



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

**MARIANY SOUSA CAVALCANTE**

**COMPORTAMENTO GEOQUÍMICO DO CARBONO DISSOLVIDO SOB  
DIFERENTES CONDIÇÕES DE MARÉ NO ESTUÁRIO DO RIO JAGUARIBE**

**FORTALEZA**

**2013**

**MARIANY SOUSA CAVALCANTE**

**COMPORTAMENTO GEOQUÍMICO DO CARBONO DISSOLVIDO SOB  
DIFERENTES CONDIÇÕES DE MARÉ NO ESTUÁRIO DO RIO JAGUARIBE**

**Monografia apresentada ao Curso de Oceanografia do Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR) da Universidade Federal do Ceará como requisito parcial de obtenção do Título de Bacharel em Oceanografia.**

**Orientadora: Prof. Dra. Rozane Valente Marins**

**Co-orientadora: Msc. Roseline Freire Torres**

**FORTALEZA**

**2013**

**MARIANY SOUSA CAVALCANTE**

**COMPORTAMENTO GEOQUÍMICO DO CARBONO DISSOLVIDO SOB  
DIFERENTES CONDIÇÕES DE MARÉ NO ESTUÁRIO DO RIO JAGUARIBE**

**Monografia apresentada ao Curso de Oceanografia, da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial de obtenção do Título de Bacharel em Oceanografia.**

**Aprovada em: \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_.**

**BANCA EXAMINADORA**

---

**Dra. Nathalie Lefèvre  
(IRD - França)**

---

**Prof. Dr. Francisco José da Silva Dias  
Universidade Federal do Maranhão (UFMA)**

---

**Prof. Msc. Roseline Freire Torres  
Universidade Federal do Ceará (UFC)**

A Deus e a minha família

Marcos, Luciene, Lucas, Priscila e Breno.

## AGRADECIMENTOS

A Deus por tudo o que Ele é para mim e por provar, todos os dias, que o seu amor e a sua misericórdia se renovam a cada manhã, cumprindo o que está escrito em Pv. 19. 21, “muitos propósitos há no coração do homem, mas o desígnio de Deus permanecerá.”

A toda a minha família pelo amor, carinho e apoio em todos os momentos. Aos meus irmãos, Lucas e Priscila, e ao Breninho, o príncipe da titia, e ao Bruno pelo companheirismo, amor e alegria. Ao Serugue pela compreensão, incentivo e por me amar. Ao meu tão admirado e querido pai, Marcos que, como em relação a tudo o que é essencial, sempre se esforçou para me dar do melhor possível, começando pela educação.

À Prof. Dra. Rozane Valente Marins pela orientação e compartilhamento de conhecimento, que juntamente com ao Prof. Dr. Drude concederam-me a oportunidade de desenvolver meu trabalho no Laboratório de Biogeoquímica.

Ao Prof. Dr. Francisco José da Silva Dias (Franzé) pela amizade, ensinamentos e ajuda substancial na elaboração das figuras e nos campos.

Ao CNPq pelo fomento deste trabalho através do projeto INCT-TMCO (Processo: 553.601/2008-9).

Aos meus amigos do LBC, Júnior, Izabel, Breno, Talita, Isabelle, Roseline, Fernanda, Andréa, Caio, Regina, Janaína, Tiago, Karen, Ingra, Edvar, Moisés, Beatriz, Victor, Pedro e Natasha, por estarem sempre disponíveis para esclarecer dúvidas e ensinar algo novo. Especialmente à Talita, Belle, Rose e Bel, pela orientação na realização das análises, e ao Caio, Fernanda, Bia, Vitinho, Pedro e Thiago, por me ajudarem bastante na preparação e/ou execução dos campos. E, é claro, a todos por fazer os meus dias mais divertidos e felizes, mesmo quando eu saio dos rachas com a barriga doendo de tanto rir e com a canela quebrada.

Muito obrigada aos meus amigos da minha turma de Oceanografia por estarem comigo nesses quatro anos tão intensos com aquele pensamento positivo de “no final vai dar tudo certo”, pela amizade e troca de conhecimentos. A todos os meus amigos da Igreja por estarem sempre comigo, pelos momentos cômicos e tristes que passamos, pelas experiências compartilhadas, pela saudade que a ausência de alguns de vocês me faz sentir e por serem meus irmãos.

... Amo vocês.

## RESUMO

Uma importante etapa do Ciclo Global do Carbono é o transporte desse elemento na sua forma dissolvida dos rios para o mar devido a sua capacidade de influenciar a dinâmica dos ecossistemas aquáticos. Contudo, antes desse material chegar ao seu destino, ele sofre transformações biogeoquímicas ou ainda influência da hidrodinâmica no ambiente estuarino.

Foi realizado um estudo concernente à variação espacial e temporal do carbono dissolvido total (CDT), carbono inorgânico dissolvido (CID), carbono orgânico dissolvido (COD) e hidroquímica no estuário do rio Jaguaribe sob diferentes condições de maré (vazante/enchente) no período chuvoso e em maré de sizígia.

Os teores de COD encontrados neste trabalho variaram de 0,14 a 14,73 mg/L, os de CID de 22,3 a 44,26 mg/L e os de CDT de 28,11 a 57,59 mg/L. O teores de COD, CID e CDT apresentaram comportamento não conservativo nas duas condições de maré.

O comportamento do COD, ao longo do estuário, sugere que ele esteja sendo exportado na maré vazante e represado na maré enchente. As elevadas concentrações de COD encontradas neste estuário podem ser oriundas da lixiviação dos sedimentos de mangue, da emissão antrópica e da atividade fitoplânctônica.

Os valores de CID foram bastantes elevados devido à grande influência das águas marinhas. Foi observada uma retenção de CID na região entre a cidade de Fortim e ao Norte da Ilha do Mel na maré vazante e, um gradiente decrescente em direção ao mar das concentrações de CID na maré enchente. O comportamento do CDT foi similar ao do CID na maré enchente, contudo ocorreu exportação de CDT na maré vazante.

Na amostragem temporal o CDT, COD e CID apresentaram comportamento não conservativo. A variação do COD mostrou-se mais relacionada à intensidade de insolação do que à variação de maré, provavelmente devido ao aumento da atividade fitoplanctônica.

**Palavras-chave:** Carbono, marés, estuário e rio Jaguaribe.

## ABSTRACT

Dissolved carbon transport from rivers to ocean is a key step in the global carbon cycle, since this C species has a strong effect on aquatic ecosystems dynamics. Before reaching the ocean, dissolved carbon can suffer biogeochemical transformations under the influence of the estuarine environment, which respond to seasonal and tidal changes.

This study shows the spatial and temporal variability of total dissolved carbon (TDC), dissolved inorganic carbon (DIC) dissolved organic carbon (DOC) and the hydrochemistry of the Jaguaribe river estuary, under different tidal conditions (ebb/flood) during the rainy season and spring tide.

DOC concentrations varied from 0.14 to 14.73 mg/L, whereas DIC from 22.3 to 44.26 mg/L and TDC from 28.11 to 57.59 mg/L. all dissolved carbon species presented a non-conservative behavior along the estuary, both during ebb and flood tide. The spatial distribution of DOC along the estuary suggests exportation during ebb tide and accumulation within the estuary during flood tide. The relatively high DOC concentrations found in the Jaguaribe estuary can be associated with leaching of mangrove sediments, anthropogenic emissions and phytoplankton activity.

The high DIC observed are due to the large influence of seawater intrusion under the dominant semiarid conditions of the region. Retention of DIC was observed between the Fortim and Ilha do Mel stations during ebb tide and a seaward decrease during flood period. TDC behavior was similar to that of DIC, although some exportation of TDC occurred during the ebb tide.

Diurnal variability of all dissolved carbon species was non-conservative, varying according to insolation, probably resulting from phytoplankton activity.

**Keywords:** Carbon, tides, Jaguaribe estuary.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Variação dos tamanhos da matéria orgânica particulada e dissolvida e dos compostos de carbono em águas naturais. AA, aminoácidos; CHO, carboidratos; AF, ácidos graxos; HC, hidrocarbonetos; AH, ácidos hidrofílicos; MOPF, matéria orgânica particulada fina; MOPMF, matéria orgânica particulada muito fina; MOPG, matéria orgânica particulada grossa. ....	17
Figura 2 - Relação entre pH e percentual de CO <sub>2</sub> e suas formas carbonatadas.....	18
Figura 3 – Possíveis fontes, destinos e transformações do COD no ambiente estuarino.....	20
Figura 4 - Linha de costa do Ceará e bacia de drenagem do rio Jaguaribe.....	24
Figura 5 - Mapa de localização das fazendas de camarão licenciadas na bacia do estuário do rio Jaguaribe.....	25
Figura 6 - Mapa de localização das fazendas de camarão licenciadas na bacia do estuário do rio Jaguaribe.....	26
Figura 7 - Mapa de localização das estações de amostragem. ....	30
Figura 8 - Sonda multiparamétrica portátil Horiba Modelo U-10.....	31
Figura 9 - CTD (Compact CTD-JFE) .....	31
FIGURA 10 - Analisador de carbono dissolvido, HIPERTO C Analyser.....	32
FIGURA 11 - Método para a análise de CDT.....	33
FIGURA 12 - Método UV - Persulfato, para análise de CDT.....	34
Figura 13 - Distribuição espacial da salinidade ao longo do canal estuarino do rio Jaguaribe na maré vazante. ....	37

Figura 14 - Distribuição espacial da salinidade ao longo do canal estuarino do rio Jaguaribe na maré enchente.....	37
Figura 15 - Distribuição espacial do cod ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) ao longo do canal estuarino do rio Jaguaribe na maré vazante.....	44
Figura 16 - Distribuição espacial do cod ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) ao longo do canal estuarino do rio Jaguaribe na maré enchente.....	44
Figura 17 - Distribuição espacial do cid ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) no estuário do rio Jaguaribe na maré vazante.....	50
Figura 18 - Distribuição espacial do cid ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) no estuário do rio Jaguaribe na maré enchente.....	50
Figura 19- Distribuição espacial do CDT ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) no estuário do rio Jaguaribe na maré vazante.....	53
Figura 20 - Distribuição espacial do cdt ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) no estuário do rio Jaguaribe na maré enchente.....	53

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros hidroquímicos ao longo do canal estuarino do rio Jaguaribe durante a maré vazante. ....	36
Tabela 2 - Parâmetros hidroquímicos ao longo do canal estuarino do rio Jaguaribe durante a maré enchente. ....	37
Tabela 3 - Correlações das variáveis hidroquímicas e das concentrações de COD, CID E CDT durante a maré vazante no estuário do rio Jaguaribe (n = 13; $\alpha = 0,05$ ). .....	38
Tabela 4 - Correlações das variáveis hidroquímicas e das concentrações de COD, CID E CDT durante a maré enchente no estuário do rio Jaguaribe (n = 15; $\alpha = 0,05$ ). .....	39
Tabela 5 - Concentração de COD, em $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , em cada estação de amostragem durante a maré vazante e enchente ao longo do estuário do rio Jaguaribe.....	43
Tabela 6 - Concentração de CID, em $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , em cada estação de amostragem durante a maré vazante e enchente ao longo do estuário do rio Jaguaribe.....	438
Tabela 7 - Concentração de CTD, em $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , em cada estação de amostragem durante a maré vazante e enchente ao longo do estuário do rio Jaguaribe.....	51
Tabela 8 - Variações do pH e da salinidade durante um ciclo de maré. ....	56
Tabela 9 - Correlações entre salinidade, pH, COD, CID e CDT (n = 10; $\alpha = 0,05$ ). ..	59

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Correlação entre a condutividade ( $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) e a salinidade ao longo do canal estuarino do rio Jaguaribe durante a maré vazante.....	39
Gráfico 2 - Correlação entre a condutividade ( $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) e a salinidade ao longo do canal estuarino do rio Jaguaribe durante a maré enchente. ....	40
Gráfico 3 - Variação do pH e do OD na maré vazante e na maré enchente. ....	41
Gráfico 4 - Correlação entre o COD e a salinidade ao longo do canal estuarino principal do rio Jaguaribe durante a maré vazante.....	43
Gráfico 5 - Correlação entre o COD e a salinidade ao longo do canal estuarino principal do rio Jaguaribe durante a maré enchente. ....	44
Gráfico 6 - Correlação entre o CIT e a salinidade ao longo do canal estuarino principal.....	49
Gráfico 7 - Correlação entre o CIT e a salinidade ao longo do canal estuarino principal.....	50
Gráfico 8 - Correlação entre o CDT e a salinidade ao longo do canal estuarino principal.....	52
Gráfico 9 - Correlação entre o CDT e a salinidade ao longo do canal estuarino principal.....	52
Gráfico 10 - Percentual de COD e CID em cada estação de amostragem durante a maré vazante.....	54
Gráfico 11 - Percentual de COD e CID em cada estação de amostragem durante a maré enchente. ....	54
Gráfico 12 - Variação da maré dinâmica e salina em um ponto fixo no estuário.....	55

Gráfico 13 - Comportamento da salinidade e do pH durante um ciclo de maré. ....	57
Gráfico14- Correlação entre o COD e a salinidade durante um ciclo de maré.....	58
Gráfico15 - Variação da concentração de COD durante um ciclo de maré.....	58
Gráfico16 - Correlação entre o CID e a salinidade durante um ciclo de maré. ....	59
Gráfico 17 - Variação da concentração de CID durante um ciclo de maré.....	60
Gráfico18 - Correlação entre o CID e a salinidade durante um ciclo de maré. ....	61
Gráfico 19 - Variação da concentração de CDT durante um ciclo de maré. ....	61
Gráfico 20 - Percentual de COD e CID coletado em intervalos de uma hora durante um ciclo de maré em um ponto fixo.....	62

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
<b>1.1 ZONA COSTEIRA</b> .....	<b>15</b>
<b>1.2 O CARBONO NOS ECOSISTEMAS AQUÁTICOS</b> .....	<b>16</b>
<b>1.3 O Carbono dissolvido no Ambiente Estuarino</b> .....	<b>19</b>
<b>1.4 Fatores bióticos e abióticos que influenciam na distribuição do carbono dissolvido no estuário</b> .....	<b>21</b>
<b>2 ÁREA DE ESTUDO</b> .....	<b>24</b>
<b>2.1 Caracterização da região do rio Jaguaribe</b> .....	<b>24</b>
<b>2.2 Caracterização do Estuário do rio Jaguaribe</b> .....	<b>26</b>
<b>3 OBJETIVOS</b> .....	<b>29</b>
<b>3.1 Objetivo geral</b> .....	<b>29</b>
<b>3.2 Objetivos específicos</b> .....	<b>29</b>
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>30</b>
<b>4.1 Amostragem</b> .....	<b>30</b>
<b>4.2 Análise de Carbono Orgânico Dissolvido (COD), Carbono Inorgânico Dissolvido (CID) e Carbono Dissolvido Total (CDT)</b> .....	<b>32</b>
<b>4.3 Tratamento dos dados</b> .....	<b>34</b>
<b>4.3.1 Distribuição espacial da salinidade</b> .....	<b>34</b>
<b>4.3.2 Distribuição espacial de Carbono orgânico, inorgânico e total</b> .....	<b>35</b>
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	<b>36</b>
<b>5.1 Variação espacial dos parâmetros hidroquímicos no estuário do rio Jaguaribe em maré enchente e vazante</b> .....	<b>36</b>
<b>5.1.1 Salinidade</b> .....	<b>36</b>
<b>5.1.2 Condutividade</b> .....	<b>38</b>
<b>5.1.3 pH</b> .....	<b>40</b>
<b>5.1.4 Oxigênio dissolvido (OD)</b> .....	<b>40</b>
<b>5.1.5 Temperatura</b> .....	<b>42</b>
<b>5.2 Distribuição espacial do carbono dissolvido no estuário do rio Jaguaribe na maré vazante e na maré enchente</b> .....	<b>42</b>
<b>5.2.1 Carbono Orgânico Dissolvido (COD)</b> .....	<b>42</b>
<b>5.2.2 Carbono Inorgânico dissolvido (CID)</b> .....	<b>47</b>
<b>5.2.3 Carbono Dissolvido Total (CDT)</b> .....	<b>51</b>

<b>5.3 Variação temporal dos parâmetros hidroquímicos no estuário do rio Jaguaribe durante um ciclo de maré.....</b>	<b>55</b>
<b>5.3.1 Salinidade .....</b>	<b>55</b>
<b>5.3.2 pH .....</b>	<b>56</b>
<b>5.4 Variação temporal das concentrações de carbono dissolvido no estuário do rio Jaguaribe na maré vazante e na maré enchente.....</b>	<b>57</b>
<b>5.4.1 Carbono Orgânico Dissolvido (COD).....</b>	<b>57</b>
<b>5.4.2 Carbono Inorgânico Dissolvido (CID).....</b>	<b>59</b>
<b>5.4.3 Carbono Dissolvido Total (CDT) .....</b>	<b>60</b>
<b>6 CONCLUSÕES .....</b>	<b>63</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>64</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Zona Costeira

A zona costeira (ZC) é a zona de transição entre o domínio terrestre e o domínio marinho na Terra. A interação entre esses domínios caracterizam a zona costeira como um conjunto de ecossistemas únicos com elevada concentração de energia, sedimentos e nutrientes, que favorecem a produtividade biológica e a diversidade de habitats e espécies (CROSSLAND *et al.*, 2005).

A ZC do Ceará possui uma linha de costa de 573 km, apresentando uma paisagem composta principalmente de praias arenosas, campos de dunas, estuários com manguezais, lagoas costeiras, falésias e tabuleiros. Apesar da região costeira representar apenas 14,38% do estado do Ceará, abriga 48,9% da população residente (IBGE, 2004).

No final do século XIX, este ambiente tornou-se foco da ocupação humana e do desenvolvimento econômico, visto que a abundância e a diversidade de seus recursos naturais deram suporte ao desenvolvimento de várias atividades econômicas levando, conseqüentemente, à concentração populacional (MIRANDA; CASTRO; KJERFVE, 2002).

Os principais vetores de degradação da zona costeira são a urbanização, a pesca, o turismo, a mineração, a aquicultura, a indústria, a agricultura e o extrativismo vegetal (AQUASIS, 2003).

Dentro dos domínios da ZC encontra-se o estuário. Segundo Cameron e Pritchard (1963), estuário é um corpo de água costeiro semifechado, com uma conexão livre com o oceano aberto, onde a água do mar é diluída pela água doce proveniente da bacia de drenagem continental.

Os estuários desempenham um importante papel ecológico, pois são ambientes utilizados por muitos organismos marinhos como berçários, abrigo, locais de reprodução e de alimentação.

Além disso, são umas das mais produtivas áreas na zona costeira. A produção primária é geralmente uma ordem de magnitude maior nos estuários do que no oceano aberto, visto que recebem nutrientes alóctones (HUNG; HUANG, 2005). Esses nutrientes passam por vários processos biogeoquímicos no estuário,

devido a grande variação das características físico-químicas nesse ambiente, que controlam a distribuição, o fluxo e o destino deles (FLYNN, 2008).

Juntamente com substâncias naturais também são transportados poluentes, que podem causar a degradação da qualidade da água podendo afetar a biota e a qualidade dos recursos pesqueiros, representando assim uma ameaça para a saúde pública (MIRANDA; CASTRO; KJERFVE, 2002).

Os estuários possuem um tempo de vida curto na escala geológica, pois sua geomorfologia e suas características ambientais são alteradas continuamente pelo regime hidrológico, erosão e pela deposição de sedimentos. Em virtude dos impactos causados ao meio ambiente pelas mudanças climáticas globais, ocorridas ao longo dos últimos milênios. (MIRANDA; CASTRO; KJERFVE, 2002).

## **1.2 O Carbono nos ecossistemas aquáticos**

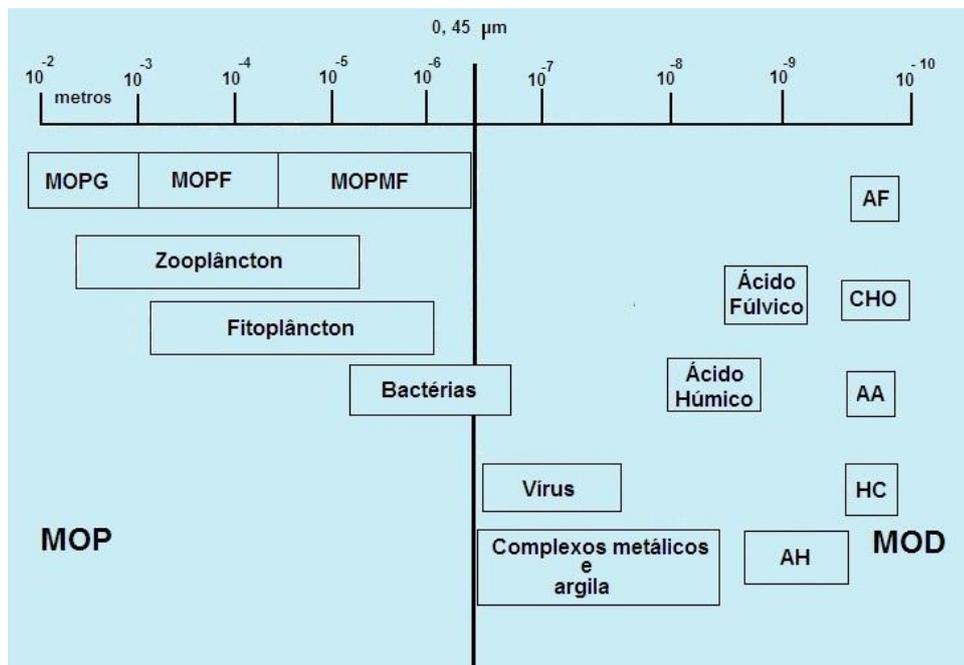
O carbono é o macronutriente mais abundante nos organismos aquáticos e o principal elemento biogênico transportado e encontrado nos rios, estuários e outros ecossistemas aquáticos. Convencionalmente, o termo carbono total (CT) refere-se à soma das frações de carbono orgânico total (COT) e carbono inorgânico total (CIT). O COT, por sua vez, é a soma do carbono orgânico particulado (COP) e do carbono orgânico dissolvido (COD) e o CIT do carbono inorgânico particulado (CIP) e do carbono inorgânico dissolvido (CID).

