



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR  
PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS MARINHAS TROPICAIS**

**MARIANY SOUSA CAVALCANTE**

**TRANSPORTE DE CARBONO ORGÂNICO DISSOLVIDO NO ESTUÁRIO DO RIO  
JAGUARIBE SOB CLIMA SEMIÁRIDO**

**FORTALEZA  
2015**

**MARIANY SOUSA CAVALCANTE**

**TRANSPORTE DE CARBONO ORGÂNICO DISSOLVIDO NO ESTUÁRIO DO RIO  
JAGUARIBE SOB CLIMA SEMIÁRIDO**

**Dissertação apresentada à Coordenação do Programa de Pós-graduação de Ciências Marinhas Tropicais do Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR) da Universidade Federal do Ceará como requisito parcial de obtenção do Título de Mestre em Ciências Marinhas Tropicais.**

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

**Co-orientador: Prof. Dr. Francisco José da Silva Dias.**

**FORTALEZA**

**2015**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Rui Simões de Menezes

---

C364t Cavalcante, Mariany Sousa.

Transporte de carbono orgânico dissolvido no estuário do rio Jaguaribe sob clima semiárido /  
Mariany Sousa Cavalcante. – 2015.  
83f.: il. color., enc. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do Mar,  
Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais, Fortaleza, 2015.  
Área de Concentração: Utilização e Manejo de Ecossistemas Marinhos e Estuarinos.  
Orientação: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Rozane Valente Marins.  
Co-Orientação: Prof<sup>o</sup> Dr.<sup>o</sup> Francisco José da Silva Dias.

1. Estuário – Rio Jaguaribe (Ceará). 2. Carbono orgânico. I. Título.

---

CDD 551.4618

**MARIANY SOUSA CAVALCANTE**

**TRANSPORTE DE CARBONO ORGÂNICO DISSOLVIDO NO ESTUÁRIO DO RIO  
JAGUARIBE SOB CLIMA SEMIÁRIDO**

**Dissertação apresentada à Coordenação do  
Programa de Pós-graduação de Ciências  
Marinhas Tropicais, da Universidade  
Federal do Ceará, como requisito parcial de  
obtenção do título de Mestre.**

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

**BANCA EXAMINADORA**

---

**Prof. Dra. Rozane Valente Marins (Orientadora)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)**

---

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

---

**Prof. Dr. Luiz Drude de Lacerda  
Universidade Federal do Ceará (UFC)**

---

**Prof. Dra. Maria Ozilea Bezerra Menezes  
Universidade Federal do Ceará (UFC)**

Dedico tudo a Deus e à minha família  
Marcos, Luciene, Lucas, Priscila e Breno.

## AGRADECIMENTOS

Acima de tudo a Deus por permitir a finalização deste trabalho.

À minha família, Marcos, Lucas, Priscila e Breno, e amigos pelo apoio e compreensão.

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

Ao Prof. Dr. Francisco José da Silva Dias pela amizade, orientação, ensinamentos e ajuda desde o primeiro campo até a elaboração deste trabalho.

Aos membros da banca, Prof. Dr. Francisco José da Silva Dias, Profa. Dra. Rozane Valente Marins, Prof. Dr. Luiz Drude de Lacerda, Profa. Dra. Maria Ozilea Bezerra Menezes pela contribuição neste trabalho

Aos professores da Pós-graduação em Ciências Marinhas Tropicais pelo compromisso com o ensino. Em especial ao Professor Vicente, por quem tenho um carinho inestimável, pela amizade, incentivo e orientação.

Ao CNPq pelo fomento deste trabalho através do projeto INCT-TMCO (Processo: 553.601/2008-9) e a CAPES pela concessão da bolsa.

Aos meus amigos do LBC, Júnior, Izabel, Breno, Talita, Isabelle, Roseline, Andréa, Janaína, Karen, Ingra, Edvar, Moisés, Victor, João, Karla, Izadora, Jorge, Beatriz França, André, Yugo, Liliane e Samara por estarem sempre disponíveis para esclarecer dúvidas e ensinar algo novo.

Especialmente à Andréa minha amiga e companheira de todos os dias, não sei o que teria sido de mim sem você nesse mestrado, ao Vitinho, Jorge e Andréa, por me ajudarem bastante na preparação e/ou execução dos campos e ao Edvar pela disponibilidade e paciência nas análises estatísticas.

Obrigada!

## RESUMO

Os estuários são vias de transporte de carbono orgânico dissolvido (COD) do continente para o mar. Contudo, antes de chegar ao seu destino o COD sofre transformações biogeoquímicas e/ou influência da hidrodinâmica estuarina, que dependem de fatores como clima, descarga fluvial e maré.

Este estudo analisou a variação espacial e temporal do COD, a hidroquímica e aspectos físicos do estuário do rio Jaguaribe sob diferentes condições de clima (seco/chuvoso) e maré (vazante/enchente).

A variação espacial dos teores de COD foi entre 1,1 e 6,4 mg.L<sup>-1</sup> na estação seca e entre 1,1 e 9,15 mg.L<sup>-1</sup> na estação chuvosa. Não houve grande variabilidade sazonal dos teores de COD, provavelmente devido ao baixo índice de pluviosidade na estação chuvosa.

O comportamento hidroquímico do COD foi diferente entre as duas estações climáticas. Na estação seca, o COD apresentou comportamento conservativo, fortemente influenciado pelos processos físicos devido ao domínio marinho no estuário. Na estação chuvosa, o comportamento não conservativo e mostrou ser fortemente atrelado à atividade biológica.

O COD apresentou forte correlação positiva com o tempo de residência (TR) e o percentual de água doce (PAD), mostrando a importância da contribuição fluvial para o aporte de COD no ambiente estuarino. Os valores de COD, PAD e TR foram crescentes em direção ao continente, indicando represamento de águas fluviais e do COD à montante.

A zona de mistura do estuário do rio Jaguaribe comportou-se como retentora de COD na estação seca e exportadora na estação chuvosa. O fluxo de COD foi inferior ao esperado para regiões sob clima semiárido, possivelmente pelo regime de chuvas ter sido menor do que a média histórica.

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

## ABSTRACT

Estuaries are pathway for dissolved organic carbon (DOC) from the coastal to the sea. However, before reaching the ocean, DOC can suffers biogeochemical transformations and influence of estuarine hydrodynamics, which responds to seasonal, and tidal changes.

This study analyzed the spatial and temporal variability of DOC, the hydrochemical and physical aspects of Jaguaribe river estuary, under different climate conditions (dry and rainy) and tide (ebb / flood).

The spatial variation of the DOC was between 1.1 and 6.4 mg L<sup>-1</sup> in the dry season and between 1.1 and 9.15 mg L<sup>-1</sup> in the rainy season. There was no great seasonal variability in DOC concentrations, probably due to low levels of rainfall in wet seasons.

The hydrogeochemical DOC behavior was different between the seasons. In the dry season, the DOC showed conservative behavior, highly influenced by physical processes because the tidal effects were dominants in the estuary in this season . In the rainy season, the DOC presented non-conservative behavior, linked to biological activity.

The DOC was strongly correlated with the residence time and the amount of freshwater, it shows the importance of fluvial discharge to the estuarine DOC input. The values of DOC, freshwater input and residence time increased toward the coastal, indicating retention of freshwater and DOC upstream.

The mixing zone of the Jaguaribe River estuary behaved as a DOC retainer in the dry season and as an exporter in the rainy season. The COD flow was lower than expected for areas under semi-arid climate, possibly by rainfall was lower than the historical average.

**Key-words:** Carbon, seasonality, transport and Jaguaribe River estuary.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Distribuição anual média global da produtividade primária estimada para o oceano. .....	14
Figura 2 - Processos biogeoquímicos na zona de mistura estuarina. ....	19
Figura 3- Barreira física construída no estuário do rio Jaguaribe, no município de Itaiçaba. À esquerda, o estuário e à direita o rio.....	21
Figura 4 - Precipitações médias históricas para a região do Baixo Jaguaribe de 1980 a 2009	23
Figura 5 - Índices pluviométricos mensais para os anos de 2012 e 2014 (Posto: Mata Fresca, Aracati).....	24
Figura 6 - Subdivisão do estuário do rio Jaguaribe em zona de rio (ZR), zona de mistura (ZM) e zona costeira (ZC) segundo Dias (2005). ....	26
Figura 7 - Distribuição espacial do COD ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) ao longo do canal estuarino do rio Jaguaribe em maré enchente na estação chuvosa. ....	29
Figura 8 - Distribuição espacial do COD ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) ao longo do canal estuarino do rio Jaguaribe em maré vazante na estação chuvosa. ....	29
Figura 9 - Localização das estações de amostragem ao longo do estuário do rio Jaguaribe. ...	31
Figura 10 - Precipitação diária para maio de 2014. Em setembro de 2012 a precipitação foi nula (Posto: Mata Fresca Aracati).....	33
Figura 11 - Analisador de carbono dissolvido, HiperTOC Analyser.....	35
Figura 12 - Fluxo de COD na zona ZR/ZM do estuário do rio Jaguaribe na estação seca. ....	73
Figura 13 - Fluxo de COD na zona ZR/ZM do estuário do rio Jaguaribe na estação seca. ....	75

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores máximos, mínimos e médios dos parâmetros físicos do estuário do rio Jaguaribe.....	37
Tabela 2 - Síntese do comportamento hídrico do estuário do rio Jaguaribe nas estações seca e chuvosa. ....	43
Tabela 3 - Valores mínimos, máximos e médios dos parâmetros hidroquímicos, COD, CID e Cl -a ao longo do estuário do rio Jaguaribe. ....	47
Tabela 4 - Síntese do comportamento hídrico em um ponto fixo no estuário do rio Jaguaribe nas estações seca e chuvosa.....	62
Tabela 5 - Valores mínimos, máximos e médios doa parâmetros hidroquímicos.....	63
Tabela 6 - Fluxos de COD na zona ZR/ZM durante a estação seca e chuvosa no estuário do rio Jaguaribe. ....	72

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Vazões hídricas ao longo do estuário do rio Jaguaribe durante a estação seca.....	37
Gráfico 2 - Volumes hídricos totais de água e percentual de água doce ao longo do estuário do rio Jaguaribe em maré vazante durante a estação seca. ....	38
Gráfico 3 - Volumes hídricos totais de água e percentual de água doce ao longo do estuário do rio Jaguaribe em maré enchente durante a estação seca. ....	38
Gráfico 4 - Tempo de residência ao longo do estuário do rio Jaguaribe em maré vazante e enchente durante a estação seca. ....	39
Gráfico 5 - Vazões hídricas ao longo do estuário do rio Jaguaribe durante a estação chuvosa. ....	40
Gráfico 6 - Volumes hídricos totais de água e percentual de água doce ao longo do estuário do rio Jaguaribe em maré vazante durante a estação chuvosa. ....	41
Gráfico 7 - Volumes hídricos totais de água e percentual de água doce ao longo do estuário do rio Jaguaribe em maré enchente durante a estação chuvosa. ....	41
Gráfico 8 - Tempo de residência ao longo do estuário do rio Jaguaribe em maré vazante e enchente durante a estação chuvosa. ....	42
Gráfico 9 - Análise de agrupamento das estações de amostragem durante o período seco nas marés vazante (s) e enchente (S) e durante o período chuvoso nas marés vazante (c) e enchente (C) no estuário do rio Jaguaribe. ....	44
Gráfico 10 - ACP das variáveis hidroquímicas, carbono dissolvido e clorofila durante a estação seca (a) maré vazante; (b) maré enchente. ....	45
Gráfico 11 - ACP das variáveis hidroquímicas, carbono dissolvido e clorofila durante a estação chuvosa (a) maré vazante; (b) maré enchente. ....	45
Gráfico 12 - Distribuição espacial da salinidade ao longo do estuário do rio Jaguaribe durante a maré vazante e enchente nas estações seca e chuvosa. ....	46
Gráfico 13 - Distribuição espacial da condutividade ao longo do estuário do rio Jaguaribe durante a maré vazante e a maré enchente nas estações seca e chuvosa. ....	48

Gráfico 14 - Distribuição espacial da temperatura ao longo do estuário do rio Jaguaribe durante a maré vazante e a maré enchente nas estações seca e chuvosa. ....	49
Gráfico 15 - Distribuição espacial do pH ao longo do estuário do rio Jaguaribe durante a maré vazante e a maré enchente nas estações seca e chuvosa. ....	50
Gráfico 16 - Distribuição espacial do OD ao longo do estuário do rio Jaguaribe durante a maré vazante e a maré enchente nas estações seca e chuvosa. ....	50
Gráfico 17 - Distribuição espacial da clorofila a ao longo do estuário do rio Jaguaribe durante a maré vazante e a maré enchente nas estações seca e chuvosa. ....	52
Gráfico 18 - Distribuição espacial de COD ao longo do estuário do rio Jaguaribe em maré vazante e enchente durante a estação seca. ....	53
Gráfico 19 - Distribuição espacial de COD ao longo do estuário do rio Jaguaribe em maré vazante e enchente durante a estação chuvosa. ....	53
Gráfico 20 - Correlação entre salinidade e COD no estuário do rio Jaguaribe em maré vazante e enchente na estação seca. ....	55
Gráfico 21 - Correlação entre salinidade e COD no estuário do rio Jaguaribe em maré vazante e enchente na estação chuvosa. ....	55
Gráfico 22 – Variação do nível de água no estuário do rio Jaguaribe gerada por uma onda de gravidade superficial (maré). ....	57
Gráfico 23 - Vazões hídricas em um ponto fixo no estuário do rio Jaguaribe durante um ciclo de maré nas estações seca e chuvosa. ....	58
Gráfico 24 - Volumes hídricos totais de água e percentual de água doce em um ponto fixo no estuário do rio Jaguaribe durante um ciclo de maré na estação seca. ....	59
Gráfico 25 - Volumes hídricos totais de água e percentual de água doce em um ponto fixo no estuário do rio Jaguaribe durante um ciclo de maré na estação chuvosa. ....	60
Gráfico 26 - Variação temporal do TR em um ponto fixo no estuário do rio Jaguaribe durante um ciclo de maré nas estações seca e chuvosa. ....	61
Gráfico 27 - Análise de componentes principais (ACP) para os parâmetros hidroquímicos, carbono dissolvido e clorofila em um ponto fixo durante um ciclo de maré no estuário do rio Jaguaribe na estação (a) seca; (b) chuvosa. ....	63

Gráfico 28- Distribuição temporal da salinidade durante um ciclo de maré no estuário do rio Jaguaribe. ....	64
Gráfico 29 - Distribuição temporal da temperatura durante um ciclo de maré no estuário do rio Jaguaribe. ....	65
Gráfico 30 - Distribuição temporal do oxigênio dissolvido durante um ciclo de maré no estuário do rio Jaguaribe. ....	65
Gráfico 31- Distribuição temporal do pH durante um ciclo de maré no estuário do rio Jaguaribe. ....	66
Gráfico 32 - Distribuição temporal da clorofila a durante um ciclo de maré no estuário do rio Jaguaribe. ....	67
Gráfico 33 - Distribuição temporal do COD e do PAD durante um ciclo de maré no estuário do rio Jaguaribe na estação seca. ....	69
Gráfico 34 - Correlação entre o COD e a salinidade durante um ciclo de maré na estação seca. ....	70
Gráfico 35 - Distribuição temporal do COD e do PAD durante um ciclo de maré no estuário do rio Jaguaribe na estação chuvosa. ....	70
Gráfico 36 - Correlação entre o COD e a salinidade durante um ciclo de maré na estação chuvosa.....	71

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
1.1	A importância dos estuários no Ciclo Global do Carbono .....	14
1.2	Importância ambiental do COD nos ambientes .....	15
1.3	Fluxo e Comportamento do Carbono no ambiente estuarino. ....	17
<b>2</b>	<b>ÁREA DE ESTUDO .....</b>	<b>21</b>
2.1	Caracterização da bacia de drenagem do rio Jaguaribe .....	21
2.2	Clima na região da bacia de drenagem do rio Jaguaribe .....	23
2.3	Aspectos sócio-econômicos da região do Baixo Jaguaribe .....	24
2.4	Hidrodinâmica do Estuário do rio Jaguaribe .....	26
<b>3</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>30</b>
3.1	Objetivo geral .....	30
3.2	Objetivos específicos .....	30
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>31</b>
4.1	Amostragem .....	31
4.2	Variação da maré .....	33
4.3	Volume de água total e volume de água do estuário do rio Jaguaribe .....	34
4.4	Tempo de Residência da água no estuário do rio Jaguaribe .....	34
4.5	Descarga de carbono orgânico dissolvido .....	34
4.6	Análises laboratoriais de carbono orgânico dissolvido .....	35
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>37</b>
5.1	Abordagem lagrangeana .....	37
5.1.1	Caracterização física do estuário do rio Jaguaribe .....	37
5.1.2	Distribuição espacial dos parâmetros hidroquímicos no estuário do rio Jaguaribe ...	44
5.1.2.1	Salinidade .....	46

5.1.2.2	Condutividade .....	47
5.1.2.3	Temperatura.....	48
5.1.2.3.1	pH .....	49
5.1.2.4	Oxigênio dissolvido.....	50
5.1.2.5	Clorofila a.....	51
5.1.3	Distribuição espacial do carbono orgânico dissolvido ao longo do estuário do rio Jaguaribe. ....	53
5.2	Abordagem euleriana .....	57
5.2.1	Caracterização física do estuário do rio Jaguaribe .....	57
5.2.2	Variação temporal dos parâmetros hidroquímicos no estuário do rio Jaguaribe .....	62
5.2.3	Variação temporal do carbono dissolvido no estuário do rio Jaguaribe.....	68
5.2.4	Fluxo de COD em um ponto fixo na zona de mistura do estuário do rio Jaguaribe.	72
<b>6</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>76</b>
<b>7</b>	<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>78</b>



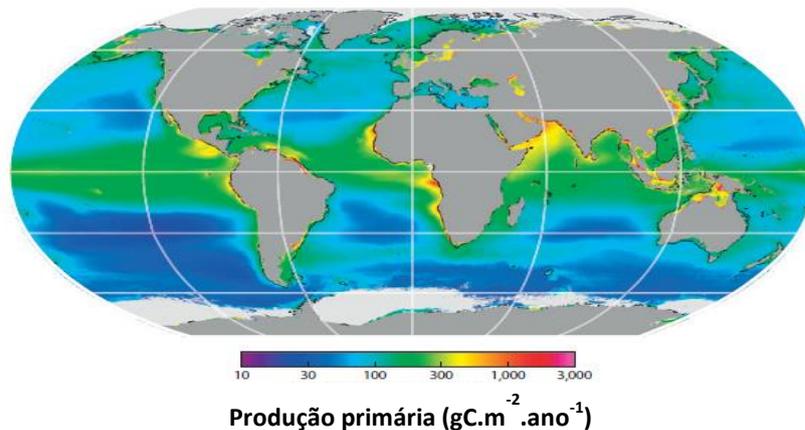
# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 A importância dos estuários no Ciclo Global do Carbono

A zona costeira (ZC) é a zona de transição entre o domínio terrestre e o domínio marinho na Terra. Embora represente apenas 8% da superfície terrestre, a interação entre esses domínios caracteriza a zona costeira como um conjunto de ecossistemas únicos com elevada concentração de energia, sedimentos e nutrientes, que favorecem a produtividade biológica (CROSSLAND *et al.*, 2005).

A elevada produtividade primária dessa região (Figura 1) a torna importante contribuinte no balanço global de carbono, podendo atuar como fonte ou sumidouro de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) para a atmosfera (HOFMANN *et al.*, 2011). No caso da zona tropical, a ZC normalmente atua como fonte de CO<sub>2</sub> devido a grande quantidade de carbono orgânico e inorgânico exportados pelos rios (CAI; DAI; WANG, 2006).

Figura 1- Distribuição anual média global da produtividade primária estimada para o oceano.



1Fonte: Hofmann *et al* (2011).

O transporte do carbono orgânico total (COT) para o oceano através dos rios 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 o carbono

orgânico transportado está sujeito à modificações biogeoquímicas capazes de alterar o compartimento ambiental desse material.

O transporte de carbono por pequenos rios são um importante componente no Ciclo Global do Carbono, pois desempenha papel significativo no transporte de carbono orgânico para a zona costeira (WU *et al.*, 2013). Com o rápido desenvolvimento da economia e da população, acredita-se que as pressões antrópicas em pequenos rios, somadas às mudanças climáticas, têm modificado dramaticamente o fluxo de carbono em alguns rios.

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; WU *et al.*, 2013)

As transformações do carbono entre as formas orgânicas e inorgânicas no ecossistema marinho costeiro estão intrinsecamente ligadas à atividade biológica (GUO *et al.*, 2008) 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. Tais transformações são reguladas pelas condições físico-químicas dos ambientes, que afetam tanto os processos de transformação como os organismos envolvidos (ESTEVEES, 2011).

## **1.2 Importância ambiental do COD nos ambientes**

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. Além disso, o carbono é reconhecido como peça chave no funcionamento do planeta pela interconexão entre os ecossistemas terrestres e aquáticos e pela regulação do clima global (ESTEVEES, 2011).

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).

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  $0,45\mu\text{m}$  e o que o atravessa corresponde à fração dissolvida (EATHERALL; NADEN; COOPER, 1997).

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, 2011).

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 agente complexante, 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 (LOUIS *et al.*, 2009); pode ainda ser agente de interferência na fotossíntese dos organismos aquáticos através das alterações quantitativas e qualitativas da radiação na coluna d'água, devido a presença de matéria orgânica colorida 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).

A qualidade da MO está intimamente relacionada a sua fonte: fontes autóctones; matéria orgânica oriunda da produção aquática *in situ* e compostas principalmente por aminoácidos, proteínas e lipídeos são oriundos da morte celular e excreção das algas e macrófitas aquáticas (FINDLAY; SINSABAUGH, 2003); e fontes alóctones, decorrentes do escoamento superficial e da erosão dos solos compostas principalmente pelos ácidos húmicos e fúlvicos (FINDLAY; SINSABAUGH, 2003).

Além dos fatores ambientais, as atividades antrópicas têm acarretado alterações nas características biogeoquímicas das águas costeiras, bem como aumentado significativamente as descargas fluviais de nutrientes e matéria orgânica devido às pressões antrópicas nas bacias hidrográficas (OURSEL *et al.*, 2013).

### 1.3 Fluxo e Comportamento do Carbono no ambiente estuarino.

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<sup>-1</sup>. Sendo os  $0,15 \times 10^{15}$  g.ano<sup>-1</sup> restantes referentes ao COP (HEDGES; KEIL; BENNER, 1997). Entretanto, os estuários são a primeira interface entre água doce e salina, onde o carbono orgânico 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.

Logo, 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; 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<sub>2</sub> e remoção de CO<sub>2</sub> dissolvido, respectivamente, pelo processo de fotossíntese. Quando a disponibilidade de luz é insuficiente para sustentar a atividade fotossintética, a respiração sobrepõe-se à fotossíntese diminuindo a concentração de

OD e o pH da água por meio do consumo de O<sub>2</sub> e produção de CO<sub>2</sub>, 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).

