ambientais. Nesse sentido, a biomassa fitoplanctônica é, portanto, um dos componentes principais na avaliação da condição trófica de um estuário (GAMEIRO, 2010).

O fitoplâncton possui um relevante papel ecológico, sendo o principal constituinte da base da teia trófica. Devido ao seu tamanho reduzido e curto ciclo de vida, esta comunidade algal apresenta variações espaço-temporais em sua composição, biomassa e produtividade, sob a ação dos diversos fatores bióticos e abióticos (ESKINAZI-LEÇA et al., 2002; GREGO et al., 2004).

Dessa forma, compreender os mecanismos que geram mudanças na comunidade fitoplanctônica estuarina é cada vez mais importante, pois esta é influenciada pela combinação dos fatores biológicos, climatológicos e hidrológicos, juntamente com as variações sazonais e diárias do ambiente, podendo desempenhar um relevante papel de bioindicadora (ESKINAZI-LEÇA et al., 2002; GREGO et al., 2004; HONORATO DA SILVA et al., 2009; HALL et al., 2013).

Sendo assim, o nível de qualidade ambiental da água e seu estado trófico podem ser avaliados através da combinação de alguns parâmetros físico-químicos da água com a medição da biomassa fitoplanctônica (BOYER et al. 2009; MEERA; NANDAN, 2010).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. OBJETIVO GERAL**

Avaliar as condições ambientais da zona estuarina do rio Formoso (Tamandaré, Pernambuco, Brasil) através da biomassa fitoplanctônica e hidrologia.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ✓ Determinar a variação espacial e temporal da biomassa fitoplanctônica (total e fracionada) em diferentes regimes de maré;
- ✓ Analisar a variação espacial e temporal de alguns parâmetros hidrológicos em diferentes regimes de maré;
- ✓ Correlacionar a biomassa fitoplanctônica com os fatores hidrológicos e com a pluviosidade;
- ✓ Caracterizar o grau de eutrofização do sistema;
- ✓ Comparar os dados atuais com pretéritos para avaliação da tendência ambiental do ecossistema;
- ✓ Contribuir de forma efetiva com o monitoramento ambiental das unidades de conservação da área de estudo.

### 3. FITOPLÂNTON DOS ECOSISTEMAS COSTEIROS DE TAMANDARÉ-PE: ESTADO DA ARTE

Diversas pesquisas foram realizadas na região costeira de Tamandaré com ênfase na comunidade fitoplanctônica e na relação desta com parâmetros hidrológicos. As áreas estudadas abrangem o litoral de Tamandaré, o estuário dos rios Ilhetas e Mamucaba e o Complexo estuarino do rio Formoso.

#### 3.1. LITORAL DE TAMANDARÉ

O primeiro estudo fitoplanctônico em Tamandaré foi realizado por Satô et al. (1963/1964), no qual foi registrado o fenômeno de maré vermelha, ocasionado por uma cianobactéria da espécie *Tricodesmium erythraeum* Ehrenberg. Posteriormente, Raposo (1979) contribuiu com um estudo sobre a variação diurna do plâncton.

Lima (1980) realizou um trabalho quali-quantitativo da comunidade do fitoplanctônica na a de Tamandaré, onde se destacaram o grupo das diatomáceas, com as espécies *Coscinodiscus centralis*, Ehrenberg e *Grammatophora marina* (Lyngbye) Kutzing.

Intensificando as pesquisas na Baía de Tamandaré, Moura e Passavante (1993), realizaram um estudo pioneiro sobre a taxa de assimilação do fitoplâncton, observando-se valores com intervalos de  $0,47 < TA < 11,17$  e média igual a  $5,82 \text{ mg.C/ mg.Cl a h}^{-1}$ . Os mesmos autores também analisaram a biomassa fitoplanctônica correlacionando-a com os fatores meteorológicos, onde a mesma variou de 1,40 a  $2,12 \text{ mg.m}^{-3}$  (MOURA; PASSAVANTE, 1994/1995).

A composição e densidade da população microfitoplanctônica foram estudadas por Galvão (1996) na região sul de Tamandaré, que constatou a presença dos gêneros *Navicula* e *Nitzschia*, sendo consideradas dominantes em 100% das amostras. Neste estudo, a densidade fitoplanctônica apresentou seu valor máximo de  $92.352 \text{ cel. L}^{-1}$ , sendo esta predominantemente mais elevada nas estações costeiras do que nas áreas estuarinas, além da composição do microfitoplâncton ter sido dominada por espécies marinhas.

Rosevel da Silva et al. (2005) analisaram a estrutura da comunidade fitoplanctônica na Baía de Tamandaré, sendo inventariado 101 táxons, com predomínio das diatomáceas, destacando-se as espécies *Aulacodiscus kittoni* Arnott, *Cerataulus turgidus* Ehrenberg,

*Chaetoceros lorenzianus* Grunow, *Coscinodiscus centralis* Ehrenberg, *Oscillatoria erythraeum* Ehrenberg e *Synechococcus elongatus* (Nägeli) Nägeli.

Amancio (2005), com o objetivo de conhecer as variações sazonal e espacial da biomassa, da composição e da ecologia da flora planctônica e a inter-relação de alguns parâmetros hidrológicos e meteorológicos, realizou um estudo na praia de Campas. A biomassa fitoplanctônica variou de 0,67 a 5,38 mg.m<sup>-3</sup>. Em relação à abundância relativa a única espécie considerada dominante foi *Asterionellopsis glacialis*, apesar da riqueza de táxons encontrados na área.

Silva (2015) avaliou as condições ambientais da área recifal de Tamandaré, através de algumas variáveis ambientais e da composição da comunidade fitoplanctônica. Neste estudo a clorofila a variou de 0.14 a 2.25 mg m<sup>-3</sup>, com maior contribuição da fração <20µm (pico e nanofitoplâncton). Foram inventariados 148 táxons com predomínio de diatomáceas, destacando-se as espécies *Paralia sulcata* (Ehrenberg) Cleve, *Psammodictyon panduriforme* W. Gregory, *Rhabdonema adriaticum* Kützinger, *Surirella fastuosa* Ehrenberg, *Prorocentrum micans* Ehrenberg e *Protoperdinium brevipes* (Paulsen) Balech. A área foi considerada isenta do processo de eutrofização.

### 3.2. ESTUÁRIO DOS RIOS ILHETAS E MAMUCABA

O primeiro estudo sobre fitoplâncton na zona estuarina dos rios Ilhetas e Mamucaba foi realizado por Losada et al. (2003), com o intuito de determinar a biomassa fitoplanctônica e correlacioná-la com parâmetros hidrológicos. Neste trabalho foi verificado, que a biomassa fitoplanctônica oscilou desde valores indetectáveis até 22,20 mg.m<sup>-3</sup>, caracterizando-a como uma área com baixa ação antrópica.

Rosevel da Silva (2005) intensificou as pesquisas nessa área e realizou um estudo sobre a comunidade fitoplanctônica abrangendo o estuário dos rios Ilhetas e Mamucaba e a Baía de Tamandaré, avaliando a dinâmica espaço-temporal e as principais variáveis ambientais que interferem na sua composição, no qual foi inventariado 203 táxons, sendo as espécies *Aulacodiscus kittoni* Arnott, *Cerataulus turgidus* Ehrenberg,, *Chaetoceros lorenzianus* Grunow, *Coscinodiscus centralis* Ehrenberg, *Nitzschia* sp. e *Synechococcus elongatus* (Nägeli.).

### 3.3. COMPLEXO ESTUARINO DO RIO FORMOSO

O estudo pioneiro sobre o fitoplâncton no estuário do Rio Formoso foi realizado por Honorato da Silva et al. (2004), que analisou as variações espacial e sazonal da biomassa fitoplanctônica e dos parâmetros hidrológicos do ambiente, no qual foi observado que a biomassa algal variou de 2,45 a 70,22 mg.m<sup>-3</sup>, caracterizando o ambiente como eutrófico.

Honorato da Silva et al. (2009), dando continuidade aos estudos no estuário, avaliou as variações espaço-temporal do microfitoplâncton e variáveis ambientais, no qual foram identificados 204 táxons, predominando o grupo das diatomáceas, destacando-se as espécies *Chaetoceros costatus* Pavillard, *Chaetoceros curvisetus* Cleve, *Chaetoceros* sp e *Coscinodiscus centralis* Ehenberg

No estuário do rio Ariquindá, Grego et al. (2009) realizaram um estudo sobre a hidrologia, biomassa e produtividade fitoplanctônica. O estuário foi classificado como mesotrófico e a fração < 20µm do fitoplâncton foi a mais representativa para o ambiente.

Aquino et al. (2012) no estuário do rio dos Passos, estudou a variação da biomassa algal e alguns parâmetros hidrológicos em função da espacialidade e sazonalidade. Neste trabalho os valores de biomassa oscilaram de 1,2 a 21,3 mg.m<sup>-3</sup>, apresentando um ambiente de características eutróficas e em bom estado de conservação.

Posteriormente, Aquino et al. (2015) intensificaram os estudos no estuário do rio dos Passos, analisando a variação espaço - temporal da comunidade fitoplanctônica em relação às variáveis ambientais. Foi verificada o predomínio de diatomáceas, com exceção da distribuição da cianobactéria *Johannesbaptistia* sp., que dominou nas zonas à montante e na estação chuvosa.

## 4. DESCRIÇÃO DA ÁREA

O município de rio Formoso se situa na região da Mata Meridional de Pernambuco, a 92km do Recife. Apresenta o clima do tipo As' (tropical quente e úmido), com chuvas de outono/inverno, segundo a classificação na escala de Köppen, e precipitação média anual de 2.050 mm, distribuída em cerca de 200 dias no ano. O período mais chuvoso se encontra entre os meses de maio a julho, e o período de estiagem entre outubro e dezembro. A temperatura anual média é de 24°C, variando entre 18°C e 32°C (HONORATO DA SILVA et al., 2004; PAIVA et al., 2009; LIMA et al., 2012). Este município está inserido em duas Áreas de

Proteção Ambiental (APA): a APA de Guadalupe e a APA Costa dos Corais (BOTELHO et al., 2000; FERREIRA; MAIDA, 2006; HONORATO DA SILVA et al., 2009).

A bacia hidrográfica do rio Formoso apresenta uma área aproximada de 2.724 hectares, está situada entre as coordenadas geográficas 8°39'-8°42'S e 35°10'- 35°05'W e é formada pelos rios Formoso, dos Passos, Lemenho e Porto das Pedras, a noroeste, e pelo rio Ariquindá, ao sul (FIDEM, 1987). Apresenta um complexo estuarino é do tipo planície costeira, de morfologia sinuosa e influenciada por pequenas descargas continentais (SILVA et al., 2011).

O rio Formoso tem 12 km de extensão e nasce na porção noroeste do município de mesmo nome, em terra do Engenho Vermelho, onde estão localizados os seus dois formadores, os riachos Vermelho e Serra D'água. Recebe como afluentes os rios dos Passos e Ariquindá e desemboca entre a Ponta de Guadalupe e a praia dos Carneiros (HONORATO DA SILVA et al., 2009; PAIVA et al., 2009). Está localizado a 76km ao Sul da cidade do Recife e cerca de 4km ao Norte da baía de Tamandaré (LIRA; FONSECA 1980). Ao longo do seu percurso recebe efluentes domésticos, resíduos provenientes da agroindústria açucareira e atividade de carcinicultura (HONORATO DA SILVA et al., 2004, 2009).

Morfologicamente, o estuário do rio Formoso apresenta três zonas distintas: Zona estuarina superior, que corresponde a zona situada à montante da maior ilha existente no estuário até o limite máximo de penetração da maré salina, próximo ao município de Rio Formoso; Zona estuarina média, que apresenta um canal com profundidade média de 7.05 m, situada em frente a desembocadura do rio Arinquidá que forma a maior ilha existente no estuário e a Zona estuarina inferior, localizada entre a desembocadura do rio Ariquindá e a Ponta de Guadalupe, apresentando dois canais divididos por um pequeno banco arenoso (LIRA et al., 1979; LIRA; FONSECA, 1980).

Com relação à vegetação observa-se a presença de manguezal representado pelas espécies *Rhizophora mangle* Linnaeus, *Laguncularia racemosa* Gaertn., *Avicennia shaueriana* Staf. e Leechman e *Conocarpus erectus* Linnaeus. Na zona inferior do estuário o manguezal é substituído por grandes coqueirais (HONORATO DA SILVA, 2003).

Geologicamente, há o predomínio de sedimentos lamosos de coloração escura ricos em matéria orgânica, os quais parecem constituir a fonte mais importante de material em suspensão no estuário (LIRA et al. 1979)

## 5. MATERIAL E MÉTODOS

### 5.1. DELIMITAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

As amostras de água foram coletadas na superfície, durante três meses do período chuvoso (maio/ julho/ agosto/ 2014) e três de estiagem (outubro/ novembro/ dezembro/ 2014), durante a baixa-mar e preamar de um mesmo dia, em maré de sizígia, em três pontos previamente definidos (Fig. 1):

- Ponto 1: Localizado à montante, na confluência do rio Formoso com o rio dos Passos (8°40'28.9" Lat. S e 35° 06'38.9" Long. W). A profundidade média foi de 3,53 m na baixa-mar e 4,85 m na preamar.
- Ponto 2: Localizado próximo à desembocadura do rio Ariquindá (8°41'12.9" Lat. S e 35° 05'56.8" Long. W). Apresentou uma profundidade média de 4,88 m na baixa-mar e 5,72 m na preamar.
- Ponto 3: Localizado à jusante do estuário, próximo aos recifes (8°41'22.2" Lat. S e 35° 04'23.5" Long. W), apresentou uma profundidade média de 3,15 m na baixa-mar e 5,78 m na preamar.

### 5.2. PARÂMETROS ABIÓTICOS

#### 5.2.1. Precipitação Pluviométrica

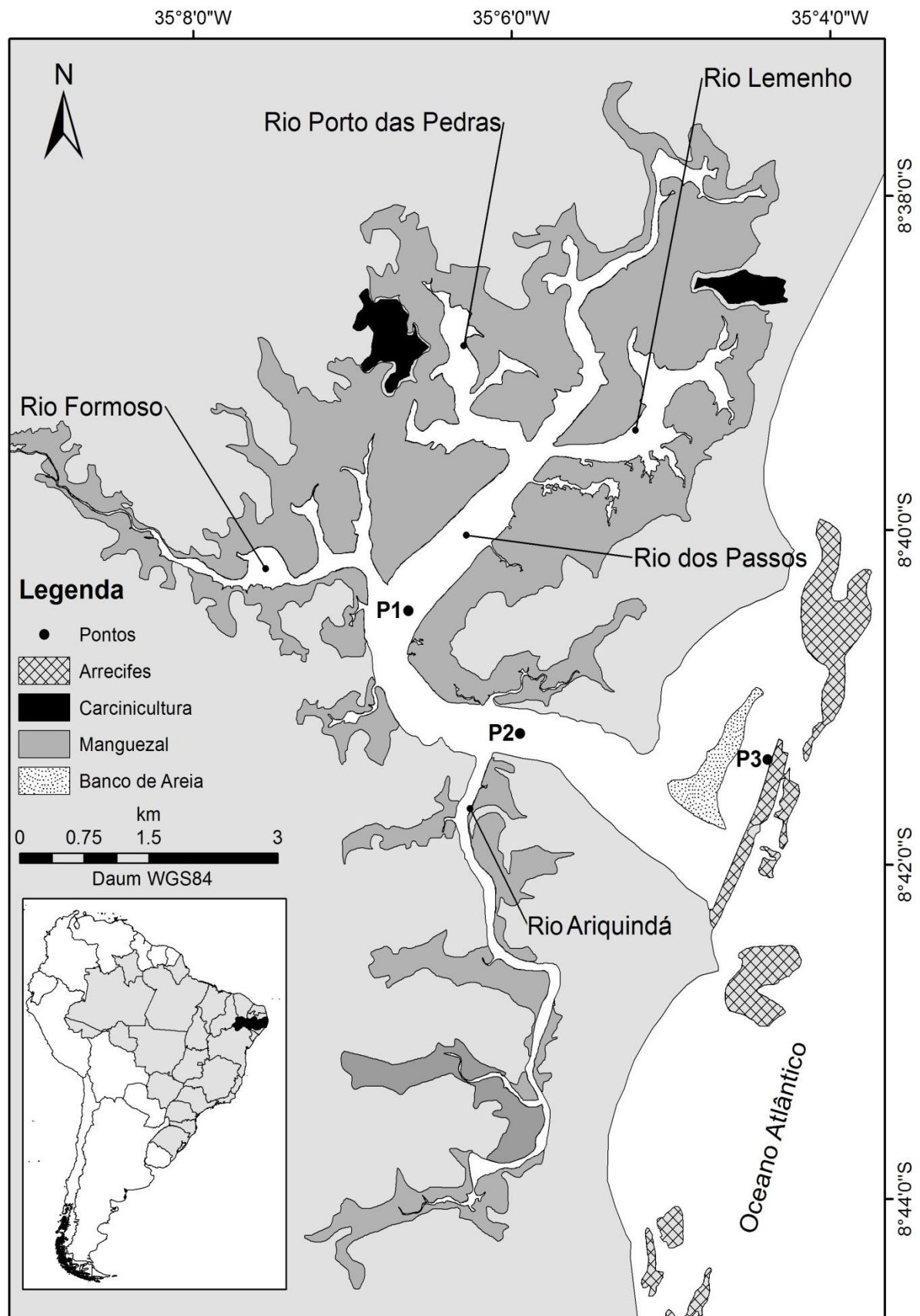
Os dados pluviométricos foram procedentes da estação meteorológica do Instituto Agrônomo de Pernambuco - IPA, localizada em Tamandaré e cedidas pela Agência Pernambucana de Águas e Clima – APAC.

#### 5.2.2. Hidrologia

##### 5.2.2.1. Temperatura

Os dados de temperatura foram registrados *in situ* através de um termômetro comum (-10 a 60 °C).

Figura 1 - Área de estudo evidenciando os pontos de coleta no estuário do rio Formoso, Pernambuco, Brasil.



Fonte: Elaborado a partir de imagens do Google Earth, 2015.

#### 5.2.2.2. Salinidade

A salinidade foi medida utilizando um refratômetro de manual da Atago com escala de 0-100.

Para verificação da distribuição longitudinal e vertical da salinidade ao longo do estuário foi realizada uma segunda campanha. A embarcação navegou a partir da foz do estuário do rio Formoso (0km) adentrando em direção à cabeceira estuário do rio do Passos até onde foi possível a navegação (~11km), durante a baixa-mar e preamar de um mesmo dia, em maré de sizígia. Foram realizados perfis verticais de salinidade e temperatura da água em estações com intervalos de 1,0 km, através de uma sonda tipo CTD da marca JFE-Advantech modelo Rinko Profiler. Para cada estação foi calculado um valor médio da coluna de água.