Nos ambientes aquáticos, o carbono é encontrado na forma de carbono inorgânico dissolvido (CID), carbono orgânico dissolvido (COD) e carbono orgânico particulado (COP) (DEGENS; ITTEKKOT, 1987). O carbono orgânico dissolvido e o particulado são diferenciados um do outro pelo tamanho de suas partículas. O material particulado corresponde à fração retida no filtro de fibra de vidro GF/F com porosidade de 0,45 $\mu$ m e o que o atravessa corresponde à fração dissolvida (EATHERALL; NADEN; COOPER, 1997) (Figura 1).

O COD abrange um amplo grupo de biomoléculas onde estão inseridos os açúcares, as proteínas, os aminoácidos, os lipídios, os ácidos carboxílicos e os compostos húmicos, dentre outros, oriundos da decomposição biológica e da excreção dos organismos. O carbono orgânico coloidal também se encontra neste grupo devido à dificuldade em separá-lo do COD pela filtração (ESTEVES, 1998).

O COD é a forma química mais abundante e lábil (biodisponível) da matéria orgânica, possuindo a capacidade de influenciar de diversas formas a dinâmica dos ecossistemas aquáticos, sendo fonte primária de energia na cadeia alimentar; um complexador, que pode causar a deposição ou a biodisponibilização de metais importantes para a produção primária, como o cálcio, e de metais nocivos à biota, como o mercúrio; pode ainda ser agente de interferência na fotossíntese dos organismos aquáticos através das alterações quantitativas e qualitativas da radiação na coluna d'água e é um componente fundamental para o crescimento de algas e bactérias. Assim, a importância da fração COD é de alta relevância ecológica (ESTEVES, 1998; FINDLAY; SINSABAUGH, 2003).

Figura 1 - Variação dos tamanhos da matéria orgânica particulada e dissolvida e dos compostos de carbono em águas naturais. AA, aminoácidos; CHO, carboidratos; AF, ácidos graxos; HC, hidrocarbonetos; AH, ácidos hidrofílicos; MOPF, matéria orgânica particulada fina; MOPMF, matéria orgânica particulada muito fina; MOPG, matéria orgânica particulada grossa.

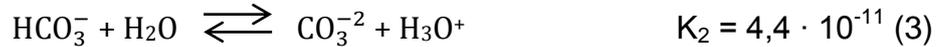
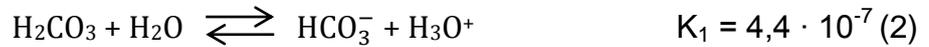


Fonte: Figura adaptada de Eatherall, Naden e Cooper (1997).

O CID no ambiente estuarino encontra-se na forma de  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{HCO}_3^-$  e  $\text{CO}_3^{2-}$ . No meio aquoso, o  $\text{CO}_2$  se comporta como uma base fraca, logo segundo o conceito ácido-base de Bronsted-Lowry, possui tendência de receber prótons da água formando um ácido fraco, o ácido carbônico (ANDREWS *et al.*, 2010) (Equação 1).

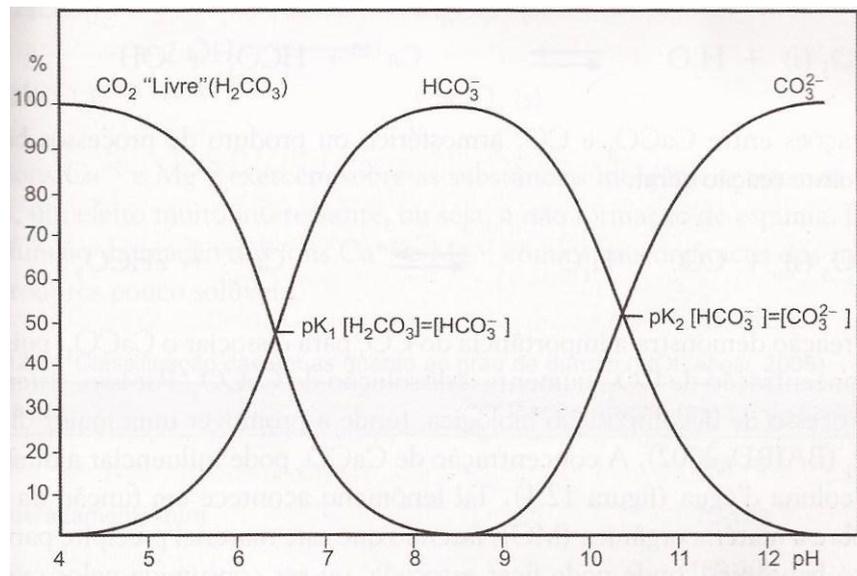


Como ácido fraco, o  $\text{H}_2\text{CO}_3$  sofre dissociações (Equações 2 e 3), dependentes de suas constantes de equilíbrio:



A forma predominante em que o CID se encontra na água depende fortemente do pH do meio (Figura 2). Geralmente, os corpos d'água continentais apresentam valores de pH entre 6 e 8,5 (ESTEVES, 2011) e o ambiente marinho cerca de 8.

Figura 2 - Relação entre pH e percentual de  $\text{CO}_2$  e suas formas carbonatadas.



Fonte: Esteves (2011).

O pH das águas naturais é controlado principalmente pela concentração relativa de  $\text{H}_2\text{CO}_3$ ,  $\text{HCO}_3^-$  e  $\text{CO}_3^{2-}$ , pois essas espécies proporcionam ao meio maior resistência à variações de pH, formando um sistema tampão (ANDREWS *et al.*, 2010).

O COP é composto por detritos de plantas terrestres, fitoplâncton, zooplâncton, bacterioplâncton, virioplâncton, lipídios, esteróis, carboidratos e proteínas dentre outros (BIANCHI; BAUER, 2011). O carbono orgânico na forma particulada é um carreador de muitos elementos químicos e no ciclo marinho e global do carbono é responsável pelo transporte de carbono da superfície para os sedimentos marinhos (TURNEWITSCH *et al.*, 2007).

### 1.3 O Carbono dissolvido no Ambiente Estuarino

O transporte do carbono orgânico total (COT) através dos rios para o oceano tem sido foco de programas de pesquisa como International Geosphere-Biosphere Program (IGBP) e o Land Ocean Interaction in the Coastal Zone (LOICZ) (LOICZ, 1995), pois através dos processos de fotossíntese, de respiração, de decomposição e de fotodegradação do carbono orgânico dissolvido ocorre a liberação de gases do efeito estufa como o  $\text{CO}_2$  e o  $\text{CH}_4$ .

Os estuários são vias desse transporte, e são ambientes bastante dinâmicos e caracterizados por um forte gradiente físico-químico, atrelado às atividades biológicas, que dependendo das condições da maré, descarga fluvial e atmosfera sofrem variações no espaço e no tempo. Logo, o comportamento do carbono introduzido nos estuários depende das propriedades biogeoquímicas do carbono e das características particulares de cada estuário (DAI *et al.*, 2000).

As transformações do carbono entre as formas orgânicas e inorgânicas no ecossistema marinho costeiro estão intrinsecamente ligadas à atividade biológica (GUO *et al.*, 2008; ROWE *et al.*, 1986) e ocorrem através da produção primária ou secundária e da respiração, os quais são os principais processos de armazenagem e transporte de energia nos seres vivos e entre os seres vivos (Figura 3). Tais transformações são reguladas pelas condições físico-químicas dos ambientes, que afetam tanto os processos de transformação como os organismos envolvidos (ESTEVES, 2011).

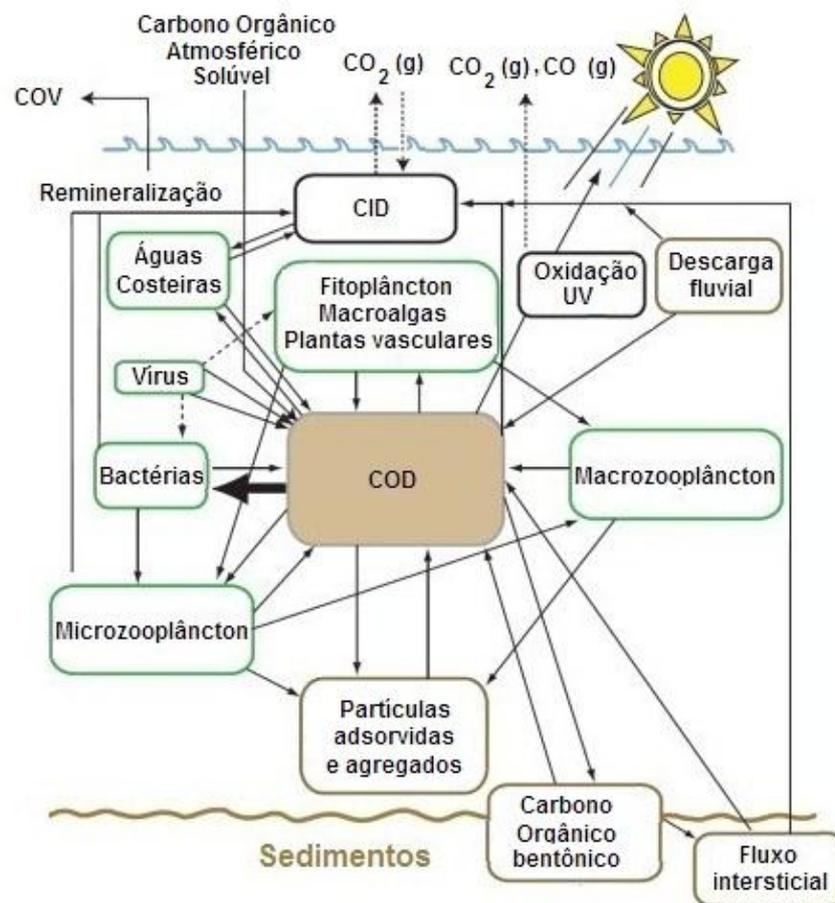
O  $\text{CO}_2$  pode ser oriundo da decomposição da matéria orgânica, da respiração dos organismos, dos fluxos atmosfera-água e sedimento-água, fotodegradação da matéria orgânica e das chuvas. O íon bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ) é predominantemente de origem marinha e o íon carbonato ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) da dissolução das rochas calcárias (ORTEGA *et al.*, 2005).

A fonte de carbono orgânico para o estuário pode ser autóctone (interna) ou alóctone (externa). No estuário, o carbono orgânico de ambas as fontes sofre transformações, as quais afetam significativamente o seu comportamento e o seu fluxo para o oceano (GU; ZHANG; JIANG, 2009).

As fontes autóctones de COD, nos ecossistemas aquáticos, são principalmente as algas e as macrófitas aquáticas, as quais liberam moléculas de

COD através da morte celular e senescência, excreção e predação para o ambiente (FINDLAY; SINSABAUGH, 2003).

Figura 3 – Possíveis fontes, destinos e transformações do COD no ambiente estuarino.



Fonte: Adaptado de Bauer e Bianchi (2011).

As fontes alóctones de COD são a precipitação, lavagem da vegetação, infiltração no horizonte orgânico do solo e dissolução de gases e poeiras da atmosfera (FINDLAY; SINSABAUGH, 2003).

Além dos fatores ambientais, as atividades antrópicas têm acarretado um aumento de carbono orgânico transportado através dos rios e estuários, podendo causar a degradação da qualidade da água (ABRIL *et al.*, 2002; MARKAGER; STEDMON; SØNDERGAARD, 2011).

A agricultura aumenta o aporte de carbono dos rios, pois intensifica a erosão do solo, mobilizando os sedimentos e o carbono associado a eles (SYVITSKI *et al.*, 2005). Pode também aumentar a concentração de carbono orgânico dissolvido

devido ao uso de fertilizantes (HUNG; HUANG, 2005) e diminuir o fluxo fluvial através do uso da água para a irrigação.

A urbanização, a aquicultura e as indústrias elevam as concentrações de carbono orgânico nos rios e, conseqüentemente, no oceano por meio do esgotamento sanitário, dos restos de ração e dos dejetos, e dos efluentes industriais, respectivamente (ABRIL *et al.*, 2002).

#### **1.4 Fatores bióticos e abióticos que influenciam na distribuição do carbono dissolvido no estuário**

É estimado que  $0,4 \times 10^{15}$  g·ano<sup>-1</sup> de carbono orgânico total (COT) são transportados através dos rios do mundo para o oceano (MEYBECK, 1982). A principal fração de COT transportado pelos rios é o COD, que corresponde a  $0,25 \times 10^{15}$  g/ano. Sendo os  $0,15 \times 10^{15}$  g·ano<sup>-1</sup> restantes referentes ao COP (HEDGES; KEIL; BENNER, 1997). Entretanto, antes de chegar ao seu destino, esse material sofre transformações biogeoquímicas e/ou influência da hidrodinâmica no ambiente estuarino (ABRIL *et al.*, 2002).

Cada estuário é um ambiente único, pois cada um possui características próprias, logo não há um comportamento padrão do carbono orgânico e inorgânico dissolvido em relação à salinidade para todos os estuários. Existem estuários em que o carbono orgânico e/ou inorgânico dissolvido mostram comportamento conservativo (ABRIL *et al.*, 2002; FISHER; HAGY; ROCHELLE-NEWALL, 1998; HUNG; HUANG, 2005; PETERSON *et al.*, 1994; RALISON *et al.*, 2008) e em outros comportamento não conservativo (ABRIL *et al.*, 2002; FLYNN, 2008; HE *et al.*, 2010; MACHADO *et al.*, 2010; RALISON *et al.*, 2008). Entretanto, quando o carbono orgânico dissolvido é conservativo não significa que ele não sofreu transformações, mas que houve um equilíbrio entre produção e consumo do mesmo (BOUILLON *et al.*, 2006).

As variáveis hidroquímicas são reguladoras dos processos de ciclagem do carbono realizados pela atividade biológica e, conseqüentemente, do comportamento deste elemento no estuário. A temperatura e a salinidade são os principais agentes que afetam os processos metabólicos dos organismos autótrofos e heterótrofos, agindo como um fator limitante à reprodução, ao crescimento e à distribuição de organismos (PEREIRA; SOARES-GOMES, 2009).

A luminosidade é um dos fatores mais importantes para a produtividade primária, no período do dia em que a disponibilidade de luz é maior, geralmente, a taxa de fotossíntese supera a de respiração, logo há um aumento da concentração de oxigênio dissolvido (OD) e do pH da água devido à produção de  $O_2$  e remoção de  $CO_2$  dissolvido, respectivamente, pelo processo de fotossíntese. Quando a disponibilidade de luz é insuficiente para sustentar a atividade fotossintética, a respiração sobrepõem-se à fotossíntese diminuindo a concentração de OD e o pH da água por meio do consumo de  $O_2$  e produção de  $CO_2$ , respectivamente, através da respiração (ESTEVES, 2011).

Um importante processo na mineralização do COD nos ecossistemas aquáticos tropicais é a fotodegradação, mecanismo através do qual a absorção dos raios solares pela matéria orgânica causa a sua oxidação (BAUER; BIANCHI, 2011).

A lixiviação dos solos e a descarga fluvial transportam, através da bacia de drenagem, nutrientes para o estuário, quanto maior a disponibilidade de nutrientes na coluna d'água maior é a taxa de produção, ao mesmo tempo em que concentrações muito elevadas de nutrientes modificam as características físicas dos corpos d'água, podendo diminuir a penetração da luz e, conseqüentemente, prejudicando o processo de produção (ESTEVES, 2011).

A entrada da maré no ambiente estuarino causa um aumento nos níveis de OD, através do processo de turbulência gerado pelo encontro de massas d'água distintas. A disponibilidade de oxigênio na coluna d'água favorece o processo de oxidação da matéria orgânica, produzindo o dióxido de carbono e água, além de gerar um aumento do pH e da alcalinidade nas águas estuarinas. O aumento do pH favorece a floculação da matéria orgânica oriunda dos rios e aumenta a alcalinidade por favorecer a presença do carbono inorgânico na forma de  $HCO_3^-$  (Figura 2).

Por outro lado, a entrada da maré no estuário pode ocasionar a ressuspensão dos sedimentos e desta forma promover mecanismos de adsorção ou desorção de substâncias no material particulado em suspensão dependendo da salinidade, temperatura, pH, disponibilidade de luz, comprimento de onda, concentração de cátions metálicos, reatividade microbiológica, força iônica e características da matéria orgânica. Pode ocorrer também a mistura da água intersticial, que possui elevada concentração de COD, com a coluna d'água. Esse fluxo do sedimento para a coluna d'água tem se mostrado uma importante fonte

COD para os sistemas costeiros e estuarinos, pois ele representa aproximadamente  $0,09 \times 10^{-15}$  g C/ano, que é similar em magnitude ao fluxo de COD do rio para o mar, que é aproximadamente de  $0,2$  a  $0,4 \times 10^{-15}$  g C/ano (BAUER; BIANCHI, 2011).

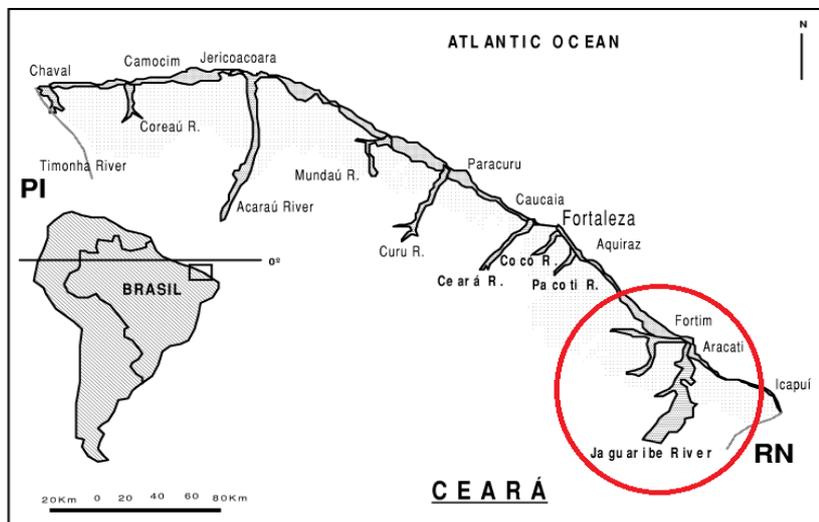
O tempo de residência (TR) se refere ao tempo em que uma substância na forma dissolvida ou particulada fica disponível na coluna d'água do estuário. Quanto maior for o TR dessa substância, mais susceptível ela estará às transformações biogeoquímicas do meio, como a floculação e a atividade bacteriana oxidativa, e quanto menor for o TR mais rapidamente ocorrerá a exportação desse material para a plataforma continental adjacente, sendo menores os processos biogeoquímicos estuarinos atuantes sobre este material. Logo, as características físicas hidrodinâmicas que afetam o TR dos estuários é relevantes para a compreensão dos mecanismos de importação ou exportação do COD no ambiente estuarino.

## 2 ÁREA DE ESTUDO

### 2.1 Caracterização da região do rio Jaguaribe

O rio Jaguaribe (Figura 4) se apresenta como o maior curso d'água do Estado do Ceará possuindo 633 km de extensão e drenando uma área total de 72.043km<sup>2</sup>, que representa quase a metade do estado (MARINS *et al.*, 2002).

Figura 4 - Linha de costa do Ceará e bacia de drenagem do Rio Jaguaribe.



Fonte: Marins *et al.* (2002).

A vegetação da Caatinga coloniza a maior extensão da bacia hidrográfica do rio Jaguaribe. Conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006), de forma geral, o solo colonizado por essa vegetação é raso, rico em minerais, mas pobre em matéria orgânica, já que a decomposição desta matéria é prejudicada pelo calor e a luminosidade, intensos durante todo o ano na caatinga. Na Bacia do Baixo Jaguaribe, os teores de carbono variam de 1,22 a 36,93 mg/Kg (OLIVEIRA; MARINS, 2011).

