



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR**  
**CURSO DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

**BRENDA ROZENDO MELO**

**COMO NUTRIENTES E SÓLIDOS SUSPENSOS VARIAM EM UM ESTUÁRIO**  
**HIPERSALINO?**

**FORTALEZA**  
**2017**

BRENDA ROZENDO MELO

COMO NUTRIENTES E SÓLIDOS SUSPENSOS VARIAM EM UM ESTUÁRIO  
HIPERSALINO?

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do Título de Bacharel em Ciências Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo de Oliveira Soares.

Coorientadora: Dra. Hortência de Sousa Barroso.

FORTALEZA

2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

M485c Melo, Brenda Rozendo.

Como nutrientes e sólidos suspensos variam em um estuário hipersalino? / Brenda Rozendo Melo. – 2017.

55 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do Mar, Curso de Ciências Ambientais, Fortaleza, 2017.

Orientação: Prof. Dr. Marcelo de Oliveira Soares.

Coorientação: Profa. Dra. Hortência de Sousa Barroso.

1. Estuário Semiárido. 2. Estuário Inverso. 3. Ceará. 4. Qualidade de Água. 5. Limnologia. I. Título.  
CDD 333.7

---

BRENDA ROZENDO MELO

COMO NUTRIENTES E SÓLIDOS SUSPENSOS VARIAM EM UM ESTUÁRIO  
HIPERSALINO?

Monografia apresentada ao Curso de Ciências Ambientais do Instituto de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Ciências Ambientais.

Aprovada em: 12/07/2017.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Marcelo de Oliveira Soares (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Dra. Hortência de Sousa Barroso  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Paulo de Freitas Lima  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE)

À Daphne, eterna roçadeira e rainha da casa.

## AGRADECIMENTOS

A Geane, Beto, Mozart e Mônica, minha família unida que sempre me trouxe equilíbrio, muito amor e me ensinaram a sempre buscar fazer o bem e lutar pela coletividade. Meu lar é estar perto de vocês, onde encontro paz.

À Hortência Barroso, por ter me acompanhado durante todo o projeto, ensinando e ajudando, além de participar da banca examinadora. Sou muito grata pelo tanto que aprendi convivendo com você.

Ao Prof. Marcelo Soares, por ter me orientado de forma a enriquecer este trabalho, trazendo um ânimo especial com suas ótimas ideias e opiniões.

Ao Prof. Paulo Lima, por ter se disponibilizado a participar da banca examinadora e ter fornecido importantes contribuições.

À Patrícia Barros, pela parceria e maravilhosa convivência durante nossas análises.

Ao Tasso Jorge, pela energia e muitas risadas que nos trouxe durante nossas análises.

À Profa. Sandra Santaella, que me recebeu no laboratório quando ainda estava no segundo semestre e, desde então, concedeu-me aprendizados para o trabalho e para a vida.

À equipe de força que foi a campo garantir as coletas, Carolina Coelho, Érica Targino, Sócrates Abreu, Tatiane Martins, Cecília Costa, Hortência Barroso, Wallace Alves, Felipe Braga e demais pessoas envolvidas!

Ao pessoal que conviveu comigo no EQUAL durante manhãs, tardes, noites, feriados, enfim, por trazerem leveza aos dias de muito trabalho com tantos cafés, conversas e apoio das mais diversas formas. As trocas de cuidados entre nós foram essenciais para manter saúde, força e alegria em nosso espaço de trabalho.

À CNPq, pelo apoio financeiro com a manutenção da bolsa de auxílio.

À CAPES, pelo financiamento de parte do material.

“A natureza nunca pode ser separada de alguém que a percebe, ela nunca pode existir efetivamente em si porque suas articulações são as mesmas de nossa existência e porque ela se estabelece no fim de um olhar ou ao término de uma exploração sensorial que a investe de humanidade.” (Michèle Sato, 2001).

## RESUMO

O estuário do rio Piranji (CE) está inserido em região de clima predominantemente semiárido e possui característica singular pelo padrão de salinidade invertido na maior parte do ano, sendo mais alta no interior do que próximo à foz. Os nutrientes são fundamentais para a produção primária no ecossistema estuarino, e seus ciclos biogeoquímicos refletem as variáveis atuantes no ambiente, podendo transmitir informações relevantes também relacionadas ao atual contexto de mudanças climáticas e antropização do meio. Diante disso, este trabalho buscou analisar a dinâmica espacial e sazonal dos principais nutrientes e dos sólidos suspensos no estuário e considerar fatores naturais que possam acarretar aumento ou diminuição nas concentrações das variáveis investigadas. As amostras de água foram coletadas bimensalmente ao longo do ano de 2015, sendo realizadas durante a maré vazante de sizígia, em três estações do estuário: superior (E1), média (E2) e inferior (E3). Temperatura, pH, salinidade, oxigênio dissolvido e saturação de oxigênio foram medidos *in situ* em sonda multiparamétrica e a transparência da água foi medida com um disco de Secchi. As concentrações dos nutrientes (N-amoniaco, nitrito, nitrato, nitrogênio total, ortofosfato, fósforo total e sílica) foram determinadas por métodos espectrofotométricos, enquanto as determinações de sólidos suspensos totais (SST) foram realizadas por gravimetria. Na estação E1, foram encontrados os valores de salinidade mais alto ( $62,6 \pm 0,17$ ) e mais baixo ( $9,4 \pm 0,04$ ), enquanto na estação mais próxima à foz (E3) essa variação foi menor, de  $36,9 (\pm 0)$  a  $39,5 (\pm 0,7)$ . Em geral, as concentrações mais altas de todos os nutrientes foram encontradas na estação superior (E1), seguida pela média (E2), indicando uma diluição dessas concentrações por águas costeiras, sendo os valores dos dissolvidos mais altos no período chuvoso. Já os resultados de sólidos suspensos no período de estiagem foram superiores ao chuvoso, e as maiores concentrações em todos os meses foram relativas à estação E1. Foi observada uma influência da precipitação pluviométrica tanto na dinâmica de nutrientes e sólidos suspensos, como também na salinidade, no pH e nas concentrações de oxigênio dissolvido. No período seco, apesar da baixa variação dos resultados de NT em relação ao período anterior, as concentrações de NID despencaram, enquanto os valores de PT e SST aumentaram, sugerindo um ambiente mais favorável à produtividade primária. Os resultados de SST foram bastante diferenciados de outros estuários e, além de apontarem para o baixo fluxo fluvial limitado pela ação climática, indicaram alterações provenientes de interferência antrópica, que também são sugeridas a partir das concentrações elevadas de N-amoniaco. O padrão de salinidade foi invertido na maioria dos meses e, considerando o aumento da

produtividade primária presumido a partir dos resultados de nitrogênio, fósforo e sólidos suspensos, as características do estuário apontaram para uma adaptação do ambiente às condições de estiagem e hipersalinidade.

**Palavras-chave:** Estuário semiárido. Estuário inverso. Ceará. Qualidade de água. Limnologia.

## ABSTRACT

The estuary of the Piranji river (CE) is located in a predominantly semiarid region and has a unique characteristic by the inverted salinity pattern during most of the year, being higher in the interior than near the mouth. The nutrients are fundamental for a primary production in the estuarine ecosystem, and their biogeochemical cycles reflect as active variables in the environment, being able to transmit relevant information also related to the current context of climatic changes and anthropization of the environment. Therefore, this work sought to analyze the spatial and seasonal dynamics of the main nutrients and suspended solids in the estuary and to consider natural factors that may cause increase or decrease in the concentrations of the investigated variables. The water samples were collected bi-monthly over the year 2015, during the syzygy ebb tide, in three stations on the estuary: upper (E1), medium (E2) and lower (E3). Temperature, pH, salinity, dissolved oxygen and oxygen saturation were measured in situ in a multiparameter probe and the water transparency was measured with a Secchi disk. The concentrations of the nutrients (N-ammoniacal, nitrite, nitrate, total nitrogen, orthophosphate, total phosphorus and silica) were determined by spectrophotometric methods, while total suspended solids (TSS) determinations were performed by gravimetry. At station E1, were found the highest ( $62.6 \pm 0.17$ ) and lowest ( $9.4 \pm 0.04$ ) salinity values, while in the station closest to the mouth (E3) this variation was lower,  $36.9 (\pm 0)$  to  $39.5 (\pm 0.7)$ . In general, the highest concentrations of all nutrients were found in the upper station (E1), followed by the medium (E2), indicating a dilution of these concentrations by coastal waters, with higher values to dissolved nutrients during the rainy period. The results of suspended solids during the dry period were higher than the rainy period, and the highest concentrations in all months were related to the E1 station. It was observed an influence of rainfall in both nutrient and suspended solids dynamics, as well as salinity, pH and dissolved oxygen concentrations. In the dry period, despite the low variation of TN results in relation to the previous period, the DIN concentrations fell, while the values of TP and TSS increased, suggesting an environment more favorable to primary productivity. The results of TSS were quite different from other estuaries and, in addition to pointing to low river flow limited by climatic action, indicated changes from anthropic interference, which are also suggested from high concentrations of N-ammoniacal. The salinity pattern was inverted in most of the months, considering the increase of the primary production presumed from the results of nitrogen, phosphorus and suspended solids, as characteristics of the estuary pointed to an adaptation of the environment to the drought conditions and hypersalinity.

**Keywords:** Semiarid estuary. Inverse estuary. Ceará. Water quality. Limnology.

## LISTA DE FIGURAS E TABELAS

Figura 1	– Destaque da praia de barreira arenosa estreitando o contato do rio Piranji (CE) com o mar.....	21
Figura 2	– Média de precipitação pluviométrica mensal no município de Beberibe entre 1982 e 2014 e precipitação mensal no ano de 2015 na área de estudo.....	29
Figura 3	– Dados de velocidade média mensal dos ventos no município de Beberibe/CE durante o ano de 2015.....	29
Figura 4	– Estuário do rio Piranji com as localizações aproximadas das estações coletadas (E1, E2 e E3).....	30
Tabela 1	– Limites de detecção de acordo com os métodos adotados por Baumgarten, Rocha e Niencheski (1996) .....	32
Tabela 2	– Variáveis físico-químicas (transparência, salinidade, pH, temperatura (T), oxigênio dissolvido (OD) e saturação de oxigênio (SO)) durante os meses de Fevereiro, Abril, Junho, Agosto, Outubro e Dezembro nas estações superior (E1), média (E2) e inferior (E3) do estuário do rio Piranji.....	35
Figura 5	– Representação dos resultados, respectivos desvios padrões, referentes às médias dos valores de nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) obtidos nas estações superior (E1), média (E2) e inferior (E3) do estuário durante os meses estudados.....	36
Figura 6	– Representação dos resultados, respectivos desvios padrões, referentes às médias dos valores de N-amoniacal, nitrito e nitrato obtidos nas estações superior (E1), média (E2) e inferior (E3) do estuário durante os meses estudados.....	37
Figura 7	– Resultados e respectivos desvios padrões referentes às médias dos valores de nitrogênio total (NT) obtidos na estação superior (E1), média (E2) e inferior (E3) do estuário durante os meses estudados.....	38

Figura 8 – Resultados e respectivos desvios padrões referentes às médias dos valores de ortofosfato obtidos na estação superior (E1), média (E2) e inferior (E3) do estuário durante os meses estudados.....	39
Figura 9 – Resultados e respectivos desvios padrões referentes às médias dos valores de fósforo total obtidos na estação superior (E1), média (E2) e inferior (E3) do estuário durante os meses estudados.....	40
Figura 10 – Resultados e respectivos desvios padrões referentes às razões entre os valores de nitrogênio inorgânico dissolvido e ortofosfato nas estações superior (E1), média (E2) e inferior (E3) do estuário durante os meses estudados.....	40
Figura 11 – Resultados e respectivos desvios padrões referentes às médias dos valores de sílica obtidos na estação superior (E1), média (E2) e inferior (E3) do estuário durante os meses estudados.....	41
Figura 12 – Resultados e respectivos desvios padrões referentes às médias dos valores de sólidos suspensos totais (SST) obtidos na estação superior (E1), média (E2) e inferior (E3) do estuário durante os meses estudados.....	42
Figura 13 – Agrupamento por ligação completa gerado no programa Primer 6.1.6, utilizando a distância euclidiana para avaliação da semelhança entre as amostras.....	43
Figura 14 – Análise de componentes principais (ACP) das amostras coletadas.....	44
Figura 15 – Ilustração da variação nas concentrações de nutrientes e sólidos suspensos do período chuvoso para o seco no estuário. Em vermelho, concentrações que diminuíram e, em verde, que aumentaram.....	46
Figura 16 – Ilustração geral da distribuição espacial nas concentrações de variáveis analisadas neste trabalho da estação superior (E1) para a mais próxima à foz (E3) durante o ano.....	48

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

$\mu\text{M}$	Micromol(es)
ACP	Análise dos Componentes Principais
FUNCEME	Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPECE	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará
L	Litro(s)
N	Nitrogênio
NID	Nitrogênio Inorgânico Dissolvido
NT	Nitrogênio Total
OD	Oxigênio Dissolvido
P	Fósforo
pH	Potencial Hidrogeniônico
PID	Fósforo Inorgânico Dissolvido
PT	Fósforo Total
SO	Saturação de Oxigênio
T	Temperatura
$Z_{eu}$	Zona Eufótica

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>16</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>19</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivo geral</b> .....	<b>19</b>
<b>2.2</b>	<b>Objetivos específicos</b> .....	<b>19</b>
<b>3</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>20</b>
<b>3.1</b>	<b>Dinâmica de nutrientes e sólidos suspensos</b> .....	<b>22</b>
<b>3.2</b>	<b>Impactos antrópicos</b> .....	<b>25</b>
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>28</b>
<b>4.1</b>	<b>Área de estudo</b> .....	<b>28</b>
<b>4.1.1</b>	<b>Dados meteorológicos</b> .....	<b>28</b>
<b>4.2</b>	<b>Periodicidade, pontos de coleta e amostragem</b> .....	<b>30</b>
<b>4.3</b>	<b>Variáveis físico-químicas</b> .....	<b>31</b>
<b>4.4</b>	<b>Análise estatística</b> .....	<b>32</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>34</b>
<b>5.1</b>	<b>Transparência, salinidade, pH, temperatura, OD e SO</b> .....	<b>34</b>
<b>5.2</b>	<b>N-amoniaco, nitrito, nitrato e nitrogênio total</b> .....	<b>36</b>
<b>5.3</b>	<b>Ortofosfato e fósforo total</b> .....	<b>39</b>
<b>5.4</b>	<b>Razão NID/P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup></b> .....	<b>40</b>
<b>5.5</b>	<b>Sílica</b> .....	<b>41</b>
<b>5.6</b>	<b>Sólidos suspensos</b> .....	<b>41</b>
<b>5.7</b>	<b>Análise estatística</b> .....	<b>42</b>
<b>6</b>	<b>DISCUSSÃO</b> .....	<b>45</b>
<b>6.1</b>	<b>Variação sazonal: a chuva controla as concentrações de nutrientes e SST?</b> .....	<b>45</b>
<b>6.2</b>	<b>Variação espacial: os nutrientes e sólidos suspensos decrescem em direção à foz do estuário?</b> .....	<b>47</b>
<b>6.3</b>	<b>Variáveis físico-químicas: concentrações e sua dinâmica</b> .....	<b>48</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	<b>50</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>51</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Os estuários são corpos hídricos semifechados em conexão com o oceano, estando inseridos em área de ecótono entre águas fluviais e marinhas, podendo ser classificado de acordo com suas características morfológicas e gradientes de salinidade (VALENTIN; MUELBERT, 2015). Dessa forma, os estuários detêm diferentes nichos ecológicos, por dispor de diversos ambientes e com variação constante, sendo a oscilação da salinidade um dos fatores principais (TUNDISI; TUNDISI, 2008).