#### 5.2.2.3. Profundidade

A profundidade local foi aferida com uma ecossonda manual digital.

#### 5.2.2.4. Transparência da água

A transparência da água foi determinada através de um disco de Secchi preso a um cabo graduado em centímetros.

#### 5.2.2.5. Material particulado em suspensão

A análise da concentração do material particulado em suspensão total (MPS) na água foi realizada através do método americano utilizado pelo Woods Hole Oceanographic Institution descrito por Melo et al. (1975).

#### 5. 2.2.6. Oxigênio dissolvido e percentual de saturação

Para a obtenção da concentração do oxigênio dissolvido (O.D.), foram coletadas amostras de água da superfície utilizando-se uma garrafa de Kitahara. Para a sua determinação seguindo o método de Winkler descrito por Strickland e Parsons (1972). Para

calcular a taxa de saturação de oxigênio foi realizada a correlação dos dados de temperatura e salinidade, utilizando a Tabela da UNESCO (1973).

#### 5. 2.2.7. Sais nutrientes

Os teores de sais nutrientes (N-amoniaco, N-nitrito, N-nitrato e P-fosfato) foram determinados através do método de Strickland e Parsons (1972) e o Si-silicato pelo método de Grasshoff et al. (1983).

### 5.3. PARÂMETROS BIÓTICOS

#### 5.3.1. Biomassa Fitoplanctônica

As amostras para a análise biológica também foram coletadas na superfície utilizando-se uma garrafa de Kitahara e acondicionadas em recipientes de plástico foscas e posteriormente filtradas a vácuo em laboratório. Foram utilizados filtros de fibra de vidro Whatman GF/C de 1,2  $\mu\text{m}$ .

Posteriormente, as amostras seguiram dois procedimentos. Em um primeiro momento foi realizada a filtração da amostra para clorofila *a* total e fracionada, esta última através de um copo de PVC contendo tela de 20  $\mu\text{m}$ , separando assim as diferentes frações da comunidade fitoplanctônica ( $> 20 \mu\text{m}$  microfitoplâncton e  $< 20 \mu\text{m}$  nano e picofitoplâncton). Em um segundo momento os filtros foram postos em tubos de ensaio contendo acetona a 90%, por 24 horas a  $-20^\circ\text{C}$  e posteriormente realizada análise da clorofila *a* pelo método espectrofotométrico (UNESCO, 1966), sendo esta calculada a partir da equação de Parsons e Strickland (1963) e os resultados expressos em  $\text{mg.m}^{-3}$ . O valor da clorofila *a* para a fração do microfitoplâncton foi calculado pela diferença entre a clorofila *a* total e o conteúdo de clorofila do nano e picofitoplâncton.

### 5.5. TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS

Para a análise estatística foi testada a homogeneidade dos dados utilizando o teste de Levene e a normalidade dos mesmos através do teste de Shapiro-Wilk. Foi utilizado o teste não-paramétrico de Kruskal-Wallis para verificar variações espaciais, sazonais e maré,

considerando significativo os valores de  $p \leq 0,05$ . Para a análise multivariada foi utilizada a Análise de Componentes Principais (ACP). Em ambas utilizou-se o programa computacional STATISTIC 6®.

## **6. NORMATIZAÇÃO DO TEXTO**

Para normatização do texto, citações, tabelas, figuras e referências bibliográficas, foram empregadas as recomendações da Associação brasileira de Normas Técnicas - ABNT (ABNT, 2011).

## **7. RESULTADOS**

### **7.1. PARÂMETROS ABIÓTICOS**

#### **7.1.1. Precipitação Pluviométrica**

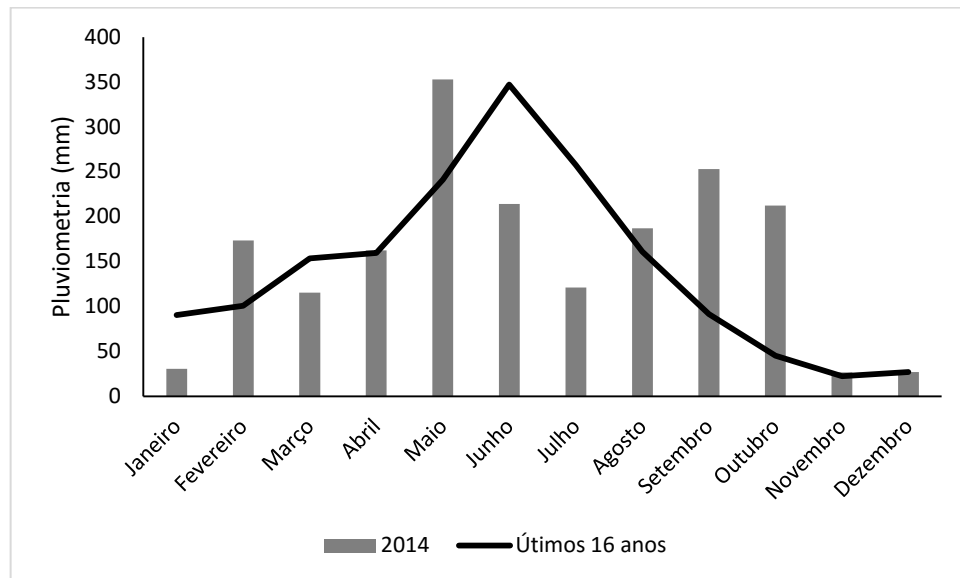
A distribuição das chuvas no ano de 2014 esteve diferenciada em alguns meses, onde janeiro, março, junho e julho ficaram bem abaixo do valor médio registrado nos últimos 16 anos, enquanto fevereiro, maio, agosto, setembro e outubro apresentaram valores acima da média. O total anual foi de 1.875,9 mm. Os dados de pluviosidade registraram o volume mínimo de 26,5 mm (novembro) e o máximo de 352,7 mm (maio) (Figura 2).

#### **7.1.2. Hidrologia**

##### **7.1.2.1. Temperatura**

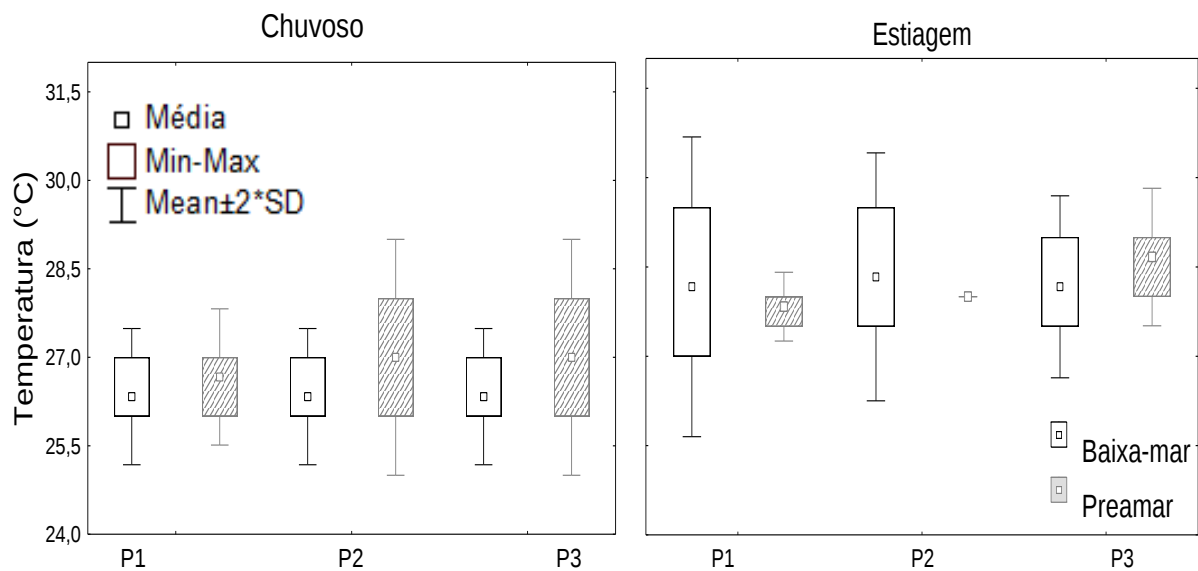
A temperatura da água variou entre 26,00°C (julho/baixa-mar, agosto/baixa-mar e agosto/preamar) e 29,5°C (novembro/baixa-mar). Apresentou um valor médio de 27,00°C e uma amplitude térmica de 3,50°C. Houve diferença significativa quanto à sazonalidade (Figura 3, Tabela 1).

Figura 2 - Precipitação pluviométrica (mm) referente à média mensal do ano de realização das coletas (2014) e média mensal dos últimos 16 anos.



Fonte: Agência Pernambucana de Águas e Climas – APAC, 2014.

Figura 3 - Temperatura da água no período chuvoso e de estiagem, em ambos os estágios de maré, registrados no estuário do rio Formoso, Pernambuco, Brasil.



Fonte: Autoria própria.

Durante a preamar os valores oscilaram de 26 °C a 29°C, observando-se o menor valor nos pontos 1, 2 e 3, no mês de agosto e o maior no ponto 3, nos meses de outubro e novembro.

No ponto 1, durante a baixa-mar, foi registrado o mínimo de 26,00°C (julho e agosto) e o máximo de 29,50 °C (novembro). Na preamar os valores variaram de 26°C (julho e agosto) a 28°C (novembro) (Apêndice B).

No ponto 2 os valores oscilaram de 26,00°C (julho e agosto) a 29,50 °C (novembro), na baixa-mar, e entre 26,00°C (agosto) e 28,00°C (maio, outubro, novembro e dezembro), na preamar (Apêndice C).

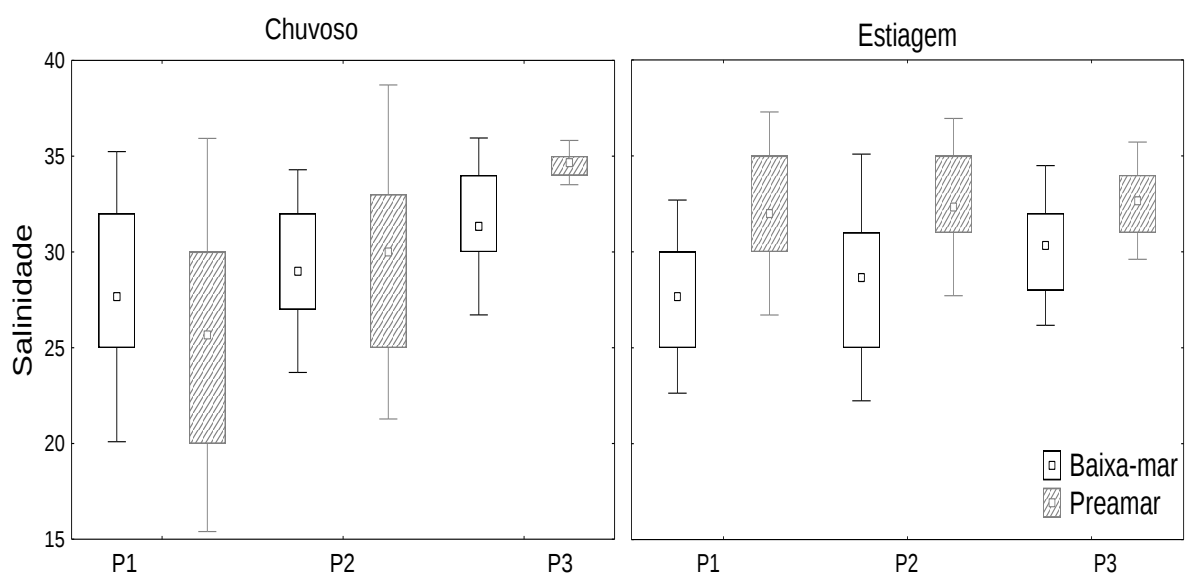
Para o ponto 3 foi registrado na baixa-mar o mínimo de 26,00°C (julho e agosto) e máximo de 28,00°C (dezembro). Na preamar o mínimo foi de 26,00°C (agosto) e o máximo de 29,00 °C (novembro) (Apêndice D).

#### 7.1.2.2. Salinidade

A salinidade apresentou o valor mínimo de 20 (maio/ preamar), máximo de 35 (julho, agosto e dezembro/ preamar) e média de 30,17. Evidenciou-se diferença significativa para espacialidade e estágio de maré (Figura 4, Tabela 1).

Durante a baixa-mar foi registrado para a salinidade o mínimo de 25 e o máximo de 34, sendo o menor valor registrado no ponto 1, nos meses de maio e outubro e o maior valor no ponto 3, no mês de agosto. Na preamar foi observado o mínimo de 20 no ponto 1, em maio e o máximo de 35 nos ponto 1 e 2 em dezembro e no ponto 3 em junho e agosto (Apêndices B, C e D).

Figura 4 - Salinidade no período chuvoso e de estiagem, em ambos os estágios de maré, registrados no estuário do rio Formoso, Pernambuco, Brasil.



Fonte: Autoria própria.

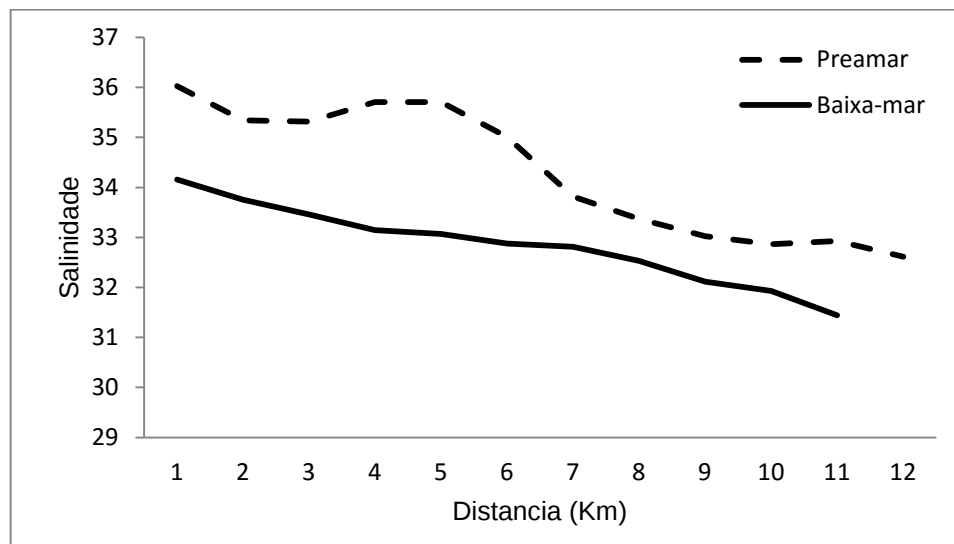
No ponto 1, na baixa mar, os valores de salinidade oscilaram de 25 (maio) a 32 (agosto), e na preamar, de 20 (maio) a 35 (dezembro) (Apêndice B).

No ponto 2, durante a baixa-mar, os valores variaram de 25 (outubro) a 32 (agosto) e na preamar, de 25 (maio) a 35 (dezembro) (Apêndice C)

Para o ponto 3, no regime de baixa-mar, foi registrado o mínimo de 28 (outubro) e máximo de 34 (agosto). Na preamar o mínimo foi de 31 (outubro) e o máximo de 35 °C (julho) (Apêndice D).

A salinidade média dos perfis verticais, para verificação da distribuição longitudinal, variou de 31,4 a 34,2 na baixamar e de 32,6 a 36,0 na preamar (Figura 5, Tabela 1).

Figura 5 - Distribuição longitudinal de salinidade no estuário do rio Formoso, Pernambuco, Brasil.

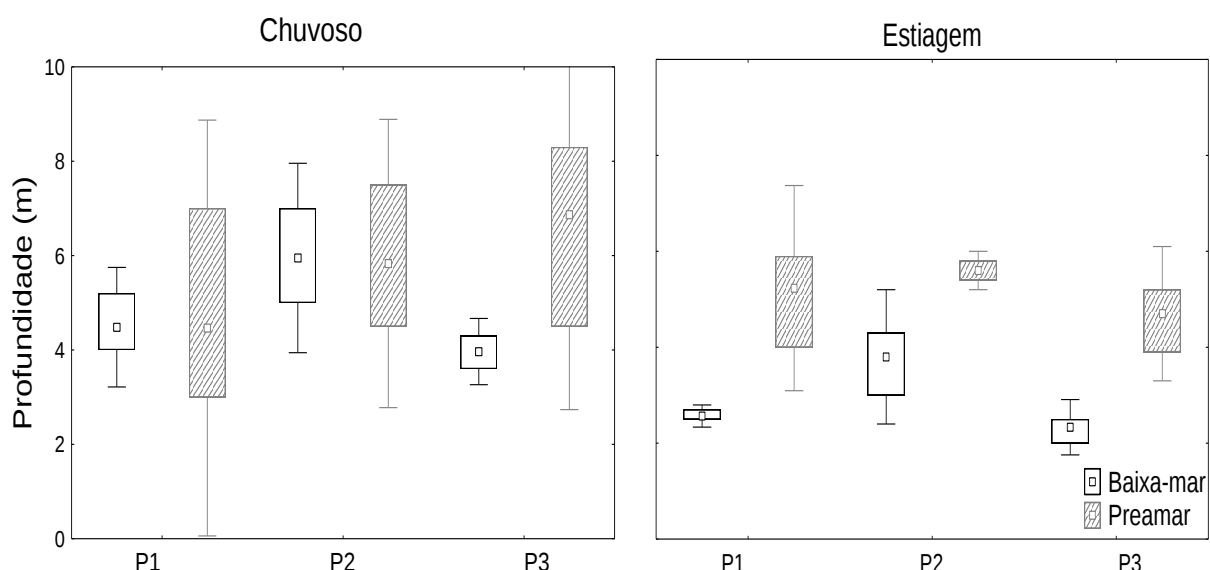


Fonte: Autoria própria.

#### 7.1.2.3. Profundidade

A profundidade apresentou o mínimo de 2,00 m (novembro/ baixa-mar) e o máximo de 8,30 m (maio/ preamar). Foi evidenciada diferença significativa para estágio de maré e sazonalidade (Figura 6, Tabela 1).

Figura 6: Profundidade local no período chuvoso e de estiagem, em ambos os estágios de maré, registrados no estuário do rio Formoso, Pernambuco, Brasil



Fonte: Autoria própria.