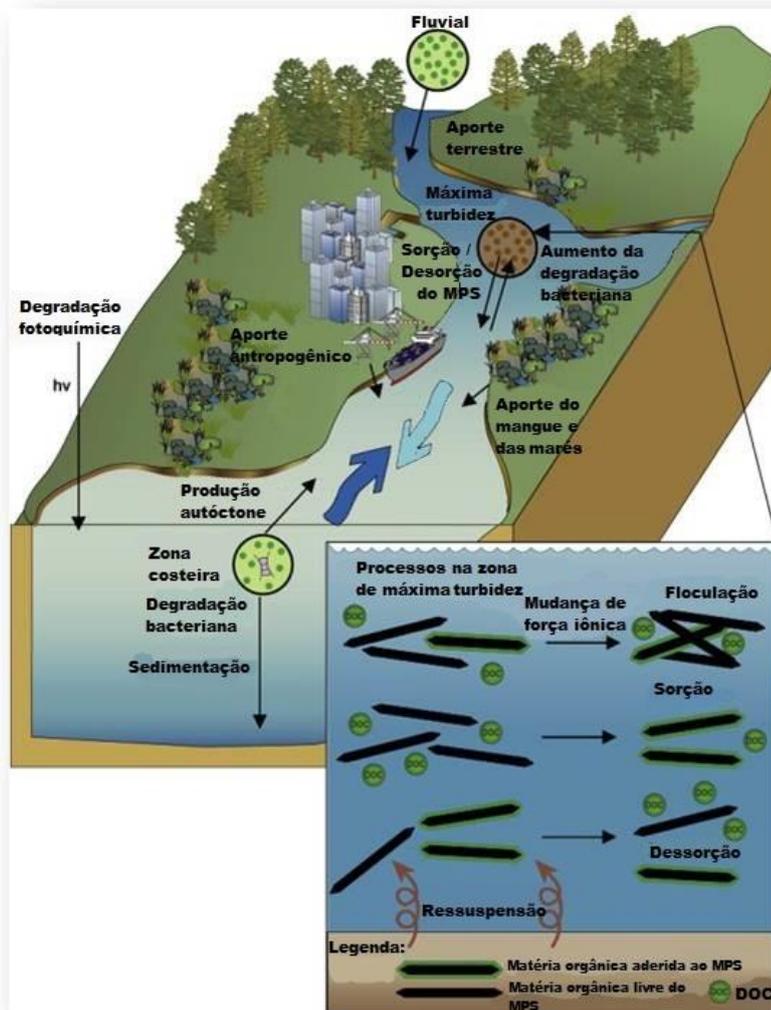
A lixiviação dos solos e a descarga fluvial transportam, através da bacia de drenagem, nutrientes para o estuário, quanto maior a disponibilidade de nutrientes na coluna d'água maior é a taxa de produção, ao mesmo tempo em que concentrações muito elevadas de nutrientes modificam as características físicas 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, favorecendo o processo de oxidação da matéria orgânica. Outra alteração causada pela maré no estuário é aumento do pH e da salinidade, que favorece a floculação da matéria orgânica oriunda dos rios (OURSEL *et al*, 2013) (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 microbológica, 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 (BAUER; BIANCHI, 2011; BIANCHI; BAUER, 2011).

O tempo de residência (TR) de uma substância se refere ao tempo em que esta fica disponível na coluna d'água do estuário na forma dissolvida ou particulada. 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 menor a influência dos processos biogeoquímicos das águas estuarinas, como vazão e percentual de água doce, são relevantes para a compreensão dos mecanismos de retenção ou exportação do COD no ambiente estuarino.

Figura 2 - Processos biogeoquímicos na zona de mistura estuarina.



As estimativas globais dos teores e dos fluxos de carbono orgânico em rios não poluídos no mundo e, especificamente, em rios das regiões tropical e semiárida estão apresentados na Tabela 1, bem como os teores e fluxos de carbono orgânico medidos em rios tropicais sob influência antrópica e com diferentes valores de vazões.

Através das estimativas feitas por Meybeck (1982), pode ser observada a forte influencia do clima nos teores e fluxos de carbono orgânico nos rios devido ao regime pluviométrico e ao tipo de vegetação da região (Tabela 1).

O fluxo de COD através dos rios tropicais mostrou ser bastante dependente da vazão fluvial, pois os teores de COD foram da mesma ordem de grandeza.

Tabela 1 - Teores e fluxos de carbono orgânico dissolvido em rios não poluídos e em estuários tropicais sob diferentes pressões antrópicas e vazões.

	País	Clima	Pressão antrópica	Teores (mg·L <sup>-1</sup> )	Q (m <sup>3</sup> ·s <sup>-1</sup> )	Fluxo (ton·ano <sup>-1</sup> )	Referência
Estimativa	Global		-	1,0 - 20,0	-	2,5 x 10 <sup>8</sup>	Meybeck (1982)
	Região Tropical		-	6,0	-	-	Meybeck (1982)
	Região Semiárida		-	3,0	-	2,8 x 10 <sup>6</sup>	Meybeck (1982)
Estuário Wanquan	China	Tropical	Aquacultura Urbanização Indústria	0,9 - 2,4	69,2 - 336	-	Wu <i>et al.</i> (2013)
Estuário do rio Amarelo	China	Tropical	Agricultura	2,6 - 3,1	600 - 693	3,4 x 10 <sup>4</sup> - 3 x 10 <sup>4</sup>	GU <i>et al.</i> (2009)
Estuário Tsengwen	Taiwan	Tropical	Agricultura	1,2 - 8,1	0 - 130	10 - 10 <sup>4</sup>	Hung & Hang (2005)
Estuário Betsiboka	África	Tropical	Aquacultura Desmatamento	0,5 - 1,5	271	-	Ralison <i>et al.</i> (2008)
Rio Orinoco	Venezuela	Tropical	-	1,7 - 4,1	36.000	3,28 x 10 <sup>6</sup>	Mora <i>et al.</i> (2014)
Estuário do rio Paraíba do Sul	Brasil	Tropical	Agropecuária Indústria Urbanização	1,2 - 6,7	-	-	Krüger <i>et al.</i> (2003)

## 2 ÁREA DE ESTUDO

### 2.1 Caracterização da bacia de drenagem do rio Jaguaribe

A bacia do rio Jaguaribe abrange uma área de 72.043 km<sup>2</sup>, que ocupa cerca de 50% do território cearense, sendo considerado o principal curso d'água do Estado, e uma pequena parcela do estado de Pernambuco. Com extensão de aproximadamente 633 km, o rio Jaguaribe nasce na Serra da Joanhina, no município de Tauá, e desemboca no Oceano Atlântico Sul, no município de Fortim (IBGE, 1999).

Segundo as características locais, a bacia do rio Jaguaribe foi dividida em cinco sub-bacias: Alto Jaguaribe (24.793 km<sup>2</sup>), Médio Jaguaribe (10.704 km<sup>2</sup>), Baixo Jaguaribe (5.378 km<sup>2</sup>) e as sub-bacias do rio Salgado (12.882 km<sup>2</sup>) e do rio Banabuiú (19.416 km<sup>2</sup>).

O estuário do rio Jaguaribe está inserido na sub-bacia hidrográfica do Baixo Jaguaribe, a qual drena 13 municípios: Icapuí, Itaiçaba, Jaguaruana, Quixeré, Alto Santo, Aracati, Fortim, Ibicuitinga, Limoeiro do Norte, Morada Nova, Palhano, Russas e Tabuleiro do Norte (CEARÁ, 2009). Entretanto, deve-se ressaltar que no município de Itaiçaba o rio é separado de sua região estuarina pela presença de um dique (soleira) que drena, muito frequentemente, suas águas doces para o Canal do Trabalhador que alimenta a cidade de Fortaleza, capital do Estado (Figura 3).

Figura 3- Barreira física construída no estuário do rio Jaguaribe, no município de Itaiçaba. À esquerda, o estuário e à direita o rio.



Nos períodos de baixo deflúvio praticamente não há conexão entre o rio e o estuário. Essa barreira altera o fluxo de materiais (MARINS; DIAS, 2003), bem como o gradiente físico-químico do estuário, pois não há mistura das massas d'água fluvial e marinha na região acima do dique nesse período. Contudo, nos períodos de balanço hídrico positivo essa conexão é reestabelecida pelo aumento do fluxo fluvial, recuperando seu gradiente (MARINS *et al.*, 2003).

Os solos são geralmente pouco profundos, pedregosos, com fertilidade média alta. A bacia do Jaguaribe possui baixa perspectiva em reserva de águas subterrâneas, pois a quase totalidade de sua área situa-se em rochas cristalinas de baixo potencial hídrico. A exceção são os aquíferos da Chapada do Araripe, que formam sistemas livres, com potencial relativamente alto.

Na Bacia do Baixo Jaguaribe, os teores de carbono em solos e sedimentos aluviais variam de 1,22 a 36,93 mg Kg<sup>-1</sup>. Os baixos teores de matéria orgânica (<<10%) em sedimentos aluviais caracterizaram os do rio Jaguaribe como minerais (OLIVEIRA; MARINS, 2011).

A vegetação da bacia hidrográfica do rio Jaguaribe predominante é Savana Estépica (Caatinga), adaptada à escassez de água (IBGE, 1999). 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).

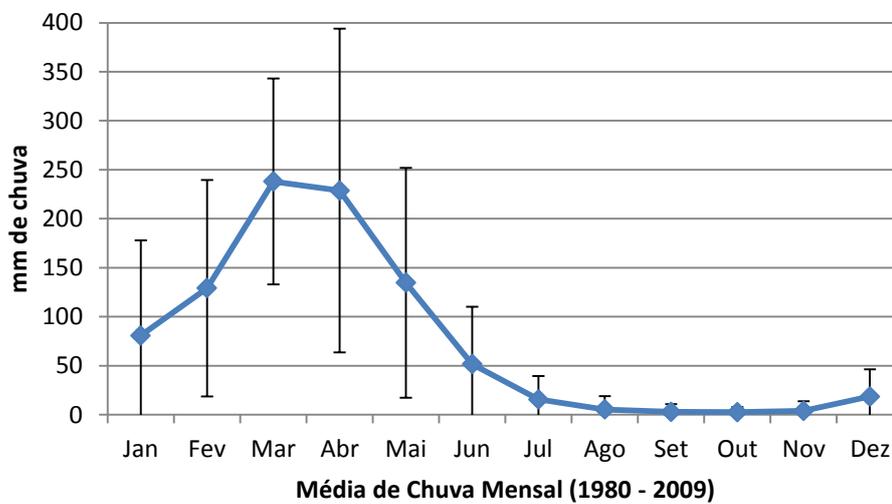
Em vista das duras condições climáticas, com estações secas prolongadas e irregularidade do regime de chuvas, a água é um recurso bastante escasso. Então, desde 1906, centenas de barragens e reservatórios foram construídos, ao longo do rio, para gerar energia elétrica e aumentar a disponibilidade de água.

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, abastecimento e decréscimo de chuvas na região nos últimos 40 anos. Outros impactos gerados pela atividade antrópica são: mudanças do regime hidrológico abaixo das represas, alteração da qualidade física e química da água, a retenção dos sedimentos e dos nutrientes carregados pelas águas nas represas e erosão das margens do rio Jaguaribe pela falta dos sedimentos retidos à montante do estuário.

## 2.2 Clima na região da bacia de drenagem do rio Jaguaribe

O litoral Cearense está sob o clima semiárido, caracterizado por intensa sazonalidade, que é definida por dois períodos bastante distintos, um longo e seco (junho a novembro) e um curto e chuvoso (dezembro a maio) (Figura 4).

Figura 4 - Precipitações médias históricas para a região do Baixo Jaguaribe de 1980 a 2009



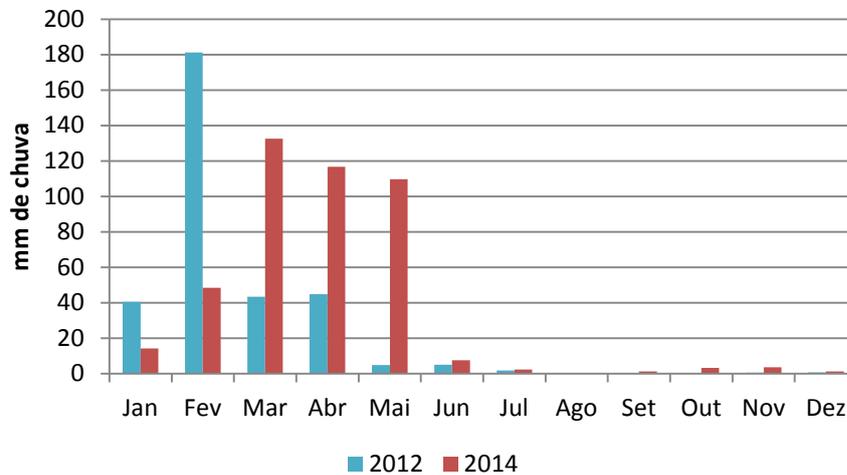
Fonte: FUNCEME, 2015.

A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) é a principal responsável pelo controle sazonal das chuvas no Nordeste, consistindo em uma faixa de nuvens, sobre o oceano, formada pela convergência de ventos alísios vindos dos hemisférios norte e sul.

Lacerda *et al* (2010) confirmaram a previsão dos modelos do IPCC, que apontavam uma redução de 20% das chuvas no Nordeste, através de dados do volume anual de chuvas em duas estações de medição da bacia do rio Jaguaribe. Esses registros apontaram uma redução das chuvas praticamente total no período de seca, que combinada à construção de barragens e açudes para acumular a água, tem importantes efeitos na vazão da bacia do rio Jaguaribe e conseqüentemente no transporte de materiais do continente para o oceano.

Nos anos de 2012 e 2014, as médias mensais das precipitações ficaram majoritariamente abaixo das médias históricas para a região do baixo Jaguaribe, exceto em fevereiro de 2012, como o observado na Figura 5, mostrando que esses dois anos foram de grande estiagem.

Figura 5 - Índices pluviométricos mensais para os anos de 2012 e 2014 (Posto: Mata Fresca, Aracati).



Fonte: FUNCEME, 2015.

### 2.3 Aspectos sócio-econômicos da região do Baixo Jaguaribe

A região estuarina do Baixo Jaguaribe abrange as cidades de Itaiçaba, Aracati e Fortim, compreendendo uma população total de cerca de 90 mil habitantes. A crescente urbanização não é acompanhada por investimentos em saneamento básico.

Apenas 64% dos domicílios possuem abastecimento de água e um grande percentual de residências não apresentam qualquer tipo de instalações sanitárias, apontando uma situação de precariedade (CEARÁ, 2009).

As principais atividades econômicas desenvolvidas são a agricultura, pecuária e a carcinicultura. A atividade agrícola é bastante diversificada devido às características pedológicas e a disponibilidade de água da região, destacando-se culturas de ciclo rápido como o milho e o feijão.

A pecuária atua como uma atividade paralela à agricultura, abrangendo principalmente a criação bovina, suína, ovina, avicultura e a carcinicultura. Associada a atividade pecuarista verifica-se a presença de matadouros públicos municipais, que nas áreas rurais apresentam condições inadequadas de higiene (PAULA, 2006).

A carcinicultura merece uma atenção especial por ser uma atividade em ascensão no Estado, concentrando parte de seu empreendimento em municípios da sub-bacia do Baixo Jaguaribe como Aracati, com 31,4 % do total, Acaraú, com 11,4%, Jaguaruana, com 11,0% e Fortim, com 9,8% do total (IBAMA, 2005).

Na região estuarina do rio Jaguaribe se encontra implantada a maior área de produção de camarão em cativeiro do estado do Ceará (cerca de 50 % do total da atividade em todo o estado), ocupando uma área de 1.316 ha em viveiros (COSTA, 2009).

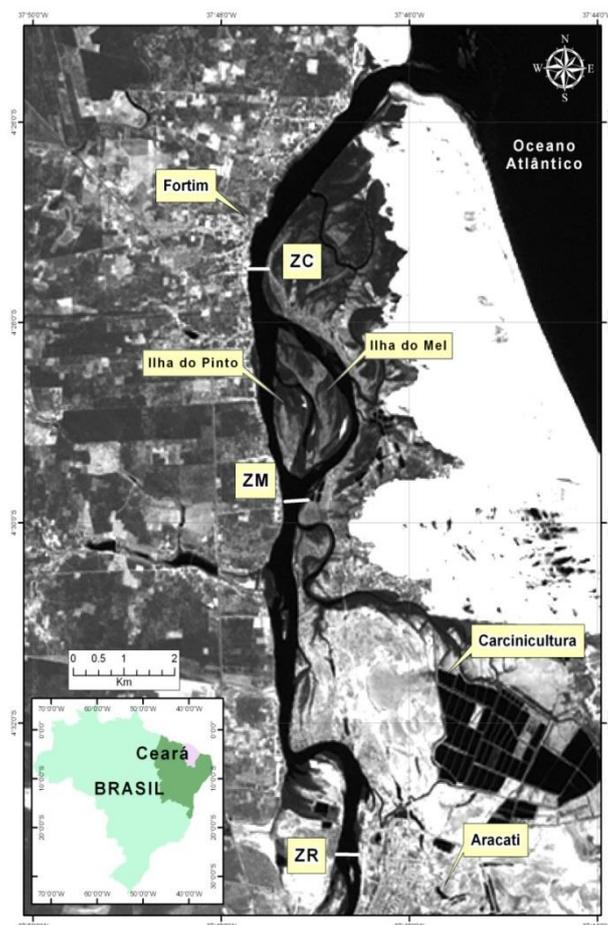
Essa atividade foi apontada como a principal fonte de poluição para estuário do rio Jaguaribe (PAULA, 2006), sendo importante fonte de metais (LACERDA;SANTOS;MADRID, 2006; COSTA, 2009; LOPES, 2006), e carbono (ZOCATELLI, *et al.*, 2007) para a bacia do Baixo Jaguaribe.

## 2.4 Hidrodinâmica do Estuário do rio Jaguaribe

O estuário do rio Jaguaribe é um estuário tropical, situado entre o município de Fortim e a barragem de Itaiçaba, a cerca de 34 km de sua desembocadura.

Dias (2005), baseado nos critérios de Miranda, Castro e Kjerfve (2002), subdividiu o estuário, na ocasião do estudo, 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 mostraram variações geográficas destas zonas podem apresentar variações a depender do regime pluviométrico que influencia a Bacia (DIAS, 2007) (Figura 6).

Figura 6 - Subdivisão do estuário do rio Jaguaribe em zona de rio (ZR), zona de mistura (ZM) e zona costeira (ZC) segundo Dias (2005).



Fonte: Dias et al. (2007)

O estuário do rio Jaguaribe 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).

Analisando dados históricos das vazões, para a bacia do Jaguaribe, fornecidos pela Agência Nacional de Águas – ANA (2006), Dias (2007) observou uma redução de 10 vezes das vazões da Bacia de drenagem do rio Jaguaribe para o estuário, nos últimos anos, devido a crescente demanda por água visando abastecimento humano e, muito provavelmente, em consequência da diminuição das chuvas.

O tempo de residência (TR) das águas estuarinas depende das forçantes de maré e da descarga fluvial, apresentando variações de 2 horas, no período seco, a 12 horas, no período chuvoso. Além disso, a vazão determina a competência do rio para o rompimento da barreira física imposta pelo regime de maré, podendo haver um aumento do TR das águas estuarinas do rio Jaguaribe no período chuvoso (DIAS *et al.*; 2007) caso as forçantes de maré e da descarga fluvial se igualem em sentidos opostos.

Logo, nos meses de pouca ou nenhuma precipitação, onde o percentual de água doce (PAD) é mínimo (cerca de 12% do volume hídrico total), prevalece o domínio de águas marinhas, que facilita a entrada e saída de massas d'água do sistema estuarino, diminuindo o TR das águas estuarinas (DIAS *et al.*; 2007).

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.

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 floculação. Entretanto, neste estudo não foi considerado o COD fluvial.

Zocatelli *et al.* (2007) identificaram diversas fontes naturais e antrópicas de matéria orgânica ao longo do gradiente estuarino. Próximo à foz, foi encontrado elevados teores de

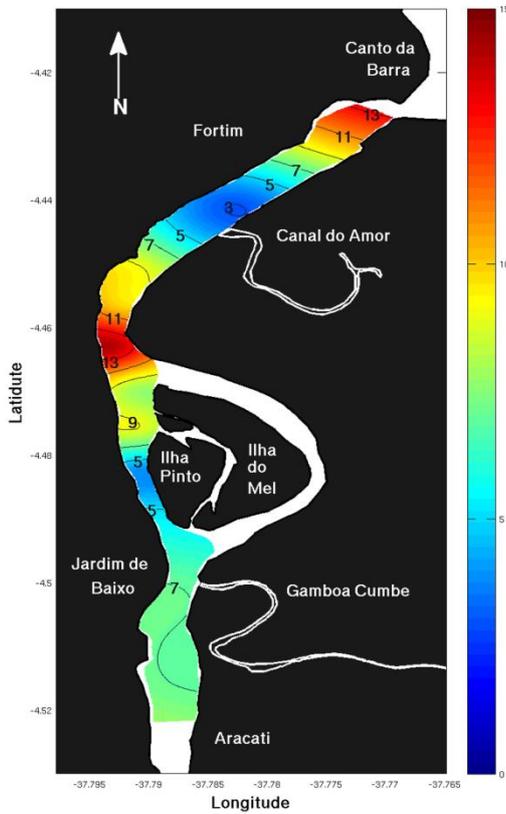
lignina, relacionados à vegetação de mangue, caracterizando essa região como um local de elevada degradação e diversidade de fonte de matéria orgânica. Em canais secundários do estuário, foi identificado como fontes de matéria orgânica a erosão, o lixiviamento do material vegetal e, possivelmente, a ração de camarão das fazendas existentes na região. E em Aracati identificaram uma possível contribuição de esgoto doméstico.

Cavalcante (2013) avaliou que o comportamento do COD não foi conservativo em relação à salinidade durante um ciclo de maré no período chuvoso no estuário do rio Jaguaribe. Além disso, sugeriu que a produção de COD estava relacionada à produtividade primária. Também neste estudo não foi considerado o componente fluvial do COD.

Cavalcante (2013) observou um comportamento linear crescente do COD em relação à salinidade no estuário do rio Jaguaribe em maré vazante durante a estação chuvosa, sugerindo exportação desse material nessa maré (Figura 7). Em maré enchente, o COD teve comportamento linear decrescente ao longo do gradiente de salinidade (Figura 8), havendo possivelmente retenção desse material na região entre a Ilha do Pinto e Aracati. Este estudo foi realizado a partir de dados coletados em campo em 2012.