A vegetação presente nos manguezais proporciona serviços ecossistêmicos capazes de contribuir para a estabilização da região costeira, proteção do ambiente em ocorrências de tempestades e controle de inundações, manutenção da qualidade da água, inclusive as subterrâneas, além de reter nutrientes (BLASCO; AIZPURU, 2002; DAHDOUH-GUEBAS *et al.*, 2005; DUKE *et al.*, 2007 *apud* GIRI *et al.*, 2015). Os ambientes estuarinos são habitat para muitas espécies, inclusive muitas comercializadas, e sua importância também envolve a reprodução e a alimentação de muitos animais (CASTRO; HUBER, 2012).

Além das alterações de salinidade característica de ambientes estuarinos, outras variáveis atuam de forma relevante no ecossistema, como pH, concentrações de oxigênio, nutrientes e outros processos que influenciam diretamente na dinâmica do corpo hídrico, intervindo na produtividade primária e na biodiversidade presente no estuário (STATHAN, 2012). Em função das características instáveis habituais em ambientes em transição, como ações físicas de entrada de água doce e variações de maré, a fragilidade ambiental é acentuada (CEARÁ, 2007).

O ecossistema estuarino, devido aos processos de assimilação e dispersão, possuem uma alta capacidade de purificação das águas, porém limitada e, quando ultrapassada, a qualidade das águas e dos sedimentos podem sofrer graves prejuízos ambientais (LEVENSON, 1987; RABALAIS *et al.*, 2002; TAPPIN, 2002 *apud* SILVA, 2015). Apesar de serem ecossistemas sensíveis, os estuários costumam ser frequentemente impactados de forma negativa por intervenções antrópicas, como a urbanização, construção de portos, agricultura, aquicultura e lançamento de efluentes sem tratamento ou com tratamento inadequado (CAVALCANTE *et al.*, 2009; PÁEZ-OSUNA, 2001; SILVA, 2015; VALENTIN; MUELBERT, 2015).

As águas fluviais são as principais responsáveis pela entrada de nutrientes nos estuários (NORIEGA *et al.*, 2005). Esses elementos são fundamentais para a produção primária desses ecossistemas, e seus ciclos biogeoquímicos refletem as variáveis atuantes no

ambiente, podendo transmitir informações relevantes também relacionadas ao atual contexto de mudanças climáticas e antropização do meio (ESCHRIQUE, 2010). Assim, essas alterações, que interferem no abastecimento de água doce, atingem especialmente estuários localizados em regiões áridas e semiáridas (SCHETTINI; VALLE-LEVINSON; TRUCCOLO, 2017).

Diante disso, essas regiões têm sofrido impactos em particular devido à alta variabilidade das precipitações e aos desvios nos fluxos dos rios (CAYAN; PETERSON, 1993; JASSBY *et al.*, 1995; BAIRD; HEYMANS, 1996; RODRIGUEZ *et al.*, 2001 *apud* POULTON; LOVVORN; TAKEKAWA, 2004). Assim, destaca-se a importância dos indicadores bioquímicos, que vêm sendo utilizados para avaliar riscos ambientais (Chapman, 2007 *apud* DAVANSO *et al.*, 2013). No entanto, vale ressaltar que a falta de estudos sobre estuários tropicais impossibilita a comparação a nível mundial entre os ecossistemas estuarinos, bem como a caracterização de padrões globais (SILVA, 2015).

A exploração de recursos naturais na zona costeira vem sendo cada vez mais intensa e, devido a isso, aponta-se para a necessidade de ações que busquem alternativas para solucionar os problemas ou mitigar esses impactos, de modo a minimizar os danos (POLLETE; ASMUS, 2015). No estado do Ceará, as crescentes instalações de empreendimentos turísticos e de criação de camarão em áreas estuarinas vêm desencadeando problemas ambientais decorrentes não só da ocupação do território, mas também gerando impactos nas condições geomorfológicas e comprometendo a qualidade das águas a partir de lançamentos efluentes (CEARÁ, 2007). Além disso, mudanças na bacia do rio, mesmo que fora da zona estuarina, também podem afetar essa região, como a construção de barragens e a supressão de florestas naturais para agricultura e mineração (SCHETTINI; VALLE-LEVINSON; TRUCCOLO, 2017).

O rio Piraji está inserido em região de clima predominantemente quente e semiárido na região Nordeste do Brasil, em áreas com regime pluviométrico irregular e altas taxas de evaporação (CEARÁ, 2007). Essa condição, aliada a outras forças físicas no estuário, favorece o aumento da salinidade encontrada no mesmo (PINHEIRO, 2003). Além disso, a região estuarina do rio é cercada por fazendas de carcinicultura (BRASIL, 2005) que, além de desmatar a vegetação do manguezal, lançam no corpo hídrico efluentes contendo matéria orgânica e nutrientes que podem contaminar o ambiente (BUI *et al.*, 2012; MOLNAR *et al.*, 2013 *apud* HATJE, 2016; MUSEU DO UNA, 2017; OESTREICH *et al.*, 2016 *apud* SILVA *et al.*, 2017; TROTT; ALONGI, 2000).

Diante do explicitado, tornam-se necessários estudos a fim de compreender a dinâmica de nutrientes e sólidos em suspensão no corpo hídrico do estuário do rio Pirajá, que podem proceder na verificação de fatores potencialmente modificadores do ambiente e contribuir para o gerenciamento dos recursos naturais da região em prol da conservação dos mesmos. Assim, este trabalho buscou realizar uma avaliação sobre as concentrações dessas variáveis e suas alterações, considerando a influência de fatores como chuva e vento.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Analisar a dinâmica dos principais nutrientes e dos sólidos suspensos totais no estuário de um rio localizado em região semiárida no Nordeste do Brasil (Piranji/CE), considerando a influência de fatores externos como chuva e vento.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Analisar espacialmente as concentrações de nutrientes e sólidos suspensos totais no corpo hídrico do estuário;
- Analisar sazonalmente, a partir de coletas bimensais, as concentrações de nutrientes e sólidos suspensos totais na água estuarina;
- Compreender os principais fatores naturais que possam acarretar aumento ou diminuição nas concentrações das variáveis analisadas.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os corpos hídricos dos ecossistemas estuarinos são parcialmente fechados, podendo ser permanentemente ou periodicamente abertos ao mar, e possuem entradas de água provenientes de um ou mais rios, sendo que, ocasionalmente, as salinidades podem ser superiores às das águas marinhas (POTTER *et al.*, 2010). Além disso, fatores físicos exercidos em intervalos de tempo e variações diferentes acarretam em uma distinção de estuários tropicais e temperados, como a influência fluvial e a insolação atuante no ecossistema (EYRE; BALLS, 1999).

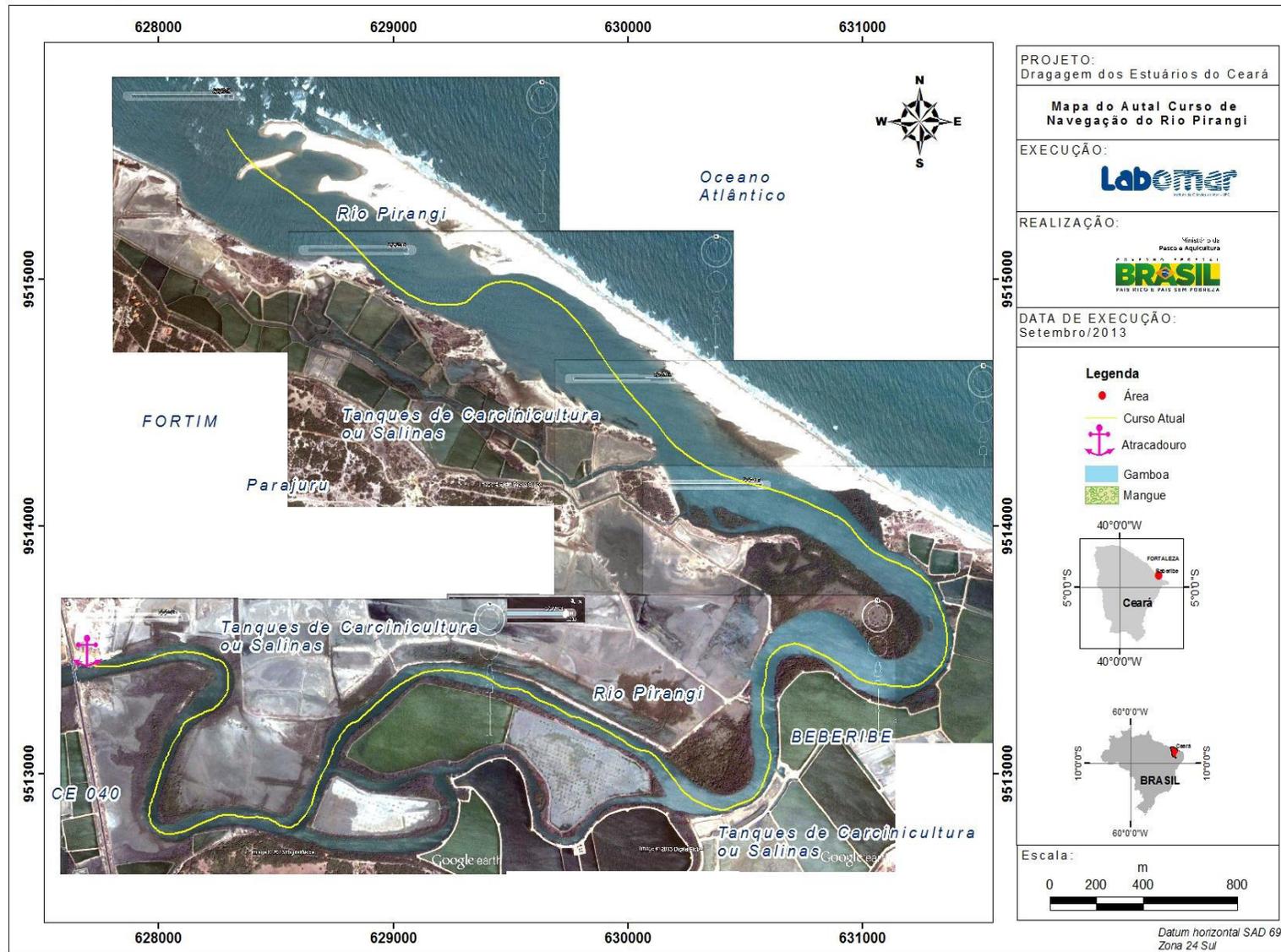
Quanto à geomorfologia estuarina, Rodrigo Pinheiro (2003), baseando-se na classificação promovida por Pritchard (1967), enquadra o rio Piraji como estuário de frente de barreira arenosa. Esses estuários possuem uma praia de barreira arenosa (Figura 1) que estreita o contato com o mar e possuem bastante ocorrência em áreas com ativa deposição de sedimentos costeiros e exclusivamente onde a amplitude de maré é menor que quatro metros (Pritchard, 1967 *apud* PINHEIRO, 2003).

A profundidade média dos estuários de frente de barreira arenosa é inferior a cinco metros, o que torna relevante a mistura da água exercida pelo vento, chegando a impedir que haja estratificação vertical da coluna d'água (Pritchard, 1967 *apud* PINHEIRO, 2003). Em geral, a bacia larga e rasa desses estuários favorece uma elevada evaporação, principalmente nos períodos mais secos e quentes, tornando propícia a condição de hipersalinidade da água (POTTER *et al.*, 2010).

Em regiões semiáridas com influência marinha, a salinidade alta pode ser influenciada pela pouca precipitação pluviométrica, insuficiente para carrear os sais do rio para o mar. Além disso, a variação da salinidade interfere no metabolismo dos organismos, influenciando tanto na seleção de espécies animais e vegetais, quanto na taxa de crescimento destas, intervindo, portanto, na produtividade do ecossistema (ESTEVES; FIGUEIREDO-BARROS; PETRUCIO, 2011).

Uma das variáveis que podem sofrer interferência devido à salinidade é a concentração de oxigênio dissolvido no corpo hídrico, pois quanto maiores as concentrações de sais dissolvidos na água, mais difícil é a solubilização da molécula de oxigênio. Portanto, quanto maior a salinidade, menor a solubilidade do oxigênio na água (SÁ, 2012). No entanto, em períodos ensolarados, há uma maior produção de oxigênio pelos organismos fotossintetizantes na zona eufótica (ESTEVES, 2011). Porém, processos bioquímicos realizados por microrganismos nitrificantes demandam consumo de OD, o que implica na

Figura 1 – Destaque da praia de barreira arenosa estreitando o contato do rio Pirangi (CE) com o mar.



Fonte: Labomar (2016). Estudos de dragagem de estuários do litoral leste.

diminuição das concentrações de oxigênio dissolvido no corpo hídrico, podendo, assim, causar prejuízos à vida aquática (VON SPERLING, 2005).

### 3.1 Dinâmica de nutrientes e sólidos suspensos

Nos estuários, os processos biogeoquímicos variam de acordo com as interações da biota, como o fitoplâncton e as bactérias, as trocas com partículas em suspensão e sedimentos, além de variações fotoquímicas e troca de gases a partir da interação atmosfera-água-sedimento (STATHAN, 2012). Dafner et al. (2007) reitera sobre a importância da compreensão de processos que controlam fontes e sumidouros de nitrogênio e fósforo nos diversos ecossistemas, que contribui para a interpretação de importantes ciclos biogeoquímicos como o do carbono, especialmente na zona costeira, onde há despejos antrópicos de cargas de N, P e C tanto na forma líquida, como também sólida e gasosa.

Em relação às interferências causadas pelo gradiente de salinidade na dinâmica de nutrientes, Eyre e Balls (1999) apontam quatro processos: precipitação-dissolução, floculação-defloculação, sorção-dessorção e a assimilação e reciclagem biológica. Valentin e Muelbert (2015) fazem observações com relação ao tempo de residência que, aliado às variáveis de turbidez, pode inferir na produtividade primária, ou seja, quando o tempo de residência é mais alto e a turbidez mais baixa, a produtividade aumenta, bem como a diversidade de espécies.

Os chamados macronutrientes são aqueles presentes em concentrações mais elevadas do que os demais compostos químicos essenciais para o metabolismo da biota. São eles: silício (Si), nitrogênio (N) e fósforo (P) (NIENCHESKI, 2015).

De acordo com Esteves e Amado (2011), o nitrogênio está presente em abundância em biomoléculas imprescindíveis para o metabolismo e constituição celular, como proteínas, aminoácidos e peptídeos. Dessa forma, o N pode ser um fator limitante tanto para a produção primária, quanto para a secundária. Dentre as principais fontes de nitrogênio para ecossistemas aquáticos, estão a fixação biológica, a precipitação pluviométrica e o aporte orgânico ou inorgânico a partir de fontes alóctones, como lançamento de efluentes (ESTEVES; AMADO, 2011).

O nitrogênio pode ser encontrado em corpos hídricos sob as formas de N orgânico particulado (NOP), representado por organismos ou detritos, N orgânico dissolvido (NOD), sob a forma de compostos lixiviados como peptídeos e aminoácidos, e N inorgânico dissolvido (NID), sob as formas de nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), amônia ( $\text{NH}_3$ ), íon amônio

( $\text{NH}_4^+$ ), óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) e nitrogênio molecular ( $\text{N}_2$ ). Sendo que as concentrações de  $\text{NH}_3$  e  $\text{NH}_4^+$  são geralmente consideradas juntas nas determinações de nitrogênio amoniacal (ESTEVES; AMADO, 2011).

As melhores formas de nitrogênio assimiláveis pelos produtores primários são, geralmente, o íon amônio e, em seguida, o nitrito e depois o nitrato (ESTEVES; AMADO, 2011). Exceto em condições as quais o pH é encontrado acima de 9,0, a maior parte do nitrogênio amoniacal é encontrado na forma de iônica ( $\text{NH}_4^+$ ) em águas doces, sendo uma fonte importante de N para bactérias, algas e plantas (WETZEL; LIKENS, 2000). No entanto, altas concentrações de íon amônio no meio podem acarretar em diversas implicações ecológicas, como intervir na curva do oxigênio dissolvido devido ao processo de nitrificação, ou tornando-se tóxico a organismos quando em pH básico devido à sua transformação em amônia ( $\text{NH}_3$ , gasoso) (ESTEVES; AMADO, 2011).