Na baixa-mar os valores de profundidade variaram de 2,00 m a 7,00 m, sendo o menor valor registrado no ponto 3, em novembro, e o maior valor no ponto 2, em julho. Durante a preamar os valores oscilaram entre 3,00 m e 8,30 m, observando-se o menor valor no ponto 1, no mês de agosto, e o maior valor no ponto 3, em maio (Apêndices B, C e D)

No ponto 1, durante a baixa-mar, foi registrado o mínimo de 2,50 m (julho e agosto) e o máximo de 5,20 m (agosto). Na preamar os valores variaram de 3,00 m (agosto) a 7,00 m (julho) (Apêndice B).

No ponto 2 os valores oscilaram de 3,00 m (outubro) a 7,00 m (julho), na baixa-mar, e de 4,50 m (maio) e 7,50 m (julho), na preamar (Apêndice C).

Para o ponto 3 foi registrado na baixa-mar o mínimo de 2,00 m (novembro) e máximo de 4,30 m (agosto). Na preamar o mínimo foi de 3,90 m (novembro) e o máximo de 8,30 m (maio) (Apêndice D).

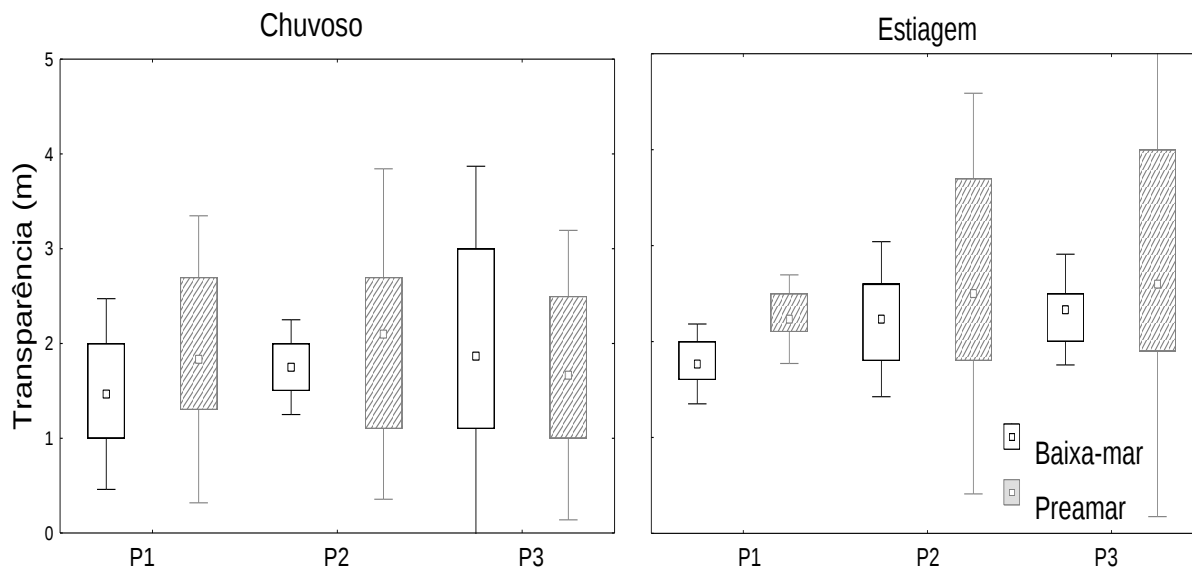
#### 7.1.2.4. Transparência da água

A transparência da água variou de 1,00 m (agosto/ preamar e maio/ baixa-mar) a 4,00 m (outubro/ preamar). Para este parâmetro houve diferença significativa apenas para sazonalidade (Figura 7, Tabela 1).

No regime de baixa-mar os valores da transparência da água variaram de 1,00 m a 3,00 m, registrando-se o menor valor no ponto 1, no mês de maio e o maior valor no ponto 3,

no mês de julho. Na preamar, foi registrada uma variação de 1,00 m a 4,00 m, sendo o menor valor no ponto 3, no mês de agosto e o maior valor no ponto 3, em outubro (Apêndices B, C e D).

Figura 7 - Transparência da água no período chuvoso e de estiagem, em ambos os estágios de maré, registrados no estuário do rio Formoso, Pernambuco, Brasil.



Fonte: Autoria própria.

No ponto 1, em baixa-mar, a transparência mínima foi de 1,00 m (maio) e a máxima de 2,00 m (dezembro). No regime de preamar, a mínima foi de 1,30 m (agosto) e a máxima de 2,70 m (julho) (Apêndice B).

Em relação ao ponto 2, foi registrado durante a baixa-mar o mínimo de 1,50 m (agosto) e o máximo de 2,60 m (novembro). Em preamar, foi registrado o mínimo de 1,10 m (agosto) e 3,70 m (outubro) (Apêndice C).

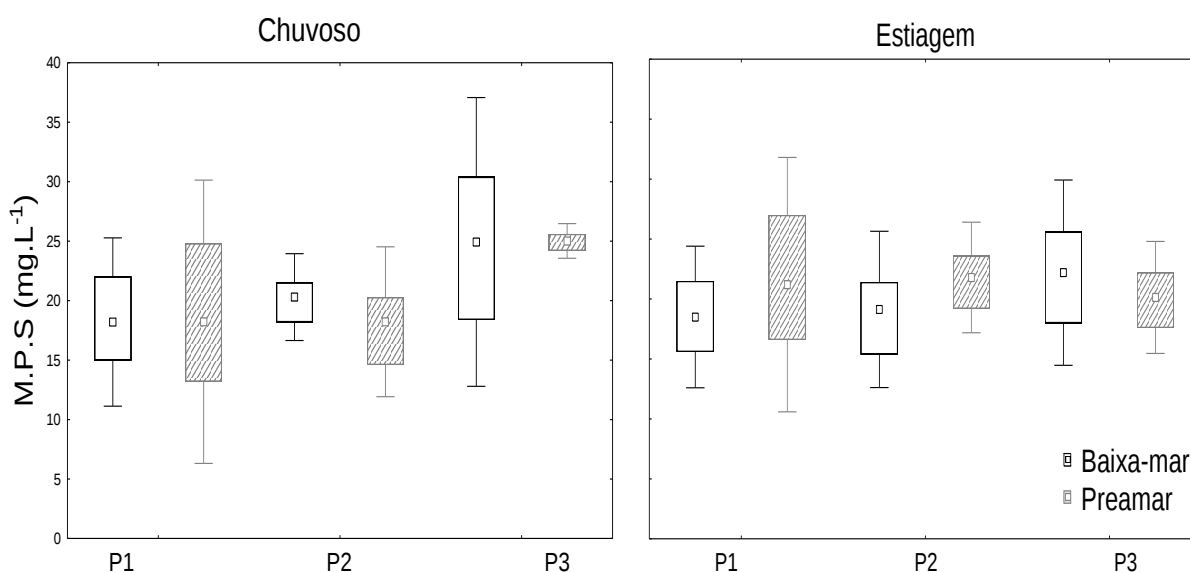
No ponto 3, durante a baixa-mar, os valores variaram de 1,10 m (agosto) a 3,00 m (julho), e na preamar variaram de 1,00 m (agosto) a 4,00 m (outubro) (Apêndice D).

#### 7.1.2.5. Material particulado em suspensão - MPS

As concentrações de MPS no período chuvoso oscilaram de 13,2 mg L<sup>-1</sup> (julho/ preamar) a 30,4 mg L<sup>-1</sup> (agosto/ baixa-mar) e no de estiagem de 15,4 mg L<sup>-1</sup> (outubro/ baixa-mar) a 27,0 mg L<sup>-1</sup> (dezembro/ preamar). Este parâmetro apresentou diferença significativa apenas para espacialidade (Figura 8, Tabela 1).

Na baixa-mar os valores de MPS variaram de 15,0 a 30,4 mg L<sup>-1</sup>, sendo o menor valor registrado no ponto 1, em julho, e o maior valor, no ponto 3, em agosto. Durante a preamar os valores oscilaram entre 13,2 e 27,0 mg L<sup>-1</sup>, observando-se o menor valor no ponto 1, no mês de julho, e o maior valor no ponto 1, em dezembro (Apêndices B, C e D).

Figura 8 - Material particulado em suspensão no período chuvoso e de estiagem, em ambos os estágios de maré, registrados no estuário do rio Formoso, Pernambuco, Brasil.



Fonte: Autoria própria.

No ponto 1, durante a baixa-mar, foi registrado, para o MPS, o mínimo de 15,0 mg L<sup>-1</sup> (julho) e o máximo de 22,0 mg L<sup>-1</sup> (maio). Na preamar os valores variaram de 13,2 mg L<sup>-1</sup> (julho) a 27,0 mg L<sup>-1</sup> (dezembro) (Apêndice B).

No ponto 2 os valores oscilaram entre 15,4 mg L<sup>-1</sup> (outubro) e 21,5 mg L<sup>-1</sup> (maio), na baixa-mar, e entre 14,6 mg L<sup>-1</sup> (agosto) e 23,6 mg L<sup>-1</sup> (dezembro), na preamar (Apêndice C).

Para o ponto 3 foi registrado na baixa-mar o mínimo de 18,0 mg L<sup>-1</sup> (outubro) e máximo de 30,4 mg L<sup>-1</sup> (agosto). Na preamar o mínimo foi de 17,6 mg L<sup>-1</sup> (outubro) e o máximo de 25,6 mg L<sup>-1</sup> (agosto) (Apêndice D).

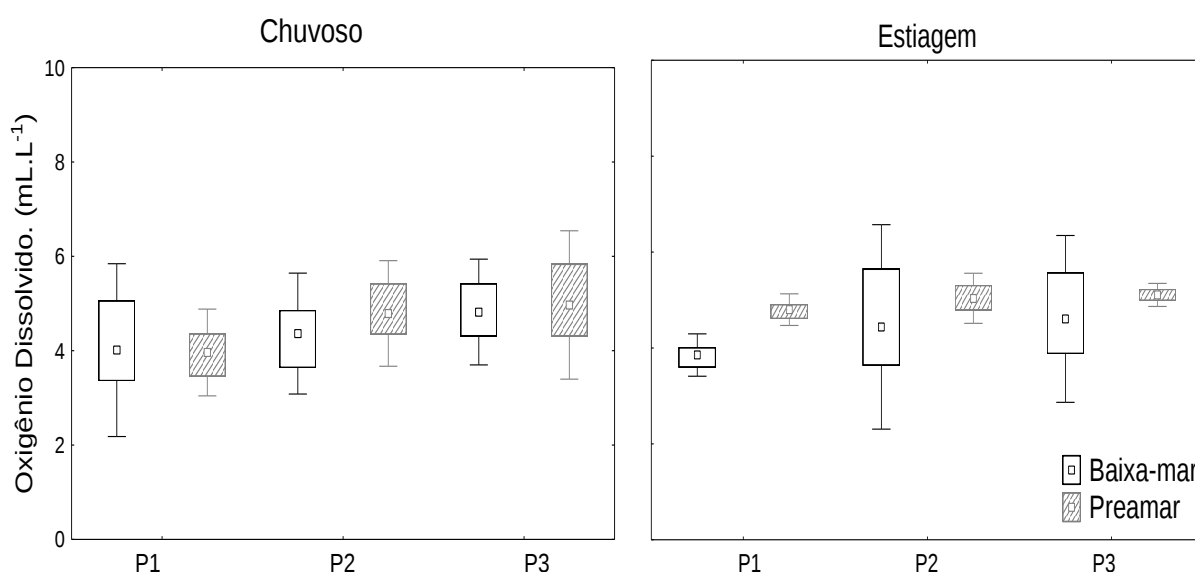
#### 7.1.2.6. Oxigênio dissolvido

O menor teor de oxigênio dissolvido foi de 3,36 ml L<sup>-1</sup> (maio/ baixa-mar) e o maior foi de 5,84 ml L<sup>-1</sup> (agosto/ preamar), apresentando média de 4,56 ml L<sup>-1</sup>. Foi observado um

gradiente espacial crescente no sentido à jusante do estuário e verificada diferença significativa para espacialidade e estágio de maré (Figura 9, Tabela 1).

Durante a baixar-mar foi registrado o mínimo de  $3,36 \text{ mL L}^{-1}$  e o máximo de  $5,65 \text{ mL L}^{-1}$ , sendo o menor valor registrado no ponto 1 no mês de maio e o maior valor no ponto 2 no mês de novembro. Na preamar foi observado o mínimo de  $3,46 \text{ mL L}^{-1}$  no ponto 1, em maio e o máximo de  $5,84 \text{ mL L}^{-1}$  no ponto 3 em agosto (Apêndices B, C e D).

Figura 9 - Oxigênio dissolvido no período chuvoso e de estiagem, em ambos os estágios de maré, registrados no estuário do rio Formoso, Pernambuco, Brasil.



Fonte: Autoria própria.

No ponto 1, na baixa mar, os valores oscilaram de  $2,26 \text{ mL.L}^{-1}$  (maio) a  $5,06 \text{ mL.L}^{-1}$  (agosto), e na preamar, de  $3,46 \text{ mL.L}^{-1}$  (maio) a  $34,91 \text{ mL.L}^{-1}$  (dezembro) (Apêndice B).

No ponto 2, durante a baixa-mar, os valores variaram de  $3,64$  (julho e dezembro) a  $5,65$  (novembro) e na preamar, de  $4,35 \text{ mL.L}^{-1}$  (maio) a  $5,42 \text{ mL.L}^{-1}$  (agosto) (Apêndice C).

Para o ponto 3, no período da baixa-mar, foi registrado o mínimo de  $3,88 \text{ mL.L}^{-1}$  (dezembro) e máximo de  $5,57 \text{ mL.L}^{-1}$  (outubro). Na preamar o mínimo foi de  $4,31 \text{ mL.L}^{-1}$  (julho) e o máximo de  $5,84 \text{ mL.L}^{-1}$  (agosto) (Apêndice D).

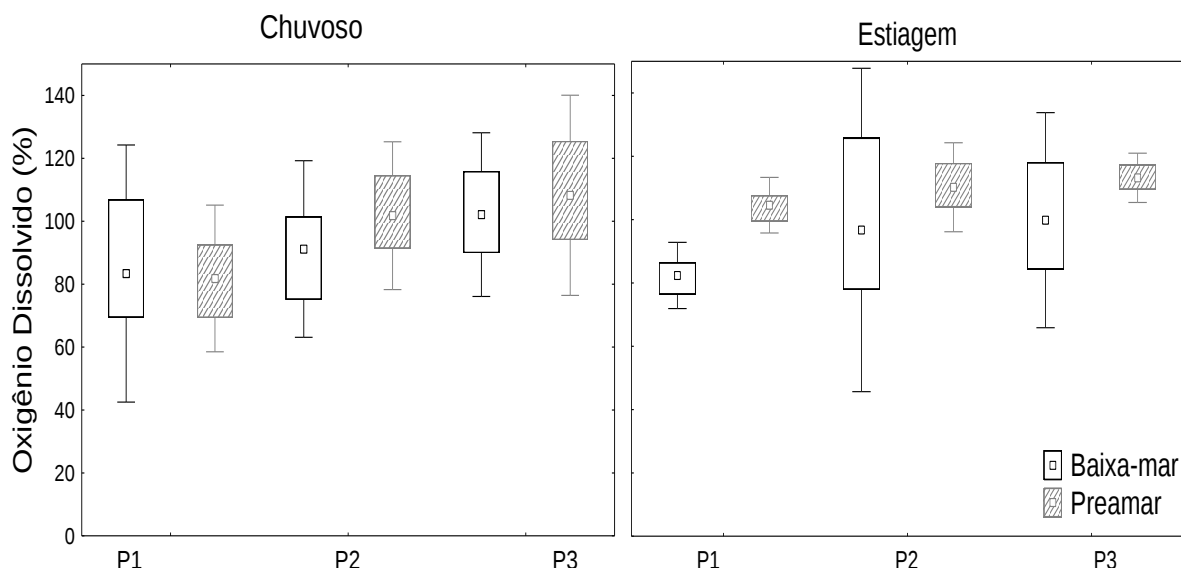
#### 7.1.2.7. Percentual de saturação do oxigênio dissolvido

O percentual de saturação do OD variou de 69,49% (maio/preamar) a 125,82% (outubro/ baixa-mar). Foi observado um gradiente espacial crescente no sentido à jusante do

estuário e verificada diferença significativa para espacialidade e estágio de maré (Figura 10, Tabela 1).

No regime de baixa-mar os valores do percentual de saturação do OD variaram de 69,49 % a 125,82 %, registrando-se o menor valor no ponto 1, no mês de maio e o maior valor no ponto 2, no mês de outubro. Em preamar, foi registrada uma variação de 69,41 % a 125,48 %, sendo o menor valor no ponto 1, no mês de maio e o maior valor no ponto 3, em agosto (Apêndices B, C e D).

Figura 10 - Percentual de saturação do oxigênio dissolvido no período chuvoso e de estiagem, em ambos os estágios de maré, registrados no estuário do rio Formoso, Pernambuco, Brasil.



Fonte: Autoria própria.

No ponto 1, em baixa-mar, o percentual de saturação do OD mínimo foi de 69,49 % (maio) e a máxima de 106,84 % (agosto). No regime de preamar, o percentual mínimo foi de 69,41 % (maio) e o máximo de 106,56 % (novembro) (Apêndice B).

Em relação ao ponto 2, foi registrado durante a baixa-mar o mínimo de 75,19% (julho) e o máximo de 125,82% (outubro). Em preamar, foi registrado o mínimo de 91,41% (maio) e 114,54% (agosto) (Apêndice C).

No ponto 3, durante a baixa-mar, os valores variaram de 84,36 % (dezembro) a 118,00 % (outubro) e na preamar variaram de 94,11 % (julho) a 125,48 % (agosto) (Apêndice D).