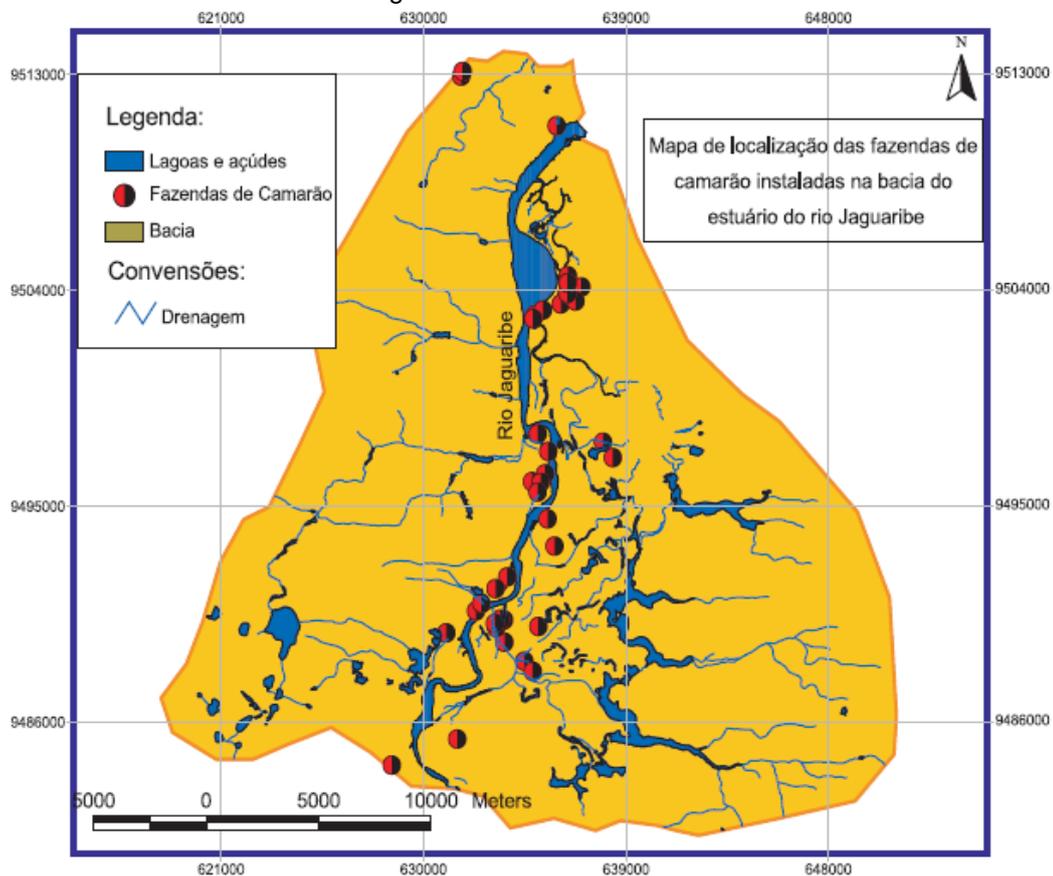
O rio Jaguaribe abastece cerca de 80 municípios do Estado do Ceará e outros três no Estado de Pernambuco. Aproximadamente 29,7% da população cearense residem na área da bacia, considerando que a maior parte da população está distribuída nos centros urbanos (53,6%).

O saneamento básico ainda possui uma infra-estrutura bastante deficitária, visto que 67,5% dos domicílios inseridos na região da bacia não possuem

canalização interna para o abastecimento de água. A disposição do lixo é inadequada, sendo a maior parte jogada em terrenos baldios, rios, lagos e mar. E o sistema de esgotamento sanitário é muito deficitário devido haver muitas residências sem qualquer tipo de escoadouro e instalações sanitárias (GATTO, 1999).

As principais atividades econômicas desenvolvidas são o turismo, a agricultura, a fruticultura e a carcinicultura. Desde 1906, centenas de barragens e reservatórios foram construídos, ao longo do rio, para o abastecimento humano. Os pequenos reservatórios acumulam apenas cerca de 20% da água represada, enquanto os maiores, que correspondem a menos de 1% dos reservatórios existentes na bacia, acumulam aproximadamente 70% de água (MARINS *et al.*, 2002). Marins *et al.* (2002) sugerem que a redução na descarga fluvial média anual está associada à construção de barragens e açudes, utilização da água na carcinicultura (Figura 5), abastecimento e decréscimo de chuvas na região nos últimos 40 anos.

Figura 5. Mapa de localização das fazendas de camarão licenciadas na bacia do estuário do rio Jaguaribe.

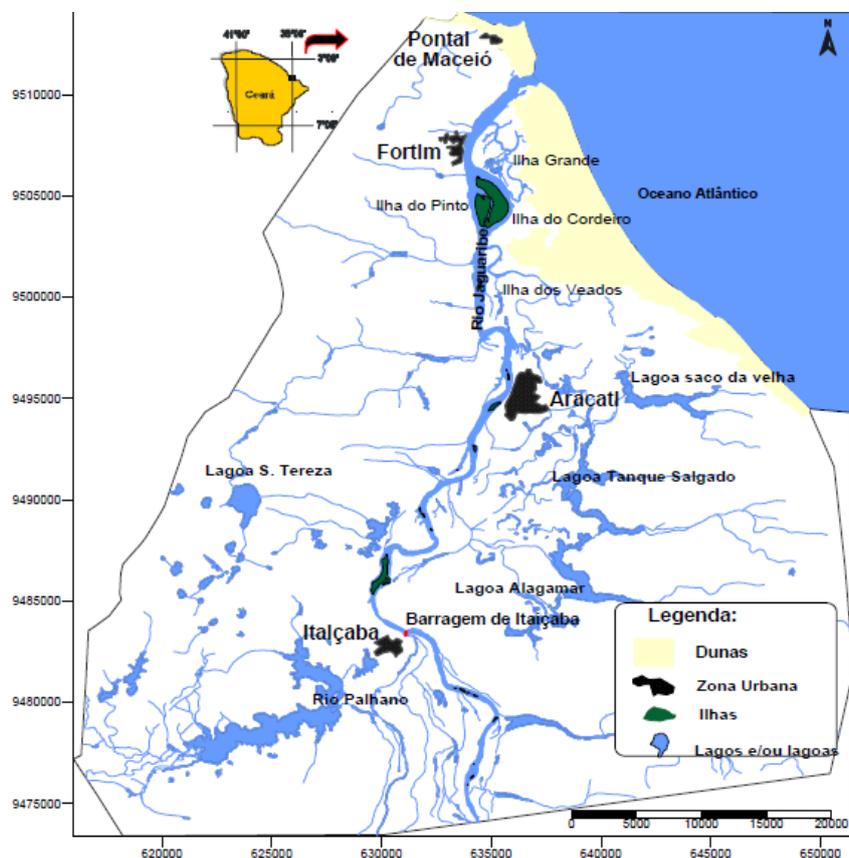


Fonte: Paula, Morais e Pinheiro(2006).

## 2.2 Caracterização do Estuário do rio Jaguaribe

O estuário do rio Jaguaribe está localizado entre o município de Fortim e a barragem de Itaiçaba (Figura 6), a cerca de 34 km de sua desembocadura. A divisão do estuário em três regiões tem sido mostrada possível através da avaliação de parâmetros hidroquímicos e na quantidade de material particulado em suspensão. Assim, Dias (2005), baseado nos critérios de Miranda, Castro e Kjørfove (2002), subdividiu o estuário em zona de maré do rio (ZR), caracterizada pela predominância dos processos da dinâmica fluvial, tendo como limite a cidade de Aracati; zona de mistura (ZM) marcada pelos processos de mistura das águas fluviais e marinhas; e zona costeira (ZC), com características de ambiente marinho e limites indo da barra na cidade de Fortim até o oceano. Entretanto, estudos posteriores realizados mostram que estas zonas podem apresentar variações a depender do regime pluviométrico que influencia a Bacia (DIAS, 2007).

Figura 6 - Mapa de localização das fazendas de camarão licenciadas na bacia do estuário do rio Jaguaribe.



Fonte: Paula, Morais e Pinheiro(2006).

No entorno do estuário há aproximadamente 11,64km<sup>2</sup> de floresta perenifólia padulosa marítima, o mangue, se apresentando como um importante provedor de nutrientes e carbono orgânico para águas costeiras (MONTEIRO, 2005; SURATMAN, 2008).

Godoy (2011) estudando o crescimento das áreas de mangue nessa região associou o incremento dessas áreas devido à formação de ilhas de deposição de sedimentos provocada pelas mudanças nos usos do solo que ocorreram dentro da bacia hidrográfica. Ainda nesse trabalho o autor reporta a correlação entre a matéria orgânica e os sedimentos depositados naquelas regiões sugerindo mesma fonte de origem.

Esse estuário é caracterizado como do tipo bem misturado e sem gradientes no perfil de estratificação salina e/ou térmica significantes (MARINS; DIAS, 2003). O mesmo apresenta marés do tipo semi-diurna, com período médio de onda de maré de 12h50min.

A dinâmica estuarina está fortemente atrelada à descarga fluvial e ao gradiente de salinidade, assim como os processos de transporte e mistura. Como consequência da açudagem, esse estuário apresenta elevada salinidade (MARINS *et al.*, 2003) e alteração na vazão estuarina durante vários períodos do anos (DIAS, 2007).

Dias (2007) reportou vazões na interface ZR/ZM do rio Jaguaribe em fevereiro/2006 e junho/2006 de 1 a 188,6 m<sup>3</sup>/s e 2 a 351m<sup>3</sup>/s. A vazão, juntamente com o percentual de água doce, regulam o tempo de residência (TR) no estuário do rio Jaguaribe, o qual variou, nos mesmos períodos, de 2 horas a 13 dias com percentual de água doce de 14,7% e 95 % respectivamente (DIAS *et al.*, 2007).

Dias (2007) em um estudo anterior sobre o fluxo de material particulado em suspensão (MPS), realizado na região, sugere uma predominância da fração orgânica e uma provável origem aquagênica da mesma, fato justificado pelo elevado tempo de residência (TR) das águas estuarinas e da sua dependência das marés.

Soares (2011) verificou que o comportamento de COD no estuário do rio Jaguaribe é conservativo, com um decréscimo linear do COD em função da salinidade devido à sua diluição, pelas águas marinhas, e possivelmente à flocculação. Assim como Zocatelli *et al.* (2007) encontraram menores concentrações de COD, no estuário, nos pontos mais próximos ao mar e que havia diferentes

fontes, como a ração das carcinicultura, os efluentes domésticos e lixiviação dos solos, dentro do canal estuarino.

Visto a importância do COD para o ambiente estuarino e as alterações causadas pela açudagem sobre a hidrodinâmica estuarina, com a consequente criação de novas áreas de deposição sedimentar cobertas por mangue, espera-se que o padrão de exportação/importação de carbono esteja sendo modificado. Entretanto, há pouca expressividade de trabalhos realizados nesse local concernente a esse assunto, o que torna necessário o desenvolvimento de mais estudos relacionados ao comportamento e a dinâmica do carbono dissolvido nesse estuário.

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo geral**

Esse trabalho tem por objetivo estudar a dinâmica do transporte do Carbono Dissolvido sob diferentes condições de maré no Estuário do rio Jaguaribe.

#### **3.2 Objetivos específicos**

- Determinar dos teores de carbono dissolvido total (CDT), carbono orgânico dissolvido (COD) e carbono inorgânico dissolvido (CID) na água ao longo do canal principal do estuário sob diferentes condições de maré;
- Avaliar o comportamento geoquímico do carbono dissolvido total (CDT), carbono orgânico dissolvido (COD) e carbono inorgânico dissolvido (CID) ao longo do gradiente de salinidade;
- Avaliar o comportamento geoquímico do carbono dissolvido total (CDT), carbono orgânico dissolvido (COD) e carbono inorgânico dissolvido (CID) ao longo de um ciclo de maré;
- Comparar os resultados deste trabalho a outros obtidos na região para a compreensão preliminar do ciclo biogeoquímico de carbono em estuário do semiárido e verificar se existe um padrão destino para a região do semiárido.

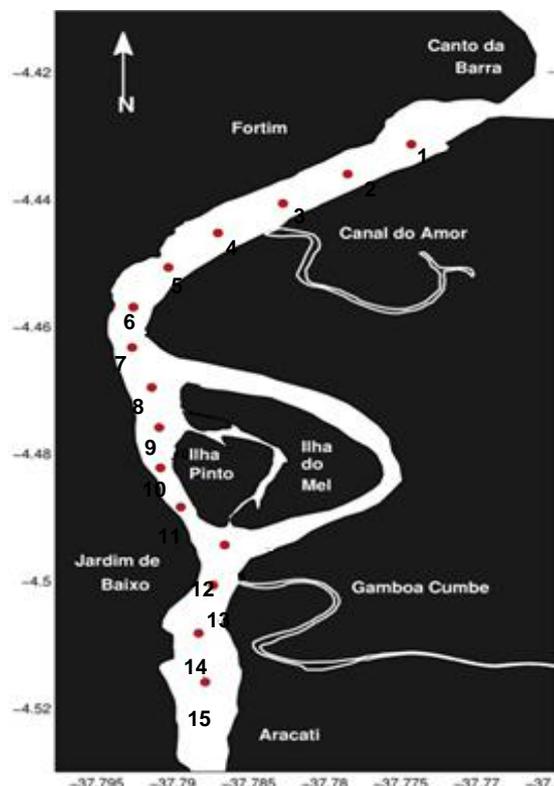
## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Amostragem

Foi realizada uma campanha no estuário do rio Jaguaribe no ano de 2012 durante o período chuvoso (3 e 4 de maio) e em maré de sizígia, onde foram feitas dois tipos de amostragens, uma lagrangeana (espacial) e uma euleriana (temporal).

Na amostragem lagrangeana, a coleta de água de subsuperfície e a determinação das variáveis hidroquímicas foram feitas em 15 estações de amostragem (Figura 7), com distância de 1,0 km entre elas, ao longo do canal principal estuarino na maré enchente e nas 13 primeiras estações na maré vazante. A amostragem foi feita no sentido foz-rio, pois as águas marinhas normalmente possuem menores concentrações de carbono dissolvido, evitando a contaminação na amostragem de água.

Figura 7 - Mapa de localização das estações de amostragem.



Fonte: dados deste trabalho

Na amostragem euleriana, a coleta de água de subsfície e a medição dos parâmetros hidroquímicos foram feitas a cada uma hora no intervalo de tempo de 13 horas em um ponto fixo, a estação 13, no canal principal do estuário. Foi fundeado um marégrafo nessa estação, para a coleta de dados de maré. A estação 13 foi escolhida por estar situada na zona de mistura (Dias, 2005), região com intenso gradiente físico-químico, que favorece a mudança de compartimento geoquímico do carbono.

A amostragem de água em cada um dos pontos foi feita em duplicata, totalizando 82 amostras, e realizada através de uma garrafa de Van Dorn. O conteúdo desta foi posteriormente transferido para uma garrafa âmbar de vidro, de 120 ml, devidamente etiquetada para a análise de carbono orgânico dissolvido (COD), carbono inorgânico dissolvido (CID) e carbono dissolvido total (CDT).

Ainda em campo, as amostras de água foram filtradas com filtros de fibra de vidro GF/F Whatman, previamente calcinados e pesados, com 0,45  $\mu\text{m}$  de porosidade para separação das fases dissolvida e particulada. O volume filtrado foi armazenado em garrafas de vidro âmbar e mantido em gelo até a chegada ao Laboratório de Biogeoquímica Costeira - UFC para posterior análise.

As variáveis temperatura, oxigênio dissolvido e pH foram medidos através da sonda multiparamétrica portátil Horiba Modelo U-10 (Figura 8) e pelo pHmetro portátil Methrom e a salinidade, condutividade e clorofila a através do CTD (Compact CTD-JFE) em cada ponto de amostragem (Figura 9).

Figura 8 - Sonda multiparamétrica portátil Horiba Modelo U-10.



Figura 9 - CTD (Compact CTD-JFE)



## 4.2 Análise de Carbono Orgânico Dissolvido (COD), Carbono Inorgânico Dissolvido (CID) e Carbono Dissolvido Total (CDT)

As amostras de água foram armazenadas a - 4°C até o dia de análise em laboratório pelo equipamento da Thermo Scientific, HiperTOC Analyser (Figura 10) equipado com um amostrador automático.

Figura 10 - Analisador de carbono dissolvido, HiperTOC Analyser.

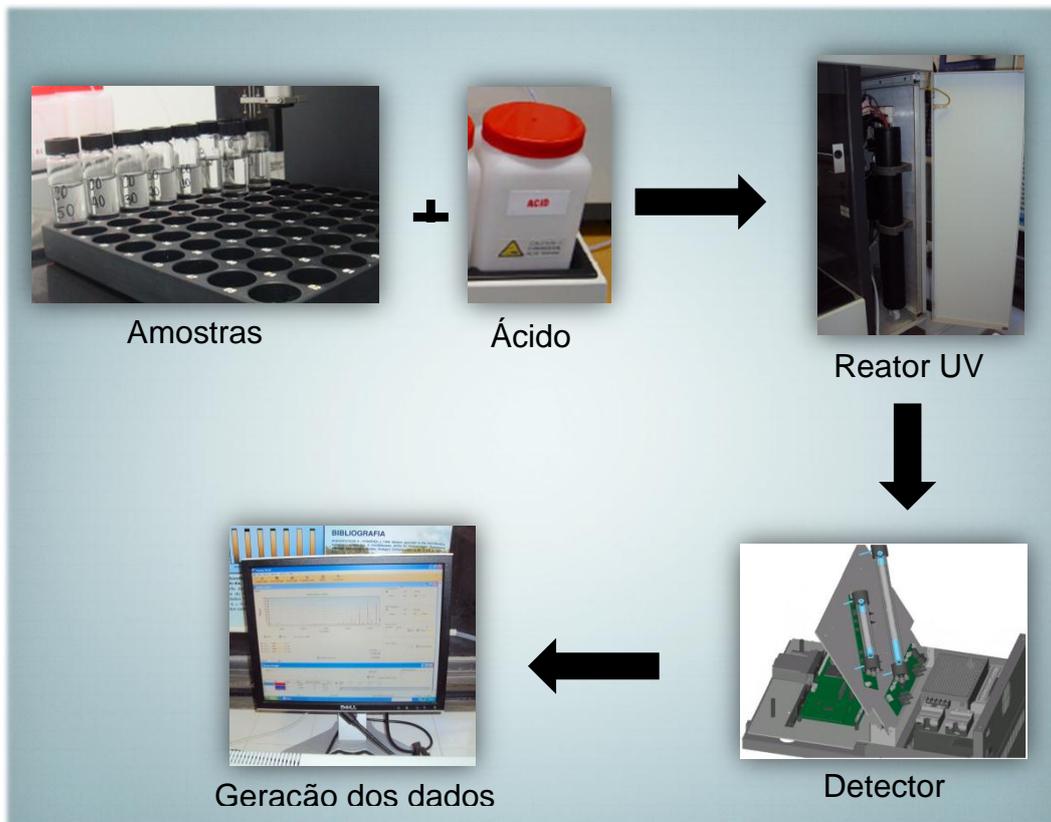


A determinação do COD pode ser obtida através de duas formas diferentes, indireta e direta. Ambos os métodos transformam todas as formas de carbono dissolvido presentes na amostra em CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono).

O dióxido de carbono é arrastado por um gás especial inerte, gás oxigênio ultra puro 6.0, até os detectores não dispersivos de infravermelho (NDIR), onde é mensurado (THERMO, 2008). Há várias técnicas de conversão de carbono em CO<sub>2</sub>, a diferença entre elas está no método de oxidação.

O CID é mensurado através da sua oxidação por meio de um tratamento ácido, HNO<sub>3</sub> (18%), produzindo CO<sub>2</sub>, que é arrastado pelo o gás inerte e quantificado (Figura 11). O fluxo de gás provoca a mistura do ácido e da amostra e os conduz ao reator de UV. Essas condições convertem todo carbonato e bicarbonato em CO<sub>2</sub>. Então, o dióxido de carbono é aspergido do reator e lido pelos detectores de infravermelho (THERMO, 2008).

Figura 11 - Método para a análise de CID.



Para a análise de CDT, usando o método UV-Persulfato (Figura 12), uma solução de persulfato de sódio e hidróxido de sódio é adicionada à amostra a fim de criar radicais hidroxilas, que causam a destruição das combinações C-H na água e no dióxido de carbono, sob a influência da luz UV. A água é drenada e o dióxido de carbono é direcionado para o detector infravermelho (THERMO, 2008).

A determinação do Carbono Orgânico Dissolvido (COD) pelo método indireto é feita mediante a diferença entre CDT e CID. O CID é eliminado da amostra por acidificação e, posteriormente o CTD é obtido pelo método UV-Persulfato.

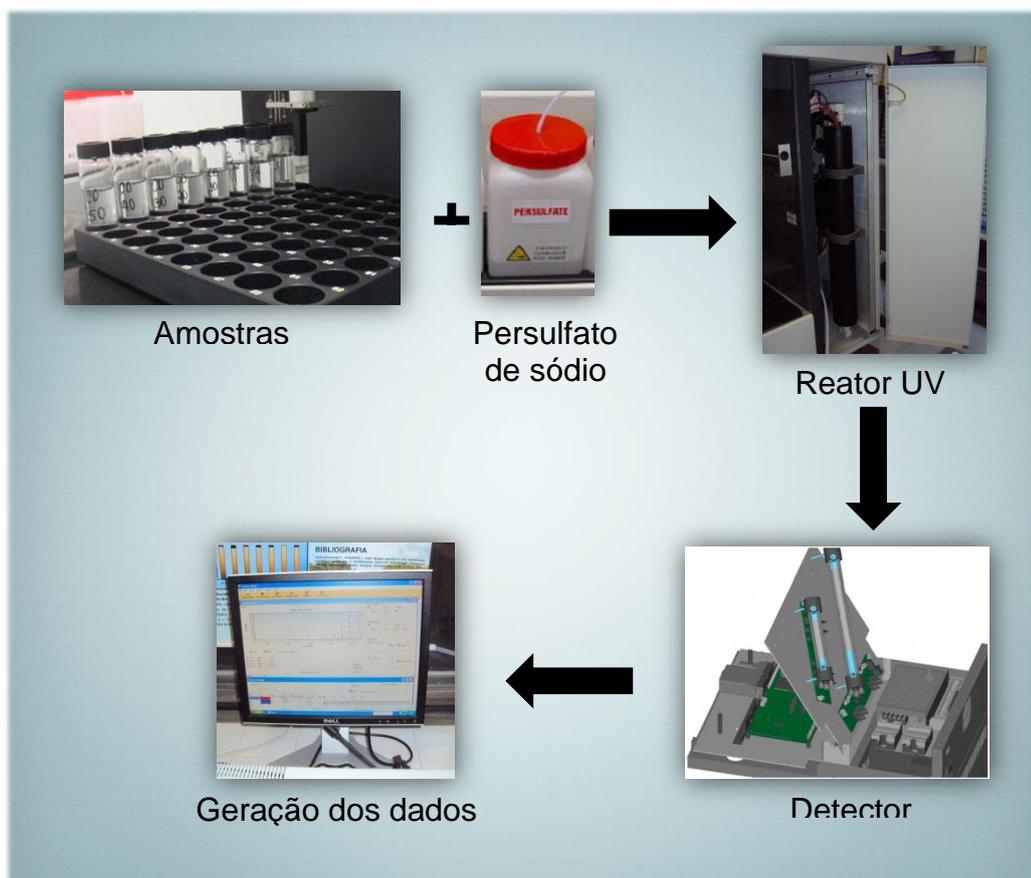
$$\text{COD} = \text{CDT} - \text{CID}$$

A curva de calibração foi feita a partir de uma solução padrão mista de carbono orgânico e carbono inorgânico. Através da diluição e, posterior mistura das soluções de Biftalato de Potássio ( $\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$ ), de carbonato de sódio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) e de Bicarbonato de sódio ( $\text{NaHCO}_3$ ) resultando em uma solução padrão de Carbono

Total Dissolvido (CTD) de  $2000 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ,  $1000 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  de Carbono Inorgânico (CID) e  $1000 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  de Carbono Orgânico Dissolvido (COD).