Em geral, o nitrato representa a maior fração de nitrogênio inorgânico dissolvido na água por ser a forma de N mais termodinamicamente estável em ambientes onde há OD disponível (STATHAN, 2012). Sendo assim, a forma intermediária de nitrogênio é representada pelo íon nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), possuindo geralmente baixas concentrações, que podem ser aumentadas em ambientes com deficiência de oxigênio, nos quais são facilitados os processos de desnitrificação (NIENCHESKI, 2015). A remoção de N nas águas estuarinas são geralmente o transporte desse nutriente pelas correntes para águas costeiras adjacentes, a incorporação ou absorção pela biota, além das trocas gasosas com a atmosfera (STATHAN, 2012).

Segundo Esteves e Panosso (2011), o fósforo é um componente importante em processos fundamentais dos seres vivos, como no armazenamento de energia, na estruturação da membrana celular, na transferência de informação genética e no metabolismo celular. Devido a isso, a maior parte desse componente presente em ecossistemas aquáticos encontra-se na fração orgânica particulada, representada por células de organismos vivos e detritos (ESTEVES; PANOSSO, 2011).

No estudo realizado por Eyre e Balls (1999), nos estuários tropicais analisados foram encontradas concentrações de fósforo inorgânico dissolvido na água menores do que nos estuários temperados avaliados pelos autores. É, então, comum essa variável ser considerada o principal fator limitante da produtividade primária em ambientes tropicais, onde a alta temperatura dessas regiões favorece a rápida assimilação pelos organismos (ESTEVES; PANOSSO, 2011).

Em corpos hídricos com pH 8,0 e salinidade de 35,0, mais de 90% do ortofosfato presente no corpo hídrico é representado por  $\text{HPO}_4^{2-}$  (Pilson, 1998 *apud* STATHAN, 2012). Além disso, as concentrações de fósforo dissolvido no estuário podem demonstrar altas variações com a salinidade ao longo do curso d'água (STATHAN, 2012). Exemplo disso é o estudo realizado por Eyre e Balls (1999), que observou variação de fósforo inorgânico dissolvido com a mudança de salinidade na água do estuário, ao comparar a inexpressível variação desse composto em águas marinhas de salinidade estável.

As relações entre nitrogênio e fósforo podem refletir um balanço geral no ambiente entre os organismos responsáveis pela produtividade primária, os processos de desnitrificação e de fixação de  $\text{N}_2$ . Apesar de as razões ideais de N:P demandadas para a produção de matéria orgânica variarem em escalas regionais, as proporções estequiométricas para a produtividade primária são tradicionalmente chamadas de razão de Redfield, que estabelece 16N:1P (FIGUEIREDO *et al.*, 2016).

O nutriente inorgânico dissolvido mais abundante em estuários é o silício, sobretudo, devido à sua origem terrígena (NORIEGA *et al.*, 2005). De acordo com Drever (1997 *apud* STATHAN, 2012), as principais entradas de silício dissolvido nos ambientes estuarinos são a partir do intemperismo de minerais provenientes de rochas ocasionado pela acidez natural da água da chuva, que carrega esse material para o rio. Todavia, a remoção desse nutriente ocorre, sobretudo, por meio da assimilação do fitoplâncton e sedimentação (SILVA, 2007).

Em meio ácido, a sílica solúvel reage com o molibdato de amônio e, devido a isso, originou-se o nome “sílica reativa”, ou simplesmente sílica, fazendo referência à forma solúvel  $\text{SiO}_4$  (ESTEVES; PETRUCIO; FIGUEIREDO-BARROS, 2011). Em estudos comparativos entre estuários de clima tropical e temperado, as concentrações desse nutriente foram superiores em estuários tropicais, sendo também notado o aumento nas concentrações de sílica em condições de baixa salinidade (EYRE; BALLS, 1999).

A sílica é também um componente de relevante importância ecológica, principalmente na assimilação por diatomáceas, sendo utilizada para construção de sua carapaça (SILVA, 2007), bem como outros organismos, como o grupo dos silicoflagelados (NORIEGA *et al.*, 2005). Além disso, a sílica representa uma variável potencialmente limitante para a produção primária em estuários e, em locais com interferência antropogênica a partir de descargas de nitrogênio na água, há um decréscimo nos resultados da razão Si:N (STATHAN, 2012).

As partículas em suspensão na água, de tamanho superior a  $0,45\mu\text{m}$ , compreendem os sólidos suspensos (BAUMGARTEN; ROCHA; NIENCHESKI, 1996), que possuem uma fração fixa e outra volátil, sendo a fixa representada por matéria inorgânica ou mineral, enquanto a volátil compreende a matéria orgânica (VON SPERLING, 2005). A comunidade planctônica também está incluída nos valores de sólidos em suspensão e ela pode influir tanto nas concentrações, quanto nas formas de nutrientes disponíveis na água estuarina (STATHAN, 2012).

Segundo Stathan (2012), o ambiente estuarino geralmente possui alta concentração de material particulado em suspensão em relação às águas marinhas e a interação dos nutrientes e outros compostos dissolvidos com essas partículas compõem importantes processos biogeoquímicos. Esses sólidos podem interferir na entrada de luz no corpo hídrico e a presença destes no estuário advém de águas fluviais, resuspensão ou trazidos pelas águas costeiras, além da contribuição atmosférica, mesmo que pouco significativa (STATHAN, 2012).

Eyre e Balls (1999) encontram relação direta entre o aumento do material em suspensão e eventos de enchentes nos três estuários tropicais estudados, e concluiu que os processos de resuspensão de sedimentos pela maré e pelo vento são fatores de grande influência na dinâmica de sólidos suspensos na água estuarina.

### **3.2 Impactos antrópicos**

Polette e Asmus (2015) define a zona costeira como um espaço que abrange interações entre mar, terra, atmosfera e águas continentais que deságuam no litoral, porém, essas interações, que influenciam diretamente a dinâmica do ambiente, são também somadas à interferência do ser humano, que se inclui como potencial agente transformador do meio. Além de sofrer impactos físicos, químicos e biológicos, a zona costeira é também cenário de diversos conflitos socioambientais, que incluem a estrutura social e econômica (POLETTE; ASMUS, 2015).

A zona costeira é ameaçada pelo crescimento desordenado de atividades como a implantação de parques eólicos, aquicultura e estruturas portuárias e industriais, além de impactos desencadeados pela expansão urbana, como a ocupação irregular e os lançamentos de efluentes domésticos e industriais no ambiente sem o devido tratamento (MMA, sd). O desmatamento da vegetação em ambientes costeiros pode ocasionar degradação do solo, perda de biodiversidade e rebaixamento do lençol freático (GORAYEB; SILVA; MEIRELES, 2005).

Durlo e Sutili (2005 *apud* HOLANDA *et al.*, 2011) destacam a relevância ecológica da vegetação no entorno dos rios para esses corpos hídricos, uma vez que atuam na interceptação de águas pluviais, contribui para o aumento da evapotranspiração no ambiente, ancora o talude e mantém a superfície do solo coberta.

Stathan (2012) aponta os esgotos, as descargas agrícolas e detergentes presentes nos efluentes como as principais entradas de fósforo no corpo hídrico por fontes antropogênicas, destacando, portanto, a importância de considerar as alterações antrópicas nos estudos biogeoquímicos. Castro e Huber (2012) avaliam a expansão da carcinicultura como sendo um fator de potencial degradação na zona costeira de regiões como a América do Sul e o sudeste da Ásia. De acordo com os autores, a vegetação de mangue é destruída para a instalação de viveiros para criação de camarão e, além de restos de comida e outros resíduos, esses viveiros contêm excesso de nutrientes que, quando liberados no curso d'água podem gerar graves alterações, como a eutrofização e o consequente consumo de oxigênio dissolvido (OESTREICH *et al.*, 2016 *apud* SILVA *et al.*, 2017).

Esteves (2011) ressalta que, em estuários com condições naturais conservadas, dificilmente haverá produção elevada de amônia, pois seria necessário um pH superior a 9,0, além de temperaturas acima de 26 °C e baixo potencial de oxirredução. No entanto, segundo o autor, em sistemas de aquicultura, como na criação de peixes e camarões, existe produção elevada de amônia decorrente das excreções dos organismos, dos processos de decomposição das rações, da alta variabilidade do pH durante o dia e altas temperaturas da água devido às baixas profundidades dos tanques. Por isso, se faz necessário o tratamento desses efluentes antes de serem lançados em mananciais naturais (ESTEVES, 2011).

O estudo realizado por Eschrique *et al.* (2010) no estuário do rio Jaguaribe/CE, indicou uma condição da água afetada por lançamentos de efluentes de carcinicultura e esgotos domésticos na região observando concentrações de nitrato que, apesar de consideravelmente altas, ainda permitia um estado saudável no ambiente. No entanto, as concentrações de nitrito encontradas nesse trabalho sugeriram uma dificuldade do sistema estuarino na efetuação dos processos de nitrificação e, por isso, a forma intermediária  $\text{NO}_2^-$  estaria sendo acumulada, podendo desencadear efeitos tóxicos à biota e desequilíbrio no balanço de N no estuário (ESCHRIQUE *et al.*, 2010).

De acordo com Ceará (2007), as zonas estuarinas acolhem quase que integralmente os empreendimentos de carcinicultura no Ceará, sendo responsável pela maior produção de camarão em cativeiro do estado. O mesmo relatório ressalta que o manguezal do rio Piranji, devido aos impactos causados pela exploração abusiva de seus recursos motivada

pela crescente instalação de fazendas para criação de camarão, necessita de ações de manejo para controlar o crescimento desses empreendimentos na região (CEARÁ, 2007).

Na bacia do rio Piranji existe intensa alteração do fluxo hidrológico devido a construções de barragens, e seu estuário possui impactos decorridos das instalações de salinas e carcinicultura (SCHETTINI; VALLE-LEVINSON; TRUCCOLO, 2017). Além disso, a potencial degradação da mata ciliar do rio Piranji também desencadeia graves processos de assoreamento, e problemas como urbanização e erosão também são fatores cumulativos para o desequilíbrio do sistema estuarino (CEARÁ, 2007).

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Área de estudo

O rio Piranji possui sua nascente localizada no distrito de Daniel de Queiróz, Quixadá/CE, e deságua no litoral Leste do Ceará, entre os municípios de Beberibe e Fortim, estando inserido na bacia do rio Piranji, que faz parte da Bacia Hidrográfica da Região Metropolitana de Fortaleza (CEARÁ, 2007). O estuário localiza-se numa região de clima tropical quente semiárido brando, no entanto o percurso do rio desde a nascente até o sul de Beberibe está inserido em clima tropical quente semiárido (IPECE, 2007).

A área na qual o estuário está inserido é caracterizada geologicamente por depósitos sedimentares terciários e quaternários (SCHETTINI; TRUCCOLO, 2017). Dentre os domínios geomorfológicos naturais presentes no estuário, de acordo com Ceará (2007), estão as planícies de acumulação, fluviais e litorâneas. Há três classes de solos dominantes na região: Neossolos Quartzarênicos, Gleissolos Sálícos e Planossolos Nátricos (CEARÁ, 2007).

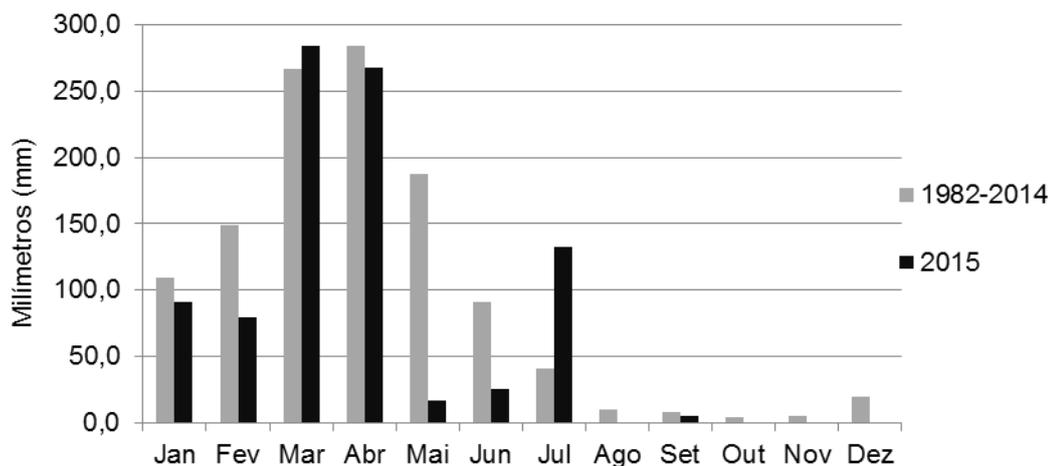
No que tange às características fitoecológicas, o estuário é constituído por espécies vegetais arbóreas de mangues vermelho (*Rhizophora mangle*), branco (*Laguncularia racemosa*), preto (*Avicennia germinans* e *Avicennia schaueriana*) e mangue de botão (*Conocarpus erectus*) (IBAMA, 2005).

#### 4.1.1 Dados meteorológicos

Segundo Marcos von Sperling (2005), a chuva é um fator que promove a entrada de nutrientes de fontes naturais e antrópicas a partir da drenagem pluvial. Sendo assim, a precipitação possui influência relevante na dinâmica de nutrientes em ambientes aquáticos.

No ano de 2015, as precipitações pluviométricas na região onde está inserido o estuário do rio Piranji foram inferiores ao habitual (Figura 2), equivalente a 75% da média histórica correspondente entre 1982 e 2014. Os meses em que ocorreram as maiores precipitações foram março e abril, com 284 mm e 268 mm, respectivamente, enquanto que nos meses de agosto, outubro, novembro e dezembro não houve precipitação pluviométrica na área de estudo (FUNCEME, 2016). Com isso, este trabalho considerou o período compreendido entre os meses de janeiro a junho como “chuvoso” e o período entre agosto e dezembro, como “seco”.

Figura 2 – Média de precipitação pluviométrica mensal no município de Beberibe entre 1982 e 2014 e precipitação mensal no ano de 2015 na área de estudo.

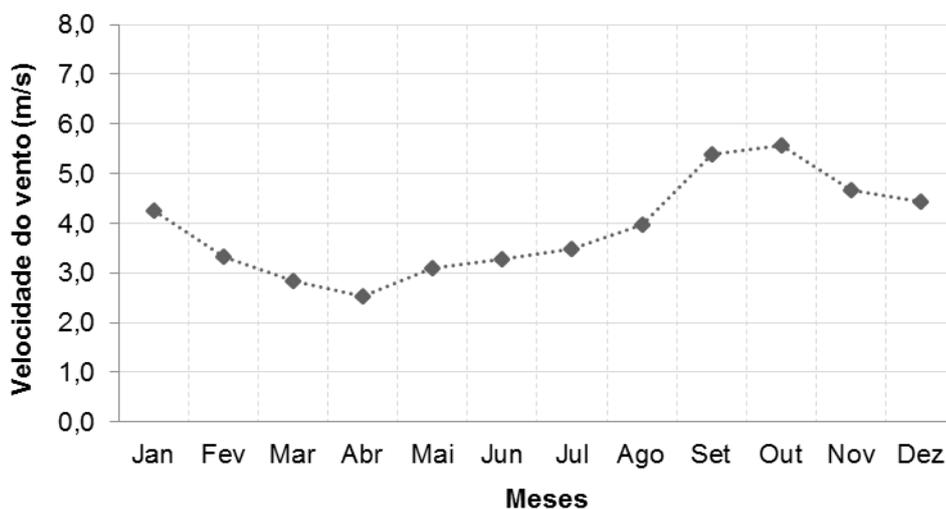


Fonte: Adaptado de FUNCEME (2016).

Pinheiro (2003) destaca que a ação dos ventos pode estar diretamente relacionada com a mistura vertical em estuários de frente de barreira arenosa, como é o caso do rio Piranji, por serem consideravelmente rasos. Pedersen *et al.* (1995 *apud* SANTIAGO; PASSAVANTE; SILVA-CUNHA, 2005) assimila também a resuspensão de sedimentos de fundo com a velocidade dos ventos em estuários pouco profundos.

De acordo com dados da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) para o ano de 2015, a velocidade média dos ventos na região do estuário do rio Piranji variou de 2,5 m/s, no mês de abril, a 5,6 m/s, no mês de outubro, como indicado na Figura 3.