#### 7.1.2.8. Sais nutrientes

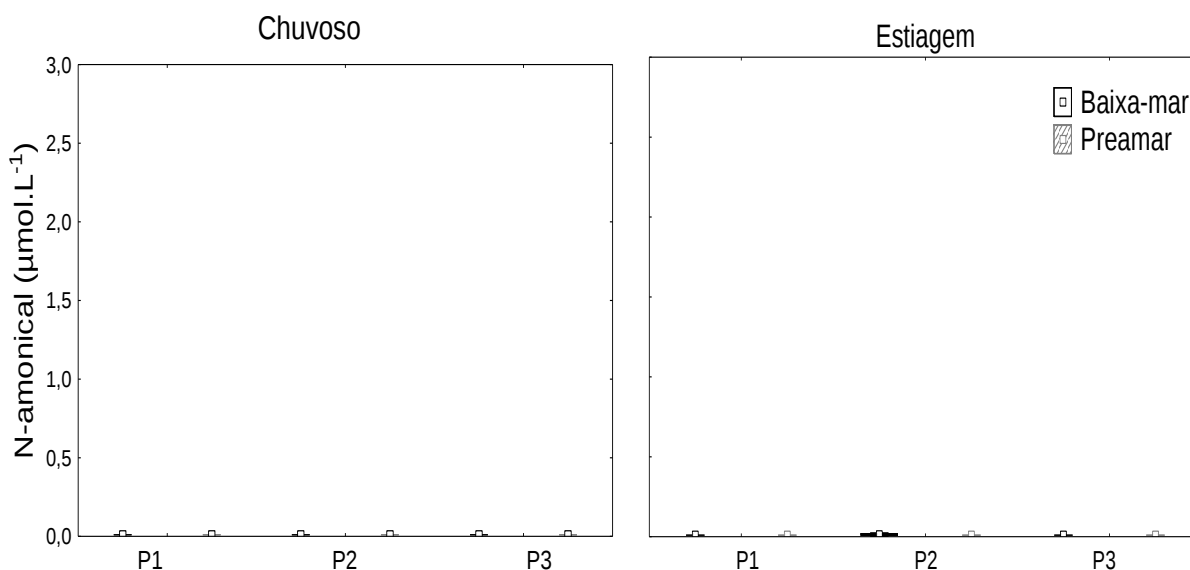
Os valores de N-amoniaco variaram de não detectável a  $0,02 \mu\text{mol L}^{-1}$  e apresentaram média de  $0,01 \mu\text{mol L}^{-1}$ . O maior valor foi observado na estação 2 (dezembro/baixa-mar). Não foi registrado diferença significativa para sazonalidade, espacialidade nem estágio de maré. (Figura 11, Tabela 1, Apêndices B, C e D).

Para o N-nitrito foram registrados os valores de não detectável a  $0,20 \mu\text{mol L}^{-1}$  e média de  $0,04 \mu\text{mol L}^{-1}$ . O maior valor foi detectado na estação 3 (maio/preamar). Verificou-se diferença significativa apenas para a sazonalidade. (Figura 12, Tabela 1, Apêndices B, C e D).

Os teores de N-nitrato variaram de não detectável a  $3,47 \mu\text{mol L}^{-1}$ , com média de  $0,42 \mu\text{mol L}^{-1}$ . Esse maior valor foi registrado na estação 3 (maio/ baixa-mar). Foi evidenciada diferença significativa apenas para a sazonalidade. (Figura 13, Tabela 1, Apêndices B, C e D).

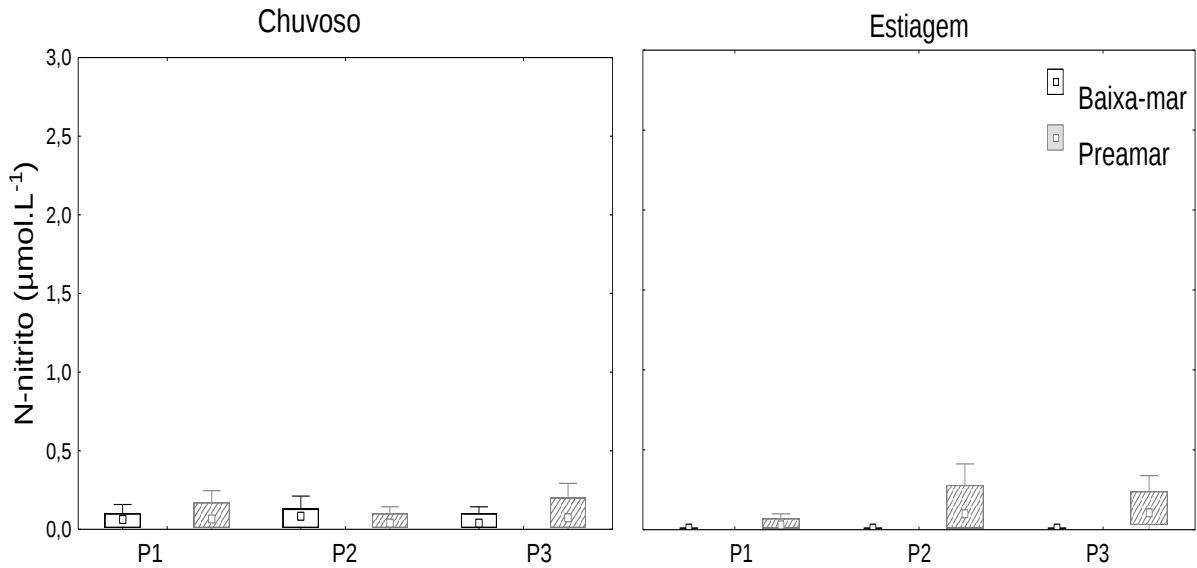
As concentrações de P-fosfato variaram de  $0,03$  a  $0,80 \mu\text{mol L}^{-1}$ . O maior valor foi observado na estação 3 (julho/ baixa-mar) apresentaram diferença significativa apenas para a sazonalidade (Figura 14, Tabela 1, Apêndices B, C e D).

Figura 11 - N- amoniacal no período chuvoso e de estiagem, em ambos os estágios de maré, registrados no estuário do rio Formoso, Pernambuco, Brasil.



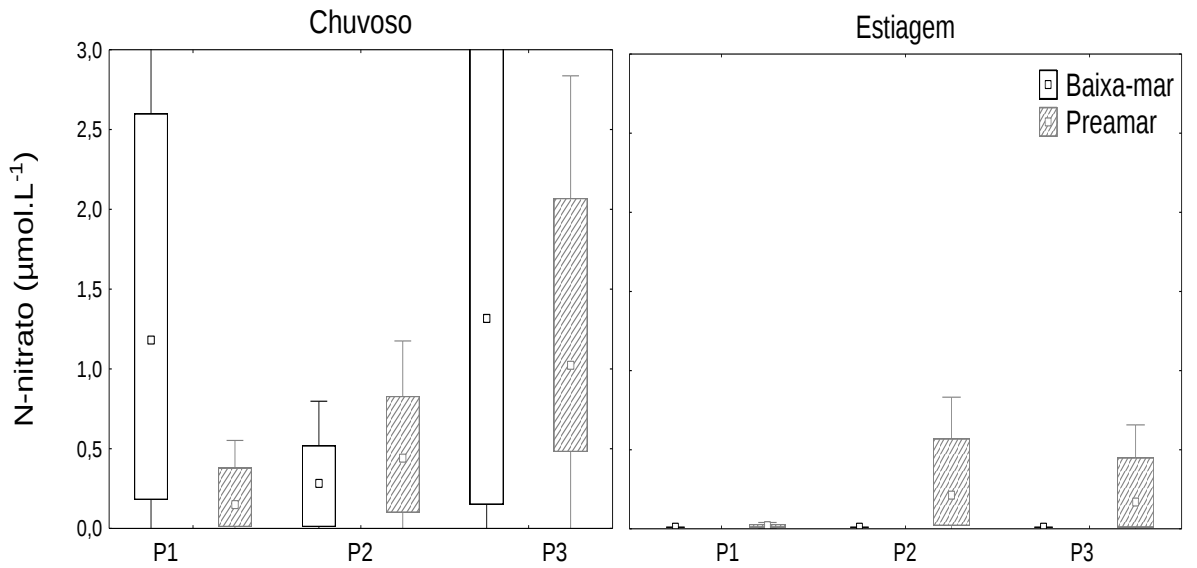
Fonte: Autoria própria.

Figura 12 - N-nitrito no período chuvoso e de estiagem, em ambos os estágios de maré, registrados no ecossistema estuarino do rio Formoso, Pernambuco, Brasil.



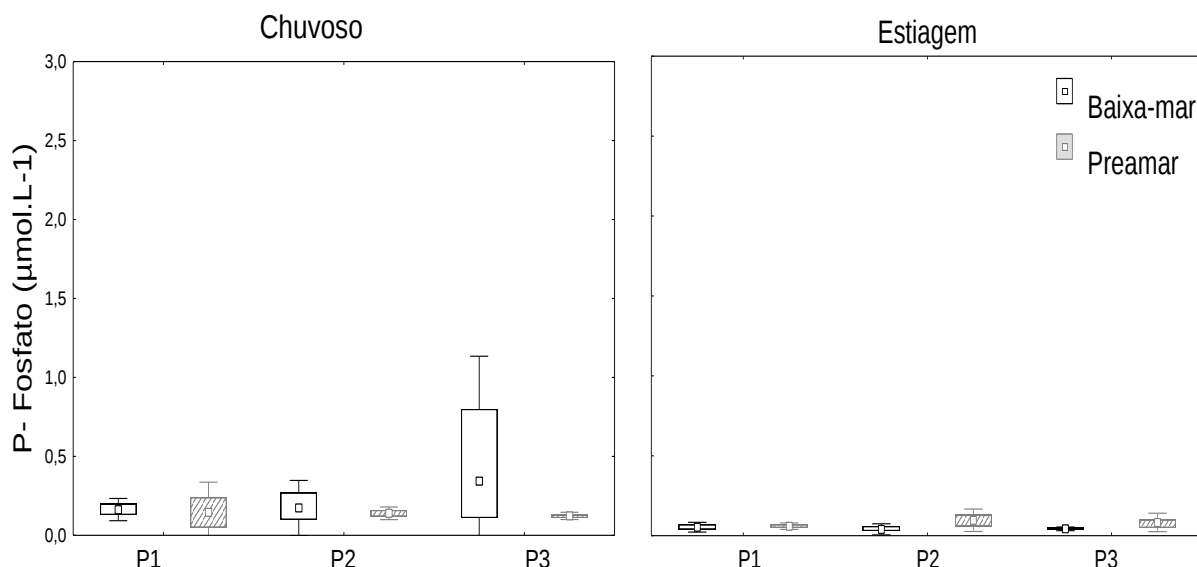
Fonte: Autoria própria.

Figura 13 - N-nitrato no período chuvoso e de estiagem, em ambos os estágios de maré, registrados no estuário do rio Formoso, Pernambuco, Brasil.



Fonte: Autoria própria.

Figura 14 - P-fosfato no período chuvoso e de estiagem, em ambos os estágios de maré, registrados no estuário do rio Formoso, Pernambuco, Brasil.



Fonte: Autoria própria.

Para as concentrações de Si-silicato foi observado o valor mínimo de  $1,56 \mu\text{mol L}^{-1}$  (novembro/preamar) e máximo  $39,22 \mu\text{mol L}^{-1}$  (maio/baixa-mar), ambos na estação 3. Foi observado diferença significativa para estágio de maré e sazonalidade (maiores valores no período chuvoso) (Figura 15, Tabela 1, Apêndices B, C e D).

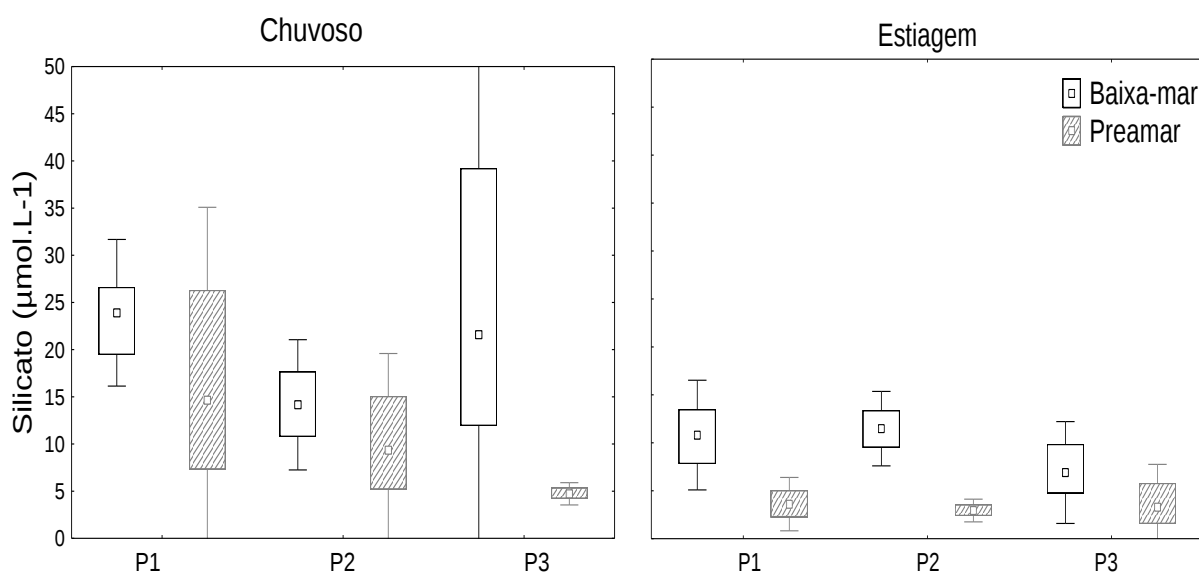
Durante o regime de baixar-mar foi registrado, para os teores de Si-silicato, o mínimo de  $4,75 \mu\text{mol L}^{-1}$  e o máximo de  $39,22 \mu\text{mol L}^{-1}$ , sendo o menor valor registrado no ponto 3, no mês de outubro e o maior valor no ponto 3 no mês de maio. Na preamar foi observado o mínimo de  $1,56 \mu\text{mol L}^{-1}$  ponto 3, em novembro e o máximo de  $26,32 \mu\text{mol L}^{-1}$ , no ponto 1 em agosto (Apêndices B, C e D).

No ponto 1, em baixa mar, os valores variaram de  $7,80 \mu\text{mol L}^{-1}$  (outubro) a  $26,64 \mu\text{mol L}^{-1}$  (julho), e na preamar, de  $2,26 \mu\text{mol L}^{-1}$  (dezembro) a  $26,32 \mu\text{mol L}^{-1}$  (agosto) (Apêndice B).

No ponto 2, durante a baixa-mar, os valores variaram de  $9,51 \mu\text{mol L}^{-1}$  (outubro) a  $17,67 \mu\text{mol L}^{-1}$  (agosto) e na preamar, de  $2,38 \mu\text{mol L}^{-1}$  (novembro) a  $15,07 \mu\text{mol L}^{-1}$  (agosto) (Apêndice C).

Para o ponto 3, no regime de baixa-mar, foi registrado o mínimo de  $4,75 \mu\text{mol L}^{-1}$  (outubro) e máximo de  $39,22 \mu\text{mol L}^{-1}$  (maio). Na preamar o mínimo foi de  $1,56 \mu\text{mol L}^{-1}$  (novembro) e o máximo de  $5,81 \mu\text{mol L}^{-1}$  (outubro) (Apêndice D).

Figura 15 - Si-silicato (B), no período chuvoso e de estiagem, em ambos os estágios de maré, registrados no estuário do rio Formoso, Pernambuco, Brasil.



Fonte: Autoria própria.

## 7.2. PARÂMETROS BIÓTICOS

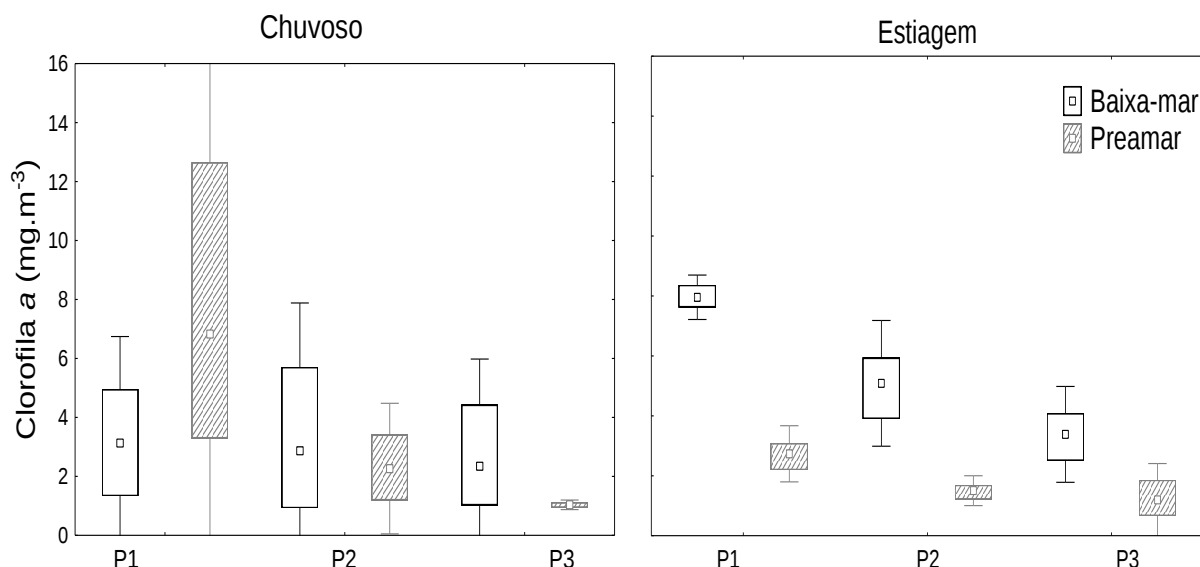
### 7.2.1. Biomassa Fitoplanctônica

#### 7.2.1.1. Clorofila *a* total

A clorofila *a* total apresentou a menor concentração de  $0,67 \text{ mg.m}^{-3}$  na estação 3 (novembro/ preamar) e o maior valor de  $12,64 \text{ mg.m}^{-3}$  na estação 1 (agosto/ preamar), e média de  $3,36 \text{ mg.m}^{-3}$ . Para este parâmetro foi observado diferença significativa em relação à espacialidade e regime de maré (Figura 16, Tabela 1). As concentrações de clorofila *a* total registraram um gradiente decrescente de montante para jusante (Apêndice E).

Na baixar-mar os valores de clorofila *a* total variaram de  $0,93$  a  $8,36 \text{ mg.m}^{-3}$ , sendo o menor valor registrado no ponto 2, no mês de agosto, e o maior valor no pontos 1, em outubro. No regime de preamar os valores oscilaram de  $0,67$  e  $12,64 \text{ mg.m}^{-3}$ , observando-se o menor valor no ponto 3, no mês de novembro, e o maior valor no ponto 1, em agosto (Apêndice E).

Figura 16 - Clorofila *a* total no período chuvoso e de estiagem, em ambos os estágios de maré, registrados no estuário do rio Formoso, Pernambuco, Brasil.



Fonte: Autoria própria.