A partir da solução padrão mista, foram feitas diluições de 0, 10, 25, 40, 50 e 60 mg/L de CDT e 0, 5, 12,5, 20, 25 e 30 ppm de CID e COD. O limite de detecção (LD) foi de  $1,76 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  e de  $0,42 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  de CT e CID, respectivamente, e foi calculado através da fórmula  $\text{LD} = 3,14 \cdot \sigma$  (APHA, 2005), onde  $\sigma$  é o desvio padrão de sete valores de brancos.

Figura 12 - Método UV - Persulfato, para análise de CDT.



## 4.3 Tratamento dos dados

### 4.3.1 Distribuição espacial da salinidade

Durante a etapa de pré-processamento dos dados de CTD (Condutividade, Temperatura e Pressão, do inglês *Conductivity, Temperature e*

*Depth*) foram detectados e eliminados os dados espúrios, através do uso de uma taxa de máxima variação de cada propriedade (3 vezes o desvio padrão da média), eliminando assim quaisquer valores que excederam a este limite.

Para o preenchimento das lacunas deixadas pela remoção dos dados inconsistentes, foi adotado um filtro gaussiano. Após a fase de pré-processamento dos dados de CTD, foi possível investigar os perfis em blocos de 0,5 m da superfície até o fundo, sendo eliminados os valores que diferiram da média  $\pm 3$  vezes o desvio padrão da média do bloco.

#### *4.3.2 Distribuição espacial de Carbono orgânico, inorgânico e total*

Seguida das análises laboratoriais, os dados de CDT, COD e CID, foram tratados com o auxílio de rotinas desenvolvidas em ambiente matlab® pelo Laboratório de Hidrodinâmica Costeira e Águas Interiores da Universidade Federal do Maranhão (LHiCEAI/UFMA), possibilitando o entendimento do comportamento sinótico destas variáveis para cada tipo de maré.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Variação espacial dos parâmetros hidroquímicos no estuário do rio Jaguaribe em maré enchente e vazante

#### 5.1.1 Salinidade

A salinidade (S) durante a maré vazante variou de 20,8 a 30,0 (Tabela 1), com média de 25,2 e durante a enchente seus valores variaram de 27,8 a 37,7, com média de 34,0 (Tabela 2).

Tabela 1 - Parâmetros hidroquímicos ao longo do canal estuarino do rio Jaguaribe durante a maré vazante.

Maré Vazante					
Estação	Salinidade	Condutividade (mS·cm <sup>-1</sup> )	Temperatura (°C)	OD (mg·L <sup>-1</sup> )	pH
1	27,6	45,7	28,9	6,4	8,2
2	30,0	49,1	28,9	6,3	8,1
3	28,5	47,1	28,9	6,3	8,2
4	27,4	45,9	29	6,5	8,1
5	26,9	44,8	29	6,8	8,1
6	25,2	42,6	29	6,8	8,2
7	27,3	43,4	29,1	7,0	8,2
8	25,0	40,1	29,2	6,7	8,1
9	23,7	39,0	29,3	6,6	8,0
10	23,6	39,0	29,4	6,1	8,0
11	20,9	36,4	29,2	6,5	8,0
12	20,9	36,4	29,4	5,7	7,9
13	20,8	36,2	29,4	5,7	7,8

Fonte: dados deste trabalho.

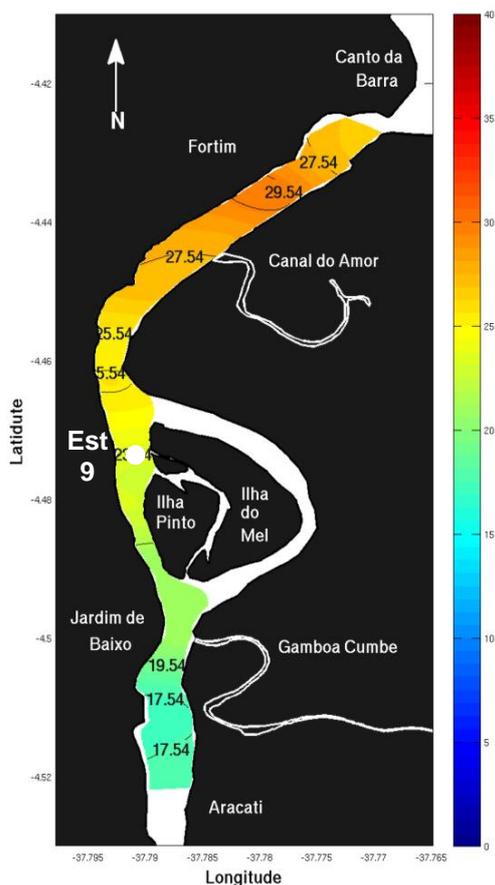
Verificam-se em ambas as marés a ocorrência de um gradiente longitudinal de salinidade decrescente no sentido do mar para continente (Figuras 13 e 16). Contudo, na maré vazante, este gradiente é dominado por água estuarina ( $5 < S < 30$ ) e há uma maior diluição da água marinha no interior do estuário, nesta maré (Figura 13), provavelmente devido à menor força da maré e à presença de água doce no estuário. Já na enchente, o gradiente longitudinal de salinidade mostra a existência de água costeira ( $S > 30$ ), da foz até a Ilha do Pinto, e estuarina (Figura 14), da Ilha do Pinto até Aracati, ocorrendo o represamento das águas estuarinas, a partir da região do Jardim Baixo até Aracati, pela água do mar conforme observado por Dias (2011) anteriormente.

Tabela 2 - Parâmetros hidroquímicos ao longo do canal estuarino do rio Jaguaribe durante a maré enchente.

Maré Enchente					
Estação	Salinidade	Condutividade (mS·cm <sup>-1</sup> )	Temperatura (°C)	OD (mg·L <sup>-1</sup> )	pH
1	37,7	61,0	29	5,3	7,8
2	37,7	61,0	29,1	5,3	7,8
3	37,6	61,0	29,3	5,1	7,8
4	37,7	61,0	29,3	5,4	7,8
5	37,7	61,0	29,5	5,5	7,8
6	37,6	60,9	29,5	5,4	7,8
7	37,6	60,9	29,7	5,4	7,7
8	36,8	59,8	29,4	5,0	7,7
9	33,5	55,4	29,4	4,9	7,7
10	36,5	59,3	29,5	4,9	7,7
11	27,8	47,0	29,5	4,8	7,7
12	27,8	47,0	29,7	4,9	7,7
13	27,8	47,0	28,8	5,0	7,7
14	27,8	47,0	30,2	5,0	8,0
15	27,8	47,0	30	4,7	7,6

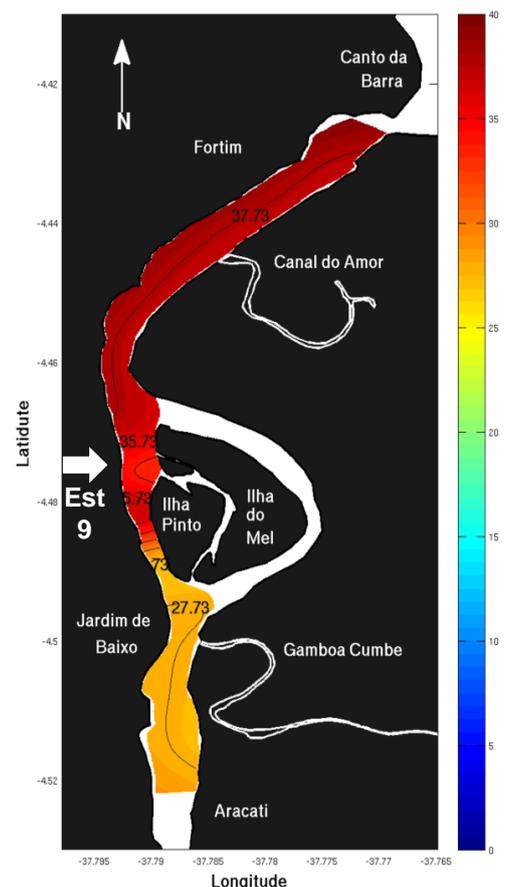
Fonte: dados deste trabalho.

Figura 13 - Distribuição espacial da salinidade ao longo do canal estuarino do rio Jaguaribe na maré vazante.



Fonte: dados deste trabalho.

Figura 14 - Distribuição espacial da salinidade ao longo do canal estuarino do rio Jaguaribe na maré enchente.



Fonte: dados deste trabalho.

### 5.1.2 Condutividade

Na maré vazante variou dentro do intervalo de 36,2 a 49,1 mS/cm (Tabela 1), com média igual a 42 e na enchente, a condutividade variou de 61,0 a 47,0 mS·cm<sup>-1</sup> (Tabela 2), com média de 55,8 mS·cm<sup>-1</sup>.

A condutividade decresceu no sentido do mar para o rio, e apresentou uma correlação bastante significativa com a salinidade nas duas marés (Tabelas 3 e 4) (Gráficos 1 e 2), como esperado uma vez que o estuário é bastante influenciado pelas águas marinhas.

A medição da salinidade pelo CTD é feita mediante a condutividade elétrica, a qual depende da concentração e da proporção entre si dos sais da água do mar. Entretanto, no ambiente estuarino há outros íons que podem ocorrer em diferentes proporções daquela que ocorre no mar. Assim, a mensuração deste parâmetro pode apresentar erros (SOARES; MARINS; DIAS, 2010). A correlação obtida, neste trabalho, entre a condutividade e a salinidade indica que não houve grande diferença entre os valores reais e os medidos de salinidade provavelmente graças à grande influência da água do mar.

Tabela 3 - Correlações das variáveis hidroquímicas e das concentrações de COD, CID e CDT durante a maré vazante no estuário do rio Jaguaribe (n = 13;  $\alpha = 0,05$ ).

	Salini dade	Condutivi dade	pH	Tempera tura	OD	COD	CID	CDT
<b>Salinidade</b>	1	<b>0,982</b>	<b>0,874</b>	<b>-0,874</b>	<b>0,524</b>	0,209	<b>0,591</b>	<b>0,516</b>
<b>Condutivi dade</b>		1	<b>0,839</b>	<b>-0,916</b>	0,439	0,114	0,547	0,438
<b>pH</b>			1	<b>-0,871</b>	<b>0,816</b>	0,429	<b>0,696</b>	<b>0,700</b>
<b>Temperatu ra</b>				1	-0,537	-0,167	<b>-0,590</b>	-0,494
<b>OD</b>					1	<b>0,604</b>	<b>0,636</b>	<b>0,746</b>
<b>COD</b>						1	-	-
<b>CID</b>							1	<b>0,884</b>
<b>CDT</b>								1

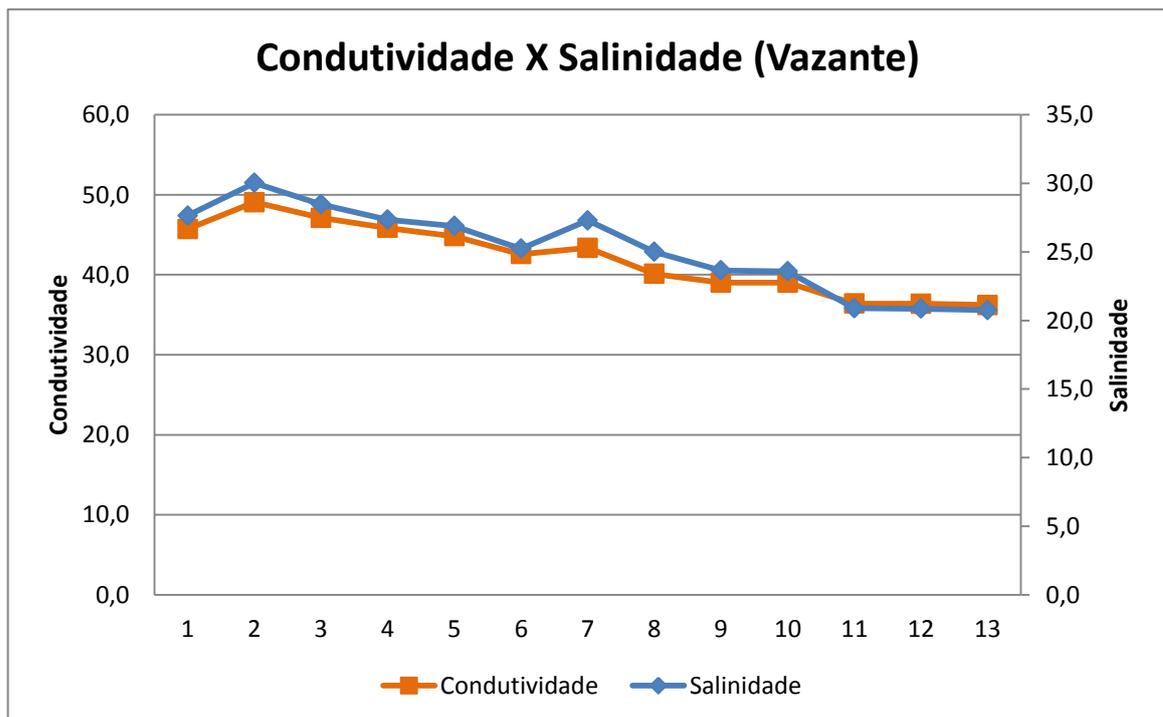
Fonte: dados deste trabalho.

Tabela 4 - Correlações das variáveis hidroquímicas e das concentrações de COD, CID e CDT durante a maré enchente no estuário do rio Jaguaribe (n = 15;  $\alpha = 0,05$ ).

	Salinidade	Condutividade	pH	Temperatura	OD	COD	CID	CDT
Salinidade	1	1,000	0,169	-0,373	0,747	-0,829	-0,792	-0,903
Condutividade		1	0,166	-0,373	0,743	-0,826	-0,793	-0,902
pH			1	0,273	0,475	-0,382	-0,042	-0,242
Temperatura				1	-0,299	0,385	0,583	0,535
OD					1	-0,763	-0,719	-0,826
COD						1	-	-
CID							1	0,913
CDT								1

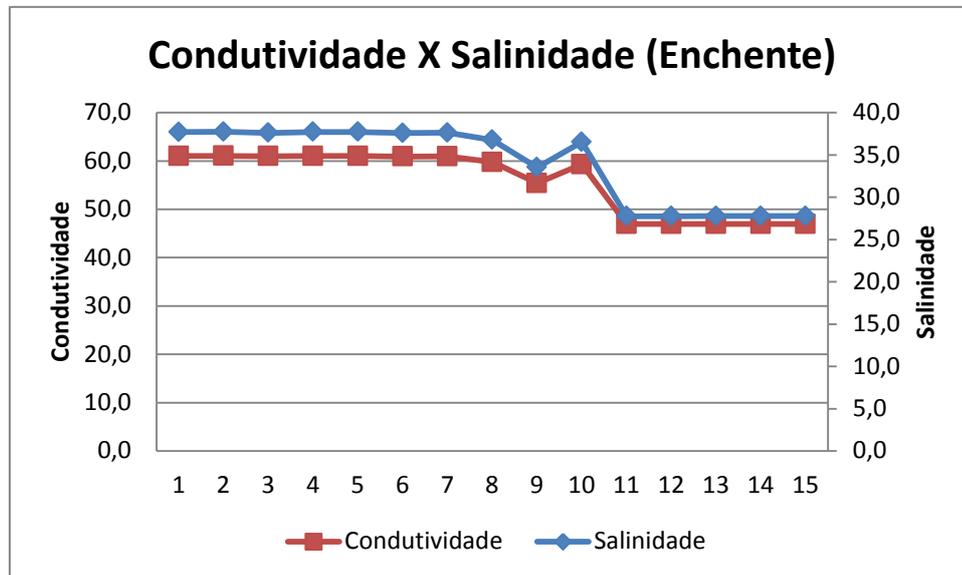
Fonte: dados deste trabalho.

Gráfico 1 - Correlação entre a condutividade ( $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) e a salinidade ao longo do canal estuarino do rio Jaguaribe durante a maré vazante.



Fonte: dados deste trabalho.

Gráfico 2 - Correlação entre a condutividade ( $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) e a salinidade ao longo do canal estuarino do rio Jaguaribe durante a maré enchente.



Fonte: dados deste trabalho.

### 5.1.3 pH

A variação do pH foi de 7,8 e 8,2 (Tabela 1) e teve média de 8,0 na vazante, e de 7,6 a 8,0 (Tabela 2), com média de 7,7 durante a enchente.

A água do mar possui o pH mais básico do que a água doce, por volta de 8, por essa razão, na maioria dos casos, as estações de amostragem mais próximas ao mar apresentaram os valores de pH mais elevados, tendo sido encontrado o menor valor de pH em Aracati (Tabela 1).

O pH mostrou-se alcalino em toda a extensão do estuário, nas duas condições de maré, característica já observada anteriormente por Marins *et al.* (2003), que encontraram pH variando de 8,01 a 8,29 e atribuíram tal característica a influência da água marinha e ao balanço hídrico negativo (precipitação < evaporação) da região.

Na maré vazante, o pH apresentou correlação com a salinidade e a condutividade (Tabela 3) devido à contribuição da água do mar com característica salina e básica.

### 5.1.4 Oxigênio dissolvido (OD)

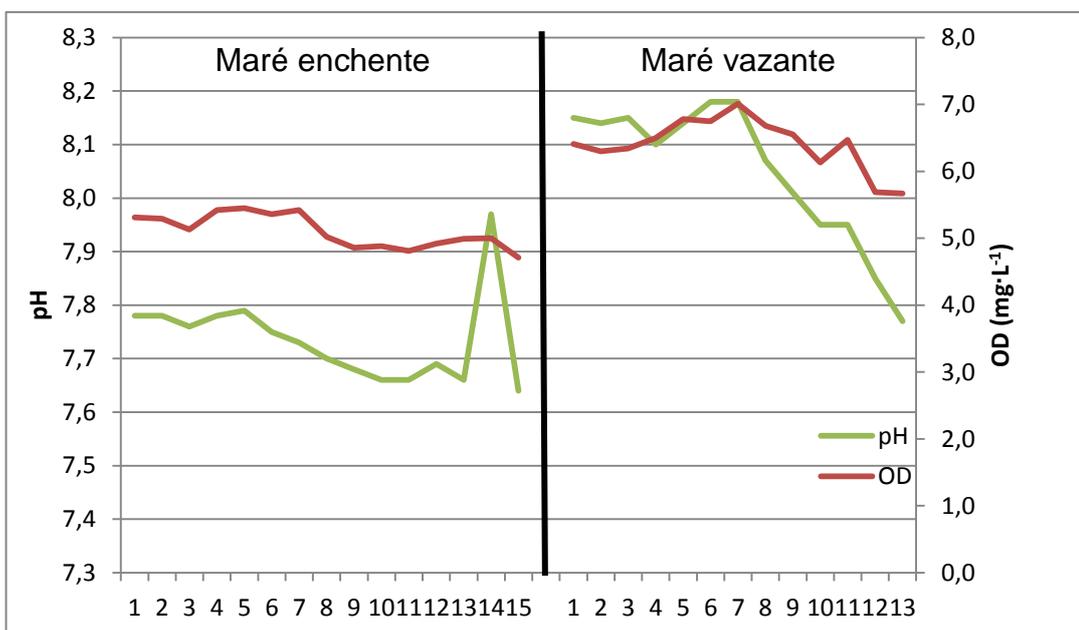
Os teores de Oxigênio Dissolvido (OD) estavam inseridas dentro da faixa de 5,7 a 7,0  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  (Tabela 1) na vazante, com média de 6,4, e de 4,7 a 5,5  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , com média de 5,1  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  (Tabela 2) na enchente.

O estuário do rio Jaguaribe pode ser caracterizado como bem oxigenado, visto que os processos anaeróbios só passam a ser importantes quando os níveis de oxigênio são próximos ou inferiores a 4  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  (ESTEVES, 1998).

As concentrações de OD diminuíram no sentido da foz para o continente, apresentando correlação significativa com relação à salinidade e a condutividade nas duas marés (Tabelas 3 e 4). As maiores concentrações de OD estão associadas às regiões mais próximas à foz, possivelmente, por esta região estar mais susceptível a processos de turbulência causados pela maré e ventos, que provocam a oxigenação da água. E os menores teores de oxigênio na região entre a Ilha do Mel e Aracati (pontos de 9 a 15), na maré enchente, estão relacionados com as maiores concentrações de MPS encontrados nesta maré em um trabalho simultâneo a este (VIEIRA; LACERDA; DIAS, 2012).

Houve correlação entre o pH e o OD (Tabela 3) (Gráfico 3), que pode ser devido à ligação dos dois parâmetros à água do mar e/ou à atividade biológica, pois caso a taxa fotossintética seja elevada ocorrerá produção de oxigênio ao mesmo tempo que aumenta o consumo de  $\text{CO}_2$  e, conseqüentemente elevação do pH (ESCHRIQUE, 2010).