Figura 3 – Dados de velocidade média mensal dos ventos no município de Beberibe/CE durante o ano de 2015.



Fonte: Adaptado de FUNCEME (2017).

## 4.2 Periodicidade, pontos de coleta e amostragem

As amostras de água foram coletadas bimensalmente durante o ano de 2015, compreendendo os meses de fevereiro, abril, junho, agosto, outubro e dezembro. As coletas foram realizadas durante a maré vazante de sizígia<sup>1</sup>, em três estações do estuário: superior (E1), média (E2) e inferior (E3), como indicado na Figura 4, com coordenadas geográficas em, respectivamente, 04°24'5,49"S 37°50'57,8"W, 04°24'25,8"S 37°50'27,8"W e 04°23'50"S 37°49'07,6"W. Além disso, em cada estação, foram executadas coletas tanto na superfície (aproximadamente 0,5 m) quanto no fundo (0,25 m do acima do fundo), sendo que as profundidades variaram de 1,9 a 5,8 metros.

Figura 4 – Estuário do rio Piranji com as localizações aproximadas das estações coletadas (E1, E2 e E3).



Fonte: Google Earth Pro (2017).

As coletas de água foram realizadas com garrafa de van Dorn horizontal com capacidade para 5 L nos horários aproximados de 8:00h, 10:00h e 12:00h para E3, E2 e E1, respectivamente. As amostras foram armazenadas em garrafas de plástico de 5 L previamente descontaminadas com solução de ácido clorídrico (50%) e, como indicado por Baumgarten,

<sup>1</sup>As marés de sizígia são referentes aos momentos de alinhamento entre o Sol, a Terra e a Lua, fazendo com que ocorram maiores amplitudes de maré (CAMARGO; HARARI, 2015).

Rocha e Niencheski (1996), resfriadas em isopor com gelo para serem levadas ao Laboratório de Plâncton<sup>2</sup> a fim de prosseguir com as filtrações o mais rápido possível.

### 4.3 Variáveis físico-químicas

Temperatura, pH, salinidade, oxigênio dissolvido e saturação de oxigênio foram medidos *in situ* em sonda multiparamétrica YSI 6660 e a transparência da água foi medida com um disco de Secchi. A zona eufótica ( $Z_{eu}$ ) foi estimada como sendo 2,7 vezes a profundidade do disco de Secchi (COLE, 1987).

Logo após a coleta, as amostras destinadas às determinações de nutrientes dissolvidos foram filtradas em filtros de fibra de vidro de porosidade de 0,7  $\mu\text{m}$  (47 mm de diâmetro, tipo GF-3, Macherey-Nagel, Düren, Alemanha), com exceção das amostras destinadas à determinação de sílica, que foram filtradas em membranas de ésteres mistos de celulose de porosidade 0,45  $\mu\text{m}$  (47 mm de diâmetro, HATF, Millipore, Billerica, MA, EUA). As amostras destinadas às análises de nitrogênio amoniacal e nitrito foram processadas imediatamente após filtração, enquanto os frascos destinados para as análises dos demais nutrientes foram congelados até as determinações, obedecendo ao recomendado por Baumgarten, Rocha e Niencheski (1996).

As determinações de nutrientes dissolvidos (N-amoniacal, nitrito, nitrato, fosfato e sílica) foram todas realizadas no Laboratório de Tratamento de Efluentes e Qualidade de Água (EQUAL)<sup>2</sup>, assumindo como referência os métodos espectrofotométricos indicados por Baumgarten, Rocha e Niencheski (1996) para águas marinhas e estuarinas, os quais os limites de detecção estão expressos na Tabela 1. Além disso, depois da coleta as amostras destinadas às determinações de nitrogênio total (NT) e fósforo total (PT) foram digeridas em autoclave após a adição de reagente oxidante e reservadas para posterior determinação por métodos espectrofotométricos de acordo com UNESCO (1983).

Após as filtrações das amostras para as determinações de nutrientes, também foram realizadas filtrações com filtros de fibra de vidro com porosidade 1,2  $\mu\text{m}$  (Millipore APFC) previamente secos em estufa a 105 °C e calcinados em forno mufla a 480 °C para posterior determinação de sólidos suspensos totais (SST), que foram realizadas por gravimetria conforme o método 2540 D. de EATON *et al.* (2005, p. 2-58).

---

<sup>2</sup>Localizados no Instituto de Ciências do Mar da Universidade Federal do Ceará. Avenida da Abolição, 3207.

Tabela 1 – Limites de detecção de acordo com os métodos adotados por Baumgarten, Rocha e Niencheski (1996).

Variáveis	Limites de detecção dos métodos
Nitrogênio amoniacal	0,05 $\mu$ M
Nitrito	0,01 $\mu$ M
Nitrato	0,05 $\mu$ M
Ortofosfato	0,02 $\mu$ M
Sílica	0,10 $\mu$ M

Fonte: elaboração própria.

#### 4.4 Análise estatística

Antes do tratamento estatístico, os dados de transparência, temperatura, salinidade, saturação de oxigênio, nitrito, nitrato, N-amoniacal, NT, ortofosfato, PT, sílica e SST foram padronizados, sendo transformados por uma equação logarítmica ( $\log(x+1)$ ), para serem processados na mesma unidade.

A fim de avaliar se os dados encontrados seguem uma curva de distribuição normal, foi utilizado o programa Statistica 7.0, StatSoft. Inc., que também foi empregado para a realização do teste de correlação (*Spearman Rank Order Correlation*). A partir da realização do teste de normalidade, foi resultado que os valores das variáveis trabalhadas não seguem a curva de distribuição normal ( $p < 0,05$ ).

O mesmo programa foi ainda utilizado para realização do teste de diferença significativa entre os pontos coletados à superfície e os pontos coletados no fundo do estuário, no qual foi aplicado o método de *Mann-Whitney U*. Dessa forma, os valores onde  $p < 0,05$  foram considerados com diferença significativa entre superfície e fundo.

Além disso, também foi realizada a análise de similaridade, após o teste de significância *Simprof* ( $p < 0,05$ ), utilizando a distância euclidiana, com a finalidade de avaliar semelhanças entre as amostras por meio do programa Primer 6.1.6, Primer-E Ltd. A partir disso, foi realizado um agrupamento (Cluster) por meio do método de ligação completa.

De acordo com Varella (2008), a Análise em Componentes Principais (ACP) é uma técnica que pode ser utilizada em várias áreas do conhecimento e consiste na sintetização dos dados com a menor perda de informação possível, permitindo explorar uma grande quantidade de dados e a visualização de padrões ambientais. Essa análise estatística compreende na transformação de um conjunto de variáveis em outro conjunto onde as variáveis são denominadas de componentes principais, que representam todas as variáveis

originais a partir de uma combinação linear destas (VARELLA, 2008). Isso resulta em um sistema de coordenadas reduzido, no qual podem ser percebidas as semelhanças entre as variáveis e as amostras coletadas (VALENTIN, 2000). Assim, objetivando realizar a análise citada, foi utilizado o programa PAST 2.17c, Øyvind Hammer, D.A.T. Harper.

## 5 RESULTADOS

Para todas as variáveis ambientais, com exceção de oxigênio dissolvido (OD) e saturação de oxigênio (SO), não foram encontradas diferenças significativas entre as camadas de superfície e fundo ( $p > 0,05$ ), indicando que o perfil vertical do estuário foi bem misturado ao longo do ano. Devido à homogeneidade da coluna d'água, para todas as variáveis, exceto OD e SO ( $p < 0,05$ ), os resultados da variabilidade sazonal e espacial dos dados serão demonstrados a partir de valores médios para superfície e fundo (média  $\pm$  desvio padrão).

### 5.1 Transparência, salinidade, pH, temperatura, OD e SO

A maior e a menor transparência da água foram registradas, respectivamente, nos meses de junho ( $1,3 \text{ m} \pm 0,2$ ) e outubro ( $0,6 \text{ m} \pm 0,15$ ) e a profundidade da zona eufótica ( $Z_{eu}$ ) variou de 1,9 a 2,9 m na estação E1, de 2,2 a 4,3 m na estação E2 e de 3,3 a 5,8 m na estação E3.

Durante o período estudado, a temperatura da água variou pouco, valor máximo de  $29,0 (\pm 0,2) \text{ }^\circ\text{C}$  na estação superior (E1), em fevereiro, e mínimo de  $25,6 (\pm 0,0) \text{ }^\circ\text{C}$  na estação inferior (E3), em agosto.

O menor valor de pH foi registrado na estação superior (E1) no mês de abril ( $7,3 \pm 0$ ) e o maior nas estações E1 e E2, em fevereiro ( $8,95 \pm 0,1$ ).

As salinidades mais altas foram encontradas na estação mais distante da foz (E1) durante os meses de outubro ( $54,6 \pm 0,07$ ) e dezembro ( $62,6 \pm 0,17$ ), sendo a mais baixa em abril ( $9,4 \pm 0,04$ ); mês estudado com maior influência fluvial devido à precipitação pluviométrica. Na estação mais próxima à foz (E3), foi registrada a menor variação de salinidade, de  $36,9 (\pm 0)$ , em agosto, a  $39,5 (\pm 0,7)$ , em fevereiro.

Na maior parte do ano, como descrito na Tabela 2, as determinações relativas à estação mais interna do estuário (E1) resultaram em valores de salinidade mais altos do que próximo à foz (E3). No entanto, durante os meses de coleta em que a influência da pluviosidade sobre o estuário foi maior (abril e junho), essa distribuição da salinidade foi revertida, principalmente no mês de abril, visto que neste e no mês de março ocorreram precipitações mais intensas (Figura 2).

As determinações de oxigênio dissolvido no estuário variaram de  $3,12 \text{ mg/L}$  na estação E2 (fundo), em fevereiro, a  $6,6 \text{ mg/L}$  na estação E2 (superfície), em junho. As maiores razões encontradas entre os valores da superfície e do fundo quanto às concentrações de OD

foram na estação intermediária do estuário (E2) em fevereiro (1,55), junho e dezembro (1,44). Na estação mais próxima à foz (E3), os valores de OD da superfície e do fundo foram próximos ( $\pm 0,28$ ) durante todo o período estudado, e, portanto, esta foi classificada como misturada.

Tabela 2 – Variáveis físico-químicas (transparência, salinidade, pH, temperatura (T), oxigênio dissolvido (OD) e saturação de oxigênio (SO)) durante os meses de Fevereiro, Abril, Junho, Agosto, Outubro e Dezembro nas estações superior (E1), média (E2) e inferior (E3) do estuário do rio Piranji.

Meses	Porções	Disco de Secchi (m)	Sal.	pH	T (°C)	OD (mg/L)		SO (%)	
						S	F	S	F
Fev	E1	0,4	45,0 ( $\pm 0$ )	8,9 ( $\pm 0$ )	29,0 ( $\pm 0,2$ )	5,0	3,3	84,2	55,9
	E2	0,7	45,0 ( $\pm 0$ )	8,9 ( $\pm 0,1$ )	28,8 ( $\pm 0,5$ )	5,3	3,1	89,5	53,1
	E3	0,9	39,5 ( $\pm 0,7$ )	8,7 ( $\pm 0,2$ )	28,0 ( $\pm 0,2$ )	5,8	5,4	95,7	89,4
Abr	E1	0,3	9,4 ( $\pm 0$ )	7,3 ( $\pm 0$ )	28,1 ( $\pm 0,1$ )	5,5	3,7	74,3	50,6
	E2	0,7	26,2 ( $\pm 0,4$ )	7,6 ( $\pm 0$ )	28,1 ( $\pm 0,1$ )	4,9	4,6	72,9	68,8
	E3	1,2	37,4 ( $\pm 0$ )	7,8 ( $\pm 0,1$ )	27,9 ( $\pm 0$ )	5,8	5,6	91,6	88,6
Jun	E1	1,2	35,9 ( $\pm 0$ )	8,1 ( $\pm 0$ )	28,4 ( $\pm 0$ )	4,8	4,7	75,9	74,7
	E2	1,5	37,9 ( $\pm 0,3$ )	8,1 ( $\pm 0$ )	28,0 ( $\pm 0$ )	6,6	4,6	92,5	72,6
	E3	1,2	37,7 ( $\pm 0,1$ )	8,1 ( $\pm 0,1$ )	27,2 ( $\pm 0$ )	5,6	5,4	87,0	85,0
Ago	E1	0,5	42,3 ( $\pm 0$ )	7,9 ( $\pm 0$ )	27,0 ( $\pm 0$ )	4,7	4,6	75,3	73,3
	E2	0,7	39,2 ( $\pm 0$ )	8,2 ( $\pm 0$ )	25,9 ( $\pm 0$ )	5,3	5,0	81,2	77,2
	E3	0,9	36,9 ( $\pm 0$ )	8,1 ( $\pm 0$ )	25,6 ( $\pm 0$ )	6,0	5,9	90,2	89,6
Out	E1	0,4	54,6 ( $\pm 0,1$ )	7,9 ( $\pm 0$ )	27,6 ( $\pm 0$ )	5,9	6,1	101,8	104,4
	E2	0,6	46,7 ( $\pm 0,4$ )	7,7 ( $\pm 0$ )	27,0 ( $\pm 0$ )	5,8	4,2	94,9	68,3
	E3	0,7	38,9 ( $\pm 0$ )	7,7 ( $\pm 0$ )	26,1 ( $\pm 0$ )	6,0	5,7	92,8	87,7
Dez	E1	0,4	62,6 ( $\pm 0,2$ )	8,6 ( $\pm 0,1$ )	28,2 ( $\pm 0,2$ )	5,6	6,2	102,0	112,2
	E2	0,7	51,6 ( $\pm 0,1$ )	8,5 ( $\pm 0$ )	27,6 ( $\pm 0,1$ )	5,7	3,6	96,1	61,5
	E3	1,1	39,3 ( $\pm 0,1$ )	8,4 ( $\pm 0,1$ )	26,8 ( $\pm 0,1$ )	6,0	5,7	94,5	89,7

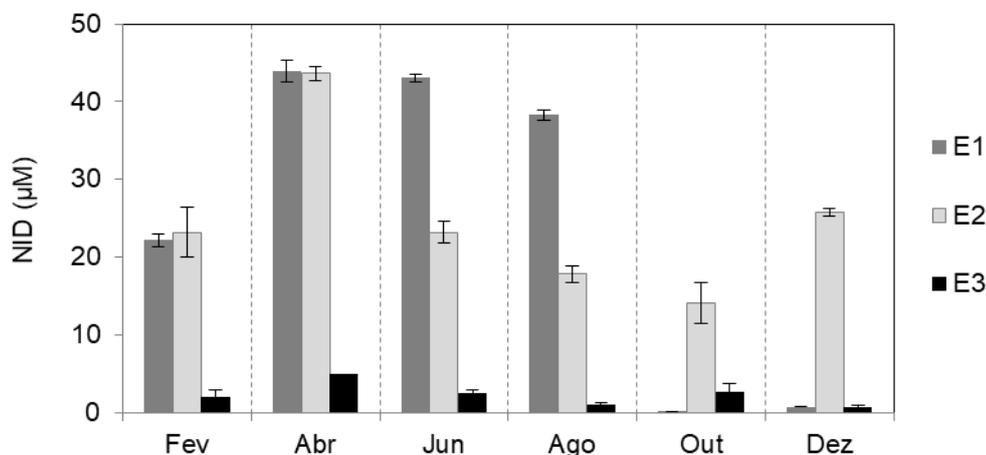
Fonte: elaboração própria.

Na estação superior (E1), durante os meses de outubro e dezembro, o oxigênio dissolvido apresentou supersaturação tanto na superfície, quanto no fundo. No entanto, em fevereiro e abril, ocorreu hipoxia na região funda da mesma estação. As médias de saturação de oxigênio encontradas no estuário foram de 77,9% ( $\pm 13,9$ ) no período chuvoso e de 88,5% ( $\pm 13,4$ ) no seco.