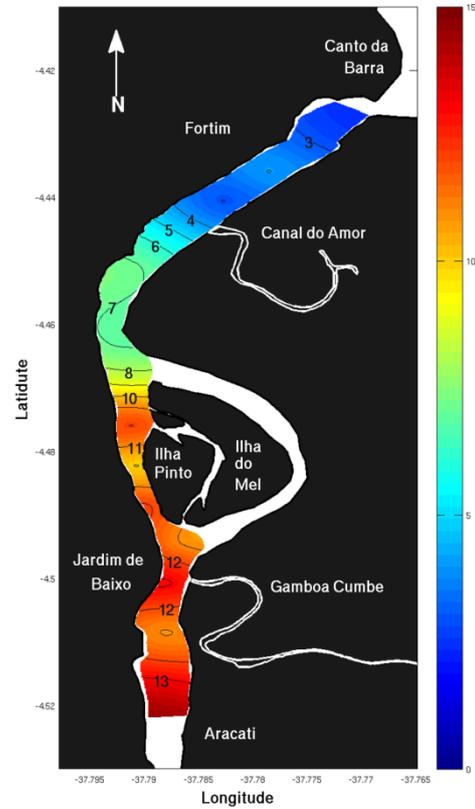
Sabendo-se do importante papel da matéria orgânica na regulação de diversos processos biogeoquímicos nos estuários e das alterações no fluxo de materiais para a região costeira como resultado da sazonalidade, da variabilidade das chuvas e do aumento da pressão antrópica na bacia de drenagem do estuário do rio Jaguaribe, acredita-se que o padrão de transporte do COD esteja sendo continuamente alterado. Assim, a intensificação de estudos pioneiros na região pode ponderar de forma exata a influência das descargas de carbono na plataforma continental equatorial vizinha à região semiárida, sob regime de mudanças climáticas globais e aumento das influências antrópicas regionais.

Figura 7 - Distribuição espacial do COD ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) ao longo do canal estuarino do rio Jaguaribe em maré vazante na estação chuvosa.



Fonte: Cavalcante (2013)

Figura 8 - Distribuição espacial do COD ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) ao longo do canal estuarino do rio Jaguaribe em maré enchente na estação chuvosa.



Fonte: Cavalcante (2013)

### **3 OBJETIVOS**

#### **3.1 Objetivo geral**

Esse trabalho tem por objetivo mensurar a variação espaço-temporal do carbono dissolvido na região do estuário do rio Jaguaribe em diferentes regimes de maré (enchente/vazante) e estações climáticas em dois anos distintos de coletas.

#### **3.2 Objetivos específicos**

- Determinar vazão hídrica, volume de água, percentual de água doce e tempo de residência das águas no estuário do rio Jaguaribe em diferentes estações climáticas;
- Determinação dos teores carbono orgânico dissolvido (COD) na coluna d'água ao longo do canal principal do estuário sob diferentes condições de maré e descarga fluvial (sazonalidade climática);
- Avaliar o comportamento biogeoquímico do carbono dissolvido ao longo do gradiente de salinidade sob diferentes condições de maré e descarga fluvial;
- Determinar a possível contribuição de carbono da bacia para o estuário e do estuário para o oceano tendo em vista sua importância ecológica.

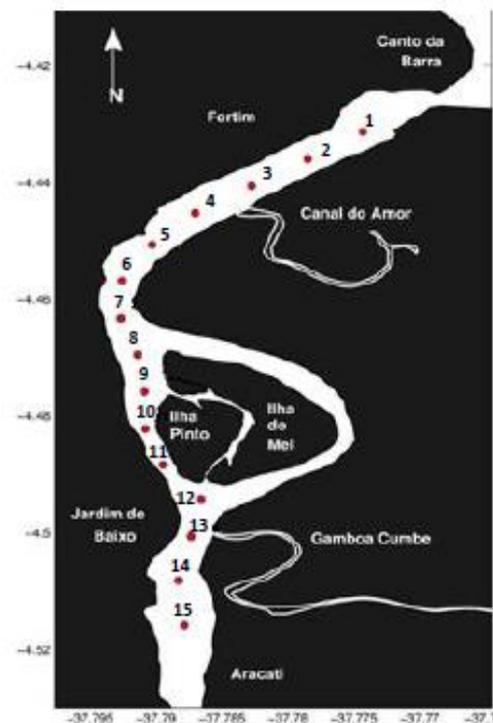
## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Amostragem

Foram realizadas duas campanhas de amostragem na zona de mistura do estuário do rio Jaguaribe, uma nos dias 28 e 29 de setembro de 2012 (estação seca) e outra nos dias 13 e 14 de maio de 2014 (estação chuvosa), ambas em maré de sizígia. Nas duas campanhas, foram contempladas as abordagens euleriana, temporal, e lagrangeana, espacial.

A amostragem lagrangeana foi feita em 15 estações distribuídas ao longo do canal principal estuarino (Figura 9), com distância de 1 km entre elas, em maré vazante e enchente. A coleta de água e a mensuração dos parâmetros hidroquímicos e físicos nas estações foi feita no sentido do mar para o rio para evitar contaminação, visto que as águas marinhas têm normalmente menores concentrações de carbono dissolvido.

Figura 9 - Localização das estações de amostragem ao longo do estuário do rio Jaguaribe.



Na amostragem euleriana, foi realizada a coleta de água e a mensuração dos parâmetros hidroquímicos e físicos na estação 13, de hora em hora durante um ciclo de maré

de 12,4 horas, aproximadamente. Essa estação foi escolhida por estar localizada em uma região com intenso gradiente físico-químico (Dias, 2005), que pode influenciar mais intensamente a mobilidade geoquímica do carbono.

As variáveis temperatura, oxigênio dissolvido e condutividade foram mensuradas através da sonda multiparamétrica portátil YSI, o pH pelo pHmetro portátil Methrom e a salinidade pelo CTD (Compact CTD-JFE).

Foi feita a amostragem de água de subsuperfície, em duplicata, utilizando uma garrafa de Van Dorn. As amostras foram armazenadas em garrafas de vidro âmbar de 120 ml, as quais foram devidamente etiquetadas para a análise de carbono dissolvido, e em garrafas de plástico de 1,5 L para a análise de clorofila a.

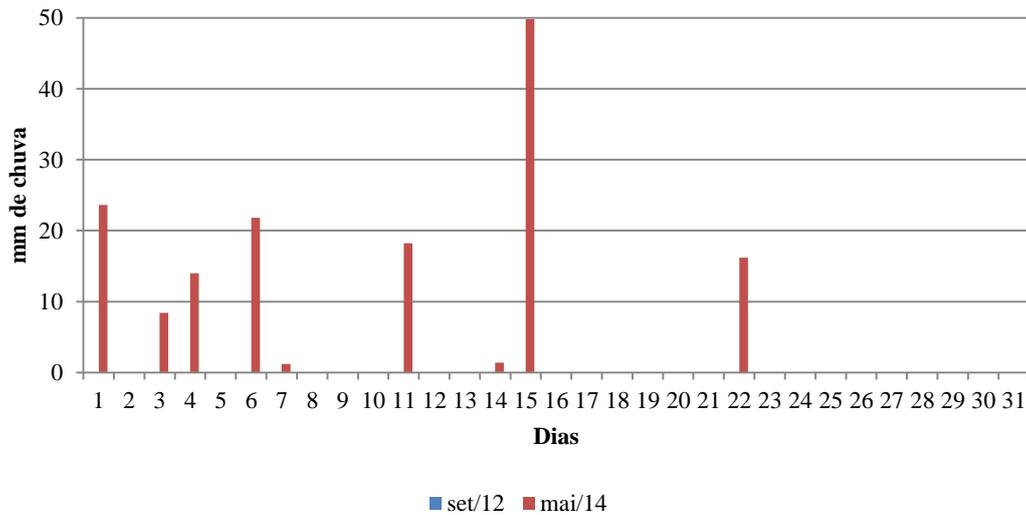
Ainda em campo, as amostras de água foram filtradas com filtros de fibra de vidro GF/F Whatman com porosidade de  $0,45\mu\text{m}$ , previamente calcinados à  $450^\circ\text{C}$ , para a separação das frações particuladas e dissolvidas de carbono. O volume filtrado foi armazenado em garrafas de vidro âmbar e mantido em gelo até a chegada ao Laboratório de Biogeoquímica Costeira/UFC, onde foram refrigeradas e posteriormente analisadas.

Para a análise de clorofila a, as amostras foram filtradas em filtros de fibra de vidro AP40 até a saturação dos mesmos. Os volumes filtrados em cada amostra foram anotados e os filtros foram armazenados em tubos de ensaio de polietileno, etiquetados e envolvidos em papel alumínio, para protegê-los da luz. A preservação dos filtros foi feita de igual modo à do carbono.

Foi utilizado um correntômetro ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler), fabricado pela SONTEK/YSI, com sensor acústico de frequência 1,5 MHz, para a medida das vazões no estuário do rio Jaguaribe. Foram feitos 15 perfis transversais no estuário em maré vazante e enchente para abordagem lagrangeana, e 13 perfis transversais, a cada hora, em uma mesma seção do estuário para a abordagem euleriana. Posteriormente, os dados das vazões foram utilizados para calcular o volume hídrico, o percentual de água doce e tempo de residência.

A Figura 10 apresenta os dados de precipitação diária para maio de 2014. Em setembro de 2012 a pluviosidade foi nula na região de estudo. Observa-se a ocorrência de chuva durante a amostragem do dia 14 de maio de 2014, mais especificamente durante a amostragem da maré enchente na abordagem lagrangeana.

Figura 10 - Precipitação diária para maio de 2014. Em setembro de 2012 a precipitação foi nula (Posto: Mata Fresca Aracati).



## 4.2 Variação da maré

A Diretoria de Hidrografia e Navegação do Brasil fornece quatro valores de altura de nível de água diários, sendo dois em maré alta e dois em maré baixa. A partir destes dados, realizamos uma interpolação linear, baseado no método dos mínimos quadrados, para a obtenção da curva de propagação da onda no estuário.

Essa defasagem foi calculada com base em Dias (2007), que observou um atraso da onda de gravidade de 3 horas entre o porto de Areia Branca-Termisa (RN) e o interior do estuário do rio Jaguaribe, a 20 km da foz.

Através da Equação (1) foi possível calcular o gradiente de defasagem da maré e estimar o atraso para o local de amostragem, que se localiza a 15 km de distância da foz.

$$\nabla w = \frac{t(\text{min})}{d(\text{km})} \quad \text{Equação (1)}$$

Considerando  $\nabla w$  é o gradiente de defasagem gerado pelo atrito lateral de fundo,  $t$  é tempo em minutos e  $d$  é a distância da foz em quilômetros.

### 4.3 Volume de água total e volume de água do estuário do rio Jaguaribe

Os volumes hídricos (VH) foram calculados em cada estação de amostragem, em m<sup>3</sup>, a partir dos valores de vazão (Q), utilizando a Equação 2 (MIRANDA; CASTRO; KJERFVE, 2012):

$$VH = Q \times t \quad \text{Equação (2)}$$

Onde Q, corresponde à vazão, em m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>, t é o tempo em segundos, calculado com base no período de maré no canal estuarino, igual a 12,4 horas.

Levando em consideração o volume de água total no estuário para cada período avaliado, calculou-se o percentual de água doce (PAD) existente na massa de água total através da Equação 3 (MIRANDA; CASTRO; KJERFVE, 2012), em m<sup>3</sup>.

$$PAD = \frac{S - S_o}{S_o} VH \quad \text{Equação (3)}$$

Onde, S<sub>o</sub> é a salinidade observada para a água do mar e S é a salinidade, obtida in situ, em cada estação de amostragem, ao longo do canal estuarino, e a cada hora, para a seção, durante um ciclo de maré.

### 4.4 Tempo de Residência da água no estuário do rio Jaguaribe

O tempo de residência (TR), em horas, foi calculado a partir do modelo proposto por Pritchard (1960), que leva em consideração o prisma de maré da região em estudo, segundo a Equação 4 (MIRANDA; CASTRO; KJERFVE, 2012):

$$TR = \frac{PAD}{Q} \quad \text{Equação (4)}$$

Sendo Q a vazão em cada estação de amostragem, ao longo do canal estuarino, e a cada hora durante o ciclo de maré de 12,4 horas em um ponto fixo.

### 4.5 Descarga de carbono orgânico dissolvido

As descargas de carbono orgânico dissolvido foram obtidas conforme a Equação 5 (Dias, 2007) para a abordagem euleriana:

$$D = Q \cdot [\text{COD}] \quad \text{Equação (5)}$$

Onde: D= Descargas do carbono orgânico dissolvido ( $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$ ), Q = Vazão ( $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ ) e [COD] = Concentração de carbono orgânico dissolvido em cada a cada hora durante um ciclo de maré ( $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ ), obtendo-se um resultado em  $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Foram estimadas as cargas anuais, em  $\text{ton} \cdot \text{ano}^{-1}$ , do carbono orgânico dissolvido, segundo a Equação 6:

$$D_{\text{COD}} = D \times 3,1 \times 10^4 \quad \text{Equação (6)}$$

Onde  $D_{\text{COD}}$  é a descarga anual expressa em toneladas  $\cdot \text{ano}^{-1}$ .

#### 4.6 Análises laboratoriais de carbono orgânico dissolvido

As análises de carbono orgânico (COD) dissolvido foram feitas pelo equipamento da Thermo Scientific, Hiper TOC Analyser (Figura11) equipado com amostrador automático, seguindo a método UV\_NPOC, como sugerido pelo fabricante (THERMO, 2008).

Figura11 - Analisador de carbono dissolvido, HiperTOC Analyser.



A amostra é acidificada com  $\text{HNO}_3$  (18%), para a oxidação do carbono inorgânico dissolvido (CID). Quando isso acontece o CID é liberado da amostra em forma de  $\text{CO}_{2(g)}$ , ficando em solução apenas as formas orgânicas de carbono.

Posteriormente, uma solução de persulfato de sódio e hidróxido de sódio foi adicionada à amostra a fim de criar radicais hidroxilas, que causam a destruição das combinações C-H na água, sob a influência da luz UV.

Na sequência a amostra foi drenada até o reator UV para a oxidação do COD. O  $\text{CO}_{2(g)}$  produzido foi arrastado por um gás inerte, o oxigênio ultra-puro 6.0, até os detectores não dispersivos de infravermelho (NDIR) onde foi quantificado o teor de COD na amostra (THERMO, 2008).

Os dados foram transmitidos para um computador com um software (Theus) que os disponibiliza em forma de gráficos e tabelas.

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 ( $\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$ ), 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  $2000 \text{ mgL}^{-1}$ ,  $1000 \text{ mgL}^{-1}$  de Carbono Inorgânico (CID) e  $1000 \text{ mgL}^{-1}$  de Carbono Orgânico Dissolvido (COD).

A partir da solução padrão mista, foram feitas diluições de 2, 4, 8, 12 e  $16 \text{ mgL}^{-1}$  de CDT e de 1, 2, 4, 6 e  $8 \text{ mg L}^{-1}$  de COD. O limite de detecção (LD) foi de  $0,3 \text{ mgL}^{-1}$  de COD, calculado através da fórmula  $\text{LD} = 3,14 \times \sigma$  (APHA, 2005), onde  $\sigma$  é o desvio padrão de sete valores de brancos.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Abordagem lagrangeana

#### 5.1.1 Caracterização física do estuário do rio Jaguaribe

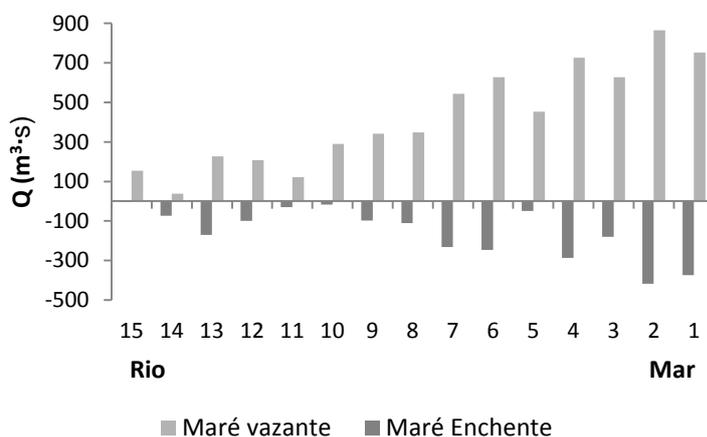
Na estação seca, as vazões ( $Q$ ) variaram de 2,1 a  $865,5 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , com média  $290,4 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ . Em maré vazante, os valores de  $Q$  variaram entre  $37,9$  e  $865,5 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , com média de  $421,7 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ ; em maré enchente, as vazões foram entre 2,1 e  $417,2 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ , com média igual a  $159,1 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$  (Tabela 2).

Tabela 2 – Valores máximos, mínimos e médios dos parâmetros físicos do estuário do rio Jaguaribe.

Estação	Maré	$Q$ ( $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ )	VH ( $\text{m}^3$ )	PAD (%)	TR (h)
Seca	Vazante	37,9 - 865,5 (421,7)	$8,5 \times 10^5$ - $1,9 \times 10^7$ ( $9,4 \times 10^6$ )	<1	< 0,1
	Enchente	2,1 - 417,2 (160)	$4,6 \times 10^4$ - $9,3 \times 10^6$ ( $3,6 \times 10^6$ )	1-11,9 (6,4)	0,1 - 0,7 (0,4)
Chuvosa	Vazante	124,5 - 651,4 (357)	$2,8 \times 10^6$ - $1,9 \times 10^7$ ( $8,0 \times 10^6$ )	1,4 - 74,5 (36,3)	0,1 - 4,6 (2,2)
	Enchente	201,9 - 363,5 (264,3)	$4,5 \times 10^6$ - $8,1 \times 10^6$ ( $5,8 \times 10^6$ )	41,4 - 80,3 (59,4)	2,6 - 5 (3,7)

As vazões foram mais intensas durante a maré vazante ao longo de todo o estuário, exceto na estação 14, e nas estações de amostragem próximas à foz nos dois eventos de maré (Gráfico 1), em valores máximos, mostrando a capacidade de lixiviação do estuário por águas

Gráfico 1 - Vazões hídricas ao longo do estuário do rio Jaguaribe durante a estação seca.



marinhas.

Na estação seca, os valores dos volumes hídricos (VH) variaram entre  $4,6 \times 10^4$  e  $1,9 \times 10^7 \text{ m}^3$ , com média igual a  $6,5 \times 10^6 \text{ m}^3$ . Em maré vazante, os VH encontraram-se entre  $8,5 \times 10^5$  e  $1,9 \times 10^7 \text{ m}^3$  (Gráfico 2), com média  $9,4 \times 10^6 \text{ m}^3$ ; e em maré enchente entre  $4,6 \times 10^4$  e  $9,3 \times 10^6 \text{ m}^3$  (Gráfico 3), com média  $3,6 \times 10^6 \text{ m}^3$ .

Gráfico 2 - Volumes hídricos totais de água e percentual de água doce ao longo do estuário do rio Jaguaribe em maré vazante durante a estação seca.

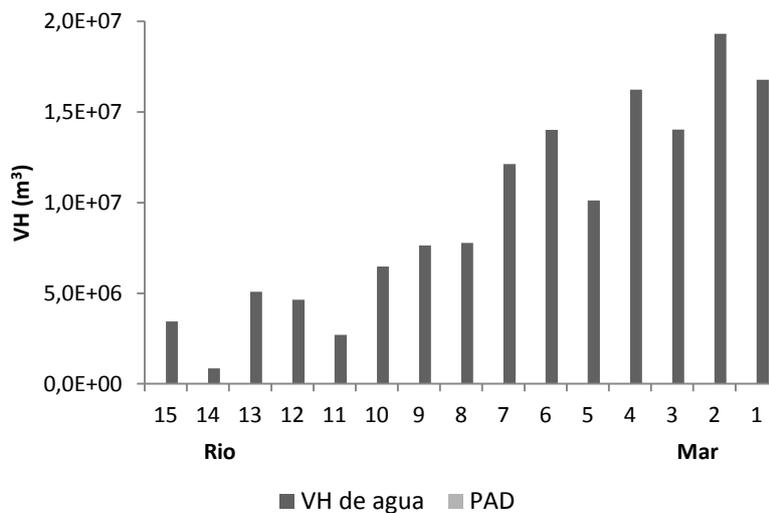
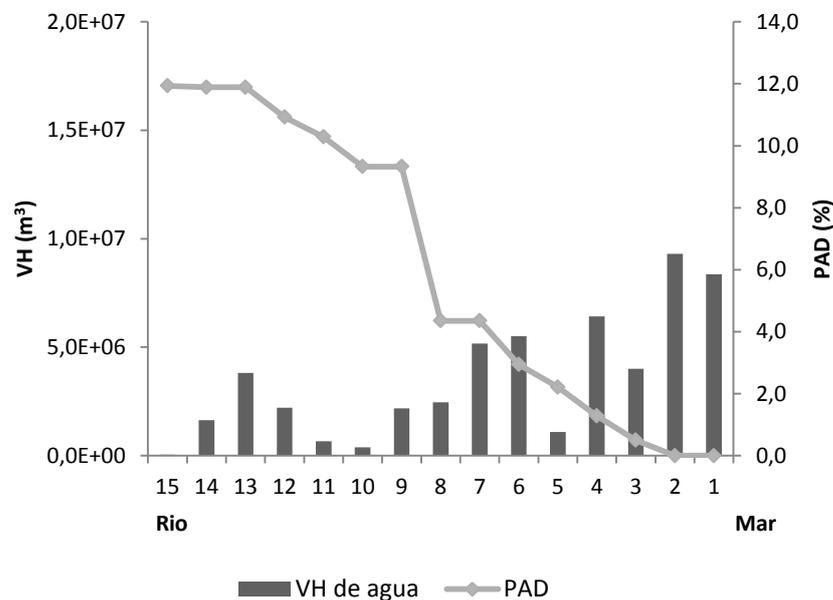


Gráfico 3 - Volumes hídricos totais de água e percentual de água doce ao longo do estuário do rio Jaguaribe em maré enchente durante a estação seca.



As médias dos VH foram da mesma ordem de grandeza nas duas marés (Tabela 2), porém em maré vazante foi 61% superior a da enchente devido às maiores vazões terem ocorrido sempre em maré vazante.

Na estação seca, os valores de percentual de água doce (PAD) ficaram dentro do intervalo de 1% a 11,9%, com média 3,2%. No evento de maré vazante, o PAD foi menor que 1% ao longo de todo o estuário (Gráfico 2), e no de maré enchente, variou de 1% a 11,9% (Gráfico 3), com média de 6,4%.

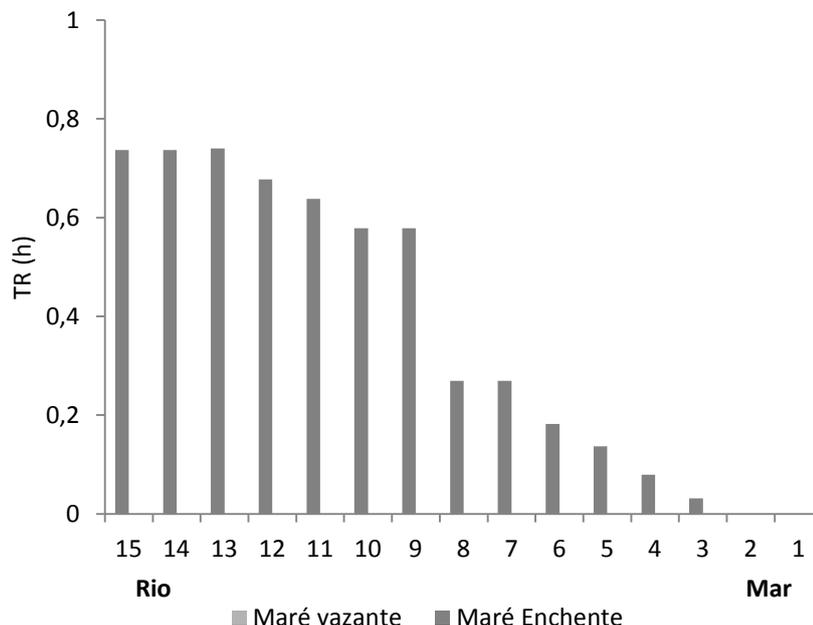
O baixo PAD mostra a pequena influência fluvial no sistema estuarino durante a estação seca, principalmente em maré vazante onde não foi observada a presença de água doce (Gráficos 2 e 3).