Gráfico 3 - Variação do pH e do OD na maré vazante e na maré enchente.



Fonte: dados deste trabalho.

### 5.1.5 Temperatura

A temperatura foi bastante regular, na vazante sofreu uma variação (28,9 a 29,4°C) menor do que 1°C, com média de 29,1°C e na maré enchente variou de 28,8 a 30,2°C e com média de 29,5 °C (Tabela 2). Esse comportamento constante da temperatura é característico de regiões tropicais e de baixas latitudes (ESCHRIQUE, 2007).

## 5.2 Distribuição espacial do carbono dissolvido no estuário do rio Jaguaribe na maré vazante e na maré enchente

### 5.2.1 Carbono Orgânico Dissolvido (COD)

O Carbono Orgânico Dissolvido (COD) variou de 3,54 a 14,73 mg·L<sup>-1</sup> (Tabela 5), apresentando uma média de 8,47 mg·L<sup>-1</sup>. Os valores mais elevados da concentração de COD na maré vazante foram nas estações 1 e 7, que correspondem à foz e a uma região ao norte da Ilha do Mel, respectivamente (Figura 15), e na maré enchente os maiores teores foram encontrados da estação 15 até a região norte da Ilha do Mel (Figura 16), observando que também houve aumento de COD no local de deságue do canal secundário que cerca a Ilha do Pinto nas duas marés (Figuras 15 e 16).

O COD apresentou um comportamento não conservativo com relação à salinidade na maré vazante (Gráfico 4). Embora a concentração de COD tenha sido superior à média na foz do estuário, na maré vazante, a ocorrência de exportação de COD não pode ser avaliada sem medidas de vazão para a realização do balanço de massa de carbono no estuário, contudo sugere que pode estar ocorrendo exportação, uma vez que a concentração de carbono na foz é superior à média.

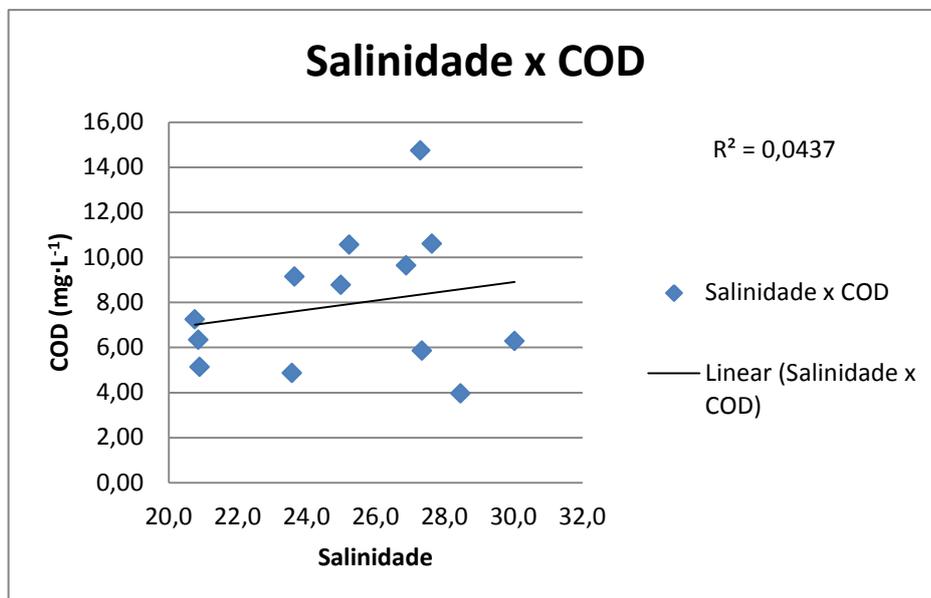
Durante a maré enchente, da parte norte da Ilha do Mel até a foz, a salinidade aumenta (Figura 15) e as concentrações de COD diminuem, gradativamente, (Figura 16) com a aproximação do mar, possuindo um comportamento conservativo, com decréscimo linear do COD em função da salinidade (Gráfico 5), causado devido à diluição pelas águas marinhas e possivelmente pela floculação induzida pelo aumento da salinidade.

Tabela 5 - Concentração de COD, em  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , em cada estação de amostragem durante a maré vazante e enchente ao longo do estuário do rio Jaguaribe.

Estação	[COD] – Maré vazante	[COD] – Maré enchente
1	10,59	3,64
2	6,26	4,16
3	3,94	3,54
4	5,85	5,22
5	9,63	7,64
6	10,55	7,50
7	14,73	7,99
8	8,76	9,55
9	9,13	12,66
10	4,86	10,02
11	5,13	12,90
12	6,32	11,25
13	7,24	13,94
14		11,95
15		13,33

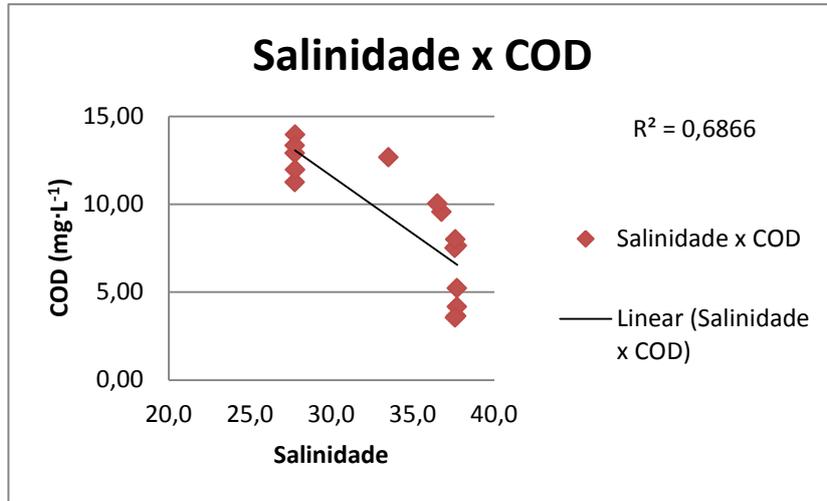
Fonte: dados deste trabalho.

Gráfico 4 - Correlação entre o COD e a salinidade ao longo do canal estuarino principal do rio Jaguaribe durante a maré vazante.



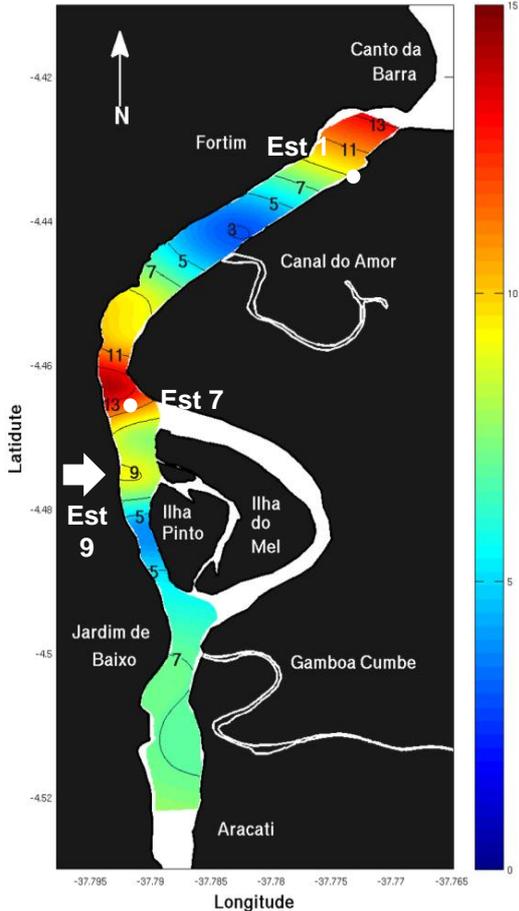
Fonte: dados deste trabalho

Gráfico 5 - Correlação entre o COD e a salinidade ao longo do canal estuarino principal do rio Jaguaribe durante a maré enchente.



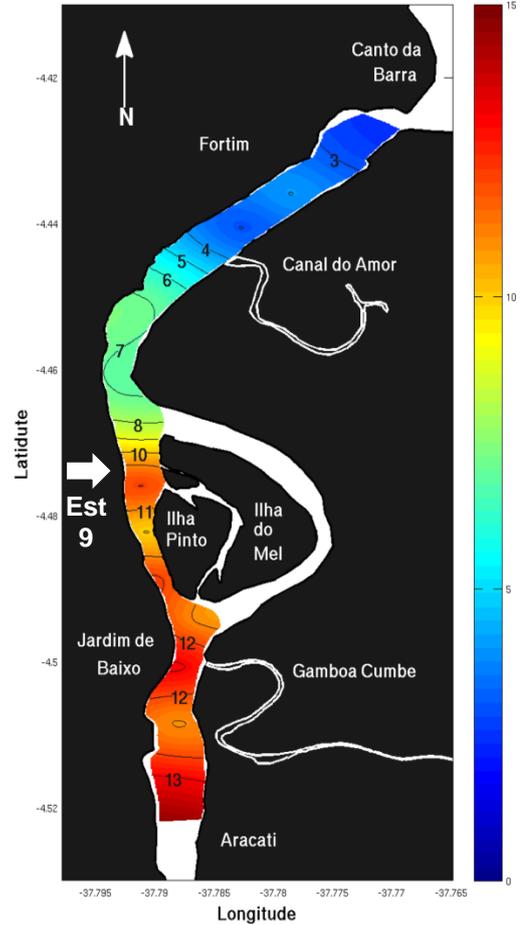
Fonte: dados deste trabalho

Figura 15 - Distribuição espacial do COD ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) ao longo do canal estuarino do rio Jaguaribe na maré vazante.



Fonte: dados deste trabalho.

Figura 16 - Distribuição espacial do COD ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) ao longo do canal estuarino do rio Jaguaribe na maré enchente.



Fonte: dados deste trabalho.

Os valores de COD encontrados nesse trabalho encontram-se dentro do intervalo para rios naturais, que está compreendido entre 1 e 20 mg·L<sup>-1</sup> (MEYBECK, 1982), e também são semelhantes a valores encontrados em outros estuários. Bianchi *et al.* (1997) encontrou concentrações de COD, variando de 5,2 a 16,3 mg·L<sup>-1</sup>, em um estuário raso e bem misturado no sudoeste do Texas. No estuário do rio Paraíba do Sul, Rio de Janeiro, os valores de COD foram de 2,1 a 8,7 mg·L<sup>-1</sup> (BRITO *et al.*, 2010). Hung e Hang (2005) encontraram concentrações de COD num estuário tropical, Tsengwen, que variaram de 1,2 a 8,1 mg·L<sup>-1</sup>.

Soares (2011) encontrou concentrações de COD na água de subsuperfície do estuário do Rio Jaguaribe, durante a estação chuvosa, de 9,3 a 12,4 mg·L<sup>-1</sup> em Aracati e de 11,6 a 12,2 mg·L<sup>-1</sup> em Fortim, tais valores foram semelhantes aos reportados nesse trabalho. Nestas regiões, a autora atribuiu à contribuição continental o aporte de COD, pois seu comportamento era semelhante aos traçadores geoquímicos Si e Ba, diminuindo ao aproximar-se da plataforma continental interna.

O comportamento do COD foi não-conservativo em relação a salinidade na maré vazante, tal fator pode ser atribuído a transformações químicas sofridas pelo COD, como a mineralização pelas bactérias, a oxidação pela radiação UV e a floculação devido ao aumento da salinidade, do pH e do oxigênio dissolvido (ABRIL *et al.*, 2002; BOUILLON *et al.*, 2007; WANG; CHEN; GARDNER, 2004).

Na maré vazante, foi notado um aumento nas concentrações de carbono em uma região ao norte da Ilha do Pinto (Figuras 15), estação 9, e neste mesmo local ocorreu a diminuição da salinidade (Figura 13), ambos podem ter sido causados por uma descarga de uma água menos salina e com maior concentração de COD no canal estuarino principal.

A estação 7 também mostrou elevada concentração de COD (Figura 15), como já reportado anteriormente por Eschrique, 2007; Eschrique, 2010; Zocatelli *et al.*, 2007. A fonte desse COD, para as estações 7 e 9, pode ser a lixiviação da vegetação, devido a existência de ilhas de mangue na região (Figura 6), ou a atividade antrópica, na estação 7, visto que os maiores valores de pH e oxigênio dissolvido medidos foram nessa região (Tabela 1).

Na foz do estuário, durante a maré vazante, ocorreu um súbito aumento na concentração de COD. Esta característica foi observada no material particulado

em suspensão (MPS) em um trabalho simultâneo a este (VIEIRA; LACERDA; DIAS, 2012), indicando a possibilidade do MPS ser fonte de COD, através do processo de desorção do carbono orgânico do MPS (ABRIL *et al.*, 2002), e da mistura com a água intersticial causar aumento da concentração de COD na coluna d'água (GU; ZHANG; JIANG, 2009).

Zocatelli *et al.* (2007) identificaram diversas fontes naturais e antrópicas de matéria orgânica dentro do gradiente estuarino. No sedimento da foz do estuário os mesmos encontraram elevados teores de lignina relacionados à vegetação de mangue e caracterizaram o ambiente a 2 km da foz como um local de elevada degradação e diversidade de fonte de matéria orgânica. Em canais secundários do estuário, identificaram como fontes de matéria orgânica a erosão, o lixiviamento do material vegetal e, possivelmente, a ração de camarão das fazendas existentes na região. E em Aracati identificaram uma possível contribuição de esgoto doméstico.

Na maré enchente as elevadas concentrações de COD na região entre a Ilha do Mel e Aracati, podem estar relacionadas ao aporte antrópico, esgoto doméstico e a carcinicultura, pois em um trabalho pretérito a este Eschrique (2010) encontrou elevados teores de nitrogênio orgânico dissolvido, nessa mesma região do estuário, que indicam grande carga de matéria orgânica para esse ambiente com potencial origem humana. Observa-se também, que essa região corresponde aos menores valores de OD, provavelmente devido à utilização do mesmo na oxidação do COD.

A partir do ponto 7, as concentrações de COD diminuem gradativamente em direção ao mar devido à diluição pela maior mistura ocasionada pela entrada da água do mar, e possivelmente, por sofrer mineralização e/ou floculação devido aos elevados teores de salinidade e pH.

O comportamento do COD pode estar também atrelado à dinâmica do percentual de água doce (PAD) e do tempo de residência (TR) no estuário. Estuários rasos, turbidos e do tipo bem misturado são normalmente mais produtivos quando comparados com outros estuários, contudo o tempo de residência do carbono orgânico é curto devido à rápida exportação (BIANCHI *et al.*, 1997).

Calixto, Lacerda e Dias (2012) observaram que durante a maré enchente, no estuário do rio Jaguaribe, em amostragem simultânea à este trabalho, o PAD era 26,7% na região do Jardim Baixo e 0,7% na foz. Na maré vazante, ocorre um

aumento no PAD em ambas as regiões, 50% e 21% respectivamente. Os TRs foram 1,6 horas no Jardim Baixo e 0,04 horas na foz durante a maré enchente.

Logo, as maiores concentrações de COD na maré enchente, da estação 8 a 15, podem está relacionadas ao maior TR e PAD nessa região em relação à foz. Entre as marés vazante e enchente, os teores de COD foram menores na vazante na região entre a Ilha do Pinto e Aracati (Figuras 14 e 16). Muito provavelmente, houve retenção de COD durante a maré enchente, pois além de teores mais elevados de COD nessa maré observou-se que o PAD e o TR são maiores em relação à foz.

### 5.2.2 Carbono Inorgânico dissolvido (CID)

As concentrações de Carbono Inorgânico Dissolvido (CID) encontraram-se entre 22,30 e 44,26 mg·L<sup>-1</sup> (Tabela 6), possuindo uma média de 31,63 mg·L<sup>-1</sup>. Na maré vazante, as maiores concentrações foram na área entre o Canal do Amor e o norte da Ilha do Mel (Figura 17) e na maré enchente, foram da metade da Ilha do Mel até Aracati (Figura 18).

Os teores de CID mensurados neste trabalho foram consideravelmente mais elevados do que os mensurados em outros estuários (ORTEGA *et al.*, 2005; PAGES; LEMOALLE; FRITZ, 1995; RALISON *et al.*, 2008; RAYMOND; BAUER; COLE, 2000), porém assemelhou-se aos teores encontrados nos estuários de dois rios da China, o do rio Amarelo, que variaram de aproximadamente 27 a 43 mg·L<sup>-1</sup> (GUO *et al.*, 2008) e o do estuário do Rio das Pérolas, com variação de 3 a 40 mg·L<sup>-1</sup>g/L (CAI *et al.*, 2004; GUO *et al.*, 2008).

A elevada concentração de CID no estuário do rio Jaguaribe pode ser causada pela maior taxa de evaporação do que de precipitação, respiração heterotrófica e, principalmente, pela influência da maré no estuário (WINTER; SCHLACHER; BAIRD, 1996).

Os teores de CID nesse trabalho foram similares aos encontrados por Soares (2011) durante o período de seca, variando de 15,0 a 37,5 mg·L<sup>-1</sup> em Aracati; e de 17,9 a 22,4 mg·L<sup>-1</sup> em Fortim; de 10,0 a 21,9 mg·L<sup>-1</sup> na Pluma Estuarina. Já durante o período chuvoso, a autora encontrou baixos valores (0,3 a 20 mg·L<sup>-1</sup>)

comparados aos deste trabalho e os dados de Soares (2011) não estão relacionados à maré.

Na maré vazante, o CID apresentou um comportamento não conservativo em relação à salinidade (Gráfico 6). Nessa maré, a concentração de CID na foz é  $2 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  maior do que no ponto de amostragem mais interno do estuário. Contudo, as maiores concentrações encontram-se na região do ponto o Canal do Amor e o norte da Ilha do Mel (Figura 17).

Na maré enchente, o CID apresenta comportamento conservativo em relação à salinidade (Gráfico 7), ocorrendo um decréscimo linear de COD ao longo do gradiente de salinidade em direção à foz na área que se estende de Aracati até, a aproximadamente 3 km, depois da Ilha do Mel (do ponto 15 ao ponto 5), ao passar desta região ocorre uma “quebra” do gradiente aumentando a concentração de CID até a foz (Figura 18).

Tabela 6 - Concentração de CID, em mg/l, em cada estação de amostragem durante a maré vazante e enchente ao longo do estuário do rio Jaguaribe.

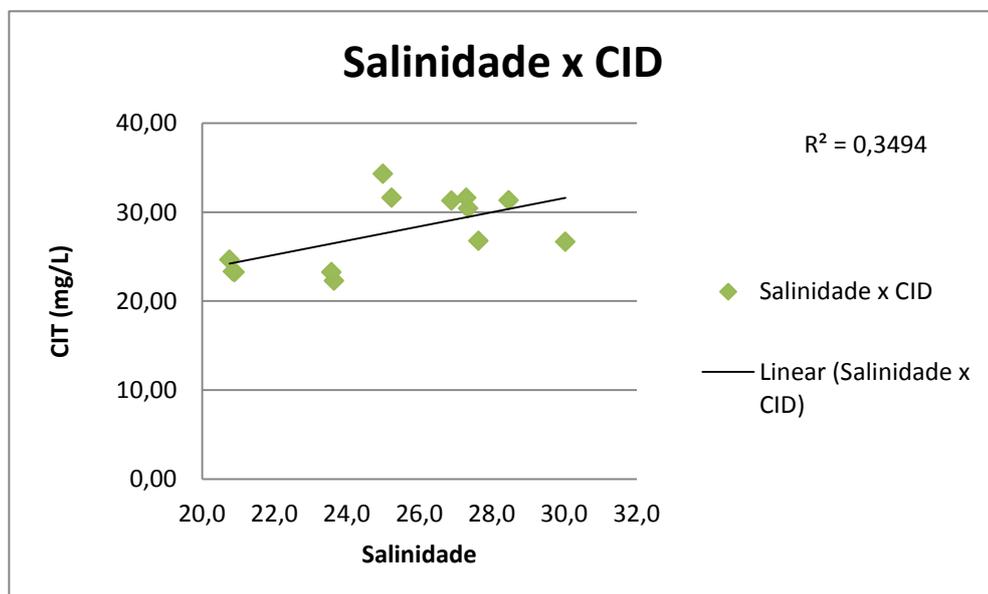
<b>Estação</b>	<b>[CID] – Maré vazante</b>	<b>[CID] – Maré enchente</b>
<b>1</b>	26,77	32,35
<b>2</b>	26,66	33,83
<b>3</b>	31,34	35,14
<b>4</b>	30,42	34,59
<b>5</b>	31,29	31,02
<b>6</b>	31,62	33,01
<b>7</b>	31,61	33,10
<b>8</b>	34,32	33,57
<b>9</b>	22,30	34,52
<b>10</b>	23,25	35,48
<b>11</b>	23,26	37,06
<b>12</b>	23,32	36,69
<b>13</b>	24,65	36,78
<b>14</b>		41,24
<b>15</b>		44,26

Fonte: dados deste trabalho.

As concentrações de CID são, em geral, maiores durante a maré enchente devido a uma maior entrada de águas marinhas no estuário, aumentando a concentração de CID. Nessa maré observa-se maior concentração de CID da última estação de amostragem até a Ilha do Pinto (Figura 18), quando comparada com a vazante, devido à maior força da maré e maior TR (CALIXTO; LACERDA; DIAS, 2012), que provoca um aprisionamento do CID no estuário.