## 5.2 N-amoniacoal, nitrito, nitrato e nitrogênio total

Ao longo dos meses as concentrações de nitrogênio amoniacoal, nitrito e nitrato variaram, respectivamente, de valores inferiores ao limite de detecção dos métodos a  $40,0 (\pm 0,1) \mu\text{M}$  (N-Amoniacoal),  $2,9 (\pm 0,1) \mu\text{M}$  (N- $\text{NO}_2^-$ ) e  $3,5 (\pm 0,1) \mu\text{M}$  (N- $\text{NO}_3^-$ ). Nos meses de fevereiro, abril e junho, devido aos valores maiores de precipitação, foi observado um aumento nas concentrações de nitrogênio inorgânico dissolvido (NID). Contudo, essas concentrações são reduzidas no fim do ano, em momentos de ausência de precipitação (Figura 5). Diferenças mais contrastadas para as concentrações de NID foram encontradas entre os meses de abril e outubro, que foram, respectivamente,  $30,9 (\pm 22,4) \mu\text{M}$  e  $5,6 (\pm 7,4) \mu\text{M}$ . Como observado na Figura 6, exceto pelos meses de outubro e dezembro, o NID foi composto predominantemente por N-Amoniacoal (50 a 93%).

Figura 5 – Representação dos resultados, respectivos desvios padrões, referentes às médias dos valores de nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) obtidos nas estações superior (E1), média (E2) e inferior (E3) do estuário durante os meses estudados.

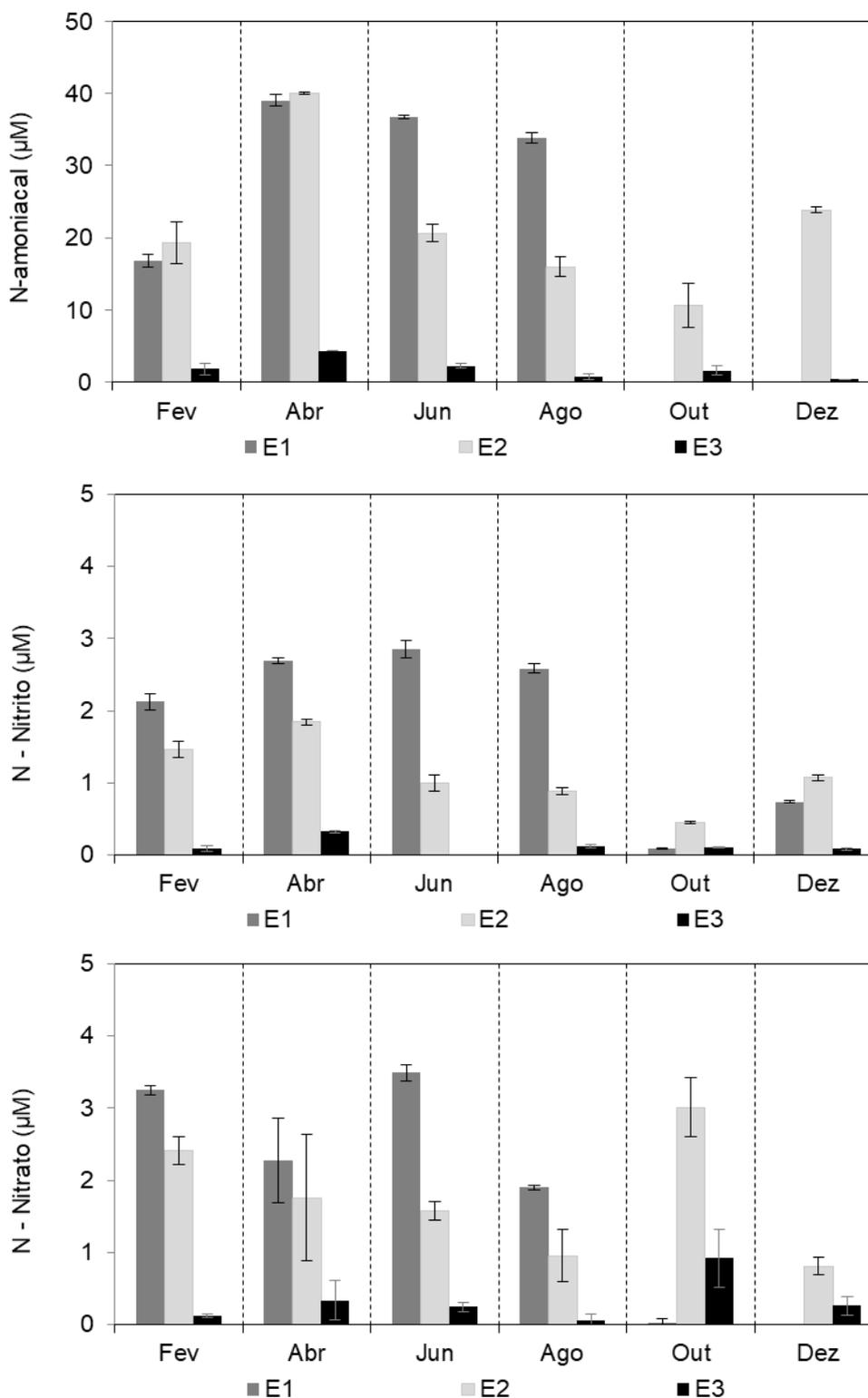


Fonte: elaboração própria.

Os maiores valores de nitrogênio amoniacoal, a partir da análise temporal, foram obtidos no mês de abril, em E1 e em E2. Entre os meses de fevereiro a agosto, altos valores de nitrogênio amoniacoal foram encontrados na estação mais interior do estuário, entre  $16,8 (\pm 0,8) \mu\text{M}$  a  $39,0 (\pm 0,9) \mu\text{M}$ . No entanto, nos meses de outubro e dezembro, as determinações de N-amoniacoal nesta zona resultaram em valores inferiores ao limite de detecção do método.

Altas concentrações de N-amoniacoal foram encontradas na estação intermediária estuarina durante todo o ano, variando de  $10,6 (\pm 3,1) \mu\text{M}$ , em outubro, a  $40,0 (\pm 0,1) \mu\text{M}$ , em abril.

Figura 6 – Representação dos resultados, respectivos desvios padrões, referentes às médias dos valores de N-amoniacoal, nitrito e nitrato obtidos nas estações superior (E1), média (E2) e inferior (E3) do estuário durante os meses estudados.



Fonte: elaboração própria.

Durante o período chuvoso, as concentrações de nitrito variaram de valor inferior ao limite de detecção do método a  $2,9 (\pm 0,1) \mu\text{M}$ , sendo ambas as ocorrências no mês de

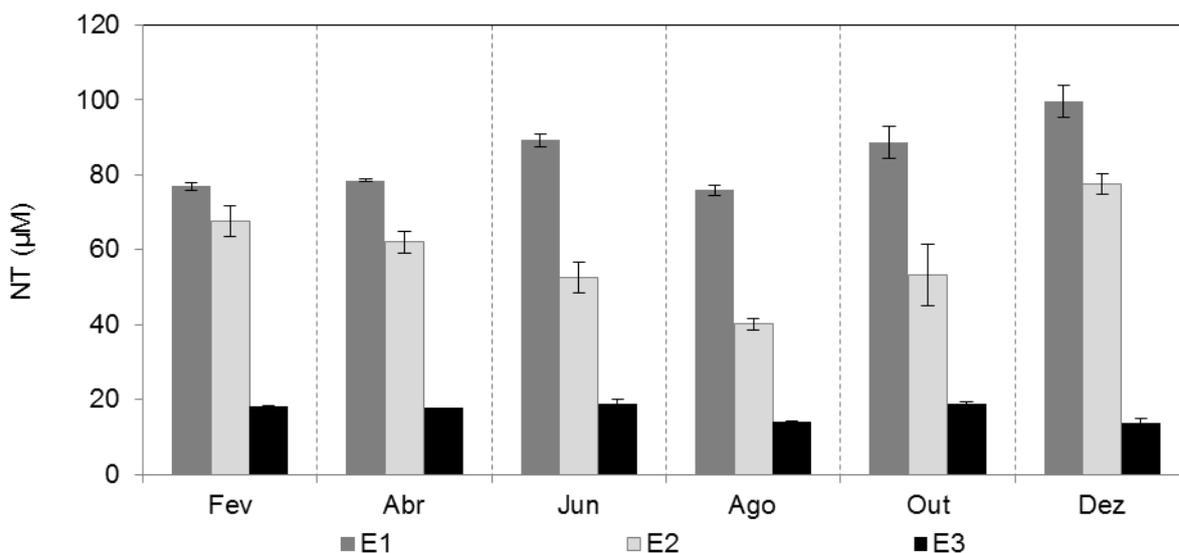
junho, sendo a mínima relativa ao E3 e, a máxima, ao ponto E1. No período seco, a variação foi de  $0,1 (\pm 0)$  a  $2,6 (\pm 0,1) \mu\text{M} (\text{N-NO}_2^-)$ .

As concentrações de nitrato variaram de  $0,1 (\pm 0)$  a  $3,5 (\pm 0,1) \mu\text{M}$  no período chuvoso e, no período seco, o valor mínimo foi inferior ao limite de detecção do método e, o máximo,  $3,0 (\pm 0,4) \mu\text{M} (\text{N-NO}_3^-)$ . Na estação E1, os valores foram maiores em todos os meses amostrados, exceto outubro e dezembro. De fevereiro a agosto, a média das concentrações de nitrato em E1 foi de  $2,7 \mu\text{M} (\text{N-NO}_3^-)$ , enquanto que as concentrações dos meses de outubro e dezembro ficaram abaixo do limite de detecção do método.

Com isso, durante o período estudado, as amostras de outubro e dezembro foram as únicas que não seguiram uma distribuição espacial decrescente da estação superior do rio em direção à foz em todas as variáveis de nitrogênio inorgânico dissolvido.

Durante o ano as concentrações de nitrogênio total (Figura 7) na estação E1 do estuário variaram de  $75,9 (\pm 1,3)$  a  $99,6 (\pm 4,2) \mu\text{M}$ , na estação E2, de  $40,1 (\pm 1,5)$  a  $77,6 (\pm 2,9) \mu\text{M}$  e, na estação E3, a variação anual foi de  $13,6 (\pm 1,1)$  a  $18,9 (\pm 1,2) \mu\text{M}$ . No mês de dezembro, enquanto os valores mais altos de NT foram encontrados nas estações E1 e E2, na estação mais próxima à foz (E3) foi determinado o valor mínimo.

Figura 7 – Resultados e respectivos desvios padrões referentes às médias dos valores de nitrogênio total (NT) obtidos na estação superior (E1), média (E2) e inferior (E3) do estuário durante os meses estudados.

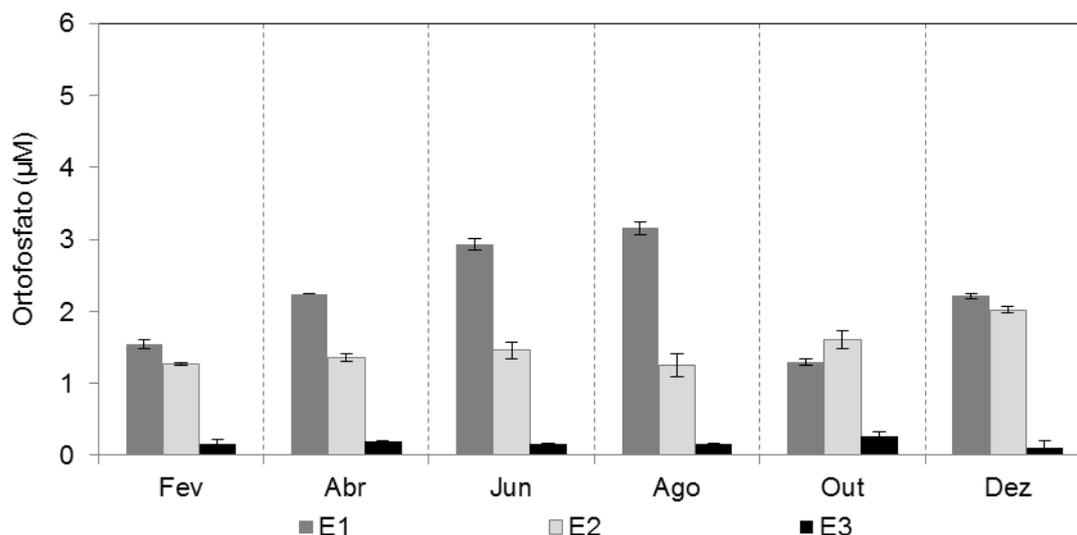


Fonte: elaboração própria.

### 5.3 Ortofosfato e fósforo total

Durante os meses estudados, as concentrações de ortofosfato variaram de  $0,2 (\pm 0)$  a  $2,9 (\pm 0,1) \mu\text{M}$  ( $\text{P-PO}_4^{3-}$ ) no período chuvoso, e de  $0,1 (\pm 0,1)$  a  $3,2 (\pm 0,1) \mu\text{M}$  no período seco. Observou-se que a partir da estação mais interna do estuário (E1) até a estação mais próxima à foz (E3), ocorreu redução nos valores de ortofosfato. Além disso, na estação E1 entre os meses de agosto e outubro houve redução nas concentrações de ortofosfato, de  $3,2 (\pm 0,1)$  para  $1,3 (\pm 0) \mu\text{M}$  (Figura 8).

Figura 8 – Resultados e respectivos desvios padrões referentes às médias dos valores de ortofosfato obtidos nas estações superior (E1), média (E2) e inferior (E3) do estuário durante os meses estudados.

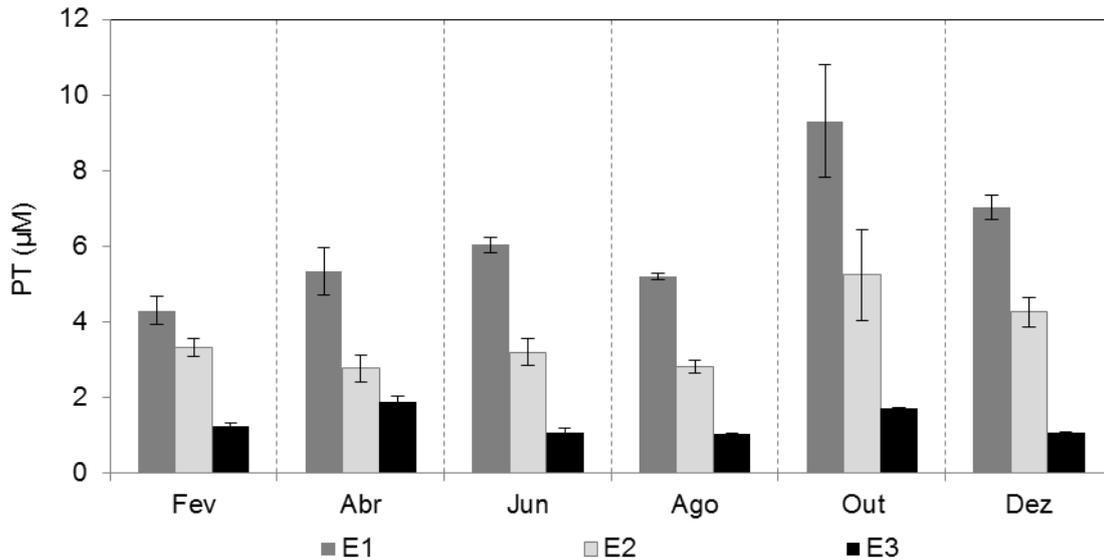


Fonte: elaboração própria.

As concentrações de fósforo total, assim como as de ortofosfato, também decresceram em direção à foz (E3). Durante o ano, os resultados obtidos em E1 variaram de  $4,3 (\pm 0,4)$  a  $9,3 (\pm 1,5) \mu\text{M}$ , em E2, de  $2,8 (\pm 0,2)$  a  $5,2 (\pm 1,2) \mu\text{M}$  e, em E3, a variação foi de  $1,0 (\pm 0,03)$  a  $1,9 (\pm 0,2) \mu\text{M}$ .

No mês de outubro, enquanto houve uma diminuição nas concentrações de ortofosfato nas estações E1 e E2, os valores de PT foram máximos em ambas as estações, como indicado na Figura 9.