No ponto 1, em baixa-mar, foi registrado o mínimo de 1,34 mg.m<sup>-3</sup> (agosto) e o máximo de 8,36 mg.m<sup>-3</sup> (outubro). Na preamar os valores variaram de 2,2 mg.m<sup>-3</sup> (novembro) a 12,64 mg.m<sup>-3</sup> (agosto) (Apêndice E).

No ponto 2, os valores oscilaram de 0,93 mg.m<sup>-3</sup> (agosto) a 5,93 mg.m<sup>-3</sup> (outubro), em baixa-mar, e de 1,2 mg.m<sup>-3</sup> (agosto) a 3,41 mg.m<sup>-3</sup> (maio), na preamar (Apêndice E).

Para o ponto 3 foi registrado, em baixa-mar, o mínimo de 1,03 mg.m<sup>-3</sup> (julho) e máximo de 4,42 mg.m<sup>-3</sup> (maio). Na preamar o mínimo foi de 0,67 mg.m<sup>-3</sup> (novembro) e o máximo de 1,86 mg.m<sup>-3</sup> (dezembro) (Apêndice E).

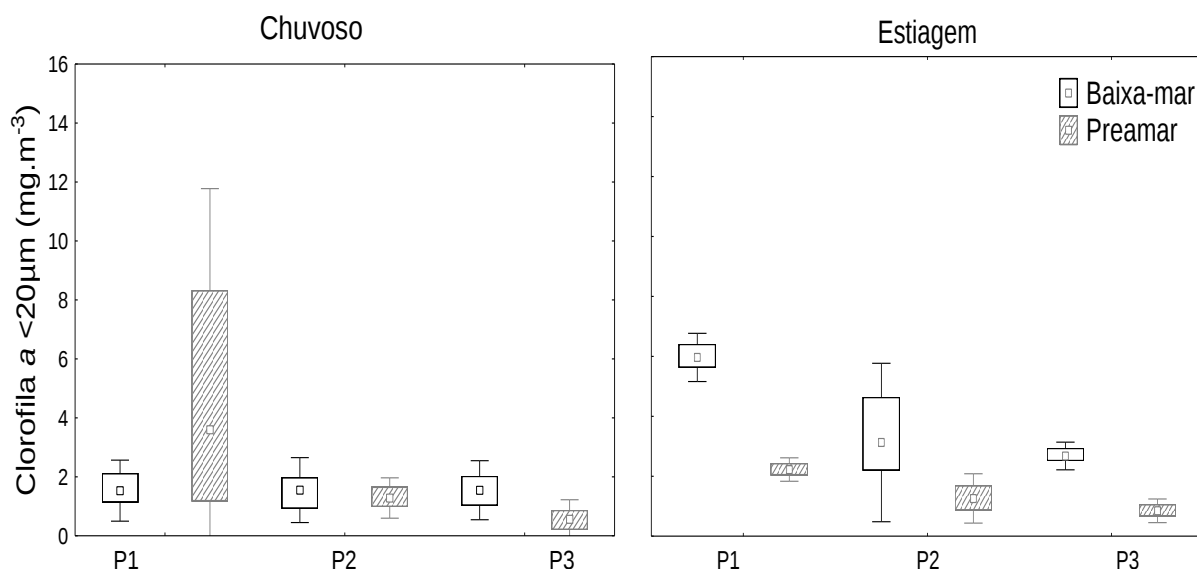
#### 7.2.1.1. Clorofila *a* fracionada (< 20µm)

Quanto à fração < 20µm, representada pelo pico e nanofitoplâncton, foi verificado o menor valor de 0,21 mg.m<sup>-3</sup> na estação 3 (julho/ preamar) e o maior de 8,32 mg.m<sup>-3</sup> na estação 1 (agosto/ preamar). Foi registrada média de 2,18 mg.m<sup>-3</sup>. Apresentou diferença significativa em relação à sazonalidade, espacialidade e estágio de maré (Figura 17, Tabela 1). Também foi observado um gradiente decrescente de montante para jusante (Apêndice E).

Em regime de baixar-mar, os valores de clorofila *a* fracionada variaram de 0,93 a 6,41 mg.m<sup>-3</sup>, sendo o menor valor registrado no ponto 1, no mês de agosto, e o maior valor no pontos 1, em outubro. No regime de preamar os valores oscilaram de 0,21 e 8,32 mg.m<sup>-3</sup>,

observando-se o menor valor no ponto 3, no mês de julho, e o maior valor no ponto 1, em agosto (Apêndice E).

Figura 17 - Clorofila *a* fracionada (<20µm) no período chuvoso e de estiagem, em ambos os estágios de maré, registrados no estuário do rio Formoso, Pernambuco, Brasil.



Fonte: Autoria própria.

No ponto 1, em baixa-mar, foi registrado o mínimo de  $1,14 \text{ mg.m}^{-3}$  (maio) e o máximo de  $6,41 \text{ mg.m}^{-3}$  (outubro). Na preamar os valores variaram de  $1,3 \text{ mg.m}^{-3}$  (maio) a  $8,32 \text{ mg.m}^{-3}$  (agosto) (Apêndice E).

No ponto 2, os valores oscilaram de  $0,93 \text{ mg.m}^{-3}$  (agosto) a  $4,64 \text{ mg.m}^{-3}$  (outubro), na baixa-mar, e de  $0,87 \text{ mg.m}^{-3}$  (outubro) a  $1,69 \text{ mg.m}^{-3}$  (novembro), na preamar (Apêndice E).

Para o ponto 3 foi registrado, em baixa-mar, o mínimo de  $1,03 \text{ mg.m}^{-3}$  (julho) e máximo de  $2,94 \text{ mg.m}^{-3}$  (outubro). Na preamar o mínimo foi de  $0,21 \text{ mg.m}^{-3}$  (julho) e o máximo de  $1,06 \text{ mg.m}^{-3}$  (outubro) (Apêndice E).

A comunidade < 20µm foi muito representativa no ambiente estudado com percentuais variando de 64, 88% a 100% da assembléia fitoplanctônica (Apêndice E).

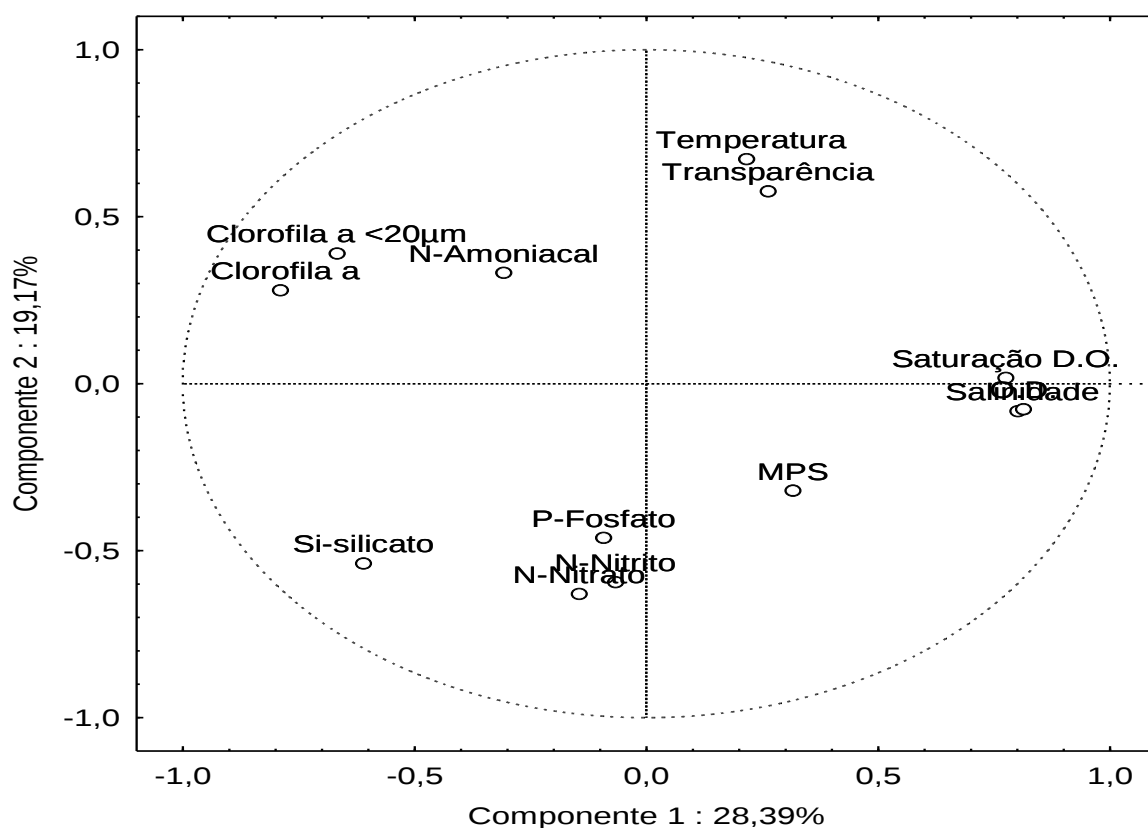
### 7.3. ANÁLISE DOS COMPONENTES PRINCIPAIS

Em relação à Análise de Componentes Principais (ACP), foi verificado que os dois primeiros componentes foram responsáveis por 47,56% da ordenação dos parâmetros ambientais (Figura 18).

O primeiro componente explicou 28,39% de variância, correlacionando diretamente a clorofila *a* com o Si-silicato e inversamente com a salinidade, oxigênio dissolvido e a taxa de saturação do oxigênio. Já o segundo componente explicou 19,17% de variância, havendo correlação direta entre temperatura, transparência, N-amoniacoal e indireta com o MPS, N-nitrito, N-nitrato, P-fosfato.

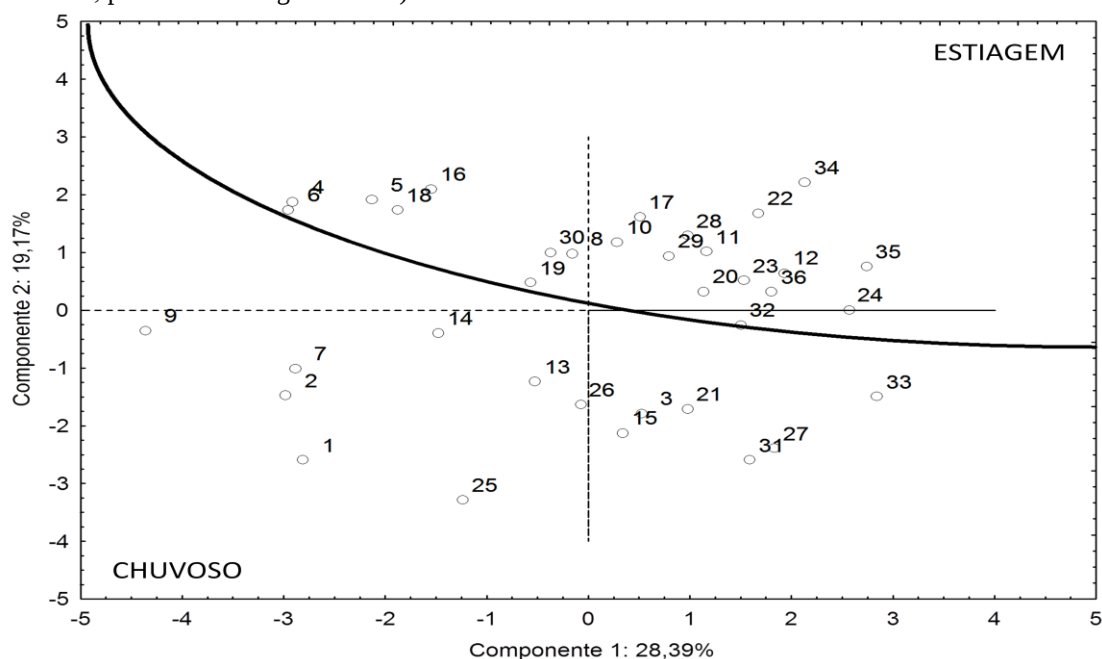
Foi observada a formação de dois grupos distintos influenciados pela pluviosidade, sendo o primeiro grupo correspondente às amostras do período de estiagem, que tiveram uma maior influência da temperatura, transparência, salinidade, oxigênio dissolvido e percentual de saturação do oxigênio dissolvido. Enquanto o segundo grupo, referente ao período chuvoso, foi influenciado pelos nutrientes e MPS (Figura 19). Vale ressaltar que apenas quatro amostragens (8, 19, 20, 32) do período chuvoso, que ocorreram em estágio de preamar, ficaram agrupadas com o período de estiagem.

Figura 18: Análise de Componentes Principais (ACP) das variáveis ambientais analisadas no estuário do rio Formoso, Pernambuco, Brasil, para os dois componentes principais. Ordenação das variáveis ambientais.



Fonte: Autoria própria.

Figura 19: Análise de Componentes Principais (ACP) das variáveis ambientais analisadas no estuário do rio Formoso, Pernambuco, Brasil, para os dois componentes principais. Ordenação das amostras (Período chuvoso:1-18; período de estiagem: 19-36)



Fonte: Autoria própria.

Tabela 1: Variáveis ambientais analisadas no estuário do rio Formoso, Pernambuco, Brasil nos períodos chuvoso e de estiagem (mínimo, máximo, média e desvio padrão) e o teste Kruskal-Wallis com os valores de “p” para os vários tratamentos (sazonais, espaciais e marés). \*  $p \leq 0,05$  \*\* não-detectável.

| Variáveis                                       | Período chuvoso |        |       |       | Período estiagem |        |        |      | p -Kruskal-Wallis |         |       |
|-------------------------------------------------|-----------------|--------|-------|-------|------------------|--------|--------|------|-------------------|---------|-------|
|                                                 | máximo          | mínimo | média | DP    | máximo           | mínimo | média  | DP   | Espacial          | Sazonal | Maré  |
| Temperatura (C°)                                | 28,00           | 26,00  | 26,61 | 0,70  | 29,50            | 27,00  | 28,20  | 0,71 | 0,75              | 0,00*   | 0,34  |
| Salinidade                                      | 35,00           | 20,00  | 29,72 | 4,13  | 35,00            | 25,00  | 30,60  | 2,83 | 0,02*             | 0,64    | 0,02* |
| Profundidade (m)                                | 8,30            | 3,00   | 5,26  | 1,62  | 5,90             | 2,00   | 4,04   | 1,38 | 0,11              | 0,04*   | 0,00* |
| Transparência (m)                               | 3,00            | 1,00   | 1,78  | 0,65  | 4,00             | 1,6    | 2,27   | 0,64 | 0,56              | 0,02*   | 0,36  |
| MPS (mg L <sup>-1</sup> )                       | 30,40           | 13,2   | 20,82 | 4,62  | 27,00            | 15,4   | 20,50  | 15,2 | 0,03*             | 0,92    | 0,78  |
| OD (ml L <sup>-1</sup> )                        | 5,84            | 3,36   | 4,49  | 0,70  | 5,65             | 3,60   | 4,64   | 0,65 | 0,03*             | 0,38    | 0,04* |
| OD (%)                                          | 125,50          | 69,41  | 94,76 | 16,10 | 125,80           | 76,46  | 101,00 | 15,2 | 0,02*             | 0,17    | 0,04* |
| N- Amoniacal (μmol L <sup>-1</sup> )            | 0,01            | 0,01** | 0,01  | 0,01  | 0,02             | 0,01** | 0,00   | 0,01 | 0,33              | 0,07    | 0,07  |
| N-Nitrito (μmol L <sup>-1</sup> )               | 0,20            | 0,01** | 0,06  | 0,07  | 0,01**           | 0,01** | 0,00   | 0,00 | 0,77              | 0,00*   | 0,77  |
| N-Nitrato (μmol L <sup>-1</sup> )               | 3,47            | 0,01** | 0,73  | 0,97  | 0,57             | 0,01** | 0,10   | 0,17 | 0,29              | 0,00*   | 0,87  |
| P-Fosfato (μmol L <sup>-1</sup> )               | 0,80            | 0,05   | 0,18  | 0,16  | 0,13             | 0,03   | 0,07   | 0,03 | 0,89              | 0,00*   | 0,43  |
| Si-Silicato (μmol L <sup>-1</sup> )             | 39,22           | 4,22   | 14,73 | 9,60  | 13,49            | 1,56   | 6,51   | 4,03 | 0,35              | 0,00*   | 0,00* |
| Clorofila <i>a</i> (mg.m <sup>-3</sup> )        | 12,64           | 0,93   | 3,08  | 2,85  | 8,36             | 0,67   | 3,64   | 2,44 | 0,00*             | 0,26    | 0,01* |
| Clorofila <i>a</i> < 20μm (mg.m <sup>-3</sup> ) | 8,32            | 0,21   | 1,68  | 1,73  | 6,41             | 0,67   | 2,68   | 1,78 | 0,04*             | 0,01*   | 0,00* |

## 8. DISCUSSÃO

Nas regiões tropicais e sub-tropicais o regime de pluviosidade é o principal fator controlador da distribuição, abundância e dinâmica sazonal do fitoplâncton estuarino (SASSI, 1991). As flutuações sazonais de densidade, biomassa e produção fitoplanctônica em estuários e outras áreas costeiras do Brasil também têm sido frequentemente associadas à pluviosidade (SANTOS-FERNANDES et al., 1998; HONORATO DA SILVA, 2004).

No estuário do rio Formoso foi observada uma influência sazonal sobre os parâmetros hidrológicos e biológicos condicionando durante o período chuvoso, menores valores de temperatura, transparência da água, salinidade e clorofila *a*, e maiores concentrações dos nutrientes, exceto do N-amoniacal. O mesmo padrão de influência sazonal foi evidenciado em estudo pretérito, realizado por Honorato da Silva (2004) no estuário analisado, e em outros estuários brasileiros, como de Barra das Jangadas – PE (BRANCO et al., 2002); do rio Mossoró - RN (MEDEIROS et al., 2010); na área portuária do Recife - PE (PAULO et al., 2011); do rio dos Passos – PE (AQUINO et al., 2012) e do rio Carrapicho - PE (CASTRO et al., 2014).

Particularmente, em Pernambuco a maré varia entre 2 e 4 m de amplitude, sendo assim classificada como mesomaré e do tipo semidiurna CPRH (2003). Nesta pesquisa o ciclo de maré influenciou nos parâmetros analisados, aumentando os valores de salinidade, profundidade, oxigênio dissolvido e sua taxa de saturação na preamar, ao contrário do silicato e clorofila *a* que apresentaram maiores teores na baixa-mar. Este padrão de influência da maré foi verificado em dados pretéritos por Honorato da Silva et al. (2004) no estuário em estudo, sendo também registrado nos estuário dos rios Igarassu (Leão et al., 2008) e Ariquindá (2009). Entretanto Jales et al. (2012), ao contrário do que foi observado no presente estudo, verificaram que a forçante física maré interferiu pouco nos parâmetros analisados do ecossistema de Serrambi.