O PAD apresentou um comportamento decrescente em direção ao mar em maré enchente, como esperado para sistemas estuarinos (Gráfico 3).

O maior percentual de água doce em maré enchente indica que o PAD foi resultado do barramento físico imposto pela maré.

Na estação seca, o tempo de residência (TR) variou de 0,1 a 0,7 h, com média de 0,4 h. Em maré vazante, o TR foi inferior a 0,1h para todo o estuário (Gráfico 4); e em maré enchente, o TR foi entre 0,1 e 0,7 h, com média de 0,4 h. Como observado por Dias (2007), nos períodos de estiagem com baixo fluxo fluvial, o TR estuarino é reduzido devido ao

Gráfico 4 - Tempo de residência ao longo do estuário do rio Jaguaribe em maré vazante e enchente durante a estação seca.

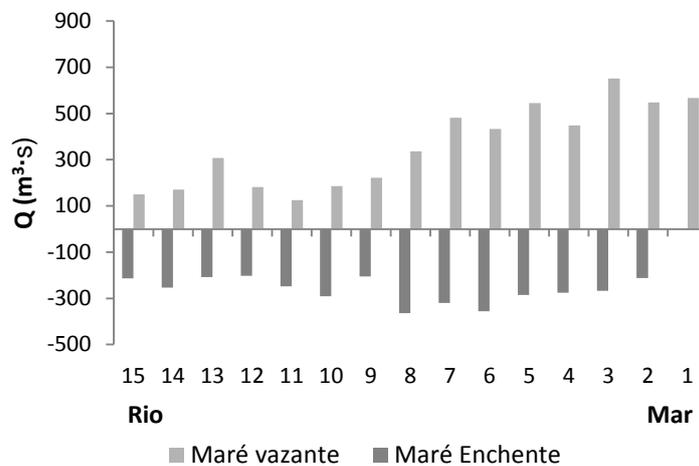


domínio das águas marinhas, que facilita a entrada e a saída da massa d'água do estuário.

O TR mostrou comportamento similar ao do percentual de água doce (Gráfico 4), crescente em direção ao continente (Gráfico 4).

Na estação chuvosa, a variação das vazões foi de 124,5 a 651,4  $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ , com média 312,3  $\text{m}^3\text{s}^{-1}$  (Gráfico 5). Em maré vazante, as Q foram entre 124,5 e 651,4  $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ , com média de 357  $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ ; e em maré enchente, de 201,9 a 363,5  $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ , com valor médio 264,3  $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ .

Gráfico 5 - Vazões hídricas ao longo do estuário do rio Jaguaribe durante a estação chuvosa.



As vazões foram maiores nas estações próximas a foz em maré vazante. Em maré enchente, as vazões mais intensas foram na região central do estuário (estações de 6 a 8) (Gráfico 5), mas as vazões foram bastante homogêneas ao longo do estuário nessa maré.

A média das vazões praticamente não mudou sazonalmente, 7,5 % superior no período chuvoso. Contudo, as vazões de saída dominaram o estuário (Tabela 2), pois as médias em maré vazante foram 65% e 35% superiores às em maré enchente durante a estação seca e a chuvosa, respectivamente, sugerindo que o estuário é capaz de exportar materiais mesmo com baixa descarga fluvial.

Na estação chuvosa, os VH ficaram dentro do intervalo de  $2,8 \times 10^6$  e  $1,9 \times 10^7 \text{ m}^3$ , com média  $6,9 \times 10^6 \text{ m}^3$ . No evento de maré vazante, os VH variaram de  $2,8 \times 10^6$  e  $1,9 \times 10^7 \text{ m}^3$  (Gráfico 6), com média igual a  $8,0 \times 10^6 \text{ m}^3$ ; e no de maré enchente, de  $4,5 \times 10^6$  a  $8,1 \times 10^6 \text{ m}^3$  (Gráfico 7), com média de  $5,8 \times 10^6 \text{ m}^3$ .

Gráfico 6 - Volumes hídricos totais de água e percentual de água doce ao longo do estuário do rio Jaguaribe em maré vazante durante a estação chuvosa.

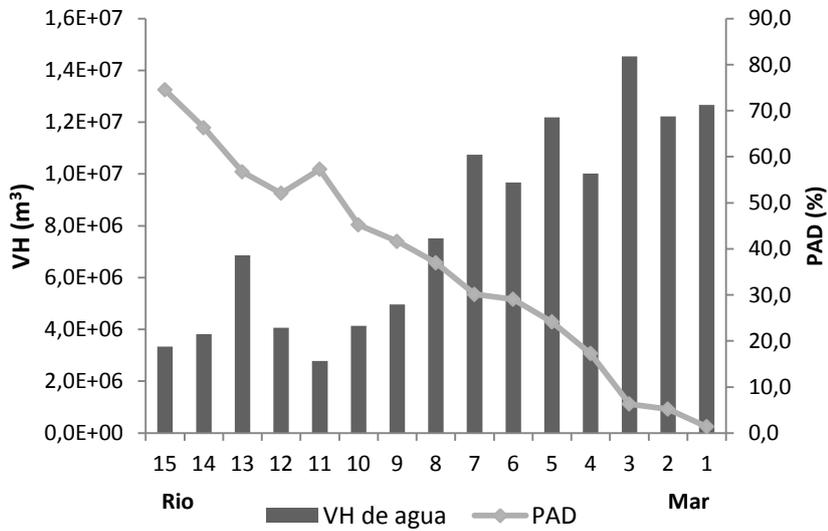
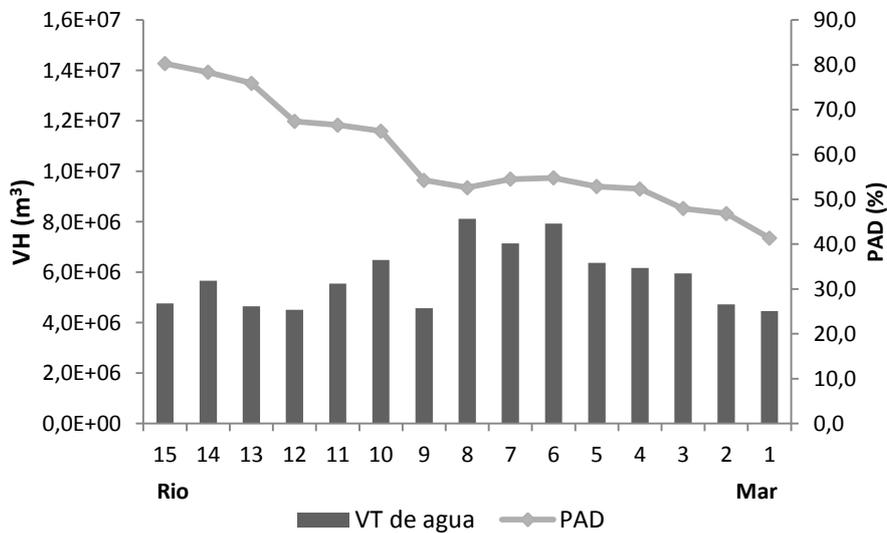


Gráfico 7 - Volumes hídricos totais de água e percentual de água doce ao longo do estuário do rio Jaguaribe em maré enchente durante a estação chuvosa.



Assim como ocorreu durante a estação seca, as médias dos VH nos dois eventos de maré foram da mesma ordem de grandeza, contudo 38% superior na vazante devido às maiores vazões terem ocorrido sempre em maré vazante. Sendo as médias dos VH bastante similares nas duas estações climáticas (Tabela 2).

O percentual de água doce (PAD) variou de 1,4% a 80,3%, com média de 47,8%, na estação chuvosa. Em maré vazante, os valores de PAD variaram de 1,4% a 74,5%, com média igual a 36,3%; e em maré enchente, o PAD variou de 41,4% a 80,3%, com média 59,4%.

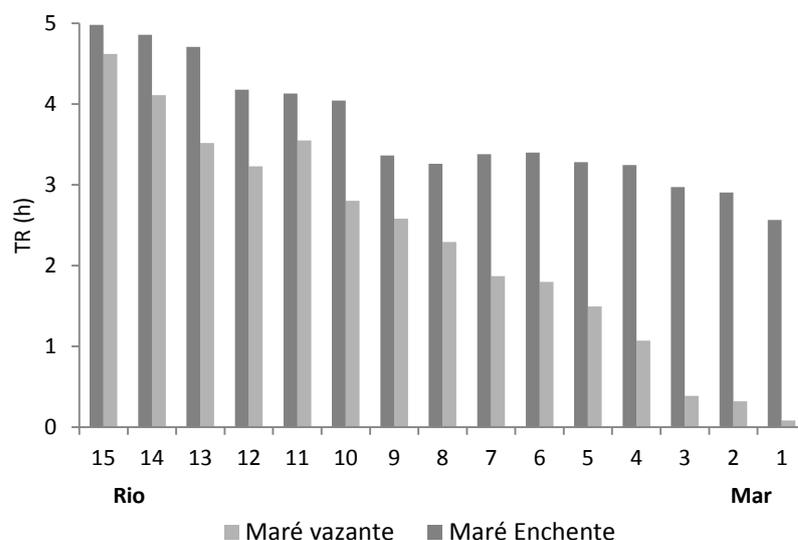
O comportamento do PAD a o longo do canal estuarino foi similar ao da estação seca, decrescente em direção ao mar (Gráficos 6 e 7). Da mesma forma, o percentual de água doce no sistema estuarino mostra ser resultado do barramento físico imposto pela maré devido ao PAD ser maior durante a maré vazante e o processo ser não linear.

Na estação chuvosa, foi possível observar a influência fluvial até a foz do estuário em maré enchente (Gráfico 7). O evento de chuva, durante a amostragem na maré enchente, pode ter favorecido o aumento da média e diminuição da variabilidade do PAD (Tabela 2) em relação à maré vazante.

Embora não tenham ocorrido grandes variações das vazões sazonalmente, o PAD chegou a alcançar 80% do VH em estações mais a montante durante a estação chuvosa, mostrando a maior influência fluvial sobre as águas estuarinas durante essa estação.

Na estação chuvosa, o TR ficou entre o intervalo de 0,1 a 5 horas, com média igual a 3h. A variação do TR em maré vazante foi de 0,1 a 4,6 h, com média igual a 2,2 h; e em maré enchente de 2,6 a 5 h, com média de 3,7 h (Gráfico 8).

Gráfico 8 - Tempo de residência ao longo do estuário do rio Jaguaribe em maré vazante e enchente durante a estação chuvosa.



O TR mostrou-se crescente em direção ao continente nas duas estações, nas duas condições de maré (Gráfico 8) e com maior média em maré enchente devido aos maiores valores de PAD e às menores vazões (Tabela 2), apontando retenção hídrica à montante.

O tempo de residência em maré enchente foram superiores aos da maré vazante nas duas estações climáticas devido ao barramento físico imposto pelas marés.

Os maiores valores de TR ocorreram durante a estação chuvosa, mostrando que com a presença de maiores vazões fluviais o efeito de lixiviação do estuário pelas águas marinhas é minimizado em relação a esta capacidade das marés em época de seca. Este efeito já havia sido observado em estudos anteriores (DIAS; MARINS; MAIA, 2009).

A tabela 3 apresenta um resumo do comportamento hídrico ao longo do estuário do rio Jaguaribe nas estações seca e chuvosa.

Tabela 3 - Síntese do comportamento hídrico do estuário do rio Jaguaribe nas estações seca e chuvosa.

Variáveis	Seca	Chuva	Observações
Q	0	0	Q maior na foz (exceto em maré enchente na estação chuvosa) Domínio das vazões de saída
VH	0	0	VH superiores em marés vazantes
PAD		10+	PAD maior em marés enchente – Barramento físico PAD crescente em direção ao continente (represamento)
TR		10+	TR crescente em direção ao continente TR maior em maré enchentes

10+ 1 ordem de grandeza maior

0 mesma ordem de grandeza

Assim, observou-se que a sazonalidade climática influenciou fortemente o aporte de água doce para o ambiente estuarino, havendo maior percentual de água doce na estação chuvosa. Na estação seca, o estuário é dominado por águas marinhas que são pouco ou não retidas na porção inferior do estuário, devido à grande influência das marés.

Além disso, o PAD e o TR foram superiores em maré enchente nas duas estações climáticas devido ao barramento físico imposto pela maré, causando represamento de água doce à montante do estuário, predominantemente em maré enchente.

### 5.1.2 Distribuição espacial dos parâmetros hidroquímicos no estuário do rio Jaguaribe

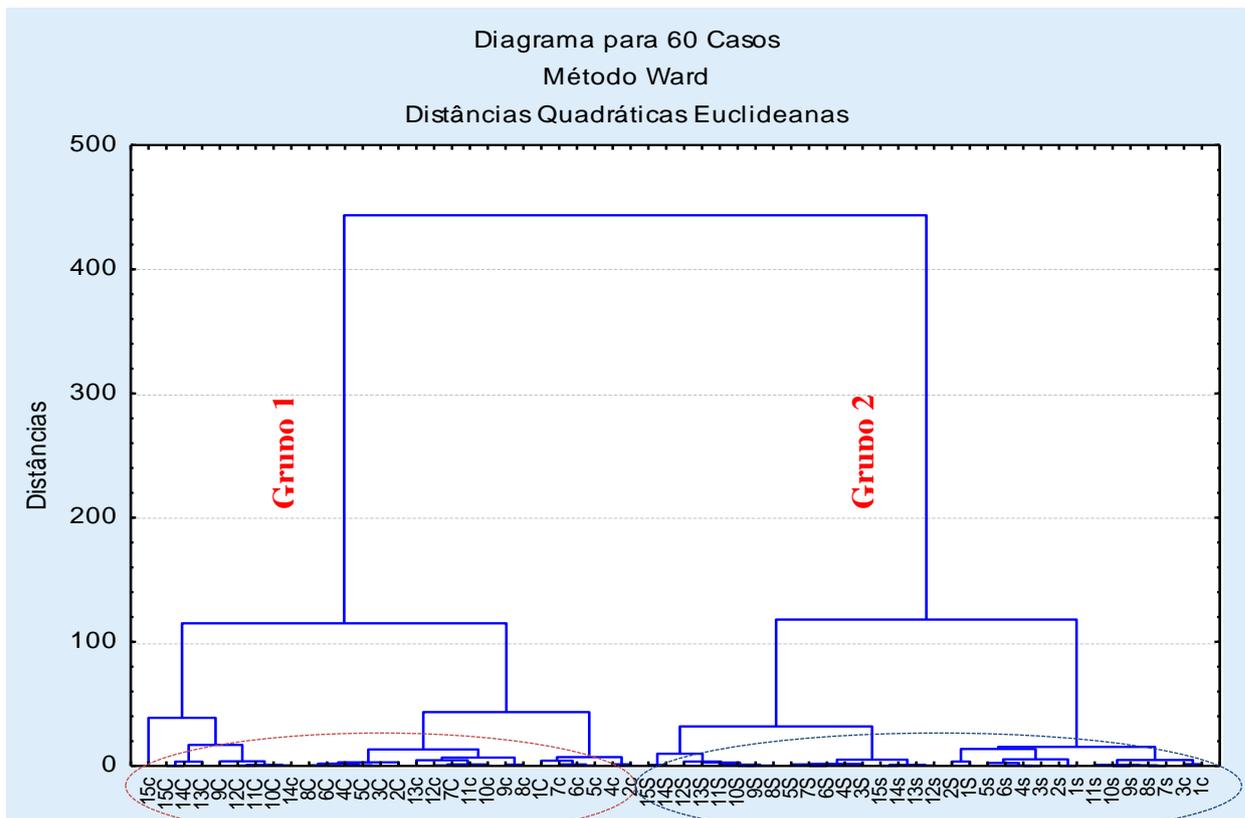
Os parâmetros hidroquímicos determinados no local de coleta encontram-se tabelados no Anexo I.

A análise estatística de agrupamento foi utilizada para avaliar a correlação entre os dados dos parâmetros hidroquímicos e físicos, do carbono dissolvido e da clorofila a obtidos na amostragem espacial das duas campanhas no estuário do rio Jaguaribe para determinação dos fatores que controlam as vazões de carbono entre os parâmetros avaliados.

A técnica classificatória multivariada foi utilizada para encontrar similaridade entre as estações de amostragem nas diferentes marés e estações climáticas.

No Gráfico 9, é observada a formação de dois grandes grupos. O grupo 1 corresponde às estações de amostragem nas marés vazante e enchente durante o período chuvoso, de 2c a 15c, e o grupo 2 às estações de amostragem, 15S a 1c, nas marés vazante e enchente durante o período seco e às estações 1 e 3 durante a maré vazante no período chuvoso. Esse padrão de agrupamento mostra que a sazonalidade tem papel importante no comportamento das variáveis ao longo do estuário do rio Jaguaribe.

Gráfico 9 - Análise de agrupamento das estações de amostragem durante o período seco nas marés vazante (s) e enchente (S) e durante o período chuvoso nas marés vazante (c) e enchente (C) no estuário do rio Jaguaribe.



Analisando cada grupo separadamente (Gráfico9), é possível observar que existe maior similaridade entre as estações, de uma mesma condição de maré, no período seco devido à maior homogeneização das águas no interior do estuário promovida pela grande influência das águas marinhas.

Para ver as relações entre as variáveis nas duas marés em cada estação climática, foram feitas análises de componentes principais separadamente (Gráficos 10 e 11). Foi observado que as variáveis se correlacionam de formas distintas entre as marés e estações climáticas, reforçando a interferência desses dois eventos no comportamento dessas variáveis no estuário do rio Jaguaribe.

Gráfico 10 - ACP das variáveis hidroquímicas, carbono dissolvido e clorofila durante a estação seca (a) maré vazante; (b) maré enchente.

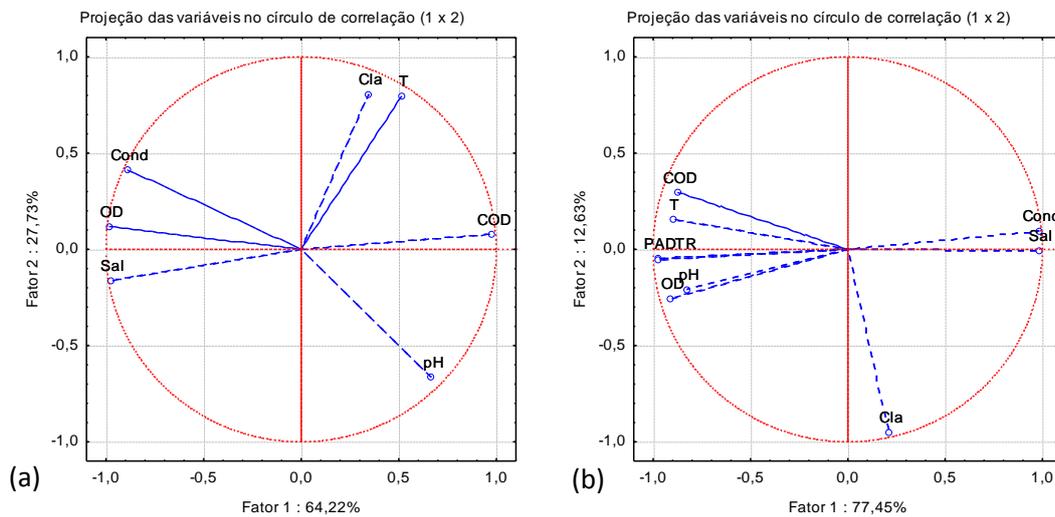
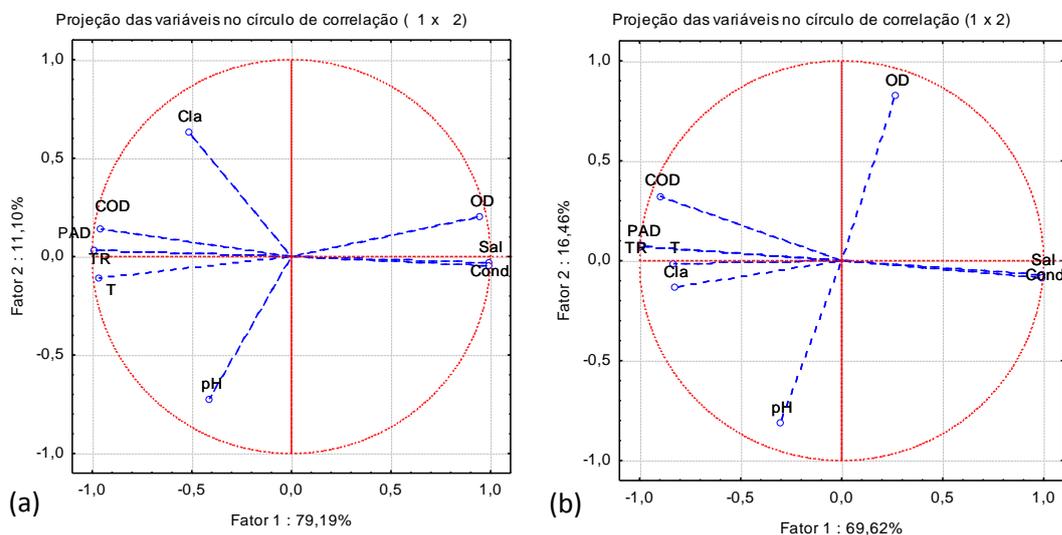


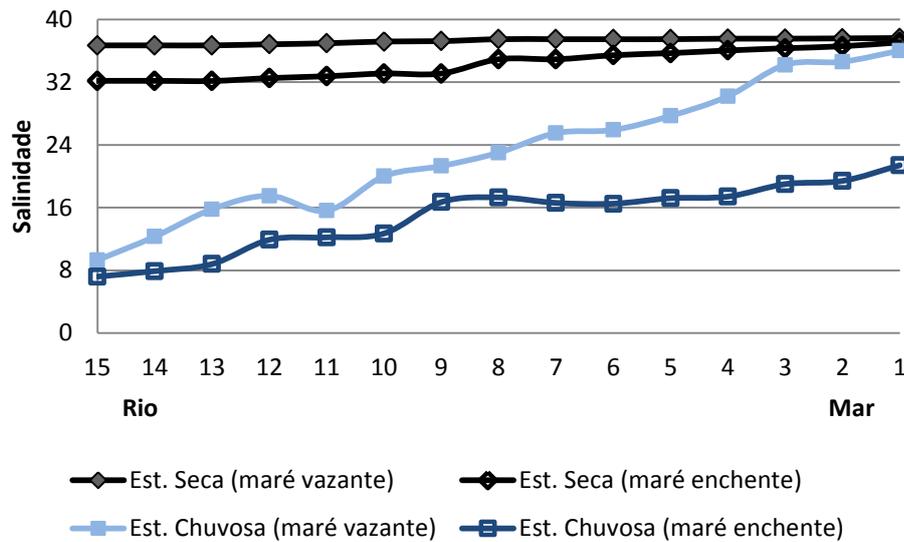
Gráfico 11 - ACP das variáveis hidroquímicas, carbono dissolvido e clorofila durante a estação chuvosa (a) maré vazante; (b) maré enchente.