Figura 9 – Resultados e respectivos desvios padrões referentes às médias dos valores de fósforo total (PT) obtidos na estação superior (E1), média (E2) e inferior (E3) do estuário durante os meses estudados.

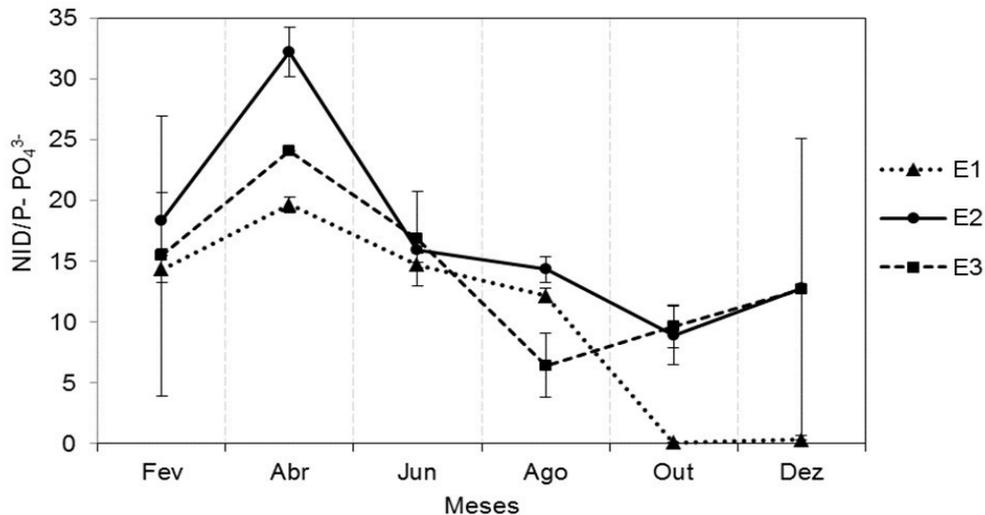


Fonte: elaboração própria.

#### 5.4 Razão NID/P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>

Os valores resultados a partir da razão entre nitrogênio inorgânico dissolvido (NID) e ortofosfato (P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>) variaram, no período chuvoso, de 14,3 (± 1,1) a 32,2 (± 2,0), enquanto no período seco, de 0,1 (± 0,03) a 14,3 (± 1,1). Como ilustrado na Figura 10, as razões NID/P-PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> encontradas nos meses de fevereiro e junho foram as mais próximas da razão de Redfield (16N:1P).

Figura 10 – Resultados e respectivos desvios padrões referentes às razões entre os valores de nitrogênio inorgânico dissolvido e ortofosfato nas estações superior (E1), média (E2) e inferior (E3) do estuário durante os meses estudados.



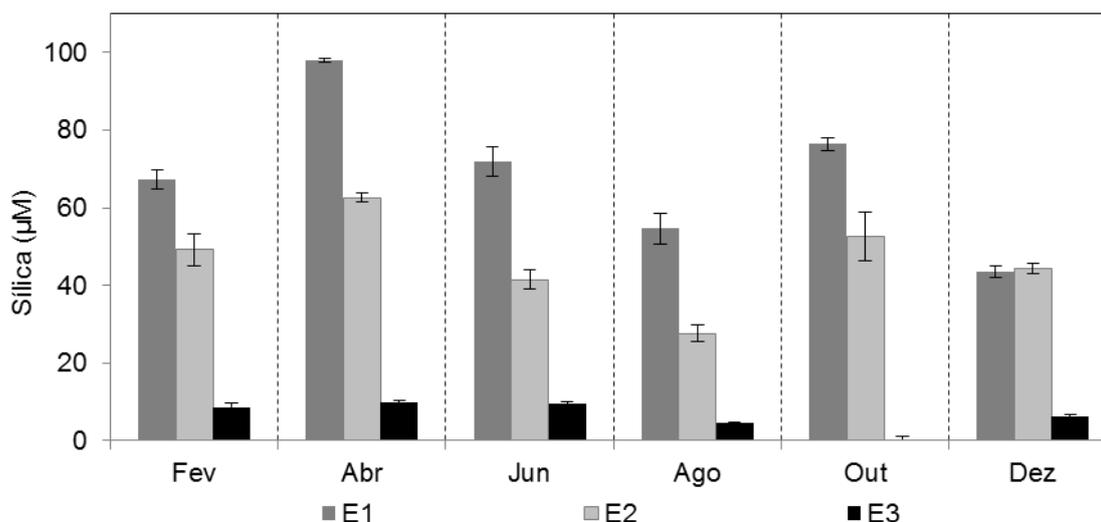
Fonte: elaboração própria.

## 5.5 Sílica

As concentrações de sílica na água podem ser alteradas pela salinidade do ambiente e estão também relacionadas com a quantidade de sólidos em suspensão. No período chuvoso, as concentrações de silício variaram de  $8,5 (\pm 1,2)$  a  $98,0 (\pm 0,5)$   $\mu\text{M}$ , enquanto que no período seco, de  $4,7 (\pm 0,1)$  a  $76,4 (\pm 1,7)$   $\mu\text{M}$  (Figura 11).

A variação de sílica foi atribuída à diferença espacial entre as estações, pois as concentrações decresceram em direção à foz, onde há maior contribuição das águas marinhas. Com relação aos seis meses amostrados, as médias das concentrações nas estações E1, E2 e E3 foram de, respectivamente, 68,6, 46,3 e 7,8  $\mu\text{M}$ .

Figura 11 – Resultados e respectivos desvios padrões referentes às médias dos valores de sílica obtidos na estação superior (E1), média (E2) e inferior (E3) do estuário durante os meses estudados.

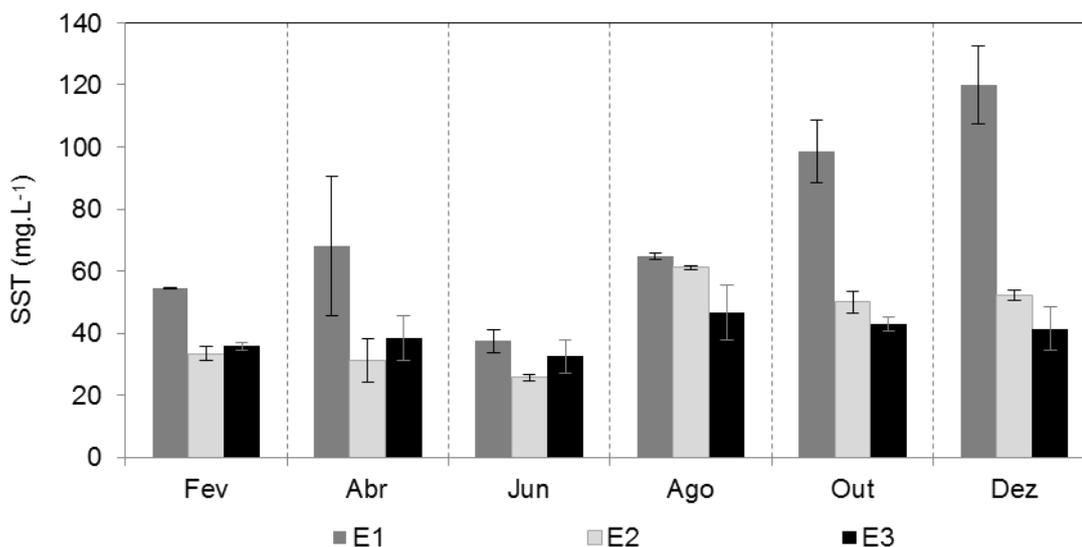


Fonte: elaboração própria.

## 5.6 Sólidos suspensos

No período chuvoso, as concentrações de sólidos suspensos totais variaram de  $25,7 (\pm 1,0)$   $\text{mg.L}^{-1}$ , na estação E2 em junho, a  $68,1 (\pm 22,5)$   $\text{mg.L}^{-1}$ , na estação E1 em abril (Figura 12). Já no período seco, as concentrações mínima e máxima de SST foram relativas ao mês de dezembro, no qual os resultados variaram de  $41,4 (\pm 7,0)$   $\text{mg.L}^{-1}$ , em E3, a  $120,1 (\pm 12,6)$   $\text{mg.L}^{-1}$ , em E1.

Figura 12 – Resultados e respectivos desvios padrões referentes às médias dos valores de sólidos suspensos totais (SST) obtidos na estação superior (E1), média (E2) e inferior (E3) do estuário durante os meses estudados.



Fonte: elaboração própria.

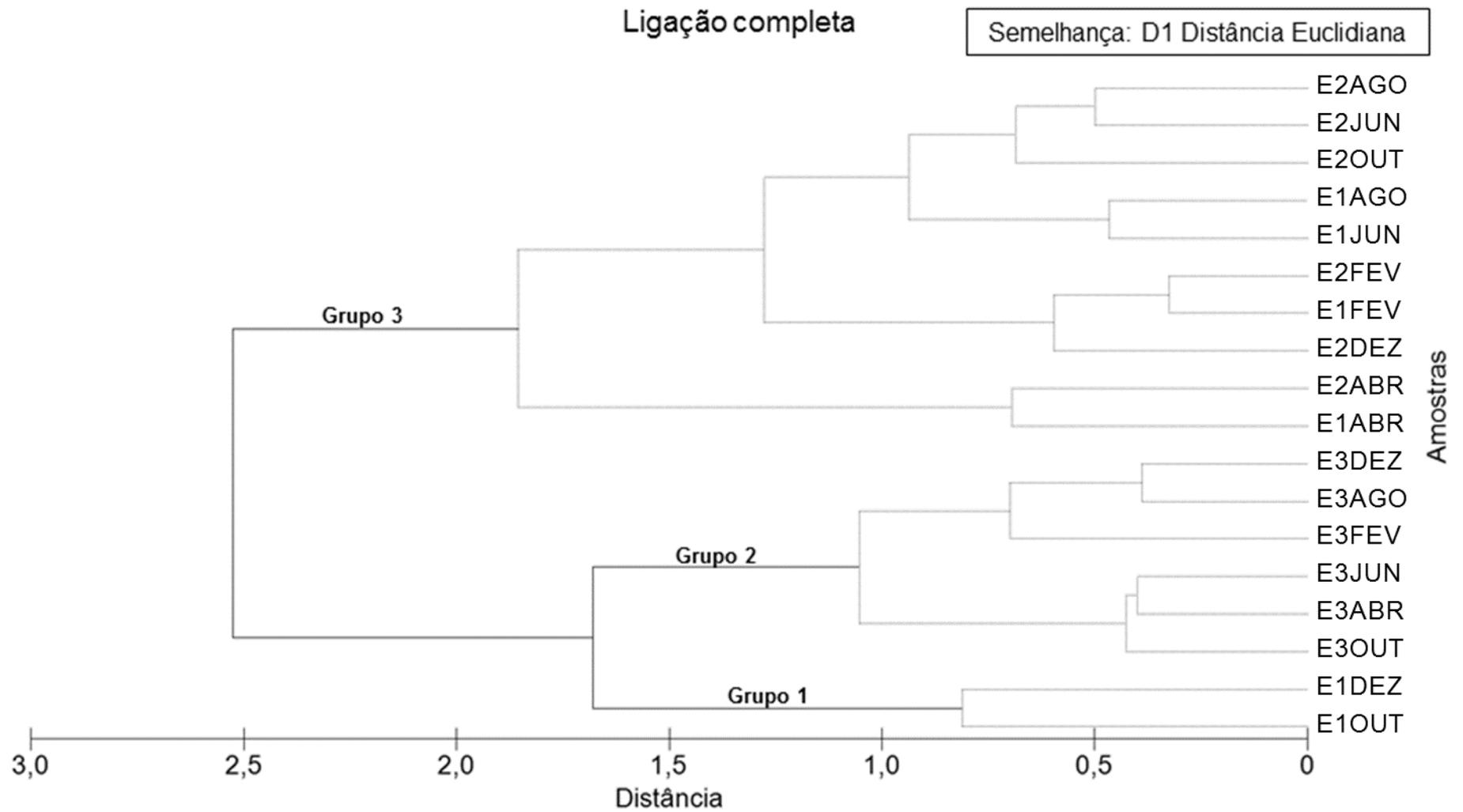
Nos meses de outubro e dezembro, na estação superior (E1), houve aumento considerável nas concentrações de SST, respectivamente 52,4% e 85,6% com relação ao mês de agosto. Enquanto que, em E2 e E3, os valores dos resultados de SST foram menores nesses meses do que no mês de agosto, como demonstrado na Figura 12.

### 5.7 Análise estatística

A partir dos resultados encontrados após a realização do teste *Spearman Rank Order Correlation*, os dados de SO e OD foram considerados com elevada correlação ( $p = 0,92$ ) e, por isso, além das demais variáveis, foi utilizada apenas a variável de saturação de oxigênio nas análises estatísticas de agrupamento e dos componentes principais.

A análise de agrupamento resultou em uma divisão das amostras em três grandes grupos (Figura 13). No primeiro grupo foi realçada a diferença da estação E1 durante os meses de outubro e dezembro, os quais houveram diminuição acentuada nas concentrações de nitrogênio e fósforo dissolvidos e aumento de ET e SST. O grupo 2 já destaca a diferença espacial observada na estação E3, na qual foram encontradas as menores concentrações de nutrientes durante o ano inteiro. Enquanto o maior grupo (3) abrangeu as amostras da estação E2 nos demais meses coletados, juntamente com as amostras referentes à estação E1 coletadas de fevereiro a agosto. As amostras deste último grupo possuem em comum uma alta concentração de nutrientes, principalmente as coletadas no mês de abril.

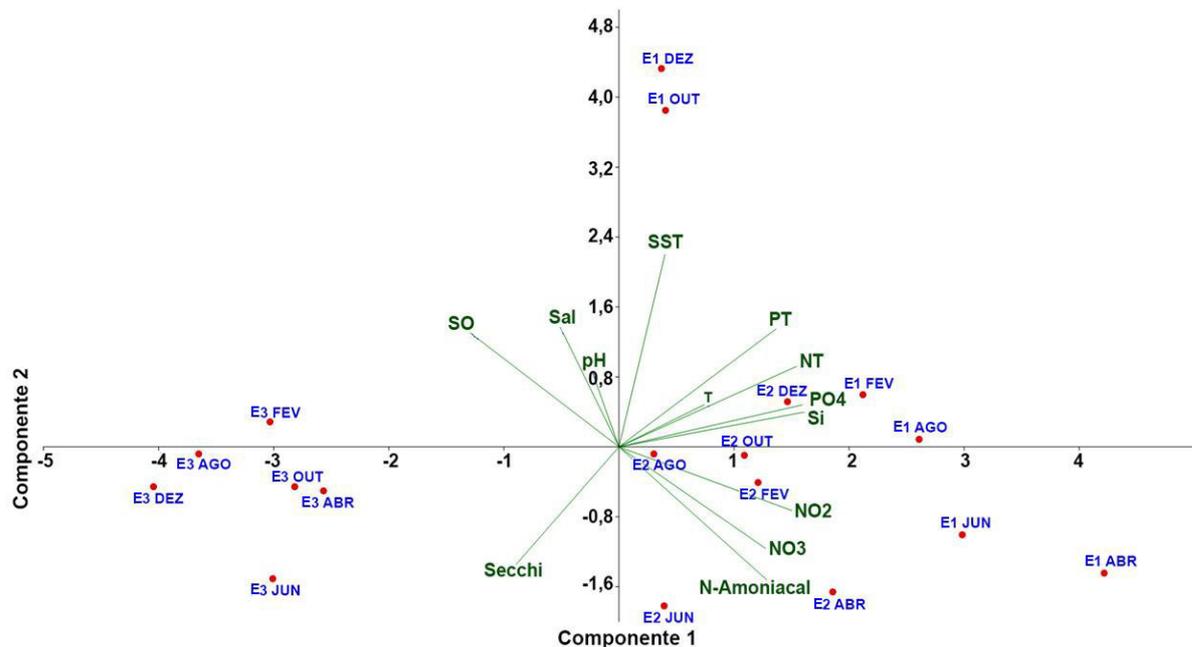
Figura 13 – Agrupamento por ligação completa utilizando a distância euclidiana para avaliação da semelhança entre as amostras.