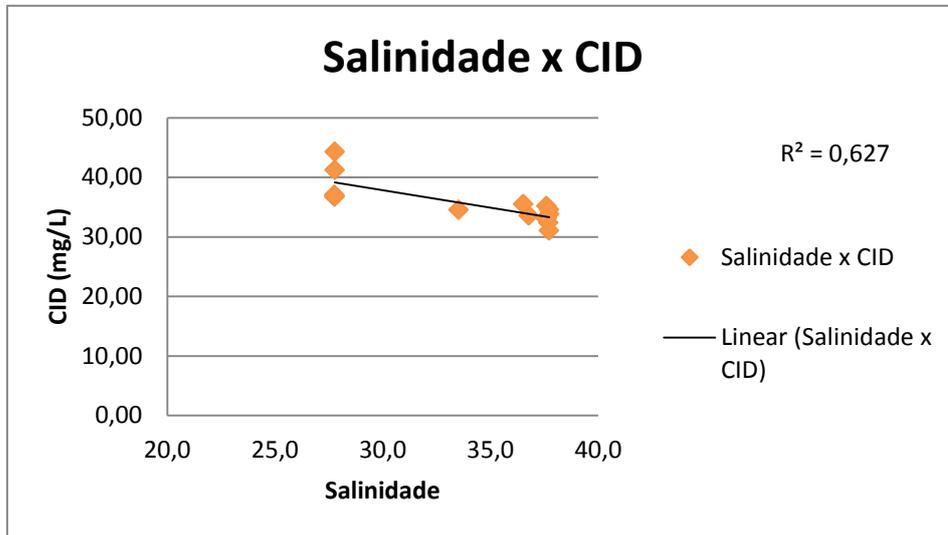
Estudos realizados em anos anteriores a este trabalho registraram elevados teores de amônia, na área que se estende desde a Ilha do Pinto até Aracati, resultantes da degradação da matéria orgânica (amonificação) somados a denitrificação, já que o ambiente mostrou ter disponibilidade de oxigênio para transformar a amônia em nitrato. Assim, provavelmente nesta região há frequente excesso de matéria orgânica de origem antrópica, que pode estar favorecendo estes processos (ESCHRIQUE, 2010).

Gráfico 6 - Correlação entre o CIT e a salinidade ao longo do canal estuarino principal do rio Jaguaribe durante a maré vazante.



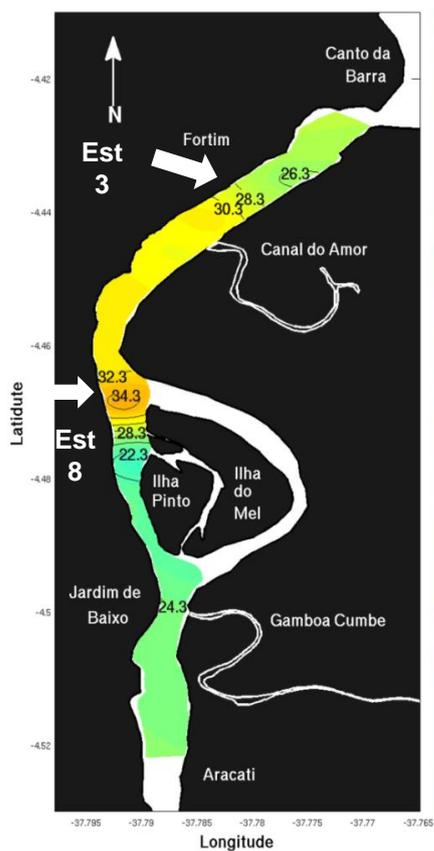
Fonte: dados deste trabalho.

Gráfico 7 - Correlação entre o CIT e a salinidade ao longo do canal estuarino principal do rio Jaguaribe durante a maré enchente.



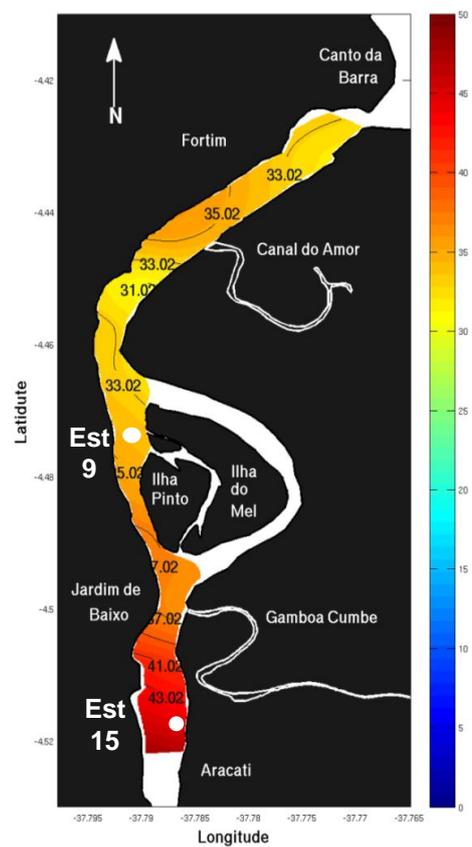
Fonte: dados deste trabalho.

Figura 17 - Distribuição espacial do CID ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) no estuário do rio Jaguaribe na maré vazante.



Fonte: dados deste trabalho.

Figura 18 - Distribuição espacial do CID ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) no estuário do rio Jaguaribe na maré enchente.



Fonte: dados deste trabalho.

### 5.2.3 Carbono Dissolvido Total (CDT)

As concentrações de CDT variaram de 28,11 a 57,59 mg/L (Tabela 7), com média de 35,59 mg/L, na vazante as concentrações mais elevadas foram a partir do Norte da Ilha do Mel se estendendo até aproximadamente 3 km em direção à foz (do ponto 5 ao 8), e na maré enchente as concentrações mais elevadas foram na região entre Aracati e Jardim de Baixo.

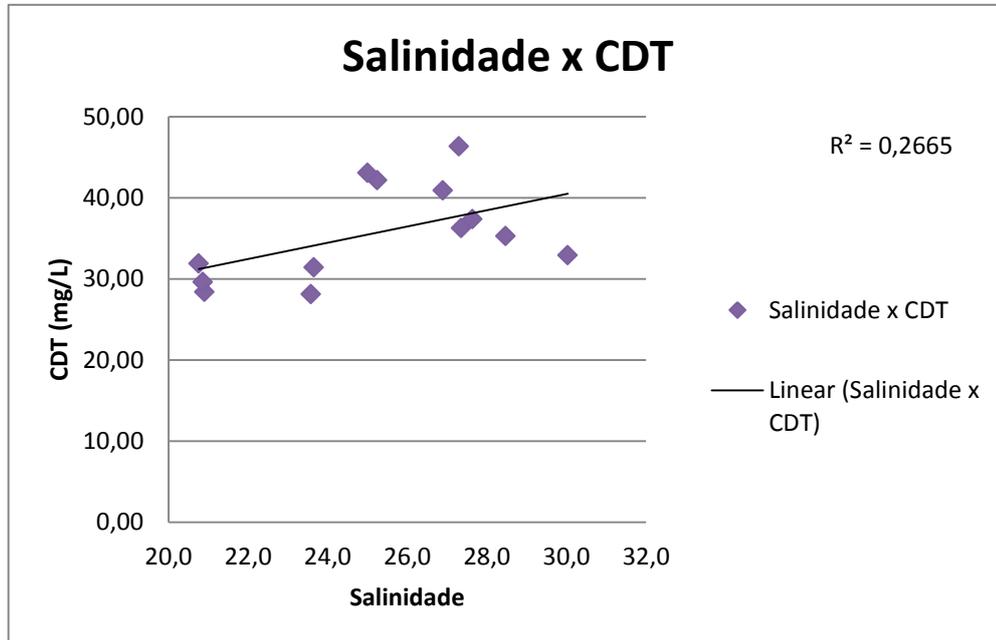
Os teores de CDT desse trabalho assemelharam-se aos de Soares (2011), no estuário do rio Jaguaribe durante o período de seca, onde o CDT variou de 21,9 a 59,9 mg.L<sup>-1</sup> em Aracati; de 24,0 a 42,0 mg.L<sup>-1</sup> em Fortim e de 10,8 a 28,8 mg.L<sup>-1</sup> na Pluma Estuarina.

Na vazante o CDT apresenta correlação positiva com o CID (Tabela 3), a concentração de CDT na foz é maior do que no ponto de amostragem mais interno do estuário (Figura 19), mostrando exportação de CDT durante essa maré, contudo não apresenta um comportamento conservativo com a salinidade (Gráfico 8). Durante a maré enchente, percebe-se um gradiente decrescente no sentido do rio para o mar (Figura 20), apresentando um comportamento conservativo com a salinidade (Gráfico 9).

Tabela 7 - Concentração de CDT, em mg.L<sup>-1</sup>, em cada estação de amostragem durante a maré vazante e enchente ao longo do estuário do rio Jaguaribe.

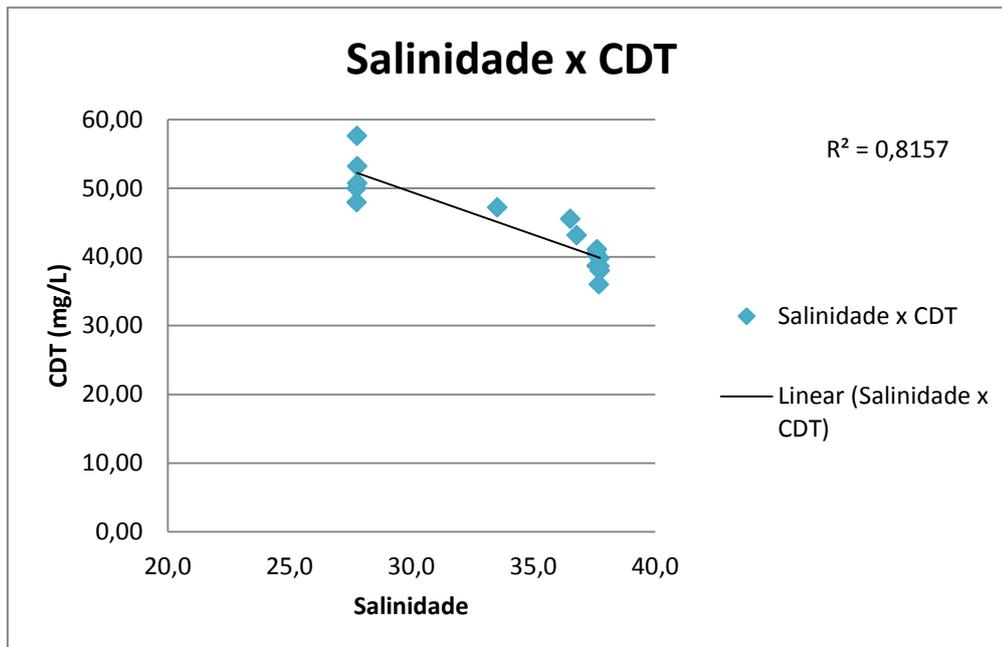
<b>Estação</b>	<b>[CDT] – Maré vazante</b>	<b>[CDT] – Maré enchente</b>
<b>1</b>	37,36	35,99
<b>2</b>	32,93	37,99
<b>3</b>	35,29	38,68
<b>4</b>	36,27	39,81
<b>5</b>	40,92	38,65
<b>6</b>	42,16	40,52
<b>7</b>	46,35	41,09
<b>8</b>	43,08	43,12
<b>9</b>	31,43	47,19
<b>10</b>	28,11	45,50
<b>11</b>	28,38	49,96
<b>12</b>	29,64	47,95
<b>13</b>	31,89	50,73
<b>14</b>		53,19
<b>15</b>		57,59

Gráfico 8 - Correlação entre o CDT e a salinidade ao longo do canal estuarino principal do rio Jaguaribe durante a maré vazante.



Fonte: dados deste trabalho.

Gráfico 9 - Correlação entre o CDT e a salinidade ao longo do canal estuarino principal do rio Jaguaribe durante a maré enchente.

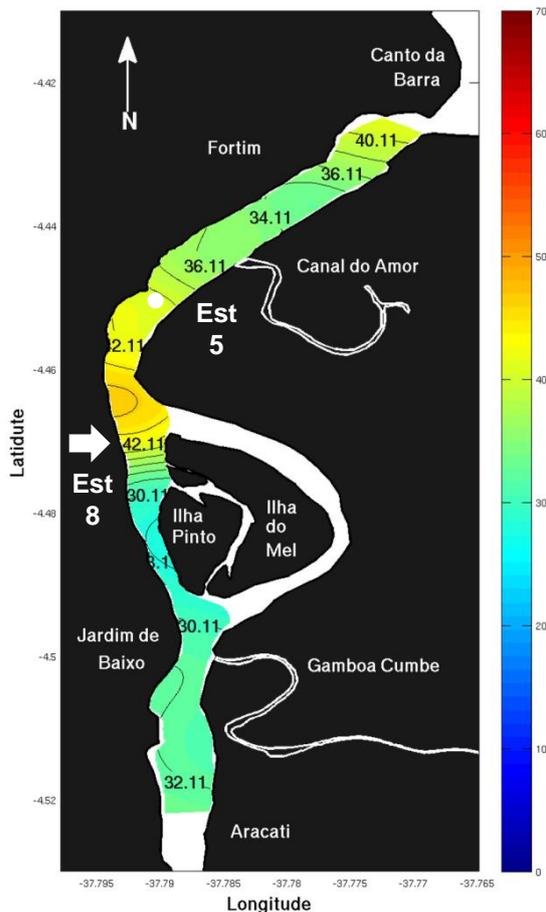


Fonte: dados deste trabalho.

As concentrações de carbono dissolvido total foram maiores na maré enchente do que na vazante (Tabela 7). Tanto na maré vazante como na enchente a maior contribuição de carbono dissolvido no estuário do rio Jaguaribe foi a forma inorgânica, principalmente durante a enchente (Gráficos 10 e 11) onde há maior entrada de água marinha no estuário, que pode ser a principal fonte de CID. Já o COD apresentou a maior média percentual em maré vazante (Gráfico 10), 21,82%, do que na enchente (Gráfico 11), 19,63%, mostrando que as fontes de COD do estuário para o oceano são proporcionalmente mais significativas do que do oceano para o estuário.

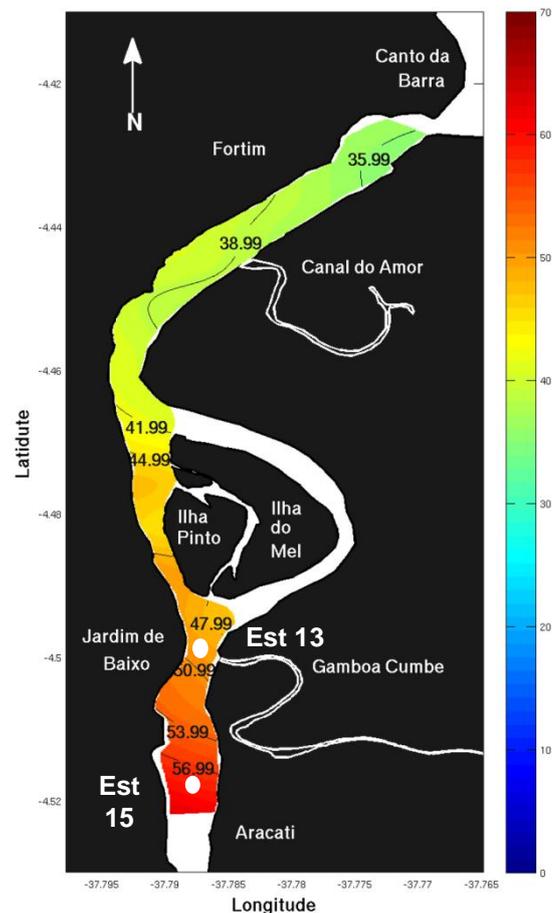
Além disso, o CDT apresentou uma boa correlação com o pH e OD na maré vazante, caracterizando a da água marinha como uma importante fonte de CDT, e com o oxigênio dissolvido na maré vazante (Tabela 2).

Figura 19- Distribuição espacial do CDT ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) no estuário do rio Jaguaribe na maré vazante.



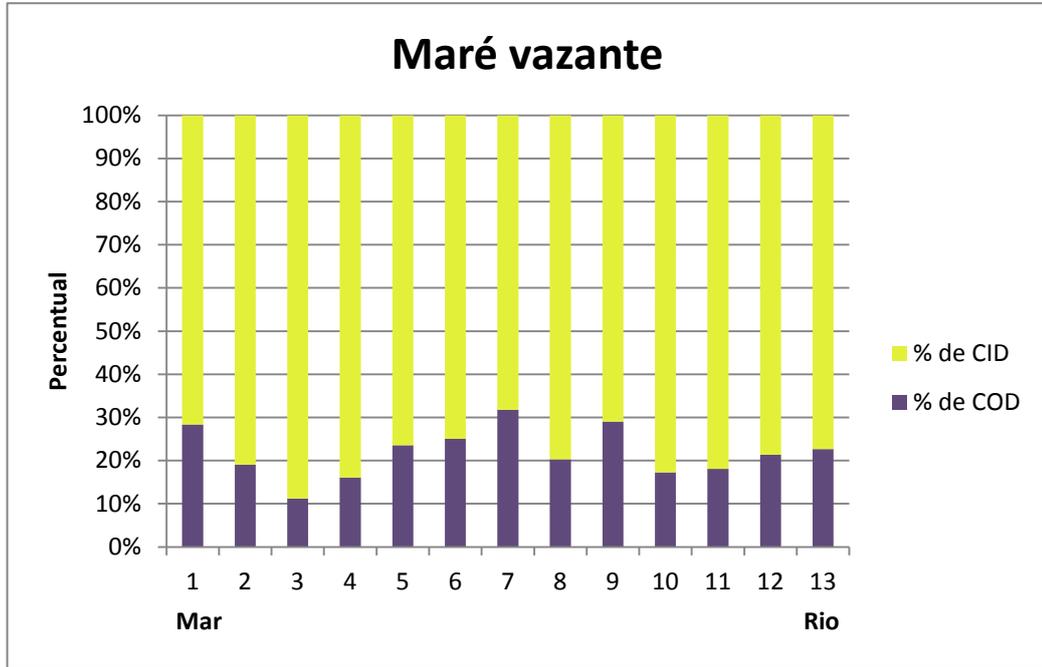
Fonte: dados deste trabalho.

Figura 20 - Distribuição espacial do CDT ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) no estuário do rio Jaguaribe na maré enchente.



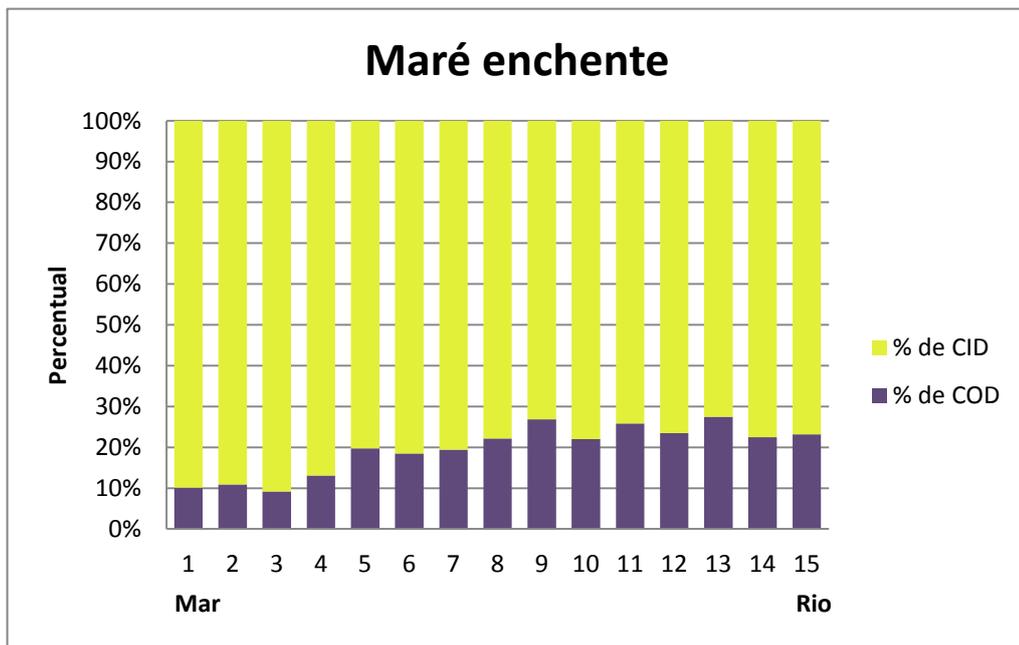
Fonte: dados deste trabalho.

Gráfico 10 - Percentual de COD e CID em cada estação de amostragem durante a maré vazante.



Fonte: dados deste trabalho.

Gráfico 11 - Percentual de COD e CID em cada estação de amostragem durante a maré enchente.



Fonte: dados deste trabalho.

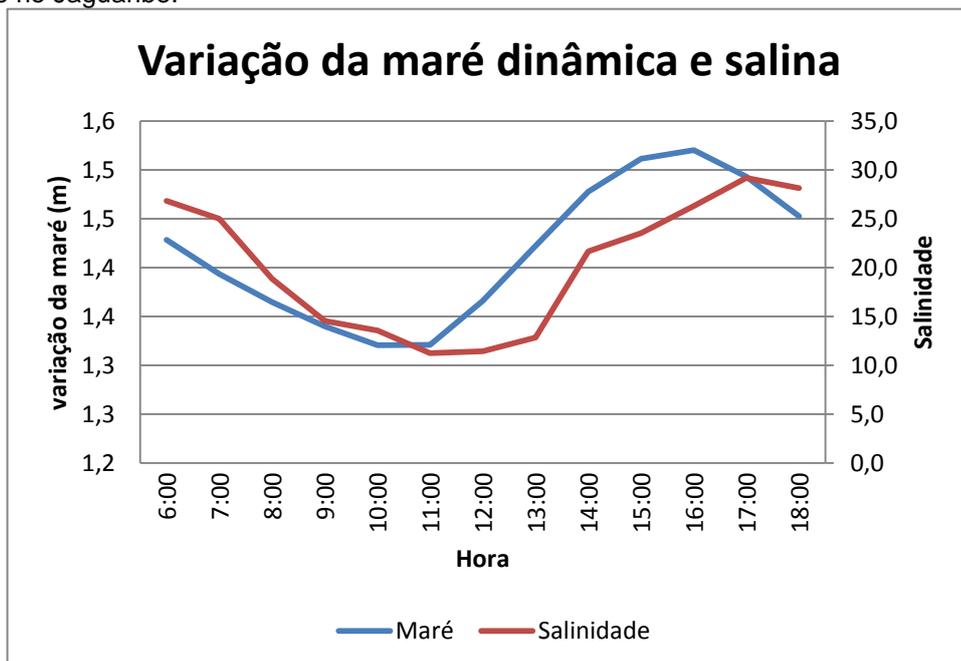
### 5.3 Variação temporal dos parâmetros hidroquímicos no estuário do rio Jaguaribe durante um ciclo de maré.