### 5.1.2.1 Salinidade

Durante as duas estações climáticas e as duas condições de maré, foi observado um gradiente longitudinal crescente de salinidade (S) do rio para o mar (Gráfico 12).

Gráfico 12 - Distribuição espacial da salinidade ao longo do estuário do rio Jaguaribe durante a maré vazante e enchente nas estações seca e chuvosa.



Durante a estação seca, os valores de salinidade foram elevados e sem grandes variações, 37,6 a 32,1 (Tabela 4), mostrando o domínio pelas águas marinhas ( $S > 30$ ) no interior do estuário do rio Jaguaribe (LACERDA; GODOY; MAIA, 2010; MARINS *et al.*, 2003), como demonstrado também pelo PAD neste estudo.

Já na estação chuvosa foi observado um maior potencial de diluição das águas marinhas (Gráfico 12), na zona de mistura do estuário, devido à maior descarga fluvial durante esta estação. A salinidade variou de 7,2 a 36 (Tabela 4), evidenciando o domínio das águas estuarinas ( $5 < S < 30$ ) no estuário do rio Jaguaribe durante esta estação. A presença de águas costeiras no estuário ficou restrita apenas às primeiras 4 estações de amostragem durante a maré vazante.

O evento de chuva durante a maré enchente pode ter favorecido a diluição das águas marinhas, refletindo em uma média de salinidade inferior a da maré vazante, 14,8 e 23,3 respectivamente, durante a estação chuvosa.

Os valores médios da salinidade em maré vazante foram superiores aos da maré enchente nas duas estações climáticas, possivelmente esse comportamento esteve relacionado ao barramento físico imposto pela maré no sistema estuarino do rio Jaguaribe que aumenta o tempo de residência das águas e favorece os processos de evaporação, com consequente aumento de salinidade. Como o estudo abrangeu anos de seca intensa, o mesmo processo foi observado nas duas ocasiões de amostragem (denominadas neste estudo estação seca e chuvosa).

Tabela 4 - Valores mínimos, máximos e médios dos parâmetros hidroquímicos, T ( $^{\circ}\text{C}$ ), OD ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) Cond ( $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ ) COD ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ), CID ( $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ ) e Cl-a ( $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ) ao longo do estuário do rio Jaguaribe.

	Maré	-	S	T	OD	Cond	pH	COD	CID	Cl-a
Estação Seca	Vazante	Máx	37,6	28,8	6,1	59,2	8,0	3,8	30,0	3,2
		Mín	36,7	27,6	5,2	57,3	7,8	1,1	18,2	1,1
		Média	37,2	28,4	5,8	58,6	7,9	2,1	24,5	2,1
		DP	0,4	0,3	0,3	0,6	0,1	1,0	3,4	0,7
	Enchente	Máx	37,1	29,3	8,0	56,7	8,0	6,4	33,5	4,6
		Mín	32,1	27,3	5,0	51,4	7,7	1,6	20,2	1,8
		Média	34,3	28,4	6,0	54,5	7,8	4,5	29,3	2,7
		DP	1,82	0,6	1,0	1,9	0,1	1,4	3,4	0,7
Estação Chuvosa	Vazante	Máx	36,0	29,7	6,3	58,5	7,8	5,3	29,9	10,7
		Mín	9,3	28,9	3,3	17,5	6,7	1,1	22,9	0,3
		Média	23,3	29,3	4,5	39,7	7,2	2,8	27,5	2,8
		DP	8,3	0,3	0,1	12,6	0,3	1,1	2,2	2,3
	Enchente	Máx	21,4	29,6	4	37,4	7,4	9,1	31,7	5,1
		Mín	7,2	29	3,4	13,7	6,5	3,7	27,8	1,0
		Média	14,8	29,4	3,7	26,5	7,1	5,6	30,0	2,9
		DP	4,4	0,2	0,2	7,3	0,2	2,2	0,9	1,4

### 5.1.2.2 Condutividade

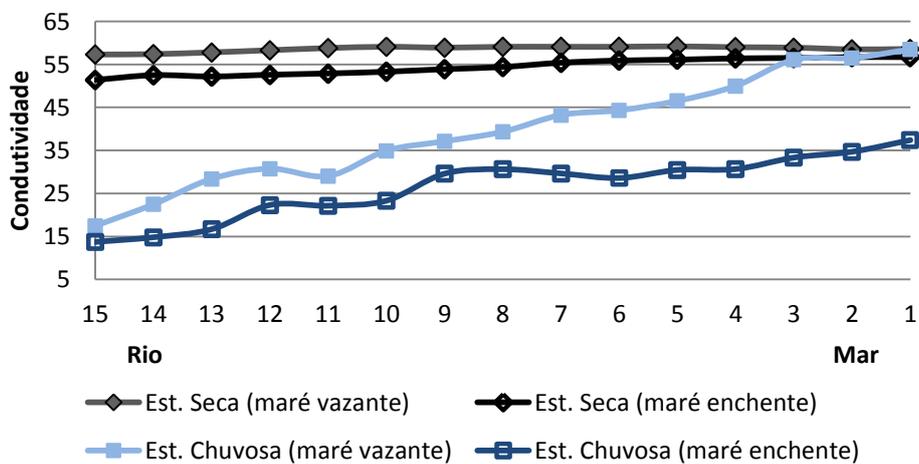
A variação da condutividade ficou dentro do intervalo de 51,4 a 59,2  $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$  durante a estação seca e de 13,74 a 58,5  $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$  durante a estação chuvosa (Gráfico 13), mostrando maior variabilidade nesta estação devido ao maior aporte de água doce e menor mistura promovida pelas águas marinhas.

Como o esperado, a condutividade mostrou-se fortemente correlacionada com a salinidade durante as duas estações climáticas (Gráficos 2 e 3), pois a medição da salinidade

pelas sondas é feita a partir da condutividade elétrica, que depende da concentração e da proporção entre si dos sais da água do mar.

O gradiente da condutividade foi similar ao da salinidade (Gráfico 13), decrescente em direção ao continente. Além disso, tanto na estação seca como na chuvosa as médias da condutividade foram superiores nas marés vazantes, 58,6 e 39,7  $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ , do que nas marés enchentes, 54,5 e 26,5  $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$  respectivamente.

Gráfico 13 - Distribuição espacial da condutividade ao longo do estuário do rio Jaguaribe durante a maré vazante e a maré enchente nas estações seca e chuvosa.



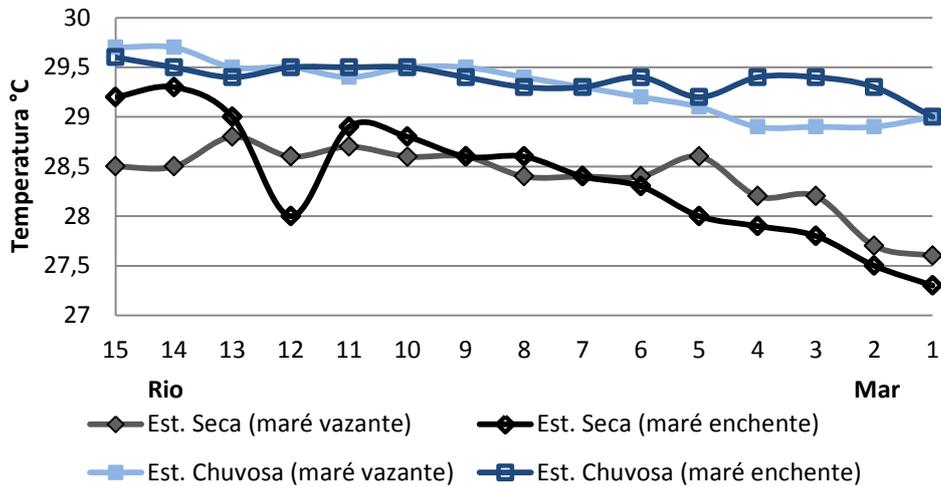
### 5.1.2.3 Temperatura

A temperatura (T) variou de 27,3 a 29,3°C na estação seca e de 28,9 a 29,7°C na estação chuvosa, com valor médio superior nessa estação, 28,4 e 29,3°C respectivamente (Tabela 4). Esse comportamento constante da temperatura é comum das regiões tropicais e de baixa latitude devido à intensidade dos raios solares nessa região ser bastante homogênea durante o ano inteiro (PEREIRA; SOARES-GOMES, 2009).

As temperaturas das águas do rio Jaguaribe foram menores durante a estação seca devido a menor influência das águas marinhas no estuário. Baseado nos índices termohalinos para a massa d'água do estuário do rio Jaguaribe proposto por Dias *et al* (2013), foi

observado que durante a estação seca há presença predominante de água costeira ( $28 < T < 29$ ) e durante a estação chuvosa de água estuarina ( $T > 29$ ).

Gráfico 14 - Distribuição espacial da temperatura ao longo do estuário do rio Jaguaribe durante a maré vazante e a maré enchente nas estações seca e chuvosa.



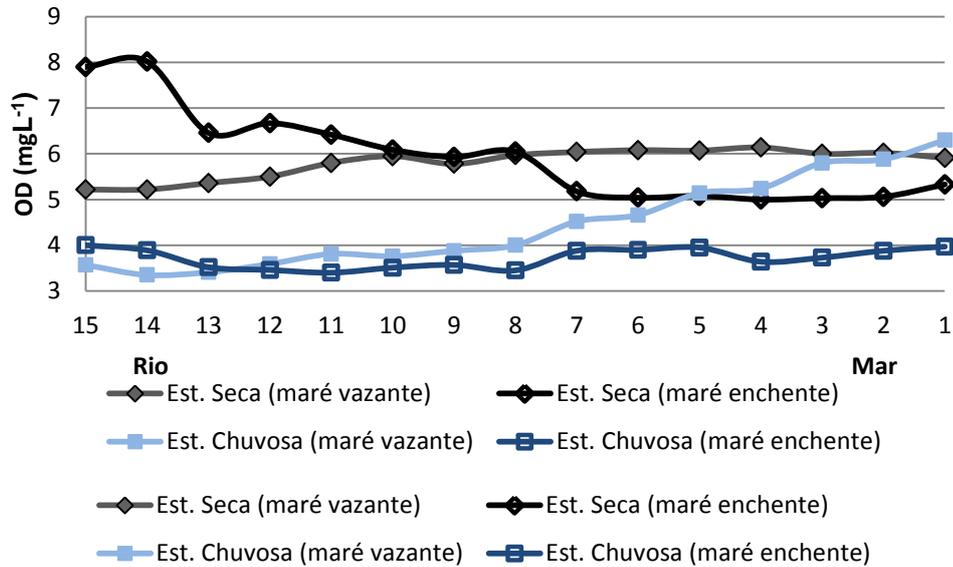
#### 5.1.2.3.1 pH

Na estação seca, a distribuição do pH foi bastante homogênea (Gráfico 15), variando de 7 a 8,2, com médias de pH na maré vazante e na enchente foram 8 e 7,7 respectivamente (Tabela 4).

O pH alcalino das águas do estuário do rio Jaguaribe são um reflexo da grande influência das águas marinhas e balanço hídrico negativo neste estuário, como reportado anteriormente por Marins *et al.* (2003).

Na estação chuvosa, os valores de pH foram próximos do neutro em todo o estuário em ambas as marés (Gráfico 11), variando entre 6,5 e 7,8, provavelmente devido a maior descarga fluvial, nesta estação e pelo evento de chuva durante a maré enchente.

Gráfico 16 - Distribuição espacial do OD ao longo do estuário do rio Jaguaribe durante a maré vazante e a maré enchente nas estações seca e chuvosa.



#### 5.1.2.4 Oxigênio dissolvido

O teor de oxigênio dissolvido (OD) variou de 5 a 8 mg·L<sup>-1</sup> na estação seca, logo o estuário pode ser caracterizado como bem oxigenado, pois os processos anaeróbicos são relevantes apenas quando os níveis de oxigênio são inferiores a 4 mg·L<sup>-1</sup> (ESTEVES, 1998). Essa característica já foi reportada anteriormente por Marins *et al.* (2003).

O OD correlacionou-se de forma diferente nas duas marés durante a estação seca (Gráfico 16), mostrando há diferentes mecanismos reguladores do seu comportamento. Na maré vazante, o OD apresenta correlação significativa com a salinidade ( $R = 0,93$ ;  $p < 0,05$ ) e a condutividade ( $R = 0,93$ ;  $p < 0,05$ ). Enquanto que na maré enchente, o OD teve comportamento similar ao pH ( $R = 0,9$ ;  $p < 0,05$ ), PAD ( $R = 0,86$ ;  $p < 0,05$ ) e TR ( $R = 0,86$ ;  $p < 0,05$ ) e oposto à salinidade ( $R = -0,85$ ;  $p < 0,05$ ) (Gráfico 16).

Durante a maré vazante, os teores de OD foram maiores e mais constantes nas estações de amostragem próximas à foz (Gráfico 16), onde os processos de mistura causados pela maré e pelos ventos, que promovem a oxigenação das águas, são mais intensos (PEREIRA; SOARES-GOMES, 2009).

Além disso, a sequência de amostragem combinada ao horário, 15 às 17:30, pode ter influenciado na queda dos teores do OD a partir da estação 11 devido a diminuição da atividade fotossintética com a aproximação da noite.

Em maré enchente, os níveis de OD nas estações de 1 a 7 também foram mais constantes. Contudo, as concentrações de OD aumentaram da foz para o continente (Gráfico 16) principalmente a partir da estação 8. Isso deve ter ocorrido devido à aproximação do horário de máximo de insolação durante a amostragem dessa maré, que ocorreu das 9 às 13 horas.

Na estação chuvosa, as concentrações de OD variaram e de 3,4 a 6,3 mg·L<sup>-1</sup>, apresentando baixos níveis de OD na camada superficial das águas em quase toda a extensão estuarina nas duas marés (Gráfico 16). O baixo teor de OD pode estar associado ao maior aporte de material particulado em suspensão (MPS) durante essa estação, aumentando o consumo de oxigênio para a degradação do MPS de origem orgânica. Principalmente durante a maré enchente, quando ocorreu o evento de chuva.

Além disso, marés enchentes já mostraram capacidade de erosão de margens com depleção de oxigênio no estuário do rio Jaguaribe, (MARINS; DIAS, 2003).

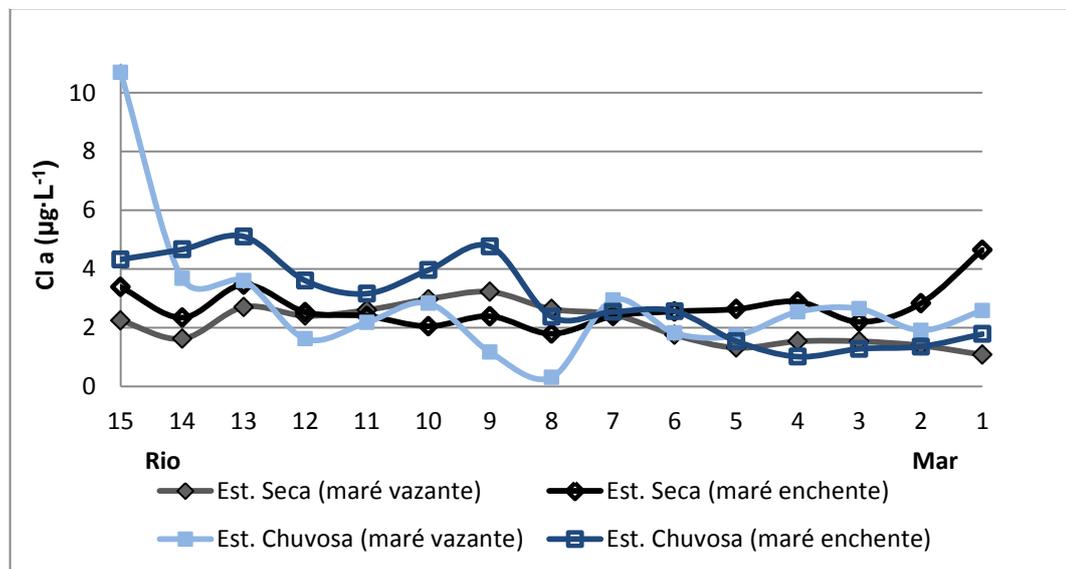
Na maré vazante, os níveis de OD aumentaram no sentido do rio para o mar devido à maior influência das águas marinhas. Esse fator também contribuiu para que as concentrações de OD nessa maré fossem superiores às da maré enchente.

As médias de OD durante a estação seca foram superiores às da chuvosa (Tabela 4) provavelmente devido à maior influência das águas costeiras na estação seca.

#### 5.1.2.5 *Clorofila a*

A concentração de clorofila a (Cl-a) variou de 1,1 a 4,6 µg·L<sup>-1</sup> na estação seca e de 0,3 a 10,7 µg·L<sup>-1</sup> na maré enchente (Tabela 4). Com exceção do ponto 15 na maré vazante da estação chuvosa, o padrão de distribuição da Cl-a ao longo do gradiente estuarino foi bastante regular independentemente da maré e da estação climática (Gráfico 17). Principalmente durante a estação seca, quando é encontrada apenas água marinha no interior do estuário.

Gráfico 17 - Distribuição espacial da clorofila a ao longo do estuário do rio Jaguaribe durante a maré vazante e a maré enchente nas estações seca e chuvosa.



A clorofila a não mostrou correlações significantes com as demais variáveis (Gráficos 10 e 11), exceto com a temperatura durante a maré vazante ( $R = 0,69$ ;  $p < 0,05$ ) e a maré enchente ( $R = 0,57$ ;  $p < 0,05$ ) nas estações seca e chuvosa, respectivamente (Gráficos 10a e 11b). Provavelmente, é mais controlado pela insolação, parâmetro que não foi avaliado neste estudo.

### 5.1.3 Distribuição espacial do carbono orgânico dissolvido ao longo do estuário do rio Jaguaribe.

As concentrações de COD variaram de 1,1 a 6,4 mg.L<sup>-1</sup> (Gráfico 18), com média de 3,3 mgL<sup>-1</sup>, na estação seca, e de 1,1 a 9,15 mgL<sup>-1</sup> (Gráfico 19), com média 4,2 mgL<sup>-1</sup>, na estação chuvosa. Esses valores foram similares aos de outros estuários tropicais (HE *et al.*, 2010; HUNG; HUANG, 2005; WU *et al.*, 2013). Contudo, não houve grande variabilidade das médias das concentrações de COD entre as estações climáticas no estuário do rio Jaguaribe,  $3,7 \pm 0,6$  mg.L<sup>-1</sup>, provavelmente devido à baixa pluviosidade e, conseqüentemente, menor aporte fluvial no ano de 2014.

Gráfico 18 - Distribuição espacial de COD ao longo do estuário do rio Jaguaribe em maré vazante e enchente durante a estação seca.

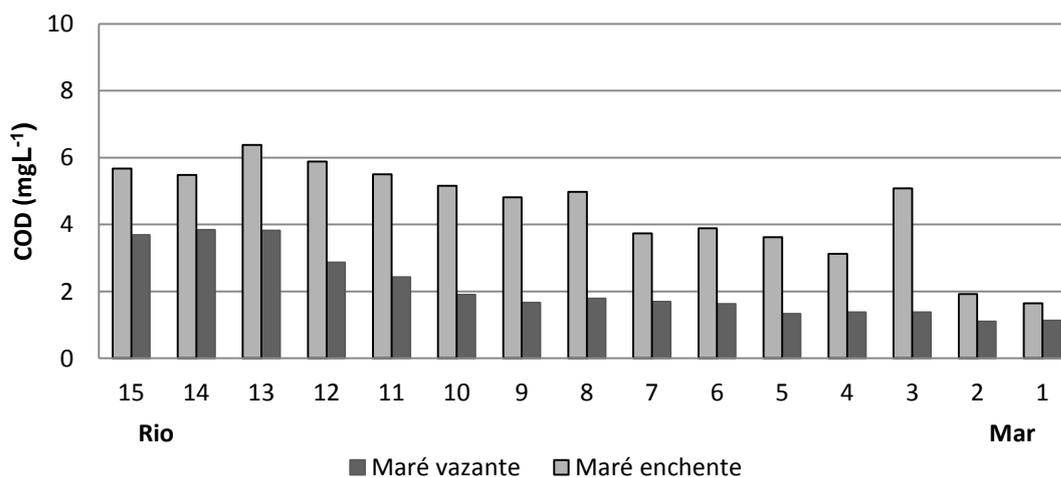
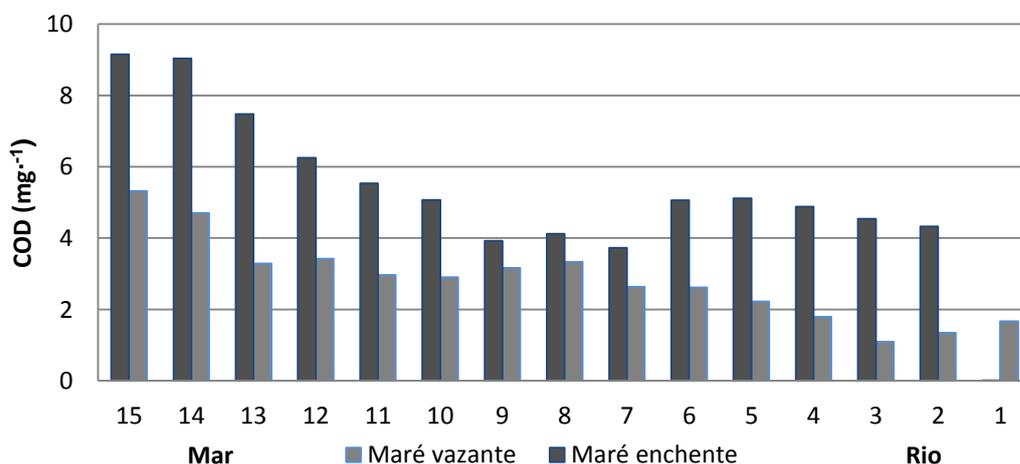


Gráfico 19 - Distribuição espacial de COD ao longo do estuário do rio Jaguaribe em maré vazante e enchente durante a estação chuvosa.



O COD apresentou forte correlação positiva com o PAD e o TR em maré enchente na estação seca ( $R = 0,83$ ;  $p < 0,05$ ) e nas marés vazante e enchente na chuvosa ( $R = 0,93$  e  $R = 0,90$ ;  $p < 0,05$ ) (Gráficos 10 e 11), e correlação negativa com a salinidade nas marés vazante e enchente nas estações seca ( $R = -0,96$  e  $R = -0,86$ ;  $p < 0,05$ ) e chuvosa ( $R = -0,93$  e  $R = -0,90$ ;  $p < 0,05$ ); indicando que a dinâmica estuarina desempenhou um papel relevante no comportamento do COD no estuário do rio Jaguaribe. Além disso, a Cl-a não apresentou correlação significativa com o COD na estação seca (Gráfico 10) e na chuvosa apresentou baixa correlação positiva (Gráfico 11), indicando que os parâmetros biológicos autóctones têm pouca influência na regulação do COD no estuário do rio Jaguaribe e que o COD seja de origem predominantemente alóctone.