Fonte: adaptado de Primer 6.1.6 (2017).

A Figura 14 apresenta o gráfico gerado a partir da análise de componentes principais (ACP) realizada no programa PAST 2.17, expondo em azul as amostras coletadas e, em verde, as variáveis analisadas: transparência medida pelo disco de Secchi, SO, salinidade, N-amoniacoal, nitrito, nitrato, ortofosfato, sílica, NT, PT e SST. Avaliando os dois principais componentes gerados pela ACP, é observada uma diferença influenciada pelo tempo no Componente 1 (49,38%) e pelo espaço no Componente 2 (21,07%). Assim, pode-se verificar uma variação bem mais acentuada ao longo do ano na estação E1, em contraste à estação mais próxima à foz (E3), que se manteve comparativamente mais estável em relação às variáveis investigadas.

Figura 14 – Análise de componentes principais (ACP) das amostras coletadas.



Fonte: adaptado de PAST 2.17c (2017).

## 6 DISCUSSÃO

Os resultados forneceram novas informações sobre as variações espaciais e sazonais de nutrientes e sólidos suspensos em um ecossistema estuarino raso sob forte déficit hídrico. Um dos resultados é a perceptível homogeneidade da coluna d'água provavelmente resultante dos processos físicos de mistura e da baixa profundidade. Este resultado é corroborado por dados prévios sobre o estuário observado no relatório técnico do Governo do Estado do Ceará (2007), no qual foi identificada uma caracterização predominante do corpo hídrico como verticalmente bem misturado ou homogêneo. Assim como Pinheiro (2003), que não identificou relevante estratificação vertical no estuário, classificando-o como parcialmente misturado e por vezes verticalmente homogêneo. Da mesma forma, os resultados de superfície e fundo das variáveis analisadas neste trabalho foram bem próximos ( $p > 0,05$ ), não havendo, portanto, variação vertical significativa na coluna d'água. Os resultados indicaram três padrões principais que serão discutidos a seguir, como a influência da chuva, as variações espaciais ao longo do estuário e a dinâmica de concentração dos nutrientes e sólidos suspensos.

### 6.1 Variação sazonal: a chuva controla as concentrações de nutrientes e SST?

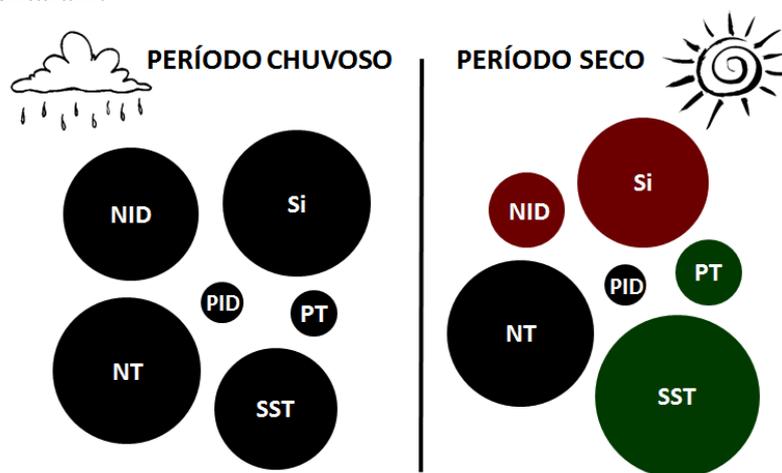
Os resultados indicaram a influência da precipitação pluviométrica tanto na dinâmica de nutrientes e sólidos suspensos, como também na salinidade, no pH e nas concentrações de oxigênio dissolvido no estuário semiárido. Esse fator é também evidenciado pela ACP realizada, na qual o componente que representou a maior influência nas amostras (49,38%) mostrou relação com a diferença atuante entre os períodos chuvoso e seco ao longo do ano. Assim, o aumento da descarga fluvial no estuário gerado pela chuva, além de carrear nutrientes para o corpo hídrico, pode ter diminuído o tempo de residência da água com o aumento da vazão, que diminui a escala de tempo para os processos biogeoquímicos (CUCCO; UMGIESSER, 2006; SCHETTINI; VALLE-LEVINSON; TRUCCOLO, 2017).

No período chuvoso, o acréscimo da influência fluvial resultou na diminuição da salinidade no estuário, especialmente no mês de abril. Além disso, ocorreram também aumentos consideráveis nas concentrações de nitrogênio amoniacal e sílica. O aumento de N-amoniacal no estuário pode estar relacionado à entrada de carga de matéria orgânica, que acarreta em um alto consumo de oxigênio por microrganismos para sua degradação. Já as concentrações de sílica podem ter aumentado devido ao maior aporte fluvial motivado pela

chuva.

As concentrações de sólidos suspensos foram menores no período chuvoso, um resultado que difere de outros estuários tropicais, pois, em geral, a quantidade de sólidos em suspensão é maior quando há aumento de aporte terrestre (NIENCHESKI, 2015) influenciado pela chuva. Porém, é importante avaliar que, além da baixa precipitação pluviométrica predominante da região semiárida, os reservatórios construídos ao longo do rio Piranji regulam seu fluxo hídrico e diminuem o abastecimento de sedimentos à jusante, influenciando severamente no sistema estuarino (SCHETTINI; VALLE-LEVINSON; TRUCCOLO, 2017). Já no período de estiagem, no qual a barreira hidráulica é suprimida pela diminuição das águas fluviais, foram favorecidos processos erosivos desencadeados pela ação das ondas (CEARÁ, 2007), o que pode ter contribuído para o aumento nas concentrações de SST. Além disso, esse aumento pode ainda ser resultado da maior velocidade dos ventos (EYRE; BALLS, 1999) nesse período e também representar um aumento na produtividade primária (STATHAN, 2012).

Figura 15 – Ilustração da variação nas concentrações de nutrientes e sólidos suspensos do período chuvoso para o seco no estuário. Em vermelho, concentrações que diminuíram e, em verde, que aumentaram.



Fonte: elaboração própria.

No período seco, sobretudo nos meses de outubro e dezembro, ocorreu um aumento das concentrações de OD no estuário e a diminuição de fósforo e nitrogênio inorgânicos dissolvidos sugere um aumento da produtividade primária, que consome esses nutrientes e libera oxigênio em seu processo metabólico. À vista disso, as concentrações de NT se mantiveram, apesar da diminuição de NID, e ocorreu um aumento nas concentrações de PT e sólidos em suspensão (Figura 15), variáveis que abrangem organismos vivos e

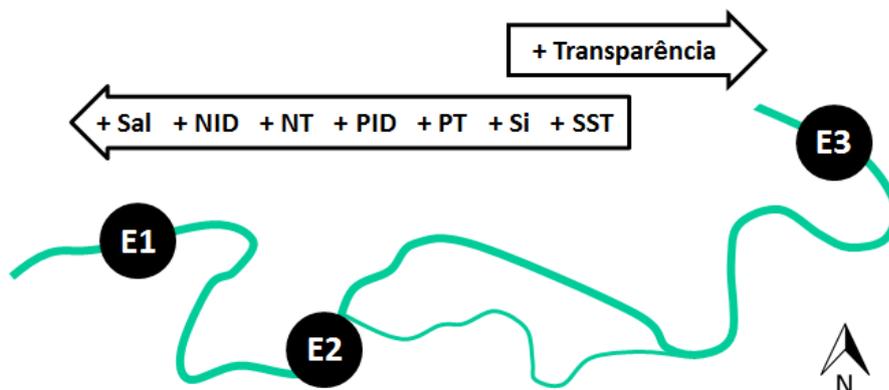
detritos (ESTEVEES, 2011; STATHAN, 2012), além de outros compostos. Portanto, presume-se que o estuário durante esse período de menor influência fluvial se tornou mais favorável para o fitoplâncton. Essa hipótese demonstra uma característica peculiar, visto que foi o período de mais altas salinidades, revelando um ambiente adaptado a condições hipersalinas. O semiárido do Nordeste brasileiro é afetado por secas históricas ao longo de séculos (MELO, 1999), e essa condição pode ter estimulado uma adaptação do fitoplâncton presente em estuários inversos ou uma seleção de espécies adaptadas a essas condições.

## **6.2 Variação espacial: os nutrientes e sólidos suspensos decrescem em direção à foz do estuário?**

Visto que as águas fluviais possuem maiores quantidades de material particulado em suspensão do que as águas marinhas, a variação espacial dos sólidos não condiz com o esperado para estuários (NIENCHESKI, 2015; STATHAN, 2012). No período chuvoso, as menores concentrações foram registradas em E2, o que pode estar relacionado tanto à presença de uma barreira arenosa na região da foz, quanto à influência da maré na ressuspensão de sedimentos (EYRE; BALLS, 1999), que podem ter resultado no aumento de sólidos suspensos próximo à estação E3. No período seco, quando a estiagem diminuiu a influência terrestre, a distribuição espacial de sólidos em suspensão aproximou o estuário das condições esperadas, ou seja, as concentrações de SST decresceram em direção à foz, porém isso não ocorreu devido a uma diminuição em E3, mas sim a um aumento em E2 e maior ainda em E1. Schettini *et al.* (2017) destacam as altas quantidades de sólidos em suspensão durante a vazante e no período de inundação do estuário do Piranji como uma consequência da erosão.

As concentrações de nutrientes, em todos os meses coletados, exceto outubro e dezembro, decresceram em direção à foz (Figura 16). A análise de agrupamento, realizada para avaliar a semelhança entre as amostras, destacou a estação E3 em grupo separado das demais, diferença também percebida na ACP, sendo a estação que se manteve mais constante quanto à salinidade, pH, SST, SO e com as menores concentrações de nutrientes, que também variaram pouco ao longo do ano. Vale destacar que as coletas na estação E3 foram realizadas em períodos de preamar, o que pode ter permitido uma diluição por águas marinhas (NORIEGA *et al.*, 2005). Na mesma análise, as estações E1 (exceto as amostras de outubro e dezembro) e E2 foram unidas em um mesmo grupo, observando que nestas foram encontradas altas concentrações de nutrientes durante o ano, principalmente em E1.

Figura 16 – Ilustração geral da distribuição espacial nas concentrações de variáveis analisadas neste trabalho da estação superior (E1) para a mais próxima à foz (E3) durante a maior parte do ano.



Fonte: elaboração própria.

Assim sendo, durante todos os meses estudados, exceto outubro e dezembro, foi observado um decréscimo nas concentrações de nutrientes da estação superior (E1) para a estação mais próxima à foz (E3). Os processos ocorridos em E1 durante os meses de outubro e dezembro, além de serem uma influência sazonal, podem também ter relação com um maior tempo de residência (VALENTIN; MUELBERT, 2015), visto que é a estação mais distante das movimentações de subida e descida da maré. Ao longo do ano, a salinidade foi predominantemente maior em E1 do que em E3, evidenciando o padrão inverso do estuário.

### 6.3 Variáveis físico-químicas: concentrações e sua dinâmica

As concentrações de nitrogênio amoniacal foram altas durante o ano inteiro quando comparadas a outros estuários tropicais, como nos estudos realizados em estuários de baixo impacto ambiental por Melo (2007), Eyre e Balls (1999) e Trott e Alongi (2000). Essas concentrações elevadas de N-amoniacal indicam um desequilíbrio nas frações de NID provavelmente causado por aporte de material orgânico de origem antrópica (ESCHRIQUE, 2011), podendo ser consequência de despejos de efluentes no corpo hídrico pelas fazendas de carcinicultura (ESTEVES, 2011; LEE; CHEN, 2004; SHISHEHCHIAN *et al.*, 1999) localizadas no entorno da área estudada, visto que não há agricultura ou centros de densidade populacional na região do estuário do rio Piranji que sejam significativos para tal acúmulo de N-amoniacal.

Em estudo realizado no estuário do rio Jaguaribe/CE, as concentrações de sílica encontradas foram entre 90  $\mu\text{M}$  e 200  $\mu\text{M}$  (ESCHRIQUE, 2010), e no estuário do rio

Cachoeira/BA, as concentrações chegaram a 314  $\mu\text{M}$  (SILVA, 2015). No trabalho de Eyre e Balls (1999), no qual foram analisados três estuários tropicais, as concentrações máximas de silício dissolvido foram aproximadamente, entre 100  $\mu\text{M}$  e 200  $\mu\text{M}$ , sendo também percebida uma relação entre a diminuição dessas concentrações e o aumento da salinidade nos estuários.

Na água estuarina do Piranji, embora no mês de abril as concentrações de silício dissolvido tenham sido maiores do que nos demais meses, todas foram inferiores ao esperado quando comparado com outros estuários tropicais, que geralmente possuem altas concentrações desse composto (EYRE; BALLS, 1999). As concentrações pequenas de sílica encontradas no estuário, além de demonstrarem o baixo aporte fluvial e seu agravamento em um ano de déficit hídrico, sugerem interferência causada pela predominância da salinidade elevada. Esse resultado é uma novidade, possivelmente devido à falta de estudos em sistemas hipersalinos.

No mês de junho, quando a zona eufótica foi maior em todas as estações, foram encontrados os menores valores de sólidos em suspensão no estuário. Isso indica uma relação inversa entre a transparência da água e o material em suspensão na coluna d'água, fator apontado na ACP representada na Figura 12.

No estudo realizado por Fonseca (2009) no estuário do rio Pacoti, que possui baixo impacto ambiental e sistema consideravelmente equilibrado, as concentrações de fosfatos dissolvidos variaram de 0,1 a 0,9  $\mu\text{M}$ , com média de 0,5  $\mu\text{M}$ . Dessa forma, as concentrações de ortofosfato encontradas no estuário do rio Piranji não destoaram de forma relevante do esperado para estuários tropicais de baixo fluxo fluvial, ficando com média de 1,3 ( $\pm 1,0$ )  $\mu\text{M}$ .

Na fração orgânica particulada de fósforo, incluída nos resultados de PT, estão inseridos organismos responsáveis pela produção primária (ESTEVEZ, 2011) através da assimilação de fósforo e nitrogênio inorgânicos dissolvidos. Diante disso, na estação E1 referente ao mês de outubro, as baixas concentrações de ortofosfato em contraste com os altos valores de fósforo total demonstram um aumento na produção primária no corpo hídrico.

Visto que no período chuvoso os valores resultados a partir da razão entre nitrogênio inorgânico dissolvido e ortofosfato ( $\text{NID:P-PO}_4^{3-}$ ) foram aproximadamente 18:1 e, no período seco, 8:1, sugere-se que as espécies que compõem a produção primária são adaptadas a viver em baixas razões N:P. Essa hipótese é levantada devido ao aumento no consumo de nutrientes dissolvidos e aumento de PT e SST no período de estiagem (BARROSO *et al.*, 2016), principalmente na estação E1, onde o tempo de residência da água é provavelmente maior por ser mais distante do mar.

## 7 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foram caracterizados os fatores ambientais atuantes na dinâmica de nutrientes e sólidos em suspensão em um estuário hipersalino, tanto sazonal quanto espacialmente. Um dos principais fatores de alteração observado no ambiente é a chuva, que exerce forte influência nas variáveis analisadas, controlando suas concentrações, além de ocasionar alterações espaciais no estuário. Aditivamente, a distribuição espacial entre as estações coletadas também apresenta diferenças significativas.

Durante o ano inteiro, exceto pelos meses de outubro e dezembro, foi observado um decréscimo nas concentrações de nutrientes em direção à foz. Esse cenário indica uma diluição dessas concentrações por águas costeiras, ocasionada pelo movimento de entrada da maré no estuário, mas não corrobora a hipótese de que o estuário possui capacidade de assimilar ou transportar esses nutrientes, pois, para tal afirmação, seriam necessários estudos físicos sobre a hidrodinâmica do estuário para a avaliação. Além dos fatores naturais observados como controladores da dinâmica estuarina, as concentrações elevadas de N-amoniacal apontam também para alterações de natureza antrópica no ambiente.