#### 5.3.1 Salinidade

A maré dinâmica é a variação periódica do nível do mar, em ambientes costeiros é resultado de um efeito secundário da variação da profundidade do oceano, propagando através de águas rasas como uma onda ou uma combinação delas (PAWLOWICZ; BEARDSLEY; LENTZ, 2002). A maré salina corresponde à penetração de águas marinhas no estuário em direção oposta ao fluxo fluvial. Percebe-se que a maré salina possui um pequeno atraso em relação à maré dinâmica no estuário do rio Jaguaribe (Gráfico 12).

A salinidade variou de 11,2 a 29,2 (Tabela 8), com média de 20,2, a vazante se estendeu de 6 às 11 horas da manhã, aproximadamente, e a enchente por volta de 11 às 17 horas, voltando a secar novamente às 18 horas. Na variação da maré dinâmica, a vazante durou das 6 às 11 horas e a maré enchente das 11 às 16 horas, voltando a baixar a partir das 16 horas. No gráfico 12, mostra um atraso da maré salina em relação á maré dinâmica.

Gráfico 12 - Variação da maré dinâmica e salina em um ponto fixo no estuário do rio Jaguaribe.



Fonte: dados deste trabalho.

### 5.3.2 pH

O pH encontrou-se na faixa de 5,8 a 6,4, com média de 6,2 (Tabela 8). Diferentemente do que se esperava, o pH não apresentou comportamento semelhante ao da água marinha (Gráfico 12). Contudo, o pH é crescente até às 12 horas, período de grande luminosidade, tal agente físico pode estar favorecendo o processo de fotossíntese na maré vazante, e conseqüentemente o aumento do pH através da remoção de CO<sub>2</sub> do meio aquoso (ESTEVES, 1998). Salienta-se que, na faixa de pH encontrada nessa amostragem a forma predominante de CID é o ácido carbônico e o CO<sub>2</sub>.

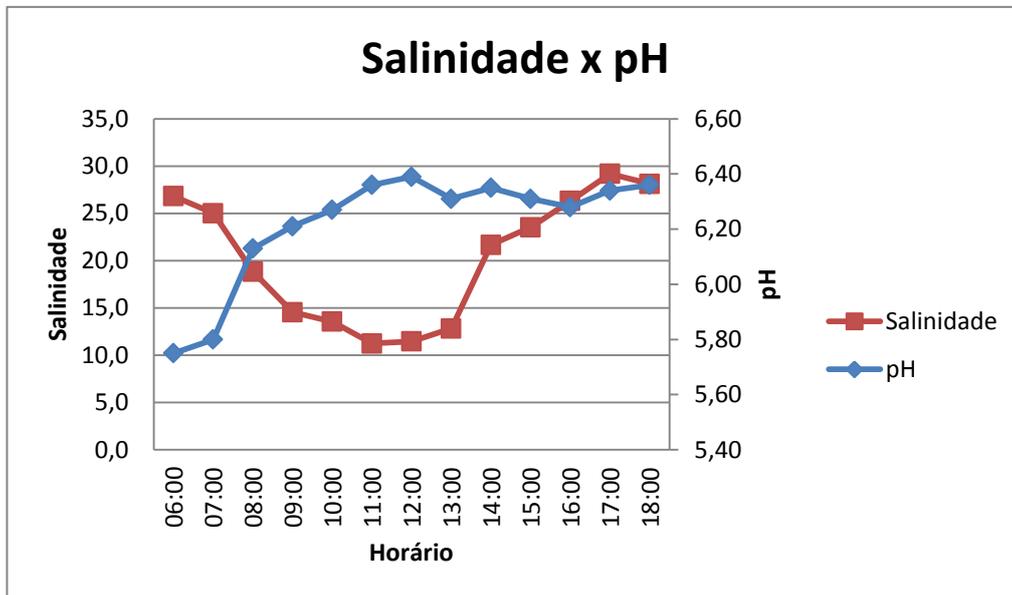
Depois do meio dia, durante a maré enchente, o pH sofre uma pequena redução e fica mais estabilizado. Embora o pH não tenha se comportado como a salinidade, a média na maré enchente, foi de 6,3, foi maior do que na vazante, foi de 6,1 Logo, nesta estação a atividade biológica pode ser um importante agente mantenedor do pH na maré vazante, assim como observado espacialmente na maré enchente.

Tabela 8 - Variações do pH e da salinidade durante um ciclo de maré.

Ponto Fixo		
Hora	pH	Salinidade
06:00	5,8	26,8
07:00	5,8	25,0
08:00	6,1	18,8
09:00	6,2	14,6
10:00	6,3	13,6
11:00	6,4	11,2
12:00	6,4	11,5
13:00	6,3	12,8
14:00	6,4	21,7
15:00	6,3	23,5
16:00	6,3	26,3
17:00	6,3	29,2
18:00	6,4	28,1

Fonte: dados deste trabalho.

Gráfico 13 - Comportamento da salinidade e do pH durante um ciclo de maré.



Fonte: dados deste trabalho.

## 5.4 Variação temporal das concentrações de carbono dissolvido no estuário do rio Jaguaribe na maré vazante e na maré enchente

### 5.4.1 Carbono Orgânico Dissolvido (COD)

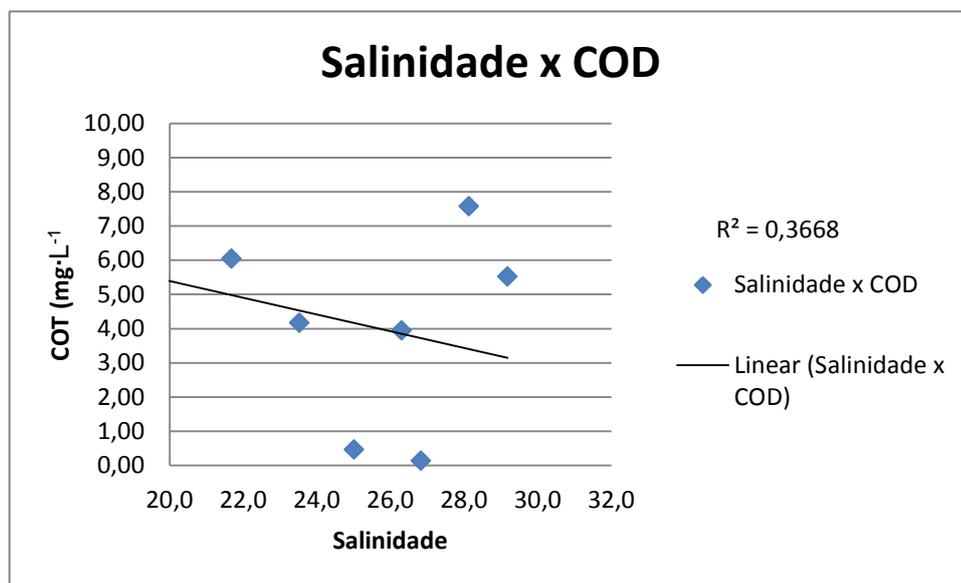
O COD variou de 0,14 a 8,97 mg·L<sup>-1</sup> durante um ciclo de maré (Gráfico 13), com média de 5,33 mg·L<sup>-1</sup>. As concentrações médias de COD nas marés vazante e enchente foram, respectivamente, 4,98 e 5,75 mg·L<sup>-1</sup>. Esses valores foram comparáveis aos de COD do rio Paraíba do Sul (1,2 a 6,7 mg·L<sup>-1</sup>) e a concentração de COD neste estuário também diminuiu com a entrada da maré (KRÜGER *et al.*, 2003).

O comportamento do COD não foi conservativo em relação à salinidade (Gráfico 14). As concentrações de COD durante a maré vazante aumentaram (de 6 às 11 horas e de 17 às 18), e durante a enchente as concentrações de COD diminuíram (de 12 às 16 horas) (Gráfico 15). Tal fato pode ser atribuído ao aporte de COD ser oriundo do transporte fluvial, visto que a força da maré é menor na vazante e conseqüentemente a contribuição do rio é maior. Outro fato preponderante foi o favorecimento da produtividade primária ao longo do dia. No início da maré enchente e final da vazante foram observados os maiores valores de COD, horário coincidente

com o pico de insolação (12 horas). Na maré enchente, a entrada de águas marinhas é maior, promovendo uma maior diluição do COD e a insolação no período correspondente a maré enchente é menor, provavelmente diminuindo a taxa de produção.

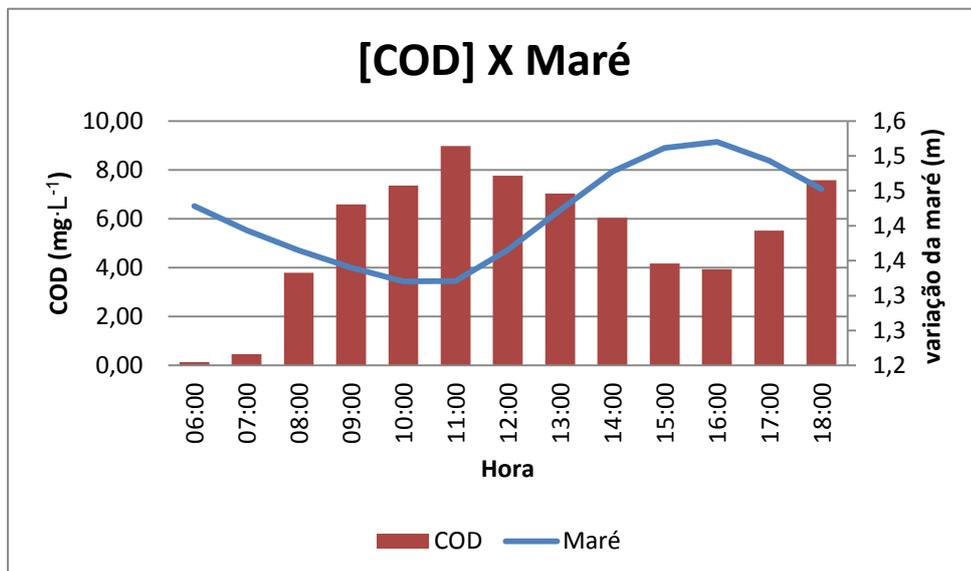
O COD apresentou correlação com o pH (Tabela 9). Como já mencionado anteriormente, o aumento do pH pode estar ligado ao processo de fotossíntese e consequentemente ao aumento de COD na maré vazante.

Gráfico14- Correlação entre o COD e a salinidade durante um ciclo de maré.



Fonte: dados deste trabalho.

Gráfico15 - Variação da concentração de COD durante um ciclo de maré.



Fonte: dados deste trabalho.

Tabela 9 - Correlações entre salinidade, pH, COD, CID e CDT (n = 10;  $\alpha = 0,05$ ).

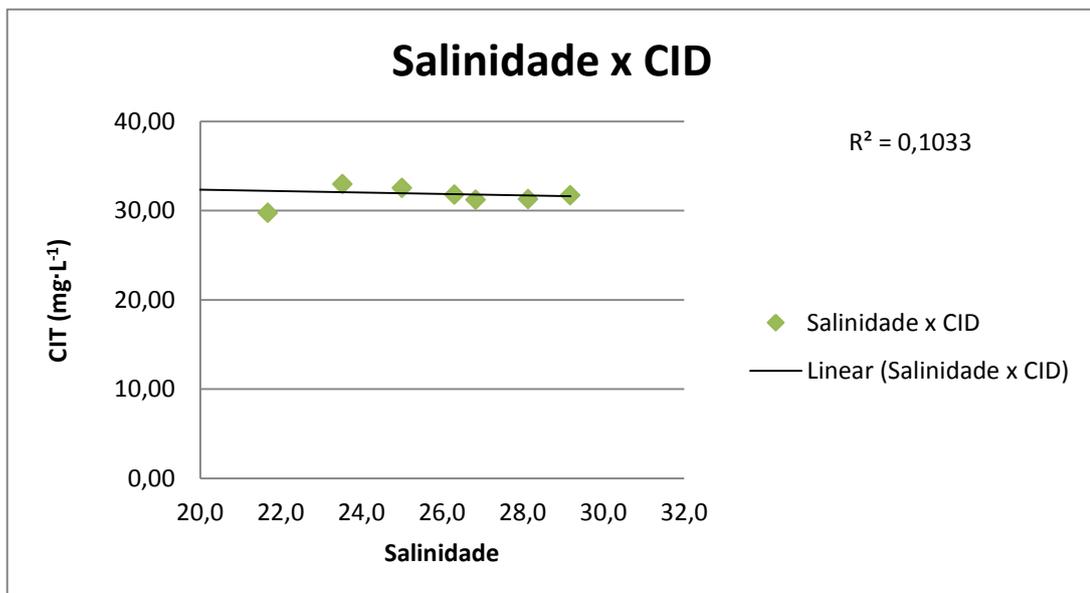
	Salinidade	pH	COD	CID	CDT
Salinidade	1	-0,332	-0,606	-0,321	<b>-0,675</b>
pH		1	<b>0,877</b>	-0,081	<b>0,693</b>
COD			1	-	-
CID				1	0,546
CTD					1

Fonte: dados deste trabalho.

#### 5.4.2 Carbono Inorgânico Dissolvido (CID)

O CID variou de 29,74 a 35,69  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , com média de 32,33  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$  (Gráfico 17). As concentrações médias de CID na maré vazante e enchente foram 33,04 e 31,51  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , respectivamente. Não houve uma grande diferença entre as concentrações médias da maré enchente e da vazante, 1,53  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , mostrando a grande influência das águas marinhas nas duas marés.

Gráfico16 - Correlação entre o CID e a salinidade durante um ciclo de maré.

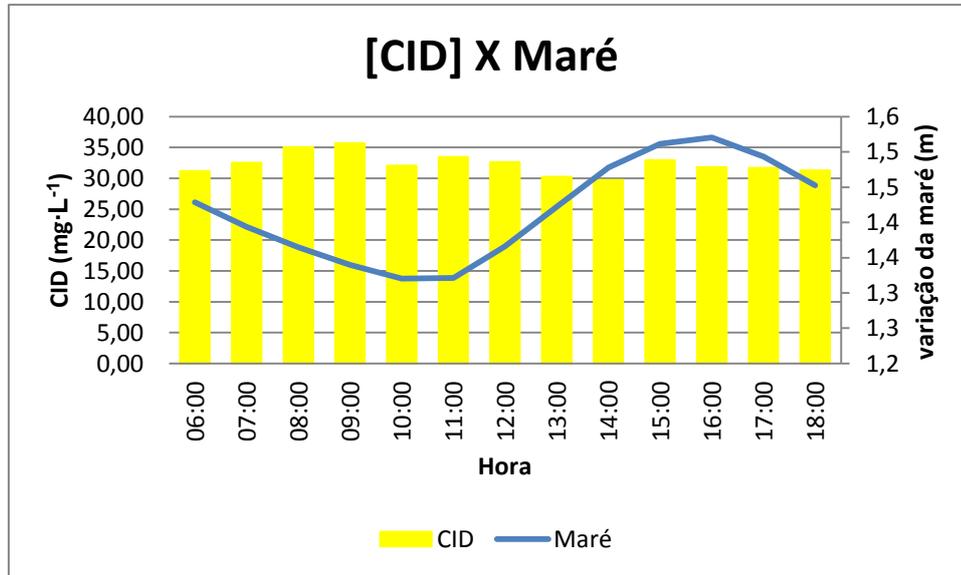


Fonte: dados deste trabalho.

O CID apresentou comportamento não conservativo em relação à salinidade (Gráfico 16). As concentrações de CID foram bastante elevadas devido ao aporte marinho nas duas marés, ao balanço hídrico negativo da região e,

possivelmente aos processos de respiração e de decomposição da matéria orgânica (ESCHRIQUE, 2010).

Gráfico 17 - Variação da concentração de CID durante um ciclo de maré.



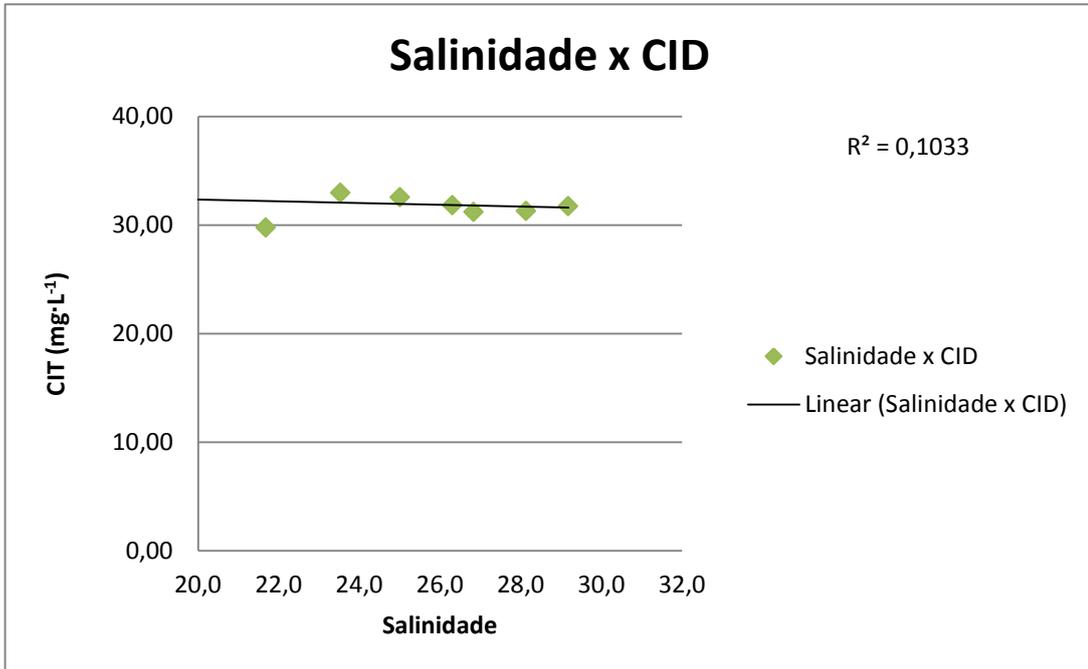
Fonte: dados deste trabalho.

#### 5.4.3 Carbono Dissolvido Total (CDT)

O comportamento do CDT foi não conservativo em relação à salinidade (Gráfico 18). O CDT variou de 31,32 a 42,45 mg·L<sup>-1</sup>, com média de 37,67 mg·L<sup>-1</sup> (Gráfico 19), as mediadas concentrações na maré vazante e enchente foram, respectivamente, 38,03 e 37,25 mg·L<sup>-1</sup>. Assim como o CID, a diferença entre as concentrações médias de CDT foi pequena e a maior foi na maré vazante.

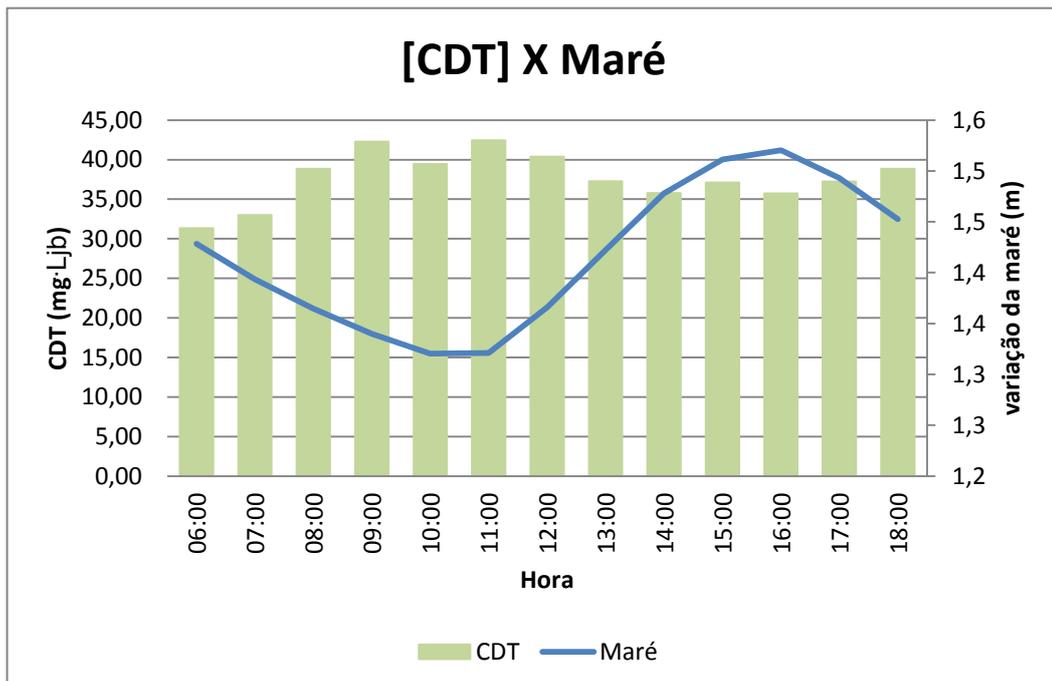
Como a variação das concentrações de CID foi menor do que as do COD, o maior responsável pelas variações nas concentrações de CDT foi o COD, muito embora suas concentrações tenham sido bem menores do que as do CID.