A temperatura é uma variável física importante dentro do ecossistema aquático, influenciando na produtividade biológica na água, uma vez que, ela interfere na fisiologia dos organismos, desempenhando um papel fundamental na alteração da taxa de fotossíntese e respiração das algas planctônicas, sendo também o principal fator limitante da distribuição geográfica de muitas espécies vegetais e animais (BASTOS et al., 2005; AZEVEDO et al., 2008). Contudo, em regiões tropicais, por ela apresentar uma variação gradativa, este parâmetro possui uma discreta influência na distribuição e concentração do fitoplâncton quando combinado com outras variáveis (PASSAVANTE; FEITOSA, 2004).

No ambiente estudado este parâmetro apresentou padrões típicos de regiões estuarinas tropicais, com maiores valores no período de estiagem, assim como verificado no Golfão Maranhense (AZEVEDO et al., 2008) e nos estuários do rio dos Passos (AQUINO et al., 2012) e do rio Carrapicho (CASTRO et al., 2014).

Os estuários são caracterizados por marcadas variações diurnas e sazonais de salinidade, sendo influenciados pela ação das marés, influxo de água continental e descargas fluviais (HONORATO DA SILVA et al., 2004). Além de ser um fator condicionante para o estabelecimento das espécies, este parâmetro delimita o início e o término de um estuário, bem como influencia a distribuição dos organismos, podendo agir como uma barreira ecológica para as espécies conhecidas como estenoalinas (FEITOSA et al., 1999).

Através da análise da distribuição longitudinal e vertical da salinidade foi possível verificar que no estuário do rio Formoso a intrusão marinha se dá de forma intensa tornando o ambiente homogêneo.

Este fato também foi observado por Honorato da Silva et al. (2009) que, analisando a composição florística da referida área, verificou que a salinidade influenciou na distribuição das espécies fitoplantônicas, predominando as marinhas eurialinas. O mesmo padrão foi observado no estuário do rio Ariquindá (GREGO et al., 2009) e no estuário do rio dos Passos (AQUINO et al., 2012).

Levando-se em consideração o Sistema de Classificação de Veneza (VENICE SYSTEM, 1958), no presente trabalho o estuário variou de mesoalino a eualino. Por outro lado, Honorato da Silva et al. (2004) analisando a mesma área, verificou que o ambiente variou de oligoalino a eualino. Entretanto, vale ressaltar que o referido autor adentrou mais no referido estuário, conseguindo dessa forma, teores de salinidade mais baixo.

De acordo com a ACP a salinidade apresentou uma relação inversa com a biomassa fitoplantônica como foi verificado em outros estuários, como da ria de Aveiro (Almeida et al., 2002), dos rios Ilhetas e Mamucaba (LOSADA et al., 2003), do rio Ariquindá (GREGO et al., 2009), do rio dos Passos (AQUINO et al., 2012) e do rio Maracaípe (BASTOS et al., 2011).

Dentre os ecossistemas costeiros, os estuários destacam-se por apresentar menores índices de transparência da água devido à influência do aporte continental, sendo mais evidenciada no período chuvoso (GREGO et al., 2009; AQUINO et al. 2012; CASTRO et al., 2014). Nas zonas estuarinas a transparência da água é uma variável física dependente da precipitação pluviométrica, que proporciona uma maior lixiviação e, conseqüentemente, maiores quantidades de material em suspensão, reduzindo a camada fótica (LOSADA et al.,

2003; ESKINAZI-LEÇA et al., 2004; HONORATO DA SILVA et al., 2004; AQUINO et al., 2012).

Sazonalmente, a disponibilidade de luz pode limitar o crescimento fitoplanctônico no período chuvoso, assim como foi observado no presente estudo, no qual foram registrados maiores valores de transparência e clorofila *a* no período de estiagem, sendo este padrão observado também no Golfão Maranhense (AZEVEDO et al., 2008), e nos estuários do rio Paraíba (COSTA et al., 2009), do rio Tagus (GAMEIRO et al., 2011) e do rio Capibaribe (ANJOS et al., 2012).

O material particulado em suspensão (MPS) encontrado na coluna d'água é constituído por material terrígeno (inorgânico) e substâncias orgânicas, incluindo os organismos planctônicos (fito e zooplâncton) (BRANCO et al., 2002; AKTAN et al., 2005; MASUDA et al., 2011). O estudo do MPS em zonas estuarinas é de grande importância, uma vez que as altas concentrações deste parâmetro influencia na camada fótica e consequentemente limita a produtividade primária (BRANCO et al., 2002).

Devido a condição de baixa capacidade de transporte de sedimento do rio Formoso, foi evidenciado baixo teor de material em suspensão, assim como observado em outros estuários da região nordeste do Brasil, como dos rios Ilhetas e Mamucabas (LOSADA et al., 2003), de Barra das Jangadas (NORIEGA et al., 2005), do rio Ariquindá (GREGO et al., 2009); o rio Carrapicho (CASTRO et al., 2014) e do rio Botafogo (OTSUKA et al., 2014).

Contudo, espacialmente, verificou diferenças de concentrações ao longo do estuário, com maiores valores à jusante do estuário, devido a intenso fluxo de maré, fato este constatado pela presença de um banco de areia, descoberto na maré baixa, que contribui para o aumento do MPS na boca do estuário.

O oxigênio é um gás essencial para os organismos, sendo considerado um importante indicador da qualidade do corpo hídrico e das condições do ambiente (BRANCO et al., 2002; LOSADA et al., 2003; HONORATO DA SILVA et al., 2004; BASTOS et al., 2005). O seu ciclo no ecossistema aquático é governado por vários processos bióticos e abióticos que produzem ou consomem o oxigênio dissolvido, como no metabolismo dos organismos e nos processos de oxidação da matéria orgânica (SILVA et al., 2004; GARDNER et al., 2006).

No presente estudo, foi verificado que as concentrações e taxas do oxigênio dissolvido estiveram maiores à jusante do estuário e na preamar, assim como apresentaram uma correlação direta com a salinidade. Nos estuários as concentrações do oxigênio dissolvido

variam muito em função do fluxo e refluxo das marés e diferentes concentrações de matéria orgânica (BASTOS et al., 2005).

Este padrão influenciado pelo regime de maré foi verificado em vários estuários da região nordeste do Brasil como no estuário do rio Pisa Sal, RN (SANTIAGO et al., 2004), no sistema estuarino lagunar Mundaú/Manguaba, AL (MELO-MAGALHÃES et al., 2004), na Bacia do Pina, PE (SANTOS et al., 2009) e no estuário do rio Formoso (HONORATO DA SILVA et al., 2009) e no estuário do rio Carrapicho, PE (CASTRO et al., 2014).

Segundo a classificação de Macêdo e Costa (1978) a taxa de saturação do oxigênio variou de zona insaturada (50-100%) a zona saturada ( $\geq 100\%$ ), em ambos os estágios de maré, sendo indicativo de uma área livre do processo de eutrofização. Mesmo recebendo efluentes domésticos, resíduos provenientes da agroindústria açucareira e atividade de carcinicultura em sua porção superior (HONORATO DA SILVA et al., 2004, 2009), foi observado que o ambiente apresenta uma grande capacidade de renovação devido o fluxo de águas marinhas.

Os sais nutrientes, juntamente com a disponibilidade de luz, são um dos principais fatores limitantes para a produtividade primária (MACÊDO et al., 2004). Os teores de nutrientes apresentaram-se baixos, indicando que o ambiente ainda se encontra isento de poluição orgânica, devido a sua condição geográfica, com baixa capacidade de transporte, assim como verificado para os estuários dos rios Ilhetas e Mamucaba (LOSADA et al., 2003), do rio Ariquindá (GREGO et al., 2009) e do rio Maracaípe (BASTOS et al., 2011). Padrão inverso foi observado no rio Tamsui (WU; CHOU, 2003) e no sistema estuarino de Barra das Jangadas (NORIEGA et al., 2009; OTSUKA et al., 2015), nos quais foram verificados teores indicativos de poluição antrópica.

Foi verificada uma variação sazonal (exceto para o N-amoniacal) com maiores valores no período chuvoso em consequência do aporte fluvial. Vale ressaltar que organismos fitoplanctônicos tem como preferência a assimilação do nitrogênio na forma amoniacal, o que poderia justificar a ausência de sazonalidade deste nutriente no ambiente estudado.

Em relação ao estágio de maré apenas o silicato variou, com maiores teores na baixa-mar devido ao maior aporte continental. De acordo com a Análise dos Componentes Principais, este nutriente mostrou correlação direta com a clorofila *a*, onde ambos apresentaram maiores concentrações na baixa-mar. O predomínio das diatomáceas neste ambiente, constatado por Honorato da Silva et al. (2004), Grego et al. (2009) e Aquino et al.

(2015), está diretamente relacionado com os elevados teores de silicato, como relatado também por Wu e Chou (2003), para o estuário rio Tamsui.

A clorofila *a* é um excelente indicador do índice da capacidade produtiva do ambiente e de sua biomassa, podendo assim ser utilizada para verificar a qualidade ambiental e condição trófica da água (BOYER et al., 2009; MEERA; NANDAN, 2010). A determinação da biomassa fitoplanctônica através da clorofila *a* é um dos métodos mais eficazes, sendo de fácil aplicabilidade e baixo custo (BASTOS et al., 2002).

No presente estudo, este parâmetro apresentou um gradiente crescente de jusante à montante, pelo fato da porção mais interna do estuário receber um maior aporte de sais nutrientes, como registrado por Grego et al. (2009), no estuário do rio Ariquindá, e Aquino et al. (2012), no estuário do rio dos Passos.

A clorofila *a* esteve ligeiramente mais elevada no período de estiagem, fato este também constatado nos estuários dos rios Ilhetas e Mamucaba (LOSADA et al. 2003), do rio Ariquindá (GREGO et al., 2009), do rio dos Passos (AQUINO et al., 2012), do rio Capibaribe (ANJOS et al., 2012) e do rio Carrapicho (CASTRO et al., 2014).

Padrão inverso foi observado por Honorato da Silva (2004) na mesma área, que pode ser justificado pela grande quantidade de chuvas nos meses de setembro e outubro de 2014, em função do conjunto de sistemas meteorológicos que favoreceram um regime de chuvas com anomalias positivas neste período (APAC, 2014a; 2014b).

Em águas temperadas e tropicais a fração do nanofitoplâncton tem sido responsável por 80 a 100% da produtividade e biomassa algal (SANTOS-FERNANDES et al., 1998). No estuário do rio Formoso a comunidade fitoplanctônica <20  $\mu\text{m}$  (pico/nanofitoplâncton) apresentou uma maior contribuição, sendo responsável por até 100% da biomassa algal, como observado nos estuários de Barra de Jangadas (BRANCO et al., 2002), do Golfão Maranhense (AZEVEDO et al., 2008), do rio Ariquindá (GREGO et al., 2009) e da bacia do Pina (GUENTHER et al., 2015),

Baseado nos teores de clorofila *a*, o estuário do rio Formoso variou de oligotrófico a eutrófico, de acordo com a classificação de Passavante et al. (2003), com tendência a mesotrofia. Este mesmo padrão foi observado no estuário do rio Ariquindá (GREGO et al., 2009) e no estuário do rio Maracaípe (BASTOS et al., 2011).

Vale ressaltar que Honorato da Silva (2004) encontrou teores de clorofila *a* aproximadamente quatro vezes maior do que o encontrado neste estudo, característico de ambiente eutrófico. Esta diferença observada entre os dados pretéritos e o atual está

diretamente relacionada com a maior eficiência nos tratamentos dos efluentes domésticos. De acordo com Paiva (2012) e Martins (2012), a estação de tratamento dos esgotos (ETE), que foi implementada em 1998 pela Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA), sofreu uma melhoria a partir de 2005 com a inclusão de filtros biológicos, havendo redução de até 99% da matéria orgânica e consequentemente dos nutrientes inorgânicos dissolvidos (nitrito, nitrato e silicato) e do teor de clorofila *a*.

## 9. CONCLUSÃO

- O complexo estuarino do rio Formoso é composto por rios litorâneos de planície, com baixa capacidade de transporte, com águas transparentes, mornas, variando de oligoalino a eualino.
- Em função da forte intrusão marinha o estuário foi classificado como do tipo bem misturado (homogêneo).
- As forçantes física pluviosidade e maré foram a que mais interferiram no sistema alterando a maioria das variáveis ambientais.
- Considerando os baixos teores de clorofila *a*, dos nutrientes dissolvidos, e por apresentar água bem saturada em oxigênio, foi possível caracterizá-lo como um ambiente mesotrófico e livre, momentaneamente, do processo de eutrofização antrópica em função da melhoria do tratamento dos efluentes domésticos.

## 10. REFERÊNCIAS

- Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC). **Boletim do clima: síntese climática**. v. 2, n. 4 (Set. 2014) - Recife: APAC, 2014a. 30 p.
- Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC). **Boletim do clima: síntese climática**. v. 2, n. 5 (Out. 2014) - Recife: APAC, 2014b. 30 p.
- AKTAN, Y.; TÜFEKÇİ, V.; TÜFEKÇİ, H.; AYKULU, G. Distribution patterns, biomass estimates and diversity of phytoplankton in İzmit Bay (Turkey). **Estuarine Coastal and Shelf Science**, v. 64, p. 372-384, 2005.
- AMANCIO, F.C. **Interação entre o fitoplâncton e parâmetros ambientais: subsídio na gestão ambiental marinha**. 2005. 88 f. tese (Doutorado em Oceanografia) - Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2005.
- ANJOS, D. L.; PASSAVANTE, J. Z. O.; SILVA-CUNHA, M. G. G.; SILVA, M. H. 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.; FIGUEIRÊDO, L. G. P.; ANJOS, D.L.; PASSAVANTE, J. Z. O.; SILVA-CUNHA, M. G. G.; Biomassa fitoplanctônica e fatores ambientais em um estuário tropical do Brasil. **Tropical Oceanography**, Recife, v. 40, n. 1, p. 17-28, 2012.
- AQUINO, E. P.; FIGUEIREDO, L. G. P.; BORGES, G. C. P. L. C. FERREIRA; PASSAVANTE, J. Z. O. SILVA-CUNHA, M. G. G. Seasonal and spatial variation in phytoplankton community structure of an estuary in Northeastern Brazil. **Tropical Ecology**, v. 56, n. 1, p. 125-131, 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14724**: informação e documentação: trabalhos acadêmicos: apresentação. Rio de Janeiro, 2011.
- 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.
- BASTOS, R. B.; FEITOSA, F. A. N.; MUNIZ, K. Variabilidade espaço-temporal da biomassa fitoplanctônica e hidrologia no estuário do rio Una (Pernambuco – Brasil). **Tropical Oceanography**, Recife, v. 33, n. 1, p. 1–18, 2005.
- BASTOS, R. B.; FEITOSA, F. A. N.; KOENING, M. L.; MACHADO, R. C. A.; MUNIZ, K. Caracterização de uma zona costeira tropical (Ipojuca- Pernambuco- Brasil): produtividade fitoplanctônica e outras variáveis ambientais. **Brazilian Journal of Aquatic Sciences and Technology**, v. 15, n. 1, p. 01-10, 2011.
- BRAGA, E. S., BONETTI, C. V. D. H., BURONE, L., BONETTI FILHO, J. Eutrophication and Bacterial Pollution Caused by Industrial and Domestic Wastes at the Baixada Santista Estuarine System ± Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 40, n 2, p. 165-173, 2000.

BRANCO, E. S.; FEITOSA, F. A. N.; FLORES-MONTE, M. J. Variação sazonal e espacial da biomassa fitoplanctônica relacionada com parâmetros hidrológicos no estuário de Barra das Jangadas (Jaboatão dos Guararapes – Pernambuco – Brasil). **Tropical Oceanography**, Recife, v. 30, n. 2, p. 79-96, 2002.

BOTELHO, E.R.R.O., SANTOS, F.M.C.; PONTES, A.C.P. Algumas considerações sobre o uso da redinha na captura do caranguejo-uça, *Ucides cordatus* (Linnaeus, 1763) no litoral sul de Pernambuco – Brasil. **Boletim Técnico Científico. CEPENE, Tamandaré**, v. 8, n. 1, p. 55-71, 2000.

BOYER, J.N.; KELBLE, C.R.; ORTNER, P.B.; RUDNICK, D.T. Phytoplankton bloom status: chlorophyll a biomass as an indicator of water quality condition in the southern estuaries of Florida, USA. **Ecological Indicators**, v. 9, n. 6, p. 56–67, 2009.

CASTRO, N. F.; FEITOSA, F. A. N.; FLORES MONTES, M. J. Avaliação das condições ambientais do estuário do rio Carrapicho (Itamaracá-PE): biomassa fitoplanctônica e hidrologia. **Tropical Oceanography**, Recife, v. 42, n. 1, p. 77-93, 2014.

CHUWEN, B. M.; HOEKSEMA, S. D.; POTTER, I. C. The divergent environmental characteristics of permanently-open, seasonallyopen and normally-closed estuaries of south-western Australia. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 85, p. 12–21, 2009.

COSTA, L. S.; HUSSAR, V. L. M.; OVALLE, A. R. Phytoplankton functional groups in a tropical Estuary: hydrological control and nutrient limitation. **Estuaries and Coasts**, v. 32, p. 508–521, 2009.

COUCEIRO, M. A. A.; SCHETTINI, C. A. F.. Estudo da dinâmica dos sedimentos em suspensão do estuário do rio Araranguá (SC): possíveis efeitos da drenagem ácida da atividade de mineração de carvão. **Geociências**, São Paulo, v.b29, n.b2, p. 251-266, 2010.

ELLIOTT, M.; MCLUSKY, D. S. The need for definitions in understanding estuaries. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 55, n. 6, p. 815-827, 2002.

ESKINAZI-LEÇA, E.; MOURA, A.N.M.; SILVA-CUNHA, M.G.G.; KOENING, M.L. Microalgas marinhas do Estado de Pernambuco. In: Tabarelli, M.; Silva, J.M.C. (Eds.) **Diagnóstico da biodiversidade de Pernambuco**. Recife: SECTMA e Ed. Massangana, p. 79-96, 2002.

ESKINAZI-LEÇA, E.; KOENING, M.L., AND SILVA-CUNHA, M.G., Estrutura e dinâmica da comunidade fitoplanctônica. In: Eskinazi-Leça, E.; Neumann-Leitão, S., and Costa, M. F. (eds.), **Oceanografia: Um Cenário tropical**. Bagaço, p. 353-373, 2004

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

FERREIRA, B. P.; MAIDA, M. **Monitoramento dos Recifes de Coral do Brasil: Situação Atual e Perspectivas**. Brasília: MMA, v.1, 120 pp., 2006.