Eschrique (2011) registrou elevados teores de nitrogênio orgânico dissolvido e amônia na região do estuário do rio Jaguaribe próxima à cidade de Aracati e à Gamboa do Cumbe, que sugerem excesso de matéria orgânica de origem antrópica. Nessa mesma área, estações de 12 a 15, foram mensurados os teores mais elevados de COD (Gráficos 18 e 19), podendo ter como importante fonte o esgotamento doméstico e águas residuárias de carcinicultura.

Mesmo com curto tempo de residência e lavagem diária do estuário por águas marinhas, o sistema já começa a apresentar alguns reflexos do uso e ocupação desordenado no seu entorno.

Ainda que a variabilidade sazonal do COD tenha sido baixa, os teores de COD na estação chuvosa foram superiores aos da seca, provavelmente devido à maior influência da água doce rica em COD nesse período, evidenciando a importância do rio como fonte de COD para o estuário. Além disso, nessa mesma região há represamento de água doce, como mostra a avaliação hidrodinâmica, favorecendo a concentração de COD nessas estações.

Da mesma forma observou-se que nas marés vazantes nas estações seca ( $R = -0,94$ ;  $p < 0,05$ ) e chuvosa ( $R = -0,86$ ;  $p < 0,05$ ), o COD mostrou correlação negativa em relação ao OD, e este também não mostrou ser controlado pela atividade biológica (Gráficos 10a e 11a).

O COD apresentou tendência de decréscimo linear, no sentido do rio para o mar, ao longo do gradiente de salinidade na zona de mistura do estuário (Gráficos 20 e 21), mostrando a capacidade de diluição do COD pelas águas marinhas ou a existência de mecanismos de retirada de espécies dissolvidas pela mistura das águas marinha e doce, que favorece a floculação do COD pela mudança da força iônica da solução (MILLERO, 2001).

Gráfico 20 - Correlação entre salinidade e COD no estuário do rio Jaguaribe em maré vazante e enchente na estação seca.

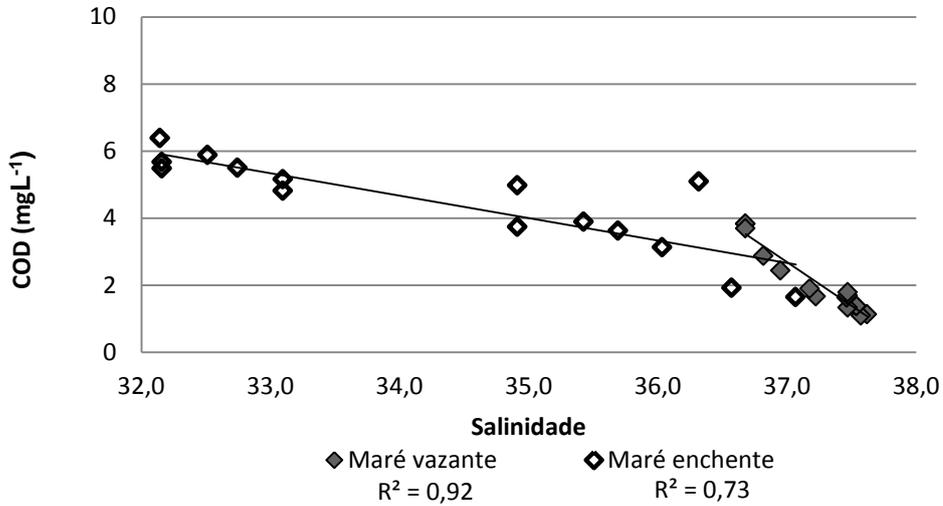
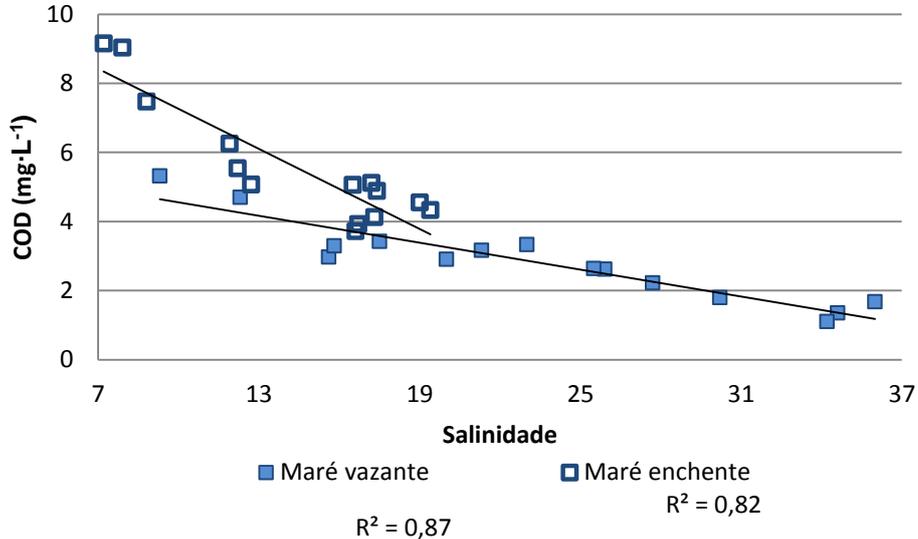


Gráfico 21 - Correlação entre salinidade e COD no estuário do rio Jaguaribe em maré vazante e enchente na estação chuvosa.



As médias das concentrações de COD em marés enchentes foram de 4,5 e 5,6  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , e em marés vazantes foram de 2,1 e 2,8  $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ , durante a estação seca e a chuvosa respectivamente. As médias em marés enchentes foram superiores às das vazantes devido à maior influência das águas fluviais e maior TR durante as marés enchentes e, podem sugerir mudanças da capacidade de mineralização da matéria orgânica particulada com o aumento da retenção hídrica.

Foi observado um pico na concentração de COD na estação 3, que pode ter ocorrido devido à contribuição do Canal do Amor com águas ricas em matéria orgânica, pois neste Canal as áreas de mangue estão ainda preservadas.

A forte correlação negativa do COD com a salinidade e a condutividade e a baixa correlação do COD com a Cl-a (Gráficos 10 e 11) mostram que a dinâmica estuarina é mais relevante do que os parâmetros biológicos no comportamento do COD no estuário do rio Jaguaribe e que, possivelmente, essa matéria orgânica seja de origem predominantemente alóctone, podendo haver influência das áreas de manguezal ainda preservadas no estuário.

Nas marés vazantes das duas estações climáticas, o COD mostrou uma correlação negativa em relação ao OD, provavelmente devido ao consumo de OD na mineralização do COD como observado anteriormente em outros estudos (MARINS *et al*, 2003).

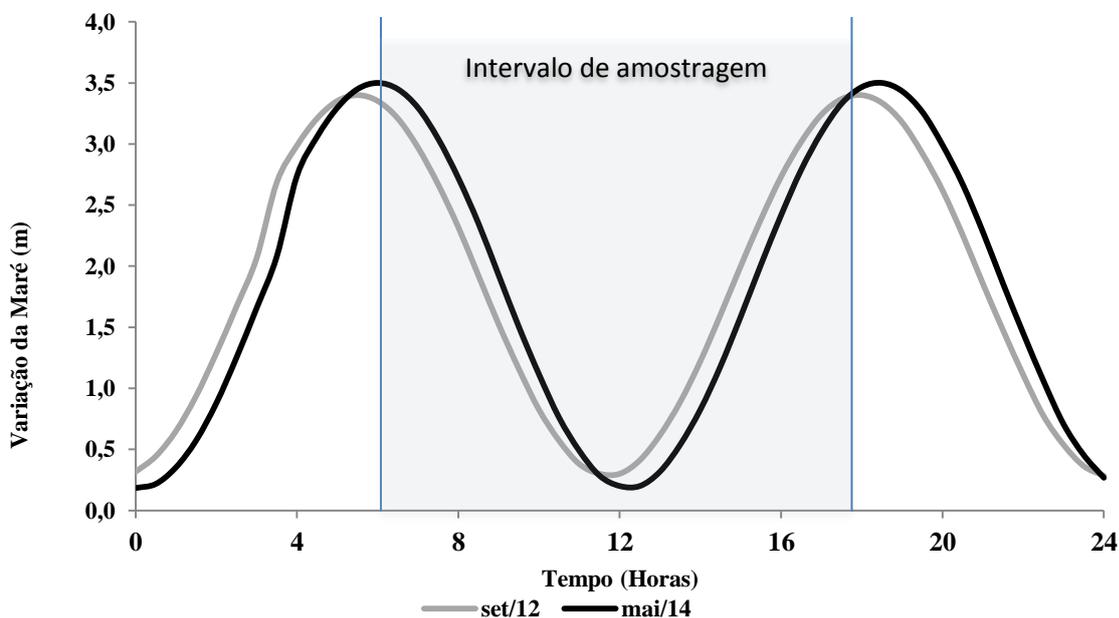
## 5.2 Abordagem euleriana

### 5.2.1 Caracterização física do estuário do rio Jaguaribe

As curvas de maré (Gráfico 22) de setembro de 2012 e maio de 2014 foram plotadas baseadas nos dados fornecidos pela DHN para o porto de Areia Branca-Termisa (RN). A partir destas curvas observamos que para setembro de 2012 os picos de mínima e máxima foram de 0,3 e 3,4 m, enquanto que em maio de 2014 estes valores foram de 0,2 e 3,5m, respectivamente.

A variação do nível de água aponta uma maré do tipo sizígia para todo o período avaliado, com atraso médio de 2 horas entre o porto de Areia Branca-Termisa (RN) e o interior do estuário.

Gráfico 22 – Variação do nível de água no estuário do rio Jaguaribe gerada por uma onda de gravidade superficial (maré).



As vazões medidas na estação seca variaram de 7 a 267  $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ , com média igual a 90  $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ . Nas marés vazante e enchente, os valores foram entre 7 e 48  $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ , com média de 31  $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ , e entre 27 e 267  $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ , com média de 160  $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ , respectivamente.

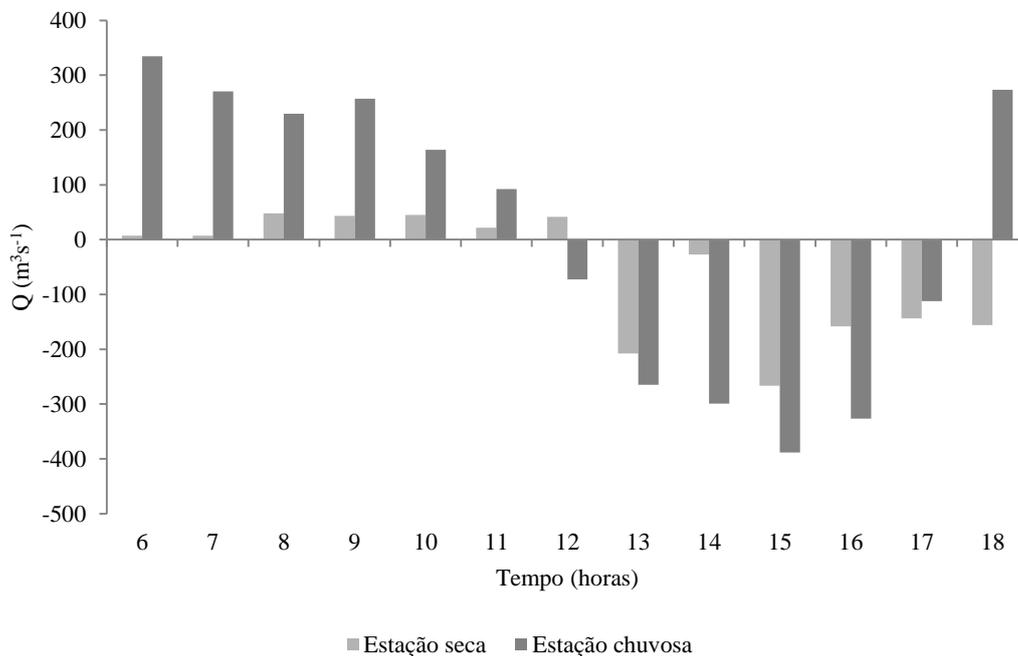
Na estação chuvosa, as vazões variaram entre de 73 a 389  $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ , apresentando uma média 237  $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ . Nos eventos de maré vazante e enchente a variação foi de 92 a 335  $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ , com média de 232  $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ , e de 73 a 389  $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ , com média de 244  $\text{m}^3\text{s}^{-1}$ , respectivamente.

As vazões médias em maré enchente mostraram um domínio das vazões de entrada no sistema estuarino durante o período de estiagem, onde a forçante fluvial apresentou menor resistência à entrada da maré. Essa característica também foi observada no estuário do rio Jaguaribe por Dias (2007) em setembro de 2005.

Na estação chuvosa, as vazões de entrada e saída apresentaram médias similares.

As vazões hídricas totais da estação chuvosa foram superiores às da estação seca (Gráfico 23), regime similar ao reportado por Hung & Huang (2005) em um estuário tropical (Tsengwen), onde a vazão estuarina é maior no período de maior precipitação anual.

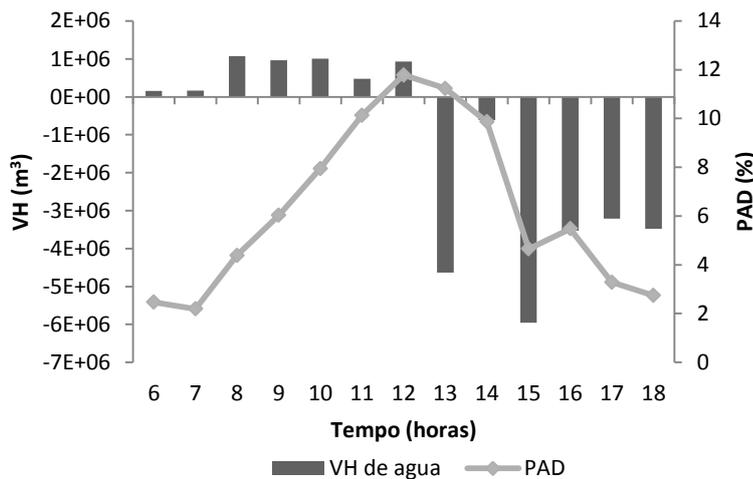
Gráfico 23 - Vazões hídricas em um ponto fixo no estuário do rio Jaguaribe durante um ciclo de maré nas estações seca e chuvosa.



Na estação seca, os volumes hídricos totais apresentaram uma variação de  $1,6 \times 10^5$  a  $6,1 \times 10^6 \text{ m}^3$  (Gráfico 24) com média igual a  $2 \times 10^6 \text{ m}^3$ . Na maré vazante os valores foram entre  $1,6 \times 10^5$  e  $1,1 \times 10^6 \text{ m}^3$ , com média igual a  $6,9 \times 10^5 \text{ m}^3$ , e na enchente entre  $5,9 \times 10^6$  e  $6,1 \times 10^6 \text{ m}^3$ , com média de  $3,6 \times 10^6 \text{ m}^3$ .

Os valores de PAD ficaram dentro do intervalo de 2,2% a 11,8%, com média 6,3%, na estação seca. No evento de maré vazante, o PAD variou entre 2,2% a 11,8%, com média igual a 6,4%, e no de maré enchente, variou de 2,7% a 11,2% (Gráfico 24), com média de 6,2%.

Gráfico 24 - Volumes hídricos totais de água e percentual de água doce em um ponto fixo no estuário do rio Jaguaribe durante um ciclo de maré na estação seca



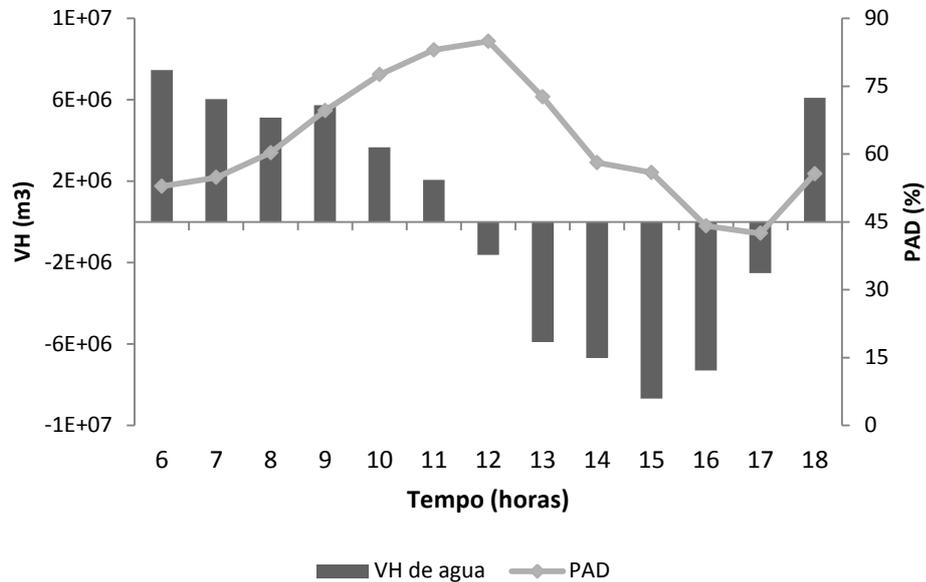
Na estação chuvosa, os VH variaram entre de  $1,6 \times 10^6$  a  $8,7 \times 10^6$  m<sup>3</sup> (Gráfico 25), apresentando uma média  $5,3 \times 10^6$  m<sup>3</sup>, sendo 62,5% de água doce. Nos eventos de maré vazante e enchente a variação foi de  $2 \times 10^6$  a  $7,5 \times 10^6$  m<sup>3</sup>, com média de  $5 \times 10^6$  m<sup>3</sup>, e de  $1,6 \times 10^6$  a  $8,7 \times 10^6$  m<sup>3</sup>, com média de  $5,5 \times 10^6$  m<sup>3</sup>, respectivamente. As médias do PAD nas marés vazante e enchente foram respectivamente 64,8% e 59,7%.

O PAD variou de 42,5% a 84,9%, com média de 62,4%, na estação chuvosa. Em maré vazante, os valores de PAD variaram de 52,9% a 83%, com média igual a 64,8%; e em maré enchente, o PAD variou de 42,5% a 84,9%, com média 59,4% (Gráfico 25).

As médias do VH das duas estações foram da mesma ordem de grandeza, porém ocorreu um aumento de 65% do VH na estação chuvosa, indicando maior contribuição fluvial estação climática.

Na estação seca, o valor médio do VH foi uma ordem de grandeza maior na maré enchente do que na maré vazante, indicando a existência de água residual no interior do estuário. Enquanto que na estação chuvosa, as médias de VH em cada maré foram praticamente iguais (Gráfico 24).

Gráfico 25 - Volumes hídricos totais de água e percentual de água doce em um ponto fixo no estuário do rio Jaguaribe durante um ciclo de maré na estação chuvosa.



O pico do PAD ocorreu quando a maré se apresentou no nível mais baixo nas duas estações climáticas (Gráfico 24 e 25). A média do PAD foi uma ordem de grandeza maior durante a estação chuvosa, reforçando a maior influência fluvial nessa estação.

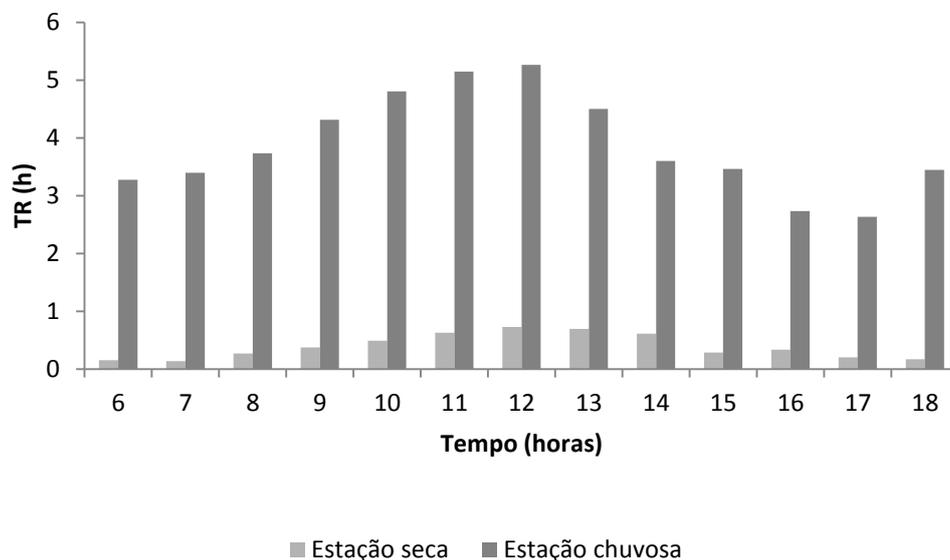
Na estação seca o TR variou de 0,1 a 0,7 h, com média de 0,4 h; em maré vazante o TR foi entre 0,1 e 0,7 horas, com média 0,4, em maré enchente o TR variou de 0,2 a 0,7 horas, também com média igual a 0,4 horas (Gráfico 26).

Na estação chuvosa, o TR variou de 2,6 a 5,3 h, com média 3,9 h; em maré vazante a variação do TR foi entre 3,3 a 5,1 horas, com média de 4 horas, em maré enchente o TR variou de 2,6 a 5,3 horas, com média de 3,7 horas.

Os maiores TR, em cada estação climática, ocorreram por volta de meio dia, quando houve maior volume de água doce (Gráficos 24 e 25) e menores vazões (Gráfico 23), nessa região do estuário, associadas às menores variações de maré (Gráfico 22).

O TR avaliado neste trabalho, durante a estação seca, foi o menor já registrado para o estuário do rio Jaguaribe. Sabendo-se que o ano de 2012 foi bastante seco, o baixo TR pode ser um reflexo da diminuição das vazões do rio, causada pela redução do volume de chuvas no Nordeste como efeito das mudanças climáticas globais (LACERDA, *et al.*, 2010).

Gráfico 26 - Variação temporal do TR em um ponto fixo no estuário do rio Jaguaribe durante um ciclo de maré nas estações seca e chuvosa.



O valor médio do TR foi uma ordem de grandeza maior durante o período chuvoso devido à maior influência fluvial nessa estação (Figuras 24 e 25), mostrando que o TR das águas estuarinas é dependente da sazonalidade.

Mesmo havendo considerável volume de água doce no estuário na estação chuvosa, as vazões não foram suficientes para impedir a ação das marés, logo o TR foi similar ao medido na estação seca de 2005 por Dias (2007).

Na Tabela 5, encontra-se resumido o comportamento hídrico em um ponto fixo na zona de mistura do estuário do rio Jaguaribe durante um ciclo de maré durante as estações seca e chuvosa.

Tabela 5 - Síntese do comportamento hídrico em um ponto fixo no estuário do rio Jaguaribe nas estações seca e chuvosa.

Variáveis	Seca	Chuva	Observações
Q		10+	Domínio das Q de entrada na seca (maior intrusão salina) Q similares na estação chuvosa
VH	0	0	VH superiores em marés enchentes na estação seca VH similares entre as marés na estação chuvosa
PAD		10+	Valores de PAD similares entre as marés Pico de PAD aproximadamente ao meio dia
TR		10+	Pouca variabilidade entre as marés nas duas estações climáticas

0 mesma ordem de grandeza

10+ uma ordem de grandeza maior

O domínio das vazões de entrada, mostram a grande influência das marés durante a estação seca, mesmo a 15km de distância da foz. Além disso, os VH foram maiores em maré enchente, indicando importação de águas marinhas (DIAS; MARINS; MAIA, 2009) na estação seca.