As características do estuário inverso são resultantes da influência do clima semiárido em que está inserido e indicam adaptação do ambiente às condições de estiagem, considerando o aumento da produtividade primária, presumido a partir dos resultados de nitrogênio, fósforo e sólidos suspensos, em situações de hipersalinidade. O padrão de salinidade é invertido na maioria dos meses e variáveis relacionadas ao aporte terrestre, como a sílica e os sólidos suspensos, são diferenciadas de outros estuários comumente encontrados em regiões tropicais, ressaltando a importância de estudos nesse tipo de estuário em específico.

## REFERÊNCIAS

- BARROSO, Hortência de Sousa et al. The annual cycle of phytoplankton biomass in a hypersaline estuary: decline and recovery. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE FICOLOGIA, 16., 2016, Parnaíba. **Comunicação Oral**. Parnaíba: CBF, 2016.
- BAUMGARTEN, Maria da Graça Zepka; ROCHA, Jusseli Maria de Barros; NIENCHESKI, Luís Felipe Hax. **Manual de Análises em Oceanografia Química**. Rio Grande: Ed. Furg, 1996. 132 p.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **A Zona Costeira e seus usos múltiplos**. Importância Estratégica e Conflitos Socioambientais. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/gestao-territorial/gerenciamento-costeiro/a-zona-costeira-e-seus-m%C3%BAltiplos-usos>>. Acesso em: 23 jan. 2017.
- BRASIL. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Ministério do Meio Ambiente. **Diagnóstico da carcinicultura no Estado do Ceará**. IBAMA, 2005. 240 p. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/0B19D3B1/DIAGDACARCINICULTURA\\_CEARA.pdf](http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/0B19D3B1/DIAGDACARCINICULTURA_CEARA.pdf)>. Acesso em: 30 jun. 2016.
- CAMARGO, Ricardo de; HARARI, Joseph. Marés. *In*: CASTELLO, Jorge P.; KRUG, Luiz C. (Org.). **Introdução às Ciências do Mar**. Pelotas: Textos, 2015. Cap. 9. p. 226 - 255.
- CASTRO, Peter; HUBER, Michael E. **Biologia Marinha**. 8. ed. Porto Alegre: AMGH, 2012. 461 p. Tradução de: Mônica Ferreira da Costa (coord).
- CAVALCANTE, Rivelino M. et al. The impact of urbanization on tropical mangroves (Fortaleza, Brazil): Evidence from PAH distribution in sediments. **Journal Of Environmental Management**, [s.l.], v. 91, n. 2, p.328-335, nov. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2009.08.020>.
- CEARÁ. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. Secretaria dos Recursos Hídricos. **Chuvas Diárias: Calendário das Chuvas no Estado do Ceará**. Disponível em: <<http://www.funceme.br/index.php/areas/23-monitoramento/meteorológico/406-chuvas-diárias>>. Acesso em: 17 ago. 2016.
- CEARÁ. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos. **Dados de vento: estação Beberibe, 2015**. Mensagem recebida por: <brendarzmelo@gmail.com> em: 20 jan. 2017.
- CEARÁ. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. Secretaria do Planejamento e Gestão. **Tipos climáticos**. 2007. Disponível em: <<http://www2.ipece.ce.gov.br/atlas/capitulo1/12/126.htm>>. Acesso em: 20 jun. 2016.
- CEARÁ. Secretaria da Ciência, Tecnologia e Educação Superior. **Avaliação do uso potencial de áreas estuarinas a partir da identificação e caracterização do comportamento de variáveis hidro-climáticas, oceanográficas e ambientais – Estudos de caso: rio Pirangi-CE**. 2007, 219 p. Disponível em: <<http://www.funceme.br/documents/Projetos/Pirangi.pdf>>. Acesso em: 15 jan. 2017.

COLE, Gerald A. **Textbook of limnology**. Illinois, USA: Waveland Press, 1983.

CUCCO, Andrea; UMGIESSER, Georg. Modeling the Venice Lagoon residence time. **Ecological Modelling**, [s.l.], v. 193, n. 1-2, p.34-51, mar. 2006. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.07.043>.

DAFNER, Evgeny V. *et al.* Nitrogen and phosphorus species in the coastal and shelf waters of Southeastern North Carolina, Mid-Atlantic U.S. coast. **Elsevier: Marine Chemistry**, v. 103, p. 289-303, 16 jan. 2007. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304420306001733>>. Acesso em: 04 jan. 2017.

DAVANSO, Marcela Bergo *et al.* Biomarkers in mangrove root crab *Goniopsis cruentata* for evaluating quality of tropical estuaries. **Marine Environmental Research**, [s.l.], v. 91, p.80-88, out. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.marenvres.2013.02.006>.

EATON, Andrew D. *et al.* **Standard Methods**: for the examination of water & wastewater. 21. ed. Washington: Centennial, 2005.

ESCHRIQUE, Samara Aranha. **Estudo do balanço biogeoquímico dos nutrientes dissolvidos principais como indicador da influência antrópica em sistemas estuarinos do nordeste e sudeste do Brasil**. 2011. 254 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Ciências, área de Oceanografia Química e Geológica, Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

ESCHRIQUE, Samara Aranha; BRAGA, Elisabete de Santis; MARINS, Rozane Valente. **Temporal variation of nutrients in transitional seasonal periods (dry - rainy) in the Jaguaribe estuary - Ceará, Brazil**. *In*: Safety, Health and Environment World Congress. São Paulo: SHEWC, 2010. p. 66 - 70.

ESTEVES, Francisco de Assis; AMADO, André Megali. Nitrogênio. *In*: ESTEVES, Francisco de Assis. **Fundamentos de Limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. Cap. 13. p. 239-258.

ESTEVES, Francisco de Assis; FIGUEIREDO-BARROS, Marcos Paulo; PETRUCIO, Mauricio Mello. Principais Cátions e Ânions. *In*: ESTEVES, Francisco de Assis. **Fundamentos de Limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. Cap. 17. p. 299-322.

ESTEVES, Francisco de Assis; PANOSSO, Renata. Fósforo. *In*: ESTEVES, Francisco de Assis. **Fundamentos de Limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. Cap. 14. p. 259-282.

ESTEVES, Francisco de Assis; PETRUCIO, Mauricio Mello; FIGUEIREDO-BARROS, Marcos Paulo. Sílica nos ecossistemas aquáticos e continentais. *In*: ESTEVES, Francisco de Assis. **Fundamentos de Limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. Cap. 16. p. 293-298.

ESTEVEES, Francisco de Assis (Coord.). **Fundamentos de Limnologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

EYRE, Bradley; BALLS, Philip. A Comparative Study of Nutrient Behavior along the Salinity Gradient of Tropical and Temperate Estuaries. **Estuarine Research Federation**: v. 22, n. 2A, p. 313-326, jun 1999.

FIGUEIREDO, Juciene *et al.* Nutrientes Limitantes e as Relações Orgânicas e Inorgânicas Entre o Fósforo, Nitrogênio e Silício no Sistema Pelágico da Bacia do Espírito Santo e Porção Norte da Bacia de Campos – ES, Brasil. **Geochimica Brasiliensis**, [s.l.], v. 30, n. 2, p.95-111, 31 dez. 2016. Geochimica Brasiliensis. <http://dx.doi.org/10.21715/gb2358-2812.2016302095>.

FONSECA, Louize Viveiro da. **Capacidade de retenção de fósforo e material particulado em suspensão por manguezal de área impactada por efluentes da carcinicultura**. 2009. 102 p. Dissertação (Mestrado) – Pós-graduação em Ciências Marinhas Tropicais, Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2009.

GIRI, Chandra *et al.* Distribution and dynamics of mangrove forests of South Asia. **Journal Of Environmental Management**, [s.l.], v. 148, p.101-111, jan. 2015. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2014.01.020>.

GORAYEB, Adryane; SILVA, Edson Vicente da; MEIRELES, Antônio Jeovah de Andrade. Impactos ambientais e propostas de manejo sustentável para a planície flúvio-marinha do rio Pacoti - Fortaleza/Ceará. **Sociedade & Natureza**, Uberlândia, v. 33, n. 17, p.143-152, dez. 2005.

HATJE, Vanessa *et al.* Detection of environmental impacts of shrimp farming through multiple lines of evidence. **Environmental Pollution**, [s.l.], v. 219, p.672-684, dez. 2016. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2016.06.056>.

LEE, Won-chung; CHEN, Jiann-chu. Nitrogenous excretion and arginase specific activity of kuruma shrimp *Marsupenaeus japonicus* exposed to elevated ambient nitrite. **Journal Of Experimental Marine Biology And Ecology**, [s.l.], v. 308, n. 1, p.103-111, set. 2004. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jembe.2004.02.014>.

MELO, Antonio Augusto S. de. **Nutrientes dissolvidos e biomassa primária nos estuários dos rios Botafogo e Carrapicho-PE**. 2007. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Oceanografia, Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2007.

MELO, Josemir Camilo de. O fenômeno El Niño e as secas no Nordeste do Brasil. **Raízes**, Campina Grande, v. 20, n. único, p.13-21, nov. 1999. Disponível em: <[http://www.ufcg.edu.br/~raizes/artigos/Artigo\\_23.pdf](http://www.ufcg.edu.br/~raizes/artigos/Artigo_23.pdf)>. Acesso em: 15 jun. 2017.

MUSEU DO UNA. **Manguezais e estuário**. Disponível em: <<http://www.museudouna.com.br/>>. Acesso em: 15 maio 2017.

NIENCHESKI, Luis Felipe Hax. Propriedades químicas da água de mar. *In*: CASTELLO, Jorge P.; KRUG, Luiz C. (Org.). **Introdução às Ciências do Mar**. Pelotas: Editora Textos, 2015. Cap. 6. p. 140-171.

NORIEGA, C. D. *et al.* Fluxos de nutrientes inorgânicos dissolvidos em um estuário tropical – Barra das Jangadas – PE, Brasil. **Tropical Oceanography**, v. 33, n. 2, p. 133-145, 2005.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS PARA A EDUCAÇÃO, A CIÊNCIA E A CULTURA. Intergovernmental Oceanographic Commission (Ed.). **Chemical methods for use in marine environmental monitoring**. UNESCO, 1983. 56 p. (Manuals and guides). Disponível em: <[http://www.jodc.go.jp/jodcweb/info/ioc\\_doc/Manual/055950eo.pdf](http://www.jodc.go.jp/jodcweb/info/ioc_doc/Manual/055950eo.pdf)>. Acesso em: 20 jun. 2016.

PÁEZ-OSUNA, Federico. The Environmental Impact of Shrimp Aquaculture: Causes, Effects, and Mitigating Alternatives. **Environmental Management**, [s.l.], v. 28, n. 1, p.131-140, 31 jan. 2001. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s002670010212>.

PINHEIRO, Rodrigo Dantas. **Análise do comportamento hidrodinâmico e sedimentológico no estuário do rio Piranji–CE (NE/Brasil)**. 2003. 176 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Geociências, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

POLETTE, Marcus; ASMUS, Milton L. Meio Ambiente Marinho e Impactos Antrópicos. In: CASTELLO, Jorge P.; KRUG, Luiz C. (Org.). **Introdução às Ciências do Mar**. Pelotas: Textos, 2015. Cap. 16. p. 500-520.

POTTER, Ian C. *et al.* The concept of an estuary: A definition that incorporates systems which can become closed to the ocean and hypersaline. **Estuarine, Coastal And Shelf Science**, [s.l.], v. 87, n. 3, p.497-500, abr. 2010. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2010.01.021>.

POULTON, V. K.; LOVVORN, J. R.; TAKEKAWA, J. Y. Spatial and overwinter changes in clam populations of San Pablo Bay, a semiarid estuary with highly variable freshwater inflow. **Estuarine, Coastal And Shelf Science**, [s.l.], v. 59, n. 3, p.459-473, mar. 2004. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2003.10.005>.

SÁ, Marcelo V. C. **Limnocultura: limnologia para aquicultura**. Fortaleza: Edições UFC, 2012.

SANTIAGO, Marilene Felipe; PASSAVANTE, José Zanon de Oliveira; SILVA-CUNHA, Maria da Glória Gonçalves da. Caracterização de parâmetros físicos, químicos e biológico em ambiente hipersalino, estuário do rio Pisa Sal (Galinhas, Rio Grande do Norte, Brasil). **Tropical Oceanography**, Recife, v. 33, n. 1, p.39-55, maio 2005.

SATO, Michèle. Debatendo os desafios da educação ambiental. In: CONGRESSO DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL PRÓ MAR DE DENTRO, 1., 2001, Rio Grande. **Mestrado em Educação Ambiental**. FURG & Pró Mar de Dentro, 2001. Disponível em: <[http://nead.uesc.br/arquivos/Biologia/bsc1/artigo1\\_Debatendo\\_os\\_desafios\\_da\\_ed\\_ambiental.pdf](http://nead.uesc.br/arquivos/Biologia/bsc1/artigo1_Debatendo_os_desafios_da_ed_ambiental.pdf)>. Acesso em: 29 jun. 2017.

SCHETTINI, Carlos A. F.; VALLE-LEVINSON, Arnoldo; TRUCCOLO, Eliane C.. Circulation and transport in short, low-inflow estuaries under anthropogenic stresses. **Marine Science**. S. L., p. 52-64. fev. 2017.

SHISHEHCHIAN, F et al. Nitrogenous Excretion of *Penaeus monodon* Postlarvae Fed with Different Diets. **Marine Pollution Bulletin**, [s.l.], v. 39, n. 1-12, p.224-227, jan. 1999. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0025-326x\(99\)00082-x](http://dx.doi.org/10.1016/s0025-326x(99)00082-x).

SILVA, Carlos Augusto Ramos e et al. The impact of organic and intensive farming on the tropical estuary. **Ocean & Coastal Management**, [s.l.], v. 141, p.55-64, jun. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.03.010>.

SILVA, Maria Aparecida Macêdo. **Biogeoquímica dos nutrientes inorgânicos dissolvidos e biomassa fitoplanctônica no estuário do rio Cachoeira, Ilhéus-BA**. 2007. 123 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-graduação em Sistemas Aquáticos Tropicais, Departamento de Ciências Biológicas, Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus, 2007. Disponível em: <[http://labbi.uesc.br/ppgsat/files/PPGSAT/Defesas/2007/Maria\\_Aparecida\\_Macedo\\_Silva.pdf](http://labbi.uesc.br/ppgsat/files/PPGSAT/Defesas/2007/Maria_Aparecida_Macedo_Silva.pdf)>. Acesso em: 21 jan. 2017.

SILVA, Maria Aparecida Macedo; SOUZA, Marcelo F. L.; ABREU, Paulo C.. Spatial and temporal variation of dissolved inorganic nutrients, and chlorophyll- $\alpha$  in a tropical estuary in Northeastern Brazil: dynamics of nutrient removal. **Brazilian Journal Of Oceanography**, [s.l.], v. 63, n. 1, p.1-15, mar. 2015. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1679-87592015064506301>.

STATHAM, Peter J. Nutrients in estuaries – An overview and the potential impacts of climate change. **Elsevier: Science of the Total Environment**, v. 434, p. 213-227, 2012.

TROTT, L. A.; ALONGI, D. M. The Impact of Shrimp Pond Effluent on Water Quality and Phytoplankton Biomass in a Tropical Mangrove Estuary. **Marine Pollution Bulletin**, [s.l.], v. 40, n. 11, p. 947-951, nov. 2000. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0025-326x\(00\)00035-7](http://dx.doi.org/10.1016/s0025-326x(00)00035-7).

TUNDISI, José Galizia; TUNDISI, Takako Matsumura. **Limnologia**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

VALENTIN, Jean Louis. **Ecologia Numérica: uma introdução à análise multivariada de dados ecológicos**. Rio de Janeiro: Interciência, 2000. 117 p.

VALENTIN, Jean Louis; MUELBERT, José Henrique. Ambientes Marinhos. In: CASTELLO, Jorge P.; KRUG, Luiz C. (Org.). **Introdução às Ciências do Mar**. Pelotas: Textos, 2015. Cap. 12. p. 314-381.

VARELLA, Carlos Alberto Alves. **Análise dos componentes principais**. Seropédica: Pós-graduação em Agronomia; Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2008. 12 p.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 2005. 452 p.

WETZEL, Robert G.; LIKENS, Gene E. **Limnological Analyses**. 3. ed. New York: Springer, 2000. 429 p.