Gráfico18 - Correlação entre o CID e a salinidade durante um ciclo de maré.



Fonte: dados deste trabalho.

Gráfico 19 - Variação da concentração de CDT durante um ciclo de maré.



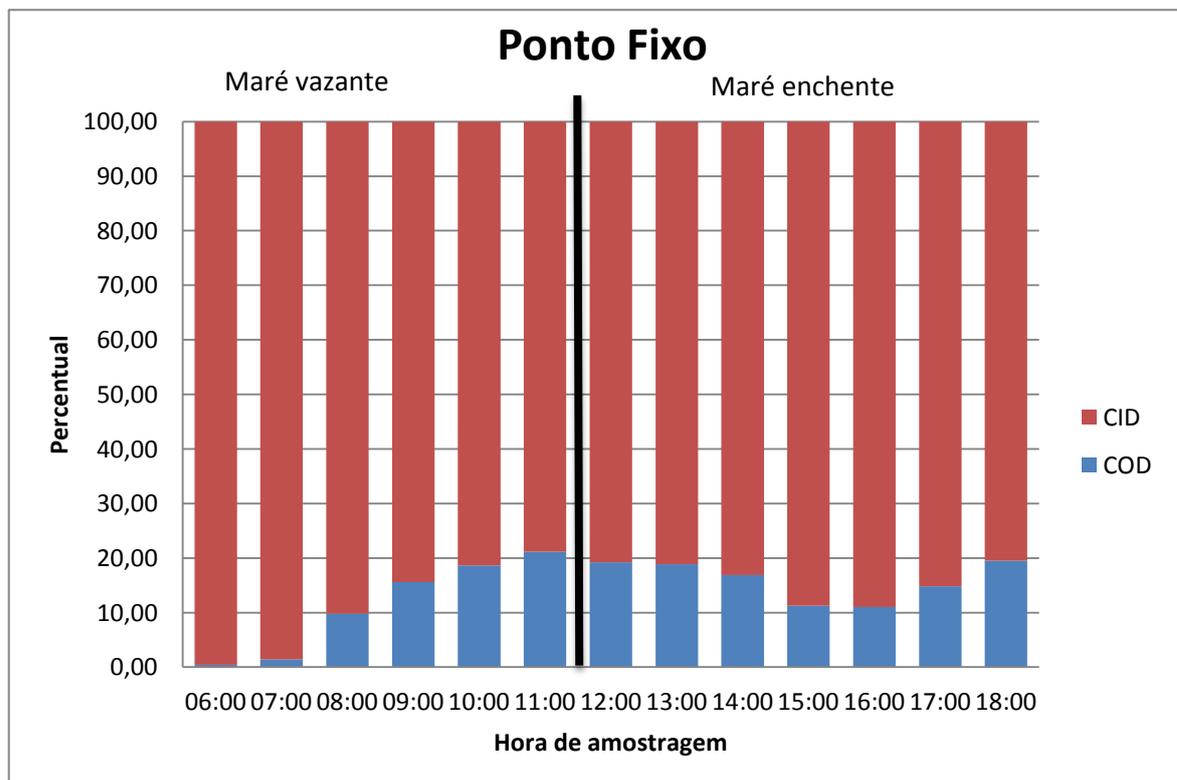
Fonte: dados deste trabalho.

Em ambas as marés, o maior percentual de carbono é na forma de CID (Gráfico 20). Contudo, a média percentual do CID na vazante, 88,84%, é maior do que na enchente, 84,66%.

O percentual de COD aumenta com o aumento da insolação, de 6 às 11 horas da manhã, que favorece a produtividade primária e diminui de 12 às 14 horas da tarde devido à menor insolação nesse período.

Contudo, a média percentual de COD na maré enchente, 15,34%, eliminando o último ponto dos cálculos, é maior do que a da vazante, 11,16%, mostrando que as fontes de COD estuarinas são proporcionalmente mais significativas do que as marinhas, corroborando com os resultados da amostragem lagrangeana.

Gráfico 20 - Percentual de COD e CID coletado em intervalos de uma hora durante um ciclo de maré em um ponto fixo.



Fonte: dados deste trabalho.

## 6 CONCLUSÕES

Os teores de carbono orgânico dissolvido são similares aos de vários estuários no mundo, entretanto os teores de CID foram superiores a destes estuários, provavelmente espelhando a influência do clima semiárido e o balanço hídrico negativo da região.

Os teores de COD, CID e CDT foram não conservativos em relação à salinidade, durante a maré vazante e conservativos em relação à salinidade na maré enchente. Na maré vazante, muito provavelmente, há exportação de COD. Enquanto que na maré enchente, o represamento do molhe hidráulico causado pela maré enchente promoveu aumento do CID e do COD, na região compreendida entre a Ilha do Mel e Aracati (da estação 8 à 15). Além disso, os teores de CID são superiores na maré enchente, mostrando a influência das águas marinhas. Entretanto, na maré vazante, observa-se um aumento dos teores de CID, no estuário, entre o Canal do Amor e a Ilha do Mel (3 e 8), muito provavelmente, apontando que nesta maré a área de represamento é mais próxima da foz e favorece à formação de CID nessa área do estuário.

Na abordagem euleriana, o comportamento do COD, CID e CDT não foi conservativo com a salinidade. O COD mostrou que a produção desta fração muito provavelmente está mais relacionada ao horário de amostragem do que ao tipo de maré e deve estar diretamente relacionada à produtividade primária, uma vez que o COD mostrou correlação com estatística significativa com o pH e o pH não se correlacionou com a salinidade.

Estudos futuros devem observar variações de maré com picos de enchente e/ou vazante fora do horário de máximo de insolação e, devem avaliar os teores de clorofila para melhor compreensão da origem do COD.

Os dados deste trabalho estão sendo modelados em parceria com hidrofísicos para obtenção das descargas de carbono para o oceano.

## REFERÊNCIAS

- ABRIL, G. *et al.* Behaviour of Organic Carbon in Nine Contrasting European Estuaries. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 54, n. 2, p. 241-262, fev. 2002.
- ANDREWS, J. E. *et al.* **An Introduction to Environmental Chemistry**. Carlton: Wiley-Blackwell, 2010. p. 320
- APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. 2005. **Standard methods for examination of water and wastewater**. ed. 20. Washington: Port City Press. Cap 1:1-55p.
- AQUASIS - Associação de pesquisa e preservação de ecossistemas aquáticos. **A zona costeira do Ceará: diagnóstico para a gestão integrada**. Fortaleza: [s.n.]. p. 248p
- BAUER, J. E.; BIANCHI, T. S. Dissolved Organic Carbon Cycling and Transformation. **Treatise on Estuarine and Coastal Science**, v. 5, p. 7-68, 2011.
- BIANCHI, T. S. *et al.* Carbon Cycling in a Shallow Turbid Estuary of Southeast Texas: The Use of Plant Pigment Biomarkers and Water Quality Parameters. **Estuaries**, v. 20, n. 2, p. 404-415, jun. 1997.
- BIANCHI, T. S.; BAUER, J. E. Particulate Organic Carbon Cycling and Transformation. **Treatise on Estuarine and Coastal Science**, v. 5, p. 69-118, 2011.
- BOUILLON, S. *et al.* A new automated setup for stable isotope analysis of dissolved organic carbon. **Limnology and oceanography: methods**, v. 4, n. 1994, p. 216-226, 2006.
- BOUILLON, S. *et al.* Dynamics of organic and inorganic carbon across contiguous mangrove and seagrass systems (Gazi Bay, Kenya). **Journal of Geophysical Research**, v. 112, n. G2, p. 1-14, 9 maio. 2007.
- BRITO, F. P. *et al.* **Caracterização espacial e temporal da matéria orgânica particulada e dissolvida na porção fluvial e estuário interno do rio Paraíba do Sul , RJ**. Rio Grande, 2010.
- CAI, W.-J. *et al.* The biogeochemistry of inorganic carbon and nutrients in the Pearl River estuary and the adjacent Northern South China Sea. **Continental Shelf Research**, v. 24, n. 12, p. 1301-1319, ago. 2004.
- CALIXTO, P. S.; LACERDA, L. D.; DIAS, F. J. S. Variação espacial do percentual de água doce e do tempo de residência no estuário do rio Jaguaribe (CE), durante a estação de chuva de 2012. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE OCEANOGRAFIA, 5, 2012, Rio de Janeiro. **Anais do Congresso Brasileiro de Oceanografia**. Rio de Janeiro: Centro de Convenções Sul América. 2012. CD-ROM

CAMERON, W.M; PRITCHARD, D.W. Estuaries. *In*: HILL, M. N. (Ed.). **The Sea: ideas and observations on progress in the study of the seas**. New York: Wiley. v. 2, 1963, p. 306-324.

CROSSLAND, C. J. *et al.* The Coastal Zone – a Domain of Global Interactions. *In*: **Coastal Fluxes in the Anthropocene**. Berlin: Springer, 2005. p. 1-37.

DAI, M. *et al.* Preliminary study on the dissolved and colloidal organic carbon in the Zhujiang river estuary. **Chinese Journal of Oceanology and Limnology**, v. 18, n. 3, p. 265-273, 2000.

DEGENS, E. T.; ITTEKKOT, V. The carbon cycle--tracking the path of organic particles from sea to sediment. **Geological Society, London, Special Publications**, v. 26, n. 1, p. 121-135, 1 jan. 1987.

DIAS, F. J. DA SILVA. **Avaliação de descarga e geoquímica do material em suspensão no estuário do Rio Jaguaribe, CE**. 2005.107p. Monografia (Graduação em Geologia) - Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. 2005.

DIAS, F.J.S. *et al.* Dependência do tempo de residência da água no estuário do rio Jaguaribe (Ne, Brasil), em relação à entrada de águas marinhas e a descarga de água doce. *In*: Congresso Latino-Americano de Ciências do Mar, 12, 2007, Florianópolis. **Anais do XII Congresso Latino-Americano de Ciências do Mar - XII COLACMAR**. Florianópolis: Centro Sul, 2007. CD-ROM.

DIAS, F. J. S. **Hidrodinâmica das descargas fluviais para o estuário do Rio Jaguaribe (CE)**. 2007.111p.Dissertação (Mestrado em Ciências Marinhas Tropicais) - Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.

DIAS, F.J.S. **Circulação e massas de água na plataforma continental leste do Ceará: modelagem numérica e observações**. 2011. 294p. Tese (Doutorado em Ciências, área de Oceanografia Física) – Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, 2011.

EATHERALL, A.; NADEN, P. S.; COOPER, D. M. Riverine export of aged terrestrial. **The Science of the Total Environment**, p. 519-533, 1997.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 2006. p. 306

ESCHRIQUE, S. A. **Hidrogeoquímica do fósforo no estuário do Jaguaribe (CE)**. 2007.100p. Dissertação (Mestrado em Ciências Marinhas Tropicais) - Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, 2007.

ESCHRIQUE, S. A. **Estudo do balanço biogeoquímico dos nutrientes dissolvidos principais como indicador da influência antrópica em sistemas estuarinos do nordeste e sudeste do Brasil**. 2011. 231p. Tese (Doutorado em Ciências, área de Oceanografia Química e Geológica) – Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, 2011.

- ESTEVEES, Francisco de Assis. **Fundamentos de Liminologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. p. 602
- ESTEVEES, Francisco de Assis. **Fundamentos de Liminologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. p. 790
- FINDLAY, Stuart E. G.; SINSABAUGH, Robert L. **Aquatic Ecosystems**. San Diego: Academic Press, 2003. p. 512
- FISHER, T. R.; HAGY, J. D.; ROCHELLE-NEWALL, E. Dissolved and Particulate Organic Carbon in Chesapeake Bay. **Estuaries**, v. 21, n. 2, p. 215, jun. 1998.
- FLYNN, A. M. Organic Matter and Nutrient Cycling in a Coastal Plain Estuary: Carbon, Nitrogen, and Phosphorus Distributions, Budgets, and Fluxes. **Journal of Coastal Research**, n. 55, p. 76-94, 2008.
- GATTO, L. C. S. **Diagnóstico Ambiental da Bacia do Rio Jaguaribe – Diretrizes Gerais para a Ordenação Territorial**. Ministério de Planejamento e Orçamento – Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 77p.1999.
- GODOY, M.D.P. **Mudanças na sedimentação no estuário do rio Jaguaribe (CE) devido à mudanças nos usos do solo**. 2011. 78p. Dissertação (Mestrado em Ciências Marinhas Tropicais) - Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.
- GU, D.; ZHANG, L.; JIANG, L. The effects of estuarine processes on the fluxes of inorganic and organic carbon in the Yellow River estuary. **Journal of Ocean University of China**, v. 8, n. 4, p. 352-358, 25 out. 2009.
- GUO, X. *et al.* Seasonal variations in the inorganic carbon system in the Pearl River (Zhujiang) estuary. **Continental Shelf Research**, v. 28, n. 12, p. 1424-1434, jul. 2008.
- HE, B. *et al.* Distribution, degradation and dynamics of dissolved organic carbon and its major compound classes in the Pearl River estuary, China. **Marine Chemistry**, v. 119, n. 1-4, p. 52-64, abr. 2010.
- HEDGES, J. I.; KEIL, R. G.; BENNER, R. What happens to terrestrial organic matter in the ocean? **Organic Geochemistry**, v. 27, n. 5-6, p. 195-212, nov. 1997.
- HUNG, J.-J.; HUANG, M.-H. Seasonal variations of organic-carbon and nutrient transport through a tropical estuary (Tsengwen) in southwestern Taiwan. **Environmental Geochemistry and Health**, v. 27, n. 1, p. 75-95, fev. 2005.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Dimensão ambiental: Oceanos, mares e áreas costeiras**, 2004.

KRÜGER, G. C. T. *et al.* Dinâmica de carbono orgânico dissolvido no estuário do rio Paraíba do Sul, R. J., sob diferentes condições de maré e descarga fluvial. **Atlântica**, Rio Grande, v. 25, p. 27-33, 2003.

**LOICZ. CORE PROJECT OF THE INTERNATIONAL GEOSPHERE-BIOSPHERE PROGRAMME: A STUDY OF GLOBAL CHANGE.** Quezon City: [s.n.].

MACHADO, P. *et al.* **A MATÉRIA ORGÂNICA DISSOLVIDA NA INTERFACE CONTINENTE- OCEANO : UMA ABORDAGEM BIOGEOQUÍMICA NO AMBIENTE ESTUARINO DO RIO PARAÍBA DO SUL , ESTADO DO RIO DE JANEIRO** Rio Grande, 2010.

MARKAGER, S.; STEDMON, C. A.; SØNDERGAARD, M. Seasonal dynamics and conservative mixing of dissolved organic matter in the temperate eutrophic estuary Horsens Fjord. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 92, n. 3, p. 376-388, maio. 2011.

MARINS, R. V. *et al.* Impacts of land-based activities on the Ceará coast, NE Brazil. *In:* Lacerda, Luis Drude. *et al.* **South American Basins: LOICZ Global Change Assessment and Synthesis of River Catchment – Coastal Sea Interaction and Human Dimensions.** LOICZ Reports & Studies nº21. 2002. p. 92-98.

MARINS, R. V.; DIAS, F. J. S. Alterações na hidrogeoquímica do estuário do rio Jaguaribe-Ce: Descarga ou retenção de materiais? *In:* CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA. 9.2003. Belém. **Anais do IX Congresso Brasileiro de Geoquímica.** Belém. 2003. p. 480-482.

MARINS, R. V.; LACERDA, L. D.; ABREU, I. M; DIAS, F. J. S. Efeitos da açudagem no rio Jaguaribe. **Revista Ciência Hoje**, v.33, p. 66-70. 2003.

MEYBECK, M. Carbon, nitrogen and phosphorus transport by major World Rivers. **American Journal of Science**, v. 282, p. 401-450, 1982.

MIRANDA, Luiz Bruner; CASTRO, Belmiro Mendes; KJERFVE, Björn. **Princípios de oceanografia física de estuários.** São Paulo: Edusp. 2002. 417 p.

MONTEIRO, L.H.U. **Estudo das áreas de mangues entre os estados Piauí e Pernambuco com um enfoque para o estado do Ceará nos anos de 1978 e 1999/2004 utilizando sensoriamento remoto.** 2005. 196 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Marinhas Tropicais) - Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2005.

OLIVEIRA, R. B. C; MARINS, R. V. Distribution of Selected Trace Metals in Surface Sediments of the Tropical Jaguaribe River Estuary, Northeastern Brazil. *In:* Colloquium Spectroscopicum, 37, 2011, Búzios: Atlântico Búzios Hotel, 2011. CD-ROM

ORTEGA, T. *et al.* Fluxes of dissolved inorganic carbon in three estuarine systems of the Cantabrian Sea (north of Spain). **Journal of Marine Systems**, v. 53, n. 1-4, p. 125-142, jan. 2005.

PAGES, J.; LEMOALLE, J.; FRITZ, B. Distribution of Carbon in a Tropical Hypersaline Estuary, The Casamance. **Estuaries**, v. 18, n. 3, p. 456-468, 1995.

PAULA, D. P.; MORAIS, J. O.; PINHEIRO, L. S. Análise geoambiental do estuário do rio Jaguaribe-CE: tensores naturais e antrópicos. *In*: SIMPÓSIO NACIONAL DE GEOMORFOLOGIA, 6, 2006, Goiânia. **Anais do VI Simpósio Nacional de Geomorfologia**. Goiânia: UFG. 2006.

PAWLOWICZ, R; BEARDSLEY, B; LENTZ, S. Classical tidal harmonic analysis including error estimates in MATLAB using T\_ TIDE. **Computers & Geosciences**. v.28. p. 929-937. 2002.

PEDROSA, P.; CALASANS, C.V.C.; REZENDE, C.E. Particulate and dissolved phases as indicators of limnological and ecophysiological spatial variation in Cima Lake system, Brazil: a case study. **Hydrobiologia**. Holanda. v. 411. p. 89–101, 1999.

PEREIRA, Renato Crespo; SOARES-GOMES, Abílio. **Biologia Marinha**. Rio de Janeiro: Editora Interciência Ltda. 2009. 632p.

PETERSON, B. *et al.* The Distribution and Stable Carbon Isotopic Composition of Dissolved Organic Carbon in Estuaries. **Estuaries**, v. 17, n. 1, p. 111, mar. 1994.

RALISON, O. H. *et al.* Carbon biogeochemistry of the Betsiboka estuary (north-western Madagascar). **Organic Geochemistry**, v. 39, n. 12, p. 1649-1658, dez. 2008.

RAYMOND, P. A.; BAUER, J. E.; COLE, J. J. Atmospheric CO<sub>2</sub> evasion, dissolved inorganic carbon production, and net heterotrophy in the York River estuary. **Limnology and Oceanography**, v. 45, n. 8, p. 1707-1717, 2000.

ROWE, G. T. *et al.* Do continental shelves export organic matter? **Nature**, v. 324, n. 6097, p. 559-561, 11 dez. 1986.

SOARES, T. C. M.; MARINS, R. V.; DIAS, F. J. S. Interpretação química da salinidade de um estuário da costa Nordeste oriental ao longo de um ciclo de maré. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE OCEANOGRAFIA, 3, 2010, Rio Grande. **Anais do III Congresso Brasileiro de Oceanografia**. Rio Grande: FURG, 2010. p. 921–923.

SOARES, T.C.M. **Variação sazonal, transporte e partição de Hg no gradiente fluviomarinho do rio Jaguaribe– CE**. 2011. 101p. Dissertação (Mestrado em Ciências Marinhas Tropicais) - Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

SURATMAN, M. N. Carbon Sequestration Potential of Mangroves in Southeast Asia. **Managing Forest Ecosystems: The Challenge of Climate Change**, v. 17, p. 297-314, 2008.

SYVITSKI, J. P. M. *et al.* Impact of humans on the flux of terrestrial sediment to the global coastal ocean. **Science (New York, N.Y.)**, v. 308, n. 5720, p. 376-80, 15 abr. 2005.

THERMOS SCIENTIFIC CORPORATION. Solids Accessory, for manual introduction of liquid samples containing particles, highly viscous samples and solids. **Chapter1, General information**, 2008.

TURNEWITSCH, R. *et al.* Determination of particulate organic carbon (POC) in seawater: The relative methodological importance of artificial gains and losses in two glass-fiber-filter-based techniques. **Marine Chemistry**, v. 105, n. 3-4, p. 208-228, jun. 2007.

VIEIRA, L.B.; LACERDA, L. D.; DIAS, F. J. S. Dinâmica semidiurna da salinidade e do material particulado em suspensão no estuário do rio Jaguaribe (CE). *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE OCEANOGRAFIA, 5, 2012, Rio de Janeiro. **Anais do Congresso Brasileiro de Oceanografia**. Rio de Janeiro: Centro de Convenções Sul América. 2012. CD-ROM

WANG, X.-C.; CHEN, R. F.; GARDNER, G. B. Sources and transport of dissolved and particulate organic carbon in the Mississippi River estuary and adjacent coastal waters of the northern Gulf of Mexico. **Marine Chemistry**, v. 89, n. 1-4, p. 241-256, out. 2004.

WINTER, P. E. D.; SCHLACHER, T. A.; BAIRD, D. Carbon flux between an estuary and the ocean : a case for outwelling. **Hydrobiologia**, p. 123-132, 1996.

ZOCATELLI, R.O. *et al.* Distribuição e caracterização da matéria orgânica no gradiente estuarino do r. Jaguaribe, CE, Brasil. *In*: Congresso Latino-Americano de Ciências do Mar, 12, 2007, Florianópolis. **Anais do XII Congresso Latino-Americano de Ciências do Mar - XII COLACMAR**. Florianópolis: Centro Sul, 2007. CD-ROM.