FIDEM. **Proteção de áreas estuarinas**. Recife, 1987. (Séries Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente), 40 pp.

GALVÃO, I. B. **Estudo das populações microfitoplanctônicas da região sul de Tamandaré**. 1996. 110f. Monografia (Bacharelado em Ciências Biológicas) – Departamento de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 1996.

GAMEIRO, C.; PATTERNS, V. BROTAS. Patterns of Phytoplankton Variability in the Tagus Estuary (Portugal). **Estuaries and Coasts**, v. 33, p.311–323, 2010.

GAMEIRO, C.; ZWOLINSKI, J.; BROTAS, V. Light control on phytoplankton production in a shallow and turbid estuarine system. **Hydrobiologia**, v. 669, p. 249–263, 2011.

GARDNER, L.R.; KJERVE, B.; PETRECCA, D.M. Tidal fluxes of dissolved oxygen at the North Inlet-Winyah Bay National Estuarine Research Reserve. **Estuarine Coastal and Shelf Science**, v. 67, p. 450-460, 2006.

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

GRASSHOFF, F. K.; EMRHARDT, M.; KREMLING, K. **Methods of sea water analysis**. 2. Ed. Nova Iorque: Verlag Chemie, 419 p., 1983.

GREGO, C. K. S.; FEITOSA, F. A. N.; HONORATO DA SILVA, M.; FLORES MONTES, M. J. Distribuição espacial e sazonal da clorofila a fitoplanctônica e hidrologia do estuário do rio Timbó (Paulista – PE). **Tropical Oceanography**, Recife, v. 32, n. 2, p. 181-199, 2004.

GREGO, C. K. S.; FEITOSA, F. A. N.; HONORATO DA SILVA, M.; SILVA-CUNHA, M. G. G.; NASCIMENTO-FILHO, G. A. Fitoplâncton do ecossistema estuarino do Rio Ariquindá (Tamandaré, Pernambuco, Brasil): variáveis ambientais, biomassa e produtividade primária. **Atlântica**, v. 31, n. 2, p. 183-198, 2009.

GRUBER, N. L. S., BARBOZA, E. G., NICLODI, J. L. Geografia dos ecossistemas costeiros e oceanográficos: Subsídios para gestão integrada da Zona Costeira. **GRAVEL**, Porto Alegre, n. 1, p. 81-89, 2003.

HALL, N. S.; PAERL, H. W.; PEIERLS, B. L.; WHIPPLE, A. C.; ROSSIGNOL, K. L. Effects of climatic variability on phytoplankton community structure and bloom development in the eutrophic, microtidal, New River Estuary, North Carolina, USA. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 117, p. 70-82, 2013.

HONORATO DA SILVA, M. **Fitoplâncton do estuário do Rio Formoso (Rio Formoso, Pernambuco, Brasil): biomassa, taxonomia e ecologia**. 2003. 131 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) - Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003.

HONORATO DA SILVA, M.; PASSAVAN E, J.Z.O.; SILVA-CUNHA, M.G.G.; NASCIMENTO-VIEIRA, D.A.; GREGO, C.K.S.; MUNIZ, K. Distribuição espacial e sazonal

da biomassa fitoplanctônica e dos parâmetros hidrológicos no estuário do rio Formoso (Rio Formoso, Pernambuco, Brasil). **Tropical Oceanography**, Recife, v. 32, n. 1, p. 89-106, 2004.

HONORATO DA SILVA, M.; SILVA-CUNHA, M. G. G.; PASSAVANTE, J. Z. O.; GREGO, C. K. S.; MUNIZ, K. Estrutura sazonal e espacial do microfitoplâncton no estuário tropical do rio Formoso, PE, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 23, n. 2, p. 355-368, 2009.

JALES, M.C.; FEITOSA, F.A.N.; KOENING, M.L.; BASTOS, R.B.; MACHADO, R. C. A. O ecossistema recifal de serrambi (nordeste do brasil): biomassa fitoplanctônica e parâmetros hidrológicos. **Atlântica**, Rio Grande, v. 34, n. 2, p. 87-102, 2012.

LEÃO, B. M.; PASSAVANTE, J. Z. O.; SILVA-CUNHA, M. G. G.; SANTIAGO, M. F.; Ecologia do microfitoplâncton no estuário do rio Igarassu, PE, Brasil. **Acta Botânica Brasilica**, São Paulo, v. 22, n. 3; p. 711-722, 2008.

LIMA, V. M. S. B. **Contribuição para o estudo do fitoplâncton na Baía de Tamandaré (PE)**. 1980. 53f. Monografia (Bacharelado m Ciências Biológicas) – Faculdade Franssinete do Recife (FAFIRE), Recife, 1980.

LIMA, B. F. R.; PESSOA, V. T.; GUSMÃO, L. M. O.; SILVA, A. P.; NEUMANN-LEITÃO, S. Mesozooplâncton do estuário do rio Formoso, Perndo fitoplânctonambuco, Brasil. **Tropical Oceanography**, Recife, v. 40, n. 1, p. 158-166, 2012.

LIRA, L.; ZAPATA, M. C.; FONSECA, V. G.. Aspectos da dinâmica do estuário do Rio Formoso, Pernambuco. **Caderno Ômega**, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, v. 3, n. 1/2, p. 133-156, 1979.

LIRA, L.; FONSECA, V. G. Composição e distribuição faciológica do estuário do rio Formoso –PE. **Anais da Universidade Federal Rural de Pernambuco**, Recife, v. 5, p. 77-104. 1980.

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**, Recife, v. 31, n. 1, p. 1-26, 2003.

MACÊDO, S.J.; COSTA, K.M.P. Estudos ecológicos da região de Itamaracá. Pernambuco - Brasil. Condições Hidrológicas do Estuário do Rio Botafogo. **Ciência e Cultura**, v. 30, n. 7, p. 346- 368, 1978.

MACÊDO, J.S.; MUNIZ, K., AND FLORES-MONTES, M.J. Hidrologia da região costeira e plataforma continental do estado de Pernambuco. In: Eskinazi-Leça, E.; NeumannLeitão, S., and Costa, M. F. (Org.) **Oceanografia: Um Cenário tropical**. Bagaço, p.255-286, 2004.

MARTINS, L. R. **Remoção de fitoplâncton de lagoas de estabilização em filtros de pedra de fluxo horizontal**. 88 folhas. Dissertação de (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012.

MASUDA, L. S. M.; MOSER, G. A. O., BARRERA-ALBA, J. J. Variação temporal do fitoplâncton no canal estuarino de Santos (SP). **Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology**, v. 15, n. 1, p. 79-93, 2011.

MEERA, S.; NANDAN, S.B. Water quality status and primary productivity of Valanthakad Backwater in Kerala. **Indian Journal of Marine Sciences**, v. 39, n.1, p. 105–113, 2010.

MELO-MAGALHÃES, E.M., KOENING, M.L.; SANT'ANNA, C.L. Fitoplâncton e variáveis ambientais nos canais do sistema estuarino lagunar Mundaú/Mangaba, Alagoas, Brasil. **Hoehnea**, v. 31, n. 1, p. 73-86, 2004.

MELO, U.; SUMMERHAYES, C. P.; TORNER, L. G. Metodologia para o estudo do material em suspensão na água do mar. **Boletim Técnico da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 18, n. 3/4, p.115-127, 1975.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Macrodiagnóstico da Zona Costeira e Marinha do Brasil**. Brasília: MMA. 242 p., 2008.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Panorama da conservação dos ecossistemas costeiros e marinhos no Brasil / Secretaria de Biodiversidade e Florestas/Gerência de Biodiversidade Aquática e Recursos Pesqueiros**. Brasília: MMA/SBF/GBA. 150 p., 2010.

MOURA, R.T.; PASSAVANTE, J.Z.O. Taxa de assimilação do fitoplâncton da Baía de Tamandaré - Rio Formoso - Pernambuco, Brasil. **Boletim Técnico Científico. CEPENE**. v. 1, n. 1, p. 7-23, 1993.

MOURA, R.T.; PASSAVANTE, J.Z.O. Biomassa fitoplanctônica da Baía de Tamandaré, Rio Formoso - Pernambuco, Brasil. **Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco**, Recife, v. 23, p. 1-15, 1994/95.

NORIEGA, C.D.; COSTA, K.M.P.; FEITOSA, F.A.N.; FLORES MONTES, M.J.; GREGO, C.K.S.; SOARES, G.S.; SILVA, H.P. Distribuição espacial da biomassa fitoplanctônica e sua relação com os sais nutrientes, no sistema estuarino de Barra das Jangadas (Pernambuco – Brasil). **Arquivos de Ciências do Mar**, Fortaleza, v. 38, p. 5-18, 2005.

NORIEGA, C.E.; MUNIZ, K.; FLORES-MONTES, M.J.; MACÊDO, S.J.; ARAÚJO, M.; FEITOSA, F.A.N.; LACERDA, S.R. eries temporales de variables hidrobiológicas en un estuario tropical (Brasil). **Revista de Biología Marina y Oceanografía**, v. 44, n. 1, p. 93-108, 2009.

OTSUKA, A.Y.; FEITOSA, F. A. N.; FLORES MONTES, M. J.; HONORATO DA SILVA, 1 M.; TRAVASSOS, R. K. Condições ambientais do estuário do rio Botafogo (Itamaracá-Pernambuco-Brasil): clorofila a e algumas variáveis ambientais. **Tropical Oceanography**, Recife, v. 42, n. especial, p. 112-128, 2014.

OTSUKA, A. Y.; FEITOSA, F. A. N.; FLORES MONTES, M. J.; SILVA, A. (in press). Dynamics of Chlorophyll a and Oceanographic Parameters in the Coastal Zone: Barra das Jangadas-Pernambuco, Brazil. **Journal of Coastal Research**. Acesso em <http://www.jcronline.org/doi/pdf/10.2112/JCOASTRES-D-14-00135.1>

PAIVA, A. C. G.; LIMA, M. F. V.; SOUZA, J. R. B.; ARAUJO, M. E. Spatial distribution of the estuarine ichthyofauna of the Rio Formoso (Pernambuco, Brazil), with emphasis on reef fish. **Zoologia**, v. 26, n. 2, p. 266-278, 2009.

PAIVA, M. V. C. **Avaliação da comunidade fitoplanctônica e eficiência de um sistema de tratamento de esgotos no litoral de Pernambuco**. 2012. 141 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012.

PARSONS, T.R. AND STRICKLAND, J.D.H. Discussion of spectrophotometric determination of marine-plant pigments, with revised equations for ascertaining chlorophyll a and carotenoids. **Journal of Marine Research**, v. 21, n. 3, p. 155-163, 1963.

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

PASSAVANTE, J.Z.O. AND FEITOSA, F.A.N. Dinâmica da Produtividade Fitoplanctônica na Zona Costeira Marinha. In: ESKINAZI-LEÇA, E.; NEUMANN-LEITÃO, S., AND COSTA, M. F. (Org.) **Oceanografia: Um Cenário tropical**. Bagaço, p.425-440, 2004.

PAULO, J.G.; FLORES MONTES, M. J.; SANTOS JÚNIOR, A.C.; BATISTA, T.N.F.; TRAVASSOS, R.K.; NASCIMENTO FILHO, G.A; FEITOSA, F.A.; GASPAS, F.L.; PITANGA, M.E. Allochthonous and autochthonous organic matter in an urban tropical estuarine area of northeastern Brazil. **Journal of Coastal Research**. v. 64, p. 1798-1801, 2011.

PEREIRA, M. D., SIEGLE, E., MIRANDA, L. B., SCHETTINI, C. A. F. Hidrodinâmica e transporte de material particulado em suspensão sazonal em um estuário dominado por maré: estuário de Caravelas (BA). **Revista Brasileira de Geofísica**, v.28, n. 3, 2010.

POTTER, I. C., CHUWEN, B. M., HOEKSEMA, S. D., ELLIOTT, M. The concept of an estuary: A definition that incorporates systems which can become closed to the ocean and hypersaline. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v.87, p. 497-500, 2010.

RAPÔSO, L. A. B. **Variação diurna do plancton na Baía de Tamandaré – Pernambuco - Brasil**. 1979. 51f. Monografia (Graduação em Ciências Biológicas) – Departamento de Ciências Biológicas, Universidade Federal de Pernambuco, 1979.

ROSEVEL DA SILVA, M. **Variação espacial e temporal da comunidade microfitoplânctônica em ecossistemas costeiros localizados no litoral sul de Pernambuco, Nordeste do Brasil**. 2005. 2005. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2005.

ROSEVEL DA SILVA, M.; SILVA-CUNHA, M. G. G.; FEITOSA, F. A. N; MUNIZ, K. Estrutura da comunidade fitoplânctônica na Baía de Tamandaré (Pernambuco, Nordeste do Brasil). **Tropical Oceanography**, Recife, v. 33, n. 2, p. 163–181, 2005.

SANTIAGO, M.F.; PASSAVANTE, J.Z.O.; SILVA-CUNHA, M.G.G. Caracterização de parâmetros físicos, químicos e biológico em ambiente hipersalino, estuário do rio Pisa Sal

(Galinhos, Rio Grande do Norte, Brasil). Pp. 854-856. In: **Anais XIV Congresso Brasileiro de Engenharia de Pesca**. Tropical Oceanography, Recife, v. 33, n. 1, p. 39–55, 2005.

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 (Bacia do Pina, Recife, Pe). **Revista Brasileira Engenharia de Pesca**, v. 4, n. 1, p. 95-109, 2009.

SANTOS-FERNANDES, T. L.; PASSAVANTE, J. Z. O.; KOENING, M. L.; MACÊDO, S. J. Fitoplâncton do estuário do rio Jaguaribe (Itamaracá, Pernambuco, Brasil): Biomassa. **Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco**, Recife, v. 26, n. 2, p. 1-18, 1998.

SASSI, R. Phytoplankton and environmental factors in the Paraíba do Norte river estuary, northeastern Brazil: composition, distribution and qualitative remarks. **Boletim do Instituto Oceanográfico**, v. 39, p. 93-115, 1991.

SATÔ, S.; PARANAGUÁ, M. N.; ESKINAZI, E. On the mechanism of red tide of *Tricodesmium* in Recife Northeastern Brazil, with some considerations of the relation to the human disease, “Tamandaré feve”. **Trabalhos do Instituto Oceanográfico da Universidade do Recife**, Recife, v. 5/6, p. 7-49, 1963/1964.

SILVA, M.C. Estuários – critérios para uma classificação ambiental. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 5, n.1, p. 25-35, 2000.

SILVA, J. B.; GALVÍNCIO, J. D.; CORRÊA, A. C. B.; SILVA, D. G.; MACHADO, C. C. C. Classificação Geomorfológica dos Estuários do Estado de Pernambuco (Brasil) com Base em Imagens do LANDSAT 5/TM. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 01, p. 118-133, 2011.

SILVA, L. M. **Condições ambientais do ecossistema recifal de Tamandaré (Apa Costa dos Corais): comunidade fitoplanctônica e variáveis hidrológicas**. 2015. 72 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia) - Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

SIN, Y.; HYUN, B.; JEONG, B.; SOH, H. Y. Impacts of eutrophic freshwater inputs on water quality and phytoplankton size structure in a temperate estuary altered by a sea dike. **Marine Environmental Research**, v. 85, p. 54-63, 2013.

STRICKLAND, J. D. H.; PARSONS, T. R. A practical handbook of sea water analysis. **Bulletin Fisheries Research board of Canada**, Ottawa, v. 167, p.207 – 211, 1972.

UNESCO (United Nations Educational Scientific, and Cultural Organization). Determinations of Photosynthetic Pigments. In: **Sea Water: Reporto of SCOR-UNESCO, Working Group 17**. Paris: United Nations Education, 69p.

UNESCO. **International Oceanographic Tables**. Wormley, National Institute of Oceanography of Great Britain & UNESCO. v.2, 141 p., 1973.

- VENICE SYSTEM. Symposium on the classification of brackish waters, Venice. April 8-14, 1958. Marine Waters According to Salinity. **Archives Oceanography e Limnology**, v.11 (Suppl.), p. 243-245, 1958.
- WHITE, D. L., PORTER, D. E., LEWITUS, A. J, KEESEE. Spatial Gradient Analyses of Nutrients and Chlorophyll a Biomass in an Urbanized Lagoonal Estuary: A Comparison between Wet and Dry Periods. **Journal of Coastal Research**, n. 243, pp. 649-659, 2008.
- WU J.T.; CHOU, T.L. 2003. Silicate as the limiting nutrient for phytoplankton in a subtropical eutrophic estuary of Taiwan. **Estuarine Coastal Shelf Science**, v. 58, p. 155–162
- YIN, K. Monsoonal influence on seasonal variations in nutrients and phytoplankton in coastal waters of Hong Kong in the vicinity of the Pearl River estuary, **Marine Ecology Progress Series**, v. 245, p. 111–122, 2002.
- ZHOU, W., YUAN, X., LONG, A., HUANG, H., YUE, W. Different hydrodynamic processes regulated on water quality (nutrients, dissolved oxygen, and phytoplankton biomass) in three contrasting waters of Hong Kong. **Environ Monit Assess**, v.186, pp.1705–1718, 2014.