Na estação chuvosa, os valores de PAD e TR foram maiores devido ao balanço hídrico positivo nessa estação.

### 5.2.2 Variação temporal dos parâmetros hidroquímicos no estuário do rio Jaguaribe

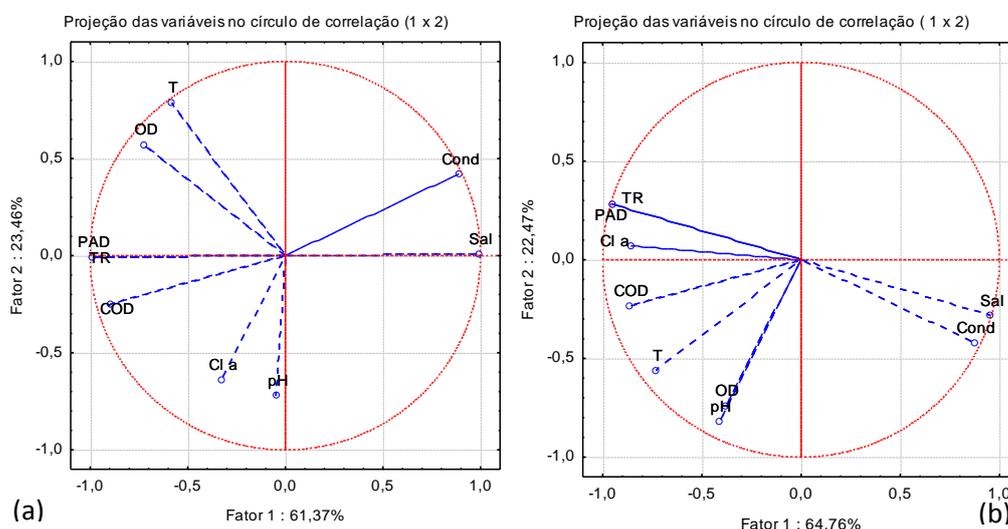
O resultado da variabilidade temporal da hidroquímica estuarina do rio Jaguaribe (Tabela 6) foi avaliada através da ACP (Gráficos 27a e b).

Na estação seca, os valores de salinidade foram bastante elevados e relativamente constantes, variando entre 32,2 a 35,7 com média 34,2 (Tabela 6). Logo, observa-se a predominância de águas costeiras ( $S > 34,5$ ), mesmo a 15 km da foz do estuário, durante um ciclo de maré, enfatizando a intrusão salina no estuário do rio Jaguaribe, como observado em estudos anteriores (MARINS *et al.*, 2003).

Tabela 6 - Valores mínimos, máximos e médios dos parâmetros hidroquímicos.

	Sal	Cond (mS cm <sup>-1</sup> )	T (°C)	OD (mg L <sup>-1</sup> )	pH	Cl a (mg L <sup>-1</sup> )	COD (mg L <sup>-1</sup> )
Estação Seca	32,2 - 35,7 (34,2)	52,9 - 57,4 (55,4)	27,3 - 29,5 (28,3)	3,9 - 6,0 (4,7)	6,8 - 7,7 (7,3)	1,7 - 4,1 (2,8)	1,6 - 7,0 (5,2)
Estação Chuvosa	5,5 - 21 (13,7)	10,9 - 36,9 (24,4)	29,7 - 30,6 (30,3)	2,8 - 4,5 (3,5)	6,5 - 7,3 (7,0)	1,2 - 8,0 (3,0)	3,2 - 7,4 (5,0)

Gráfico 27 - Análise de componentes principais (ACP) para os parâmetros hidroquímicos, carbono dissolvido e clorofila em um ponto fixo durante um ciclo de maré no estuário do rio Jaguaribe na estação (a) seca; (b) chuvosa.



Na estação chuvosa, a salinidade variou de 5,5 a 21 (Tabela 6), com média de 13,7. O aumento da capacidade fluvial em diluir as águas marinhas, contribuiu para a presença de águas estuarinas ( $5 < S < 30$ ) durante todo o ciclo de maré nessa região do estuário (Gráfico 28).

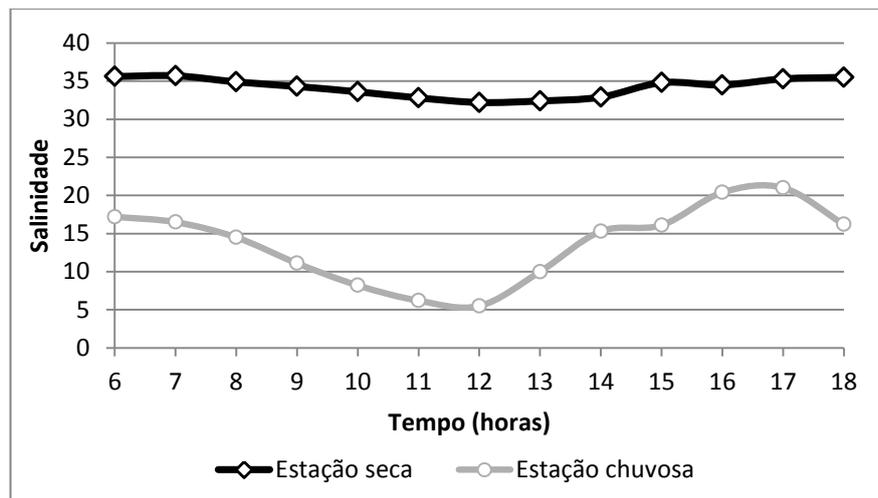
Os valores máximos e mínimos de salinidade corresponderam à preamar e à baixamar, respectivamente (Gráficos 22 e 28). Essa característica foi mais evidente durante a estação chuvosa devido à maior variabilidade dos valores de salinidade ao longo do dia.

A condutividade variou na estação seca de 52,9 a 57,4 mS cm<sup>-1</sup>, com média de 55,4 mS cm<sup>-1</sup>, e na estação chuvosa de 10,9 a 36,9 mS cm<sup>-1</sup>, com valor médio de 24,4 mS cm<sup>-1</sup>.

Como esperado, a condutividade mostrou-se fortemente correlacionada com a salinidade durante as estações seca ( $R = 0,9$ ;  $p < 0,05$ ) e chuvosa ( $R = 0,9$ ;  $p < 0,05$ ) (Gráficos 27a e b), visto que a medição da salinidade pelas sondas é feita a partir da condutividade

elétrica, que depende da concentração e da proporção entre si dos sais da água do mar (PEREIRA; SOARES-GOMES, 2009).

Gráfico 28- Distribuição temporal da salinidade durante um ciclo de maré no estuário do rio Jaguaribe.

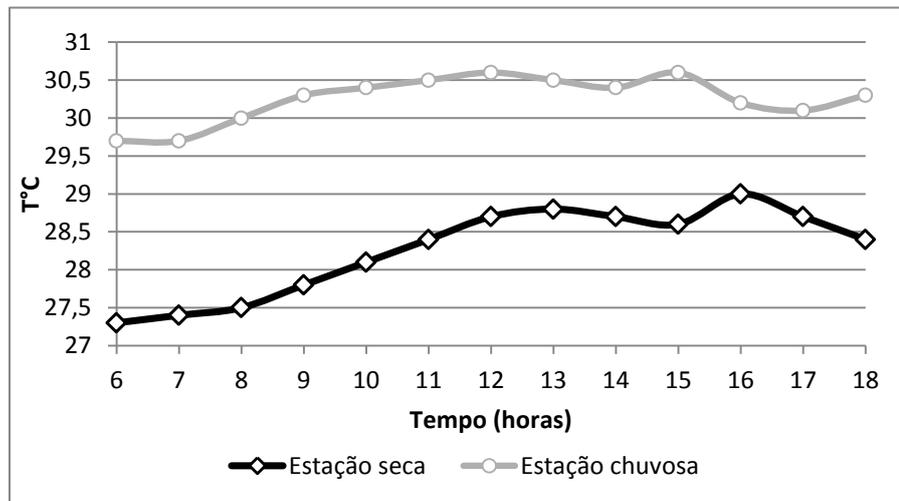


A temperatura foi bastante estável ao longo do dia e com valores similares entre as estações climáticas, variando de 27,3 a 29,5°C (Tabela 6), com média de 28,3, na estação seca e de 29,7 a 30,6°C, com média igual a 30,3°C, na estação chuvosa. Esse comportamento é característico de regiões tropicais devido à intensidade dos raios solares ser homogênea ao longo do ano.

A temperatura na estação chuvosa foi um pouco mais elevada do que na estação seca (Gráfico 29), pois na estação chuvosa foi observada a existência somente de água estuarina e na seca de água costeira, que apresenta menor índice termohalino do que as águas fluviais do rio Jaguaribe (DIAS; CASTRO; LACERDA, 2013).

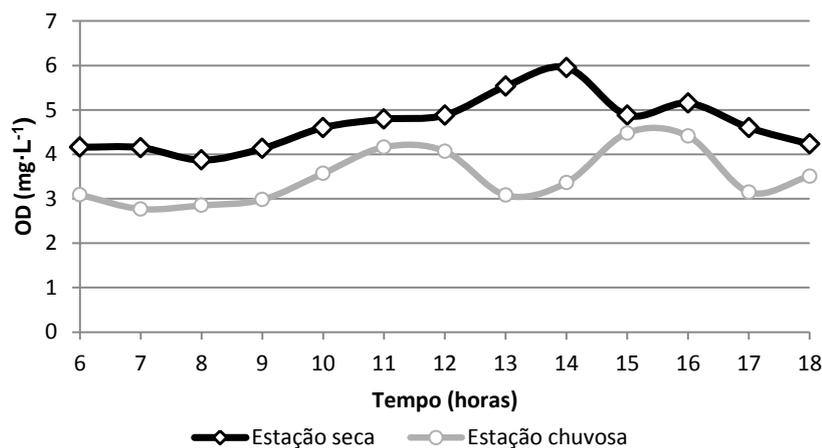
A variação da temperatura foi influenciada pelo horário, pois nota-se que esta aumenta à medida que ocorre uma aproximação do período de máximo de insolação (meio dia).

Gráfico 29 - Distribuição temporal da temperatura durante um ciclo de maré no estuário do rio Jaguaribe.



O oxigênio dissolvido (OD) variou de 3,9 a 6 mg L<sup>-1</sup>, com média de 4,7 mg L<sup>-1</sup> (Tabela 6), na estação seca, e de 2,8 a 4,5 mg L<sup>-1</sup>, com média igual a 3,5 mg L<sup>-1</sup> na estação chuvosa (Gráfico 30). Eschrique (2011) mensurou concentrações de OD similares a estas no estuário do rio Jaguaribe, próximo à cidade de Aracati.

Gráfico 30 - Distribuição temporal do oxigênio dissolvido durante um ciclo de maré no estuário do rio Jaguaribe.



Os baixos teores de OD, nessa região do estuário do rio Jaguaribe, podem ocorrer devido às elevadas concentrações de material particulado em suspensão e de COD (CAVALCANTE, 2013), visto que estes são fatores que podem causar déficits de OD na água de forma indireta (ESTEVES, 2011).

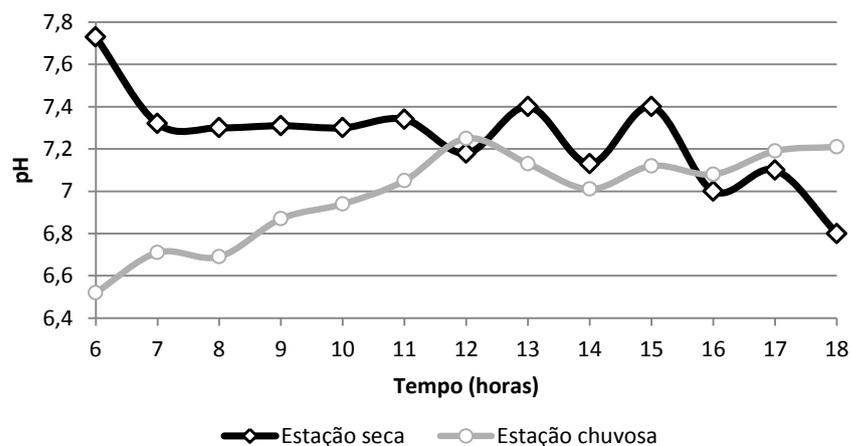
Os teores de OD na estação seca foram superiores aos da chuvosa (Gráfico 30), possivelmente devido à maior influência das águas marinhas, que são ricas em OD (PEREIRA; SOARES-GOMES, 2009). Na estação chuvosa, os níveis de OD estiveram muitas vezes abaixo de 4, a partir do qual os processos anaeróbicos são favorecidos, produzindo grande quantidade de substâncias redutoras, as quais consomem mais oxigênio para a sua oxidação (ESTEVES, 1998).

Não foi observada correlação significativa entre a salinidade ou a Cl-a com o OD em nenhuma das estações climáticas (Gráficos 27a e 27b), provavelmente existindo outros processos envolvidos na distribuição de OD nessa região do estuário, como o lançamento de efluentes pobres em OD (ESCHRIQUE, 2011).

Foi observada a elevação dos níveis de OD até às 14 horas na estação seca, enquanto que na estação chuvosa não houve relação direta com a insolação. Entretanto, o comportamento do OD está relacionado ao aumento de temperatura nas duas estações (Gráficos 27 a e b). Além disso, os picos de OD corresponderam com os picos de Cl-a, como poderá ser observado nos Gráficos 30 e 32.

O pH encontrou-se dentro da faixa de 6,8 a 7,7, com média de 7,3, durante a estação seca e na estação chuvosa variou de 6,5 a 7,3, com média igual a 7 (Tabela 6; Gráfico 31).

Gráfico 31- Distribuição temporal do pH durante um ciclo de maré no estuário do rio Jaguaribe.



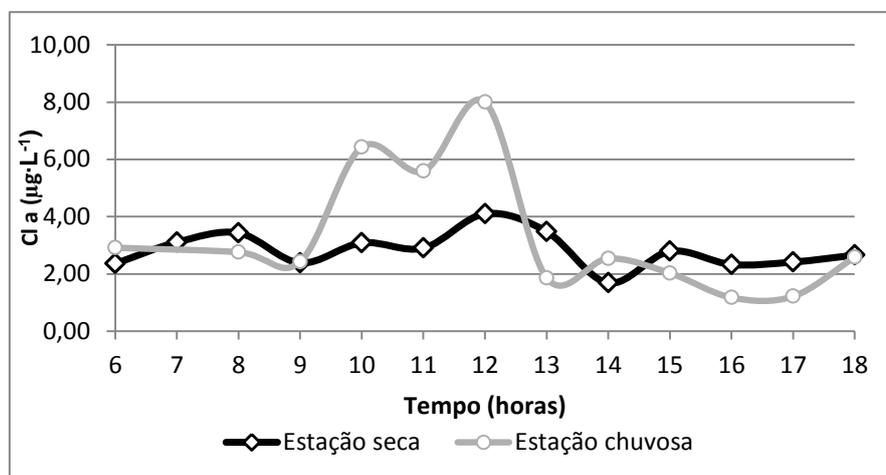
Na estação chuvosa, os valores de pH foram inferiores aos da seca, provavelmente devido ao maior aporte de água doce para o sistema estuarino. A variação do pH está associada às variações de OD, clorofila a e, a temperatura nas duas estações, seca e chuvosa (Gráfico 27a e b).

O pH apresentou um comportamento crescente das 6 às 12 horas, provavelmente influenciado pela atividade fotossintética, assim como o OD. A partir das 12 horas o pH ficou mais estável possivelmente devido à subida da maré.

A clorofila a (Cl-a) variou entre 1,7 e 4,1  $\mu\text{g L}^{-1}$ , com média de 2,8  $\mu\text{g L}^{-1}$ , na estação seca e entre 1,2 a 8,0  $\mu\text{g L}^{-1}$ , com média igual a 3,0  $\mu\text{g L}^{-1}$ , na estação chuvosa (Tabela 6; Gráfico 32).

Eschrique (2011) mensurou concentrações médias de Cl-a iguais a 36,8 e 24,2  $\mu\text{g L}^{-1}$  nos meses de junho dos anos de 2007 e 2009, respectivamente, e 8,5 e 5,9  $\mu\text{g L}^{-1}$  em fevereiro/2008 e novembro/2009, respectivamente.

Gráfico 32 - Distribuição temporal da clorofila a durante um ciclo de maré no estuário do rio Jaguaribe.



As concentrações de Cl-a deste trabalho foram similares aos do estuário tropical Hainan, na China, que variaram de 0,2 a 5,3  $\mu\text{g L}^{-1}$  (WU *et al.*, 2013), e aos do de um estuário turbido e bem misturado no sul do Texas, de 0,5 a 16,3  $\mu\text{g L}^{-1}$  (BIANCHI *et al.*, 1997). Contudo, diferentemente desses estuários, o estuário do rio Jaguaribe apresentou concentrações de Cl-a bastante semelhantes entre os períodos de alto e baixo deflúvio.

Os baixos níveis e a similaridade das concentrações de Cl-a nas duas estações climáticas podem ser reflexo da turbidez e do baixo tempo de residência estuarino (BIANCHI *et al.*, 1997), que afeta negativamente a produtividade primária.

Observou-se que o pico de clorofila a ocorreu ao meio dia, nas duas estações climáticas (Gráfico 32); que corresponde ao horário de máximo de insolação e, possivelmente, ao de maior retenção de nutrientes devido aos elevados valores de PAD e TR (Gráficos 25 e 26),

Na estação seca, a Cl-a e o pH foram melhor explicados pelo fator 2, esta correlação está possivelmente relacionada à remoção de CO<sub>2</sub> presente no meio aquoso, pela atividade fotossintética, promovendo a elevação do pH.

### 5.2.3 Variação temporal do carbono dissolvido no estuário do rio Jaguaribe

A variação do COD em um ciclo de maré durante a estação seca foi de 1,6 a 7 mg L<sup>-1</sup>, com média de 5,2 mg L<sup>-1</sup>, em maré vazante variou entre 3,7 a 6,9 mg L<sup>-1</sup>, com média de 5,5 mg L<sup>-1</sup>; e em maré enchente variou de 1,6 a 7 mg L<sup>-1</sup>, com média igual a 4,8 mg L<sup>-1</sup>. Na estação chuvosa, os valores de COD ficaram entre 3,2 a 7,4 mg L<sup>-1</sup>, com média igual a 5,0 mg L<sup>-1</sup>; em maré vazante variou entre 3,2 e 7,4 mg L<sup>-1</sup>, com média de 5 mg L<sup>-1</sup>, e entre 4,1 e 5,8 mg L<sup>-1</sup>, com média 5,1 mg L<sup>-1</sup>.

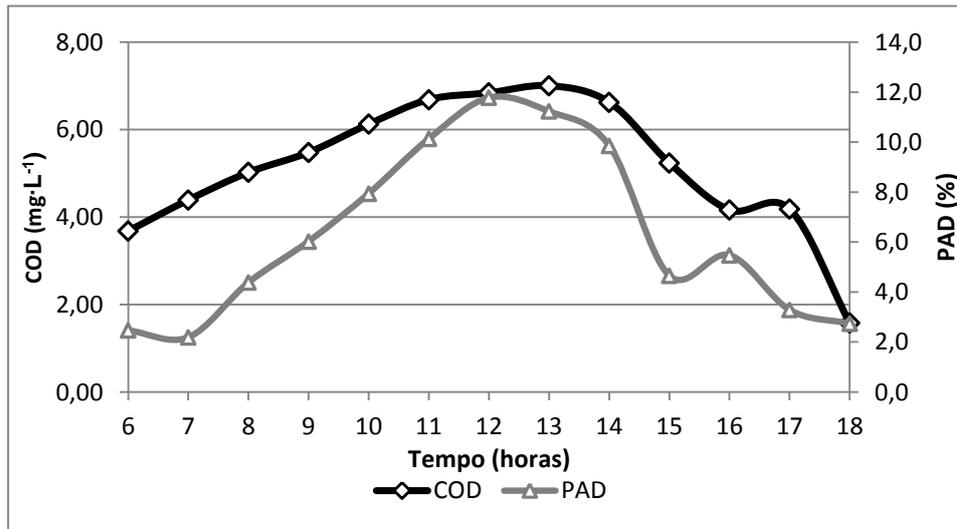
Os teores de COD mensurados nesse trabalho encontram-se dentro do intervalo para rios não poluídos, que é de 1 a 20 mg L<sup>-1</sup> com média global de 5,75 mg L<sup>-1</sup>. Contudo, os teores naturais variam de acordo com as características climáticas de cada ambiente: no tropical a média é de 6 mg L<sup>-1</sup> e no semiárido 3 mg L<sup>-1</sup> (MEYBECK, 1982). Logo, o estuário do rio Jaguaribe apresenta níveis de COD acima do considerado natural para rios de clima semiárido.

As médias de COD na estação seca e chuvosa foram praticamente as mesmas, como observado em estuário da costa sudoeste brasileira do rio Paraíba do Sul (KRÜGER *et al.*, 2003) (Tabela 6). Contudo, ocorreu uma alteração dos processos que controlam o seu comportamento (Gráficos 27a e 27b).

Na estação seca, o COD apresentou significativa correlação negativa com a salinidade (R = - 0,9; p < 0,05) e a condutividade (R = -0,88; p < 0,05), positiva com o TR e o PAD e

baixa correlação positiva com a Cl a ( $R = 0,32$ ;  $p < 0,05$ ) (Gráfico 27a), mostrando que a dinâmica estuarina está fortemente associada à variabilidade do COD. Através do Gráfico 33 é possível observar a similaridade no comportamento do COD e do PAD na estação seca.

Gráfico 33 - Distribuição temporal do COD e do PAD durante um ciclo de maré no estuário do rio Jaguaribe na estação seca.

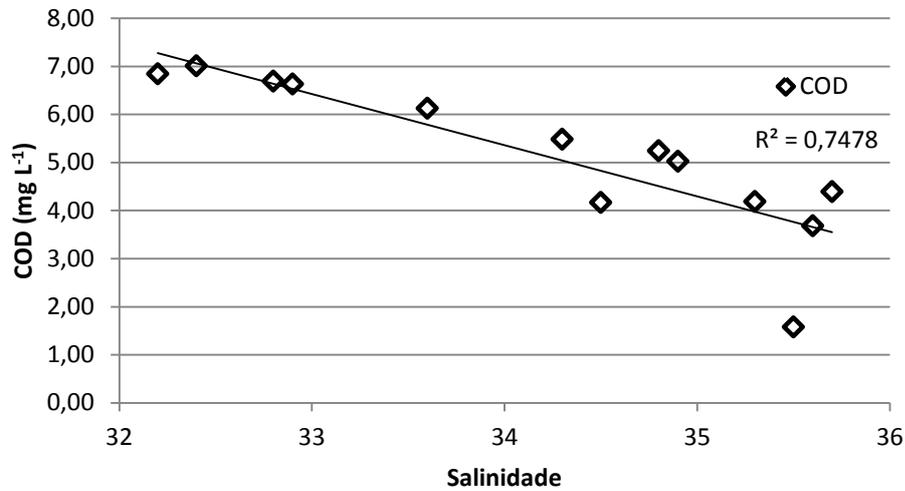


Na estação seca, a média de COD em maré vazante foi maior do que em enchente. Isso pode ter ocorrido devido à maior influência marinha em maré enchente, que favorece a diluição do COD, visto que os VH foram 65% maiores em maré enchente e as médias do PAD em maré vazante e enchente foram similares, 6,4% e 6,2% respectivamente.