# APÊNDICE

**Apêndice A** – Variação sazonal da altura das marés (m) no período chuvoso e de estiagem, em ambos os estágios de maré no estuário do rio Formoso, Pernambuco, Brasil.

| Mês         | Hora  | Baixa-mar (m) | Hora  | Preamar (m) |
|-------------|-------|---------------|-------|-------------|
| MAIO/ 14    | 10:37 | 0,3           | 16:26 | 2,1         |
| JULHO/ 14   | 08:36 | 0,5           | 14:47 | 2,0         |
| AGOSTO/14   | 10:21 | 0,0           | 16:24 | 2,4         |
| OUTUBRO/14  | 08:51 | 0,3           | 14:58 | 2,2         |
| NOVEMBRO/14 | 08:53 | 0,2           | 15:00 | 2,3         |
| DEZEMBRO/14 | 08:15 | 0,3           | 14:30 | 2,2         |

**Apêndice B** – Variação sazonal dos parâmetros hidrológicos no **ponto 1**, no período chuvoso e de estiagem, em ambos os estágios de maré no estuário do rio Formoso, Pernambuco, Brasil.

| Mês/<br>Ano | Maré  | Temp.<br>(°C) | Sal.  | Prof.<br>(m) | Secchi<br>(m) | MPS<br>(mg L <sup>-1</sup> ) | OD<br>(ml L <sup>-1</sup> ) | OD<br>(%) | NH <sub>3</sub><br>(μmol L <sup>-1</sup> ) | NO <sub>2</sub><br>(μmol L <sup>-1</sup> ) | NO <sub>3</sub><br>(μmol L <sup>-1</sup> ) | PO <sub>4</sub><br>(μmol L <sup>-1</sup> ) | SiO <sub>2</sub><br>(μmol L <sup>-1</sup> ) |
|-------------|-------|---------------|-------|--------------|---------------|------------------------------|-----------------------------|-----------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Maio/14     | BM    | 27,00         | 25,00 | 4,25         | 1,00          | 22,00                        | 3,36                        | 69,50     | 0,01*                                      | 0,01*                                      | 2,60                                       | 0,20                                       | 25,62                                       |
| Jul/14      | BM    | 26,00         | 26,00 | 5,20         | 2,00          | 15,00                        | 3,62                        | 73,80     | 0,01*                                      | 0,10                                       | 0,76                                       | 0,13                                       | 26,64                                       |
| Ago/14      | BM    | 26,00         | 32,00 | 4,00         | 1,40          | 17,60                        | 5,06                        | 107,00    | 0,01*                                      | 0,08                                       | 0,18                                       | 0,16                                       | 19,46                                       |
| Out/14      | BM    | 28,00         | 25,00 | 2,50         | 1,60          | 15,60                        | 4,01                        | 84,30     | 0,01*                                      | 0,01*                                      | 0,01*                                      | 0,07                                       | 7,80                                        |
| Nov/14      | BM    | 29,50         | 28,00 | 2,50         | 1,70          | 21,50                        | 3,95                        | 86,40     | 0,01*                                      | 0,01*                                      | 0,01*                                      | 0,04                                       | 13,49                                       |
| Dez/14      | BM    | 27,00         | 30,00 | 2,70         | 2,00          | 18,40                        | 3,60                        | 76,50     | 0,01                                       | 0,01*                                      | 0,07                                       | 0,05                                       | 11,14                                       |
| -----       | ----- | -----         | ----- | -----        | -----         | -----                        | -----                       | -----     | -----                                      | -----                                      | -----                                      | -----                                      | -----                                       |
| Maio/14     | PM    | 27,00         | 20,00 | 3,40         | 1,50          | 16,66                        | 3,46                        | 69,40     | 0,01*                                      | 0,17                                       | 0,38                                       | 0,15                                       | 7,32                                        |
| Jul/14      | PM    | 27,00         | 30,00 | 7,00         | 2,70          | 13,20                        | 4,36                        | 92,50     | 0,01*                                      | 0,01*                                      | 0,01*                                      | 0,05                                       | 10,29                                       |
| Ago/14      | PM    | 26,00         | 27,00 | 3,00         | 1,30          | 24,80                        | 4,07                        | 83,50     | 0,01*                                      | 0,02                                       | 0,06                                       | 0,24                                       | 26,32                                       |
| Out/14      | PM    | 28,00         | 30,00 | 4,00         | 2,10          | 16,60                        | 4,61                        | 99,50     | 0,01*                                      | 0,01*                                      | 0,03                                       | 0,07                                       | 5,04                                        |
| Nov/14      | PM    | 28,00         | 31,00 | 5,80         | 2,10          | 20,00                        | 4,91                        | 107,00    | 0,01*                                      | 0,01*                                      | 0,01*                                      | 0,05                                       | 3,52                                        |
| Dez/14      | PM    | 27,50         | 35,00 | 5,90         | 2,50          | 27,00                        | 4,88                        | 108,00    | 0,01*                                      | 0,01*                                      | 0,02                                       | 0,06                                       | 2,26                                        |

\*Não detectável

**Apêndice C** – Variação sazonal dos parâmetros hidrológicos no **ponto 2**, no período chuvoso e de estiagem, em ambos os estágios de maré no estuário do rio Formoso, Pernambuco, Brasil.

| Mês/<br>Ano | Maré  | Temp.<br>(°C) | Sal.  | Prof.<br>(m) | Secchi<br>(m) | MPS<br>(mg L <sup>-1</sup> ) | OD<br>(ml L <sup>-1</sup> ) | OD<br>(%) | NH <sub>3</sub><br>(μmol L <sup>-3</sup> ) | NO <sub>2</sub><br>(μmol L <sup>-3</sup> ) | NO <sub>3</sub><br>(μmol L <sup>-3</sup> ) | PO <sub>4</sub><br>(μmol L <sup>-3</sup> ) | SiO <sub>2</sub><br>(μmol L <sup>-3</sup> ) |
|-------------|-------|---------------|-------|--------------|---------------|------------------------------|-----------------------------|-----------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Maio/14     | BM    | 27,00         | 27,00 | 5,85         | 1,75          | 21,50                        | 4,86                        | 101,40    | 0,01*                                      | 0,11                                       | 0,52                                       | 0,27                                       | 10,77                                       |
| Jul/14      | BM    | 26,00         | 28,00 | 7,00         | 2,00          | 18,20                        | 3,64                        | 75,19     | 0,01*                                      | 0,01*                                      | 0,32                                       | 0,10                                       | 14,03                                       |
| Ago/14      | BM    | 26,00         | 32,00 | 5,00         | 1,50          | 21,20                        | 4,59                        | 96,92     | 0,01*                                      | 0,13                                       | 0,01*                                      | 0,15                                       | 17,67                                       |
| Out/14      | BM    | 28,00         | 25,00 | 3,00         | 1,80          | 15,40                        | 4,03                        | 125,80    | 0,01                                       | 0,01*                                      | 0,01*                                      | 0,06                                       | 9,51                                        |
| Nov/14      | BM    | 29,50         | 31,00 | 4,10         | 2,60          | 20,60                        | 5,65                        | 86,40     | 0,01*                                      | 0,01*                                      | 0,28                                       | 0,03                                       | 11,55                                       |
| Dez/14      | BM    | 27,50         | 30,00 | 4,30         | 2,30          | 21,40                        | 3,64                        | 78,00     | 0,02                                       | 0,01*                                      | 0,01                                       | 0,03                                       | 13,39                                       |
| -----       | ----- | -----         | ----- | -----        | -----         | -----                        | -----                       | -----     | -----                                      | -----                                      | -----                                      | -----                                      | -----                                       |
| Maio/14     | PM    | 28,00         | 25,00 | 4,50         | 2,50          | 20,28                        | 4,35                        | 91,41     | 0,01*                                      | 0,01*                                      | 0,83                                       | 0,16                                       | 7,80                                        |
| Jul/14      | PM    | 27,00         | 33,00 | 7,50         | 2,70          | 19,80                        | 4,60                        | 99,41     | 0,01*                                      | 0,01*                                      | 0,39                                       | 0,12                                       | 5,20                                        |
| Ago/14      | PM    | 26,00         | 32,00 | 5,50         | 1,10          | 14,60                        | 5,42                        | 114,50    | 0,01*                                      | 0,10                                       | 0,10                                       | 0,14                                       | 15,07                                       |
| Out/14      | PM    | 28,00         | 31,00 | 5,40         | 3,70          | 19,20                        | 4,79                        | 104,00    | 0,01*                                      | 0,01*                                      | 0,02                                       | 0,06                                       | 2,88                                        |
| Nov/14      | PM    | 28,00         | 31,00 | 5,60         | 1,80          | 22,60                        | 5,01                        | 108,90    | 0,01*                                      | 0,01*                                      | 0,05                                       | 0,10                                       | 2,38                                        |
| Dez/14      | PM    | 28,00         | 35,00 | 5,80         | 2,00          | 23,60                        | 5,31                        | 117,80    | 0,01*                                      | 0,01*                                      | 0,57                                       | 0,13                                       | 3,56                                        |

\*Não detectável

**Apêndice D** – Variação sazonal dos parâmetros hidrológicos no **ponto 3**, no período chuvoso e de estiagem, em ambos os estágios de maré no estuário do rio Formoso, Pernambuco, Brasil.

| Mês/<br>Ano | Maré  | Temp.<br>(°C) | Sal.  | Prof.<br>(m) | Secchi<br>(m) | MPS<br>(mg L <sup>-1</sup> ) | OD<br>(ml L <sup>-1</sup> ) | OD<br>(%) | NH <sub>3</sub><br>(μmol L <sup>-3</sup> ) | NO <sub>2</sub><br>(μmol L <sup>-3</sup> ) | NO <sub>3</sub><br>(μmol L <sup>-3</sup> ) | PO <sub>4</sub><br>(μmol L <sup>-3</sup> ) | SiO <sub>2</sub><br>(μmol L <sup>-3</sup> ) |
|-------------|-------|---------------|-------|--------------|---------------|------------------------------|-----------------------------|-----------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Maio/14     | BM    | 27,00         | 30,00 | 4,00         | 1,50          | 26,00                        | 4,73                        | 100,54    | 0,01*                                      | 0,01*                                      | 3,47                                       | 0,11                                       | 39,22                                       |
| Jul/14      | BM    | 26,00         | 30,00 | 3,60         | 3,00          | 18,40                        | 4,31                        | 89,97     | 0,01*                                      | 0,01*                                      | 0,33                                       | 0,80                                       | 11,93                                       |
| Ago/14      | BM    | 26,00         | 34,00 | 4,30         | 1,10          | 30,40                        | 5,42                        | 115,85    | 0,01*                                      | 0,10                                       | 0,15                                       | 0,12                                       | 13,66                                       |
| Out/14      | BM    | 27,50         | 28,00 | 2,50         | 2,50          | 18,00                        | 5,57                        | 118,00    | 0,01*                                      | 0,01*                                      | 0,03                                       | 0,05                                       | 4,75                                        |
| Nov/14      | BM    | 29,00         | 32,00 | 2,00         | 2,00          | 25,60                        | 4,37                        | 97,08     | 0,01*                                      | 0,01*                                      | 0,24                                       | 0,04                                       | 6,09                                        |
| Dez/14      | BM    | 28,00         | 31,00 | 2,50         | 2,50          | 23,00                        | 3,88                        | 84,36     | 0,01*                                      | 0,01*                                      | 0,05                                       | 0,04                                       | 9,87                                        |
| -----       | ----- | -----         | ----- | -----        | -----         | -----                        | -----                       | -----     | -----                                      | -----                                      | -----                                      | -----                                      | -----                                       |
| Maio/14     | PM    | 28,00         | 34,00 | 8,30         | 1,50          | 25,25                        | 4,76                        | 105,21    | 0,01*                                      | 0,20                                       | 2,07                                       | 0,13                                       | 4,57                                        |
| Jul/14      | PM    | 27,00         | 35,00 | 4,50         | 2,50          | 24,20                        | 4,31                        | 94,11     | 0,01*                                      | 0,01*                                      | 0,52                                       | 0,11                                       | 5,37                                        |
| Ago/14      | PM    | 26,00         | 35,00 | 7,80         | 1,00          | 25,60                        | 5,84                        | 125,48    | 0,01*                                      | 0,01*                                      | 0,48                                       | 0,13                                       | 4,22                                        |
| Out/14      | PM    | 29,00         | 31,00 | 5,00         | 4,00          | 17,60                        | 5,10                        | 112,70    | 0,01*                                      | 0,01*                                      | 0,01*                                      | 0,05                                       | 5,81                                        |
| Nov/14      | PM    | 29,00         | 34,00 | 3,90         | 1,90          | 22,20                        | 5,23                        | 117,32    | 0,01*                                      | 0,01*                                      | 0,05                                       | 0,10                                       | 1,56                                        |
| Dez/14      | PM    | 28,00         | 33,00 | 5,20         | 1,90          | 20,6                         | 4,99                        | 109,58    | 0,01*                                      | 0,01*                                      | 0,45                                       | 0,10                                       | 2,51                                        |

\*Não detectável

**Apêndice E** – Variação sazonal da biomassa fitoplanctônica ( $\text{mg.m}^{-3}$ ) nos pontos de coleta, no período chuvoso e de estiagem, em ambos os estágios de maré no estuário do rio Formoso, Pernambuco, Brasil.

| Mês/<br>Ano | Maré  | Ponto 1 |                    | Ponto 2 |                    | Ponto 3 |                    |
|-------------|-------|---------|--------------------|---------|--------------------|---------|--------------------|
|             |       | Total   | < 20 $\mu\text{m}$ | Total   | < 20 $\mu\text{m}$ | Total   | < 20 $\mu\text{m}$ |
| Maio/14     | BM    | 3,11    | 1,14               | 5,70    | 1,74               | 4,42    | 2,03               |
| Jul/14      | BM    | 4,95    | 2,12               | 1,98    | 1,98               | 1,03    | 1,03               |
| Ago/14      | BM    | 1,34    | 1,34               | 0,93    | 0,93               | 1,58    | 1,58               |
| Out/14      | BM    | 8,36    | 6,41               | 5,93    | 4,64               | 4,08    | 2,94               |
| Nov/14      | BM    | 7,88    | 5,85               | 5,41    | 2,54               | 2,51    | 2,51               |
| Dez/14      | BM    | 7,63    | 5,63               | 3,91    | 2,20               | 3,56    | 2,58               |
| -----       | ----- | -----   | -----              | -----   | -----              | -----   | -----              |
| Maio/14     | PM    | 4,55    | 1,30               | 3,41    | 1,66               | 0,95    | 0,60               |
| Jul/14      | PM    | 3,30    | 1,18               | 2,19    | 0,99               | 1,11    | 0,21               |
| Ago/14      | PM    | 12,64   | 8,32               | 1,20    | 1,20               | 1,05    | 0,87               |
| Out/14      | PM    | 3,08    | 2,43               | 1,60    | 0,87               | 1,06    | 1,06               |
| Nov/14      | PM    | 2,20    | 2,20               | 1,69    | 1,69               | 0,67    | 0,67               |
| Dez/14      | PM    | 2,92    | 2,04               | 1,22    | 1,22               | 1,86    | 0,81               |

# **ANEXO**

**Anexo A** - Variação sazonal da precipitação pluviométrica (mm) registrada na estação meteorológica do Instituto Agrônômico de Pernambuco - IPA, localizada em Tamandaré durante os anos de 1999 a 2014.

| <b>Mês</b>   | <b>Jan</b>   | <b>Fev</b>    | <b>Mar</b>    | <b>Abr</b>    | <b>Mai</b>    | <b>Jun</b>    | <b>Jul</b>    | <b>Ago</b>    | <b>Set</b>   | <b>Out</b>   | <b>Nov</b>   | <b>Dez</b>   | <b>TOTAL</b>   |
|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------------|
| <b>Ano</b>   |              |               |               |               |               |               |               |               |              |              |              |              |                |
| <b>1999</b>  | 39,00        | 15,00         | 153,00        | 107,00        | 158,50        | 85,00         | 207,00        | 81,00         | 46,50        | -            | -            | -            | <b>892,00</b>  |
| <b>2000</b>  | 91,50        | -             | -             | -             | -             | -             | -             | -             | 379,00       | 59,40        | 5,03         | 6,80         | <b>541,80</b>  |
| <b>2001</b>  | 1,00         | -             | 238,40        | 88,90         | 10,50         | 528,20        | 227,90        | 113,20        | 195,00       | 49,90        | 14,80        | 13,40        | <b>1481,50</b> |
| <b>2002</b>  | 188,00       | 166,40        | 308,40        | 66,40         | 170,70        | 425,70        | 104,10        | 80,90         | 34,20        | 15,60        | 21,20        | 1,00         | <b>3584,60</b> |
| <b>2003</b>  | 5,00         | 30,50         | 10,80         | -             | 147,90        | 290,70        | 137,20        | -             | -            | -            | -            | 3,60         | <b>625,70</b>  |
| <b>2004</b>  | 389,00       | 418,10        | 57,40         | 220,60        | 170,40        | 420,40        | 308,60        | 208,10        | 78,00        | 1,00         | 5,60         | 1,00         | <b>2278,20</b> |
| <b>2005</b>  | 10,00        | 22,60         | 66,80         | 69,30         | 294,10        | 685,80        | 131,90        | 111,40        | 24,40        | 28,30        | 1,00         | 122,00       | <b>1567,20</b> |
| <b>2006</b>  | 21,20        | 14,30         | 113,10        | 150,20        | 297,40        | 282,10        | 240,90        | 49,60         | 46,50        | 9,20         | 44,70        | 28,90        | <b>1298,10</b> |
| <b>2007</b>  | 42,30        | 112,00        | 287,50        | 186,70        | 283,20        | 336,10        | 265,70        | 184,80        | 68,00        | 17,80        | 13,10        | 57,20        | <b>1854,40</b> |
| <b>2008</b>  | 71,50        | 6,00          | 556,20        | 150,60        | 414,80        | 203,90        | 376,00        | 336,90        | 19,20        | 34,00        | 8,60         | 6,00         | <b>2183,70</b> |
| <b>2009</b>  | 83,30        | 200,40        | 47,40         | 234,00        | 291,10        | 357,50        | 266,70        | 238,00        | 62,60        | 22,00        | 17,00        | 67,40        | <b>1887,40</b> |
| <b>2010</b>  | 144,00       | 68,00         | 151,00        | 118,00        | 87,30         | 627,00        | 247,80        | 221,50        | 14,00        | 24,00        | 1,70         | 29,00        | <b>1733,10</b> |
| <b>2011</b>  | 146,00       | 70,00         | 88,50         | 468,00        | 657,00        | 266,00        | 536,80        | 143,00        | 33,30        | 15,90        | 66,30        | -            | <b>2490,80</b> |
| <b>2012</b>  | 118,00       | 99,30         | 38,60         | 59,80         | 81,90         | 206,10        | 275,30        | 95,00         | 6,10         | 42,30        | 1,90         | 20,30        | <b>1044,30</b> |
| <b>2013</b>  | 65,90        | 16,60         | 70,30         | 150,30        | 198,50        | 280,00        | 418,20        | 202,8         | 110,00       | 100,00       | 86,70        | 56,80        | <b>1756,60</b> |
| <b>2014</b>  | 30,50        | 173,50        | 115,50        | 162,40        | 352,70        | 214,30        | 121,20        | 187,00        | 253,00       | 212,00       | 26,50        | 27,00        | <b>1875,90</b> |
| <b>Média</b> | <b>93,78</b> | <b>107,52</b> | <b>153,56</b> | <b>163,48</b> | <b>246,96</b> | <b>365,99</b> | <b>261,31</b> | <b>167,09</b> | <b>94,53</b> | <b>45,16</b> | <b>22,46</b> | <b>31,43</b> |                |