O COD apresentou comportamento conservativo com regressão linear em relação à salinidade (Gráfico 34) na estação seca, mostrando que processos de diluição e/ou floculação do COD poder ter ocorrido. Esse comportamento sugere que os processos de mistura são os principais responsáveis pela regulação do COD, conforme observado por Hung & Huang (2005).

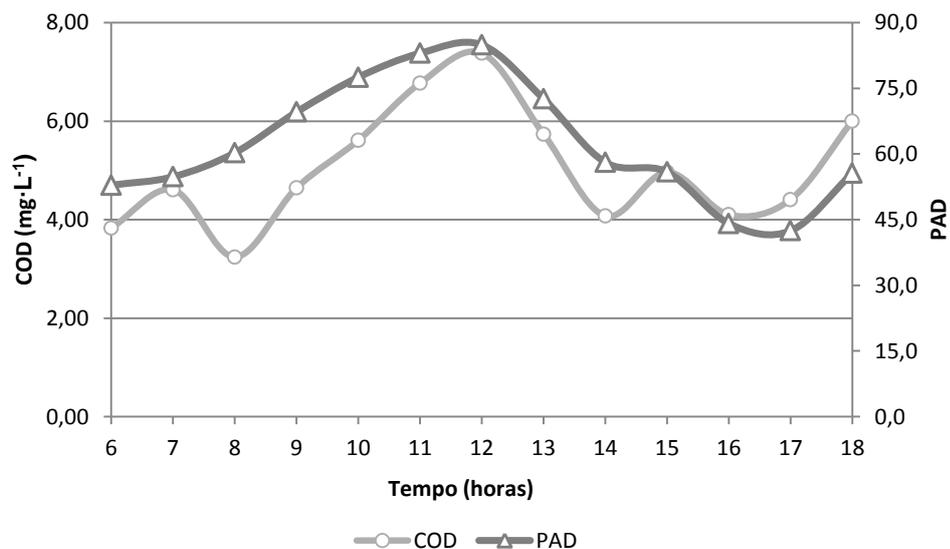
O comportamento conservativo do COD na estação seca não significa, obrigatoriamente, que o COD não possua fontes e sequestradores no estuário, mas que pode existir um equilíbrio entre ambos (HE, *et al*, 2010).

Gráfico 34 - Correlação entre o COD e a salinidade durante um ciclo de maré na estação seca.



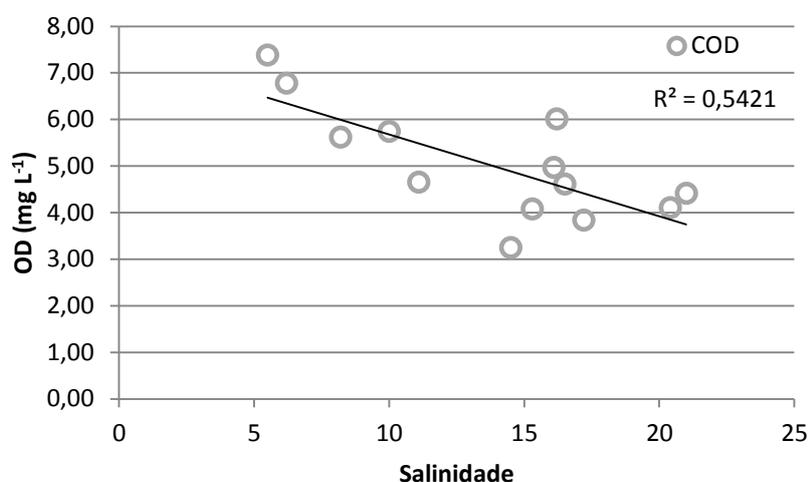
Na estação chuvosa, o COD mostrou correlação negativa com a salinidade ( $R = -0,7$ ;  $p < 0,05$ ), porém as correlações com a Cl a ( $R = 0,68$ ;  $p < 0,05$ ), o PAD e o TR ( $R = 0,7$ ;  $p < 0,05$ ) foram mais significativas (Gráfico 27b), indicando que além do controle hidrodinâmico pode haver contribuição da atividade biológica autóctone na variabilidade do COD no estuário do rio Jaguaribe. No Gráfico 35 é possível observar a similaridade no comportamento do COD e do PAD na estação chuvosa.

Gráfico 35 - Distribuição temporal do COD e do PAD durante um ciclo de maré no estuário do rio Jaguaribe na estação chuvosa.



O COD apresentou comportamento não conservativo decrescente em relação à salinidade (Gráfico 36), mostrando que os processos de mistura desempenham uma função de menor magnitude na regulação dos teores de COD nessa estação. Cavalcante (2013) também observou este mesmo comportamento nessa região do estuário do rio Jaguaribe no mês de maio de 2012.

Gráfico 36 - Correlação entre o COD e a salinidade durante um ciclo de maré na estação chuvosa.



A correlação entre COD e Cl a sugere a existência de matéria orgânica (MO) dissolvida de origem autóctone no sistema estuarino durante a estação chuvosa. Tal característica não foi observada na estação seca, podendo existir MO com características biogeoquímicas diferentes em cada estação.

A qualidade da matéria orgânica (MO) tem papel determinante no comportamento do carbono e de outros elementos no estuário (WU *et al.*, 2013; OURSEL *et al.*, 2013). Entretanto, pouco se sabe sobre esse assunto no estuário do rio Jaguaribe.

#### 5.2.4 Fluxo de COD em um ponto fixo na zona de mistura do estuário do rio Jaguaribe.

O fluxo de COD na zona de mistura do estuário do rio Jaguaribe, durante a estação seca, foi de  $3,9 \times 10^4 \text{ ton}\cdot\text{ano}^{-1}$  nas vazões de saída e de  $1,4 \times 10^5 \text{ ton}\cdot\text{ano}^{-1}$  nas de entrada (Tabela 7). Na estação chuvosa os fluxos foram de  $2,4 \times 10^5$  e de  $2,2 \times 10^5 \text{ ton}\cdot\text{ano}^{-1}$  para as vazões de saída e entrada, respectivamente.

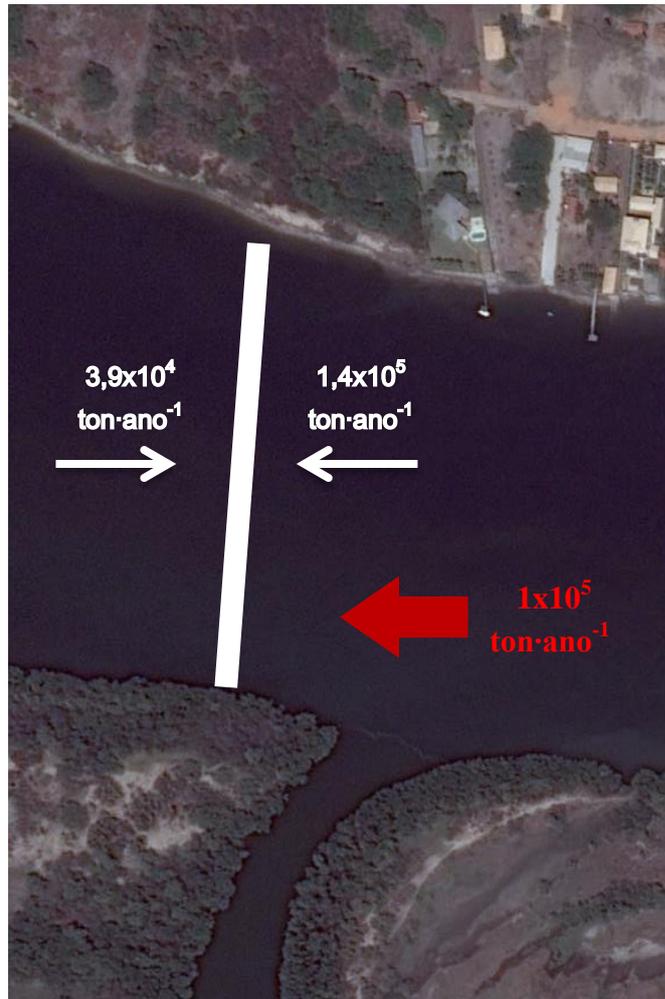
Os fluxos de COD mensurados nesse trabalho foram semelhantes ao do estuário do rio Amarelo, China, que foram de  $3,39 \times 10^4 \text{ ton}\cdot\text{ano}^{-1}$  na estação seca e de  $3,04 \times 10^4 \text{ ton}\cdot\text{ano}^{-1}$  na estação chuvosa (GU *et al.*, 2009).

Tabela 7 - Fluxos de COD na zona ZR/ZM durante a estação seca e chuvosa no estuário do rio Jaguaribe.

		Fluxo de COD ( $\text{ton}\cdot\text{ano}^{-1}$ )
Estação Seca	Q saída	$3,9 \times 10^4$
	Q entrada	$1,4 \times 10^5$
Estação Chuvosa	Q saída	$2,4 \times 10^5$
	Q entrada	$2,2 \times 10^5$

Na estação seca, os níveis de COD em maré vazante foram superiores à da maré enchente, com médias iguais a 5,5 e 4,8  $\text{mgL}^{-1}$  respectivamente. Contudo, nessa estação, a dinâmica estuarina foi a principal responsável pelo transporte do COD, pois as vazões de entrada dominaram o estuário, favorecendo a retenção de COD na região mais à montante do estuário. Logo, a região acima do ponto fixo reteve  $1 \times 10^5 \text{ ton}\cdot\text{ano}^{-1}$  de COD (Figura 12).

Figura 12 - Fluxo de COD na zona ZR/ZM do estuário do rio Jaguaribe na estação seca.



Não foi possível identificar as fontes de carbono existentes no estuário do rio Jaguaribe. Entretanto, é possível que os processos erosivos, intensificados pela grande influência da maré (BEZERRA *et al*, 2011; MARINS; DIAS, 2007) nessa estação, disponibilizem COD da água intersticial dos sedimentos para a coluna d'água (GU *et al.*, 2009).

Na estação chuvosa, tanto as médias das concentrações de COD como as médias dos VH foram praticamente as mesmas nas duas marés,  $5 \text{ mg L}^{-1}$  e  $232 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  na maré vazante e  $5,1 \text{ mg L}^{-1}$  e  $244 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  na enchente. Assim não foi observada diferença marcante nos fluxos de COD nessa estação.

Entretanto, a exportação foi maior do que a importação, ocorrendo retenção de  $2 \times 10^4$  ton·ano<sup>-1</sup> do COD exportado pela região à montante do estuário (Figura 13) na região compreendida entre a foz e o ponto fixo. A pequena diferença entre os fluxos indica que existe um equilíbrio entre as fontes e os sumidouros de COD na zona de mistura estuarina e que, provavelmente, o COD esteja mais sujeito aos processos biogeoquímicos estuarinos devido ao maior TR nessa estação.

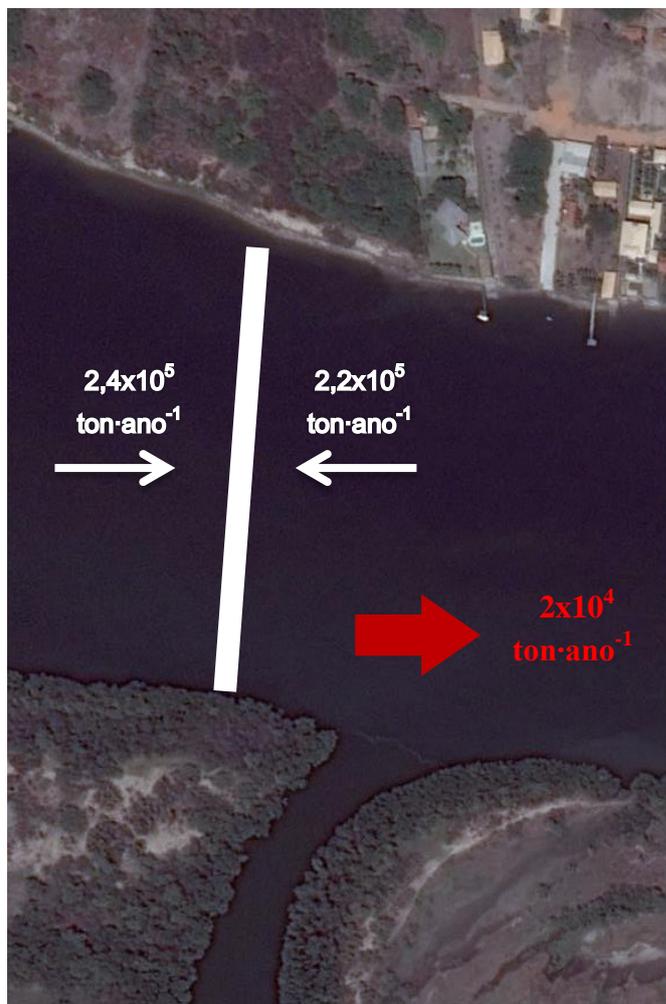
Possíveis fatores que podem estar diminuindo os teores de COD na ZM é a floculação da MO (MOODY *et al.*, 2013) e atividade biológica (FLYNN, 2008).

Segundo Meybeck (1982) a média global de COD transportado através dos rios para o mar é de  $2,15 \times 10^8$  ton·ano<sup>-1</sup>. Para a rios sob clima semiárido, o fluxo médio de COD é de  $2,8 \times 10^6$ , considerando que o transporte de COD corresponde a 60% do carbono orgânico total.

Durante a estação chuvosa, o transporte de COD para o oceano foi abaixo da média para rios do semiárido, foi de  $2 \times 10^4$  ton ano<sup>-1</sup>. Entretanto, deve ser considerado que a amostragem foi feita durante um período onde ocorre decréscimo das médias pluviométricas e em um ano com média de precipitação abaixo das médias históricas.

Moura *et al.* (2014), também mensurou maiores teores de COD em períodos de maior descarga fluvial e sugeriu que a diminuição dos fluxos de COD nos rios Apure, Caura e Orinoco esteve associada à diminuição das descargas de água no período de amostragem, que esteve possivelmente associada a fatores climáticos.

Figura 13 - Fluxo de COD na zona ZR/ZM do estuário do rio Jaguaribe na estação seca.



## 6 CONCLUSÕES

Os teores médios de carbono orgânico no estuário do rio Jaguaribe foram similares à média global para rios naturais. Contudo, foram superiores ao esperado para a região de clima semiárido, provavelmente devido ao aumento da descarga fluvial desse material como resultado do aumento da pressão antrópica nessa região.

Não foi observada variabilidade sazonal nos teores de COD, provavelmente devido ao baixo índice de precipitação no ano de 2014. Entretanto, houve alteração no comportamento do COD em relação à salinidade, assim como dos mecanismos que o regulam a sua distribuição.

Durante a estação seca, os processos físicos foram os principais responsáveis pela distribuição do COD, bem como sua flutuação diária na zona de mistura do estuário do rio Jaguaribe. Na estação chuvosa, a dinâmica estuarina também influenciou na distribuição espacial do COD, porém, na abordagem euleriana, atividade biológica mostrou influenciar fortemente o mecanismo de regulação do COD.

O fluxo de COD foi inferior ao esperado para rios do semiárido, possivelmente devido à baixa pluviosidade no ano de amostragem. Contudo os fluxos mensurados neste trabalho foram similares ao de um estuário tropical na China.

Na estação seca, a zona de mistura do estuário do rio Jaguaribe atuou como um retentor de COD e na estação chuvosa como um exportador.

Baseado nos índices termohalinos, encontrados na literatura, para o estuário do rio Jaguaribe foi observada a predominância de massa d'água costeira na estação seca e de massas d'água estuarina durante a estação chuvosa.

A forte influência da maré no sistema estuarino resulta em um aumento não linear do percentual de água doce em direção ao continente, indicando represamento de água doce à montante.

Na estação chuvosa, os valores de PAD e TR foram maiores devido ao balanço hídrico positivo nessa estação. Logo, as marés apresentaram menor influência no estuário, quando comparado com a estação seca, havendo um equilíbrio entre as vazões de entrada e saída no estuário.

Os dados deste trabalho são específicos para os anos de amostragem, não podendo generalizá-los para outros anos devido à grande variabilidade.

Os estudos sobre carbono, desenvolvidos no estuário do rio Jaguaribe, têm fornecido informações integradas dos processos naturais e das alterações antrópicas no aporte de COD para o estuário.

Portanto, torna-se necessária a análise da qualidade da matéria orgânica, para identificar quais são as principais fontes desse material para o estuário nas diferentes estações climáticas. Bem como mensurar a capacidade de complexação da matéria orgânica com o cobre, um metal tóxico, para avaliar seu papel na mobilidade e biodisponibilidade desse metal.

A abordagem lagrangeana é mais adequada para esse tipo de estudo, pois possibilita avaliar a contribuição de diferentes fontes, que possam existir ao longo do canal estuarino, e a influencia do gradiente estuarino no comportamento do carbono orgânico dissolvido e em sua interação com os metais.

## 7 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.

APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. 2005. **Standard methods for examination of water and wastewater**. ed. 20. Washington: Port City Press. Cap 1:1-55p.

BAUER, J. E.; BIANCHI, T. S. Dissolved Organic Carbon Cycling and Transformation. **Treatise on Estuarine and Coastal Science**, v. 5, p. 7-68, 2011.

BEZERRA, L.J.C. *et al.* Levantamento hidrográfico da região estuarina do rio Jaguaribe (NE-Brasil) entre os anos de 2004 e 2009. *In:* V Simpósio Brasileiro de Oceanografia, 2011, Santos. **Anais do V Simpósio Brasileiro de Oceanografia**. Santos, 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.

CAI, W.; DAI, M.; WANG, Y. Air-sea exchange of carbon dioxide in ocean margins : A province- based synthesis. **Geophysical Research Letters**, v. 33, p. 1-4, 2006.

CAVALCANTE, M.S. **Comportamento geoquímica do carbono dissolvido sob diferentes condições de maré no estuário do Rio Jaguaribe, CE**. 2013.69p. Monografia (Graduação em Oceanografia) - Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. 2013.

CEARÁ, A. L. **Caderno regional da sub-bacia do Baixo Jaguaribe**. Fortaleza: INESP, 2009. p. 104

COSTA B. G. B. 2009 . **Dissertação de mestrado. Título: Distribuição de mercúrio (Hg) em sedimento, água e biota da região de influência do efluentes da carcinicultura, na**

**Gamboa do Cumbe – Rio Jaguaribe – Ceará.** Instituto de Estudos do Mar – Universidade Federal do Ceará. 60p.

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.

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.; CASTRO, B. M.; LACERDA, L. D. Continental shelf water masses off the Jaguaribe River (4S), northeastern Brazil. **Continental Shelf Research**, v. 66, p. 123-135, set. 2013.

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.

ESTEVES, Francisco de Assis. **Fundamentos de Liminologia.** 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. p. 602

ESTEVES, 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

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.

HOFMANN, E. E. *et al.* Modeling the Dynamics of Continental Shelf Carbon. **Annual Review of Marine Science**, v. 3, n. 1, p. 93-122, 15 jan. 2011.

IBGE, 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.

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.

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.

IBAMA – Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. 2005. **Diagnóstico da Carcinicultura no Estado do Ceará.** Diretoria de Proteção Ambiental (DIPRO), Diretoria de Licenciamento e Qualidade Ambiental (DILIQ) e Gerência Executiva do Ceará (GEREX-CE). Vol. I, 177f; Vol. II (MAPAS). Brasília/DF, 2005.

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.

LACERDA, L. D. .; GODOY, M. D.; MAIA, L. P. Mudanças climáticas globais. **Ciência Hoje**, p. 32- 37, 2010.

LACERDA, L. D.; SANTOS, J. A; MADRID, R. M. 2006. Copper emission factors from intensive shrimp aquaculture. **Marine Pollution Bulletin**, v.52, 1784-1832p.

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

LOPES, D. V. 2006. **Dissertação de mestrado. Título: Acúmulo de metais traço cobre (Cu) e zinco (Zn) em viveiros de cultivo de camarão.** Instituto de Estudos do Mar - Universidade Federal do Ceará.

LOUIS, Y. *et al.* Characterisation and modelling of marine dissolved organic matter interactions with major and trace cations. **Marine environmental research**, v. 67, n. 2, p. 100-7, mar. 2009.

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, L. B.; CASTRO, B. M.; KJERFVE, B. 2012. **Princípios de oceanografia física de estuários.** São Paulo: Edusp. 426 p.

MOODY, C. S. *et al.* The rate of loss of dissolved organic carbon ( DOC ) through a catchment. **Journal of Hydrology**, v. 492, p. 139-150, 2013.

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.

MORA, A. *et al.* Journal of South American Earth Sciences Temporal variation and fluxes of dissolved and particulate organic carbon in the Apure , Caura and Orinoco rivers , Venezuela. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 54, p. 47-56, 2014.

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

OURSEL, B. *et al.* Dynamics and fates of trace metals chronically input in a Mediterranean coastal zone impacted by a large urban area. **Marine Pollution Bulletin**, v. 69, p. 137- 149, 2013.

PAULA, D.P. **Elaboração de paisagens contíguas ao estuário do rio Jaguaribe-CE.** 2006. 202p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 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.

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

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.

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.

THERMOS SCIENTIFIC CORPORATION. Solids Accessory, for manual introduction

of liquid samples containing particles, highly viscous samples and solids. **Chapter 1, General information**, 2008.

WU, Y. *et al.* Biogeochemical behavior of organic carbon in a small tropical river and estuary, Hainan, China. **Continental Shelf Research**, v. 57, p. 32-43, abr. 2013.

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.

## ANEXO

Dados referentes à amostragem lagrangeana em maré vazante (s) e enchente (S) na estação seca

Ponto	S	T (°C)	OD (mgL <sup>-1</sup> )	Cond. (mS.cm <sup>-1</sup> )	pH	COD	Cla	Q (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )	VH (m <sup>3</sup> )	Fluxo (ton.ano <sup>-1</sup> )	PAD	TR
1s	37,6	27,6	5,9	58,6	8,2	1,1	1,08	752,0	1,68E+07	2,7E+04	<1	<0,1
2s	37,6	27,7	6,0	58,5	8,2	1,1	1,39	865,5	1,93E+07	3,0E+04	<1	<0,1
3s	37,5	28,2	6,0	58,9	8,2	1,4	1,54	628,4	1,40E+07	2,7E+04	<1	<0,1
4s	37,5	28,2	6,1	59	8,1	1,4	1,54	727,1	1,62E+07	3,2E+04	<1	<0,1
5s	37,5	28,6	6,1	59,2	8,1	1,3	1,32	453,0	1,01E+07	1,9E+04	<1	<0,1
6s	37,5	28,4	6,1	59,1	8,1	1,6	1,76	628,0	1,40E+07	3,2E+04	<1	<0,1
7s	37,5	28,4	6,0	59,1	8,1	1,7	2,45	542,9	1,21E+07	2,9E+04	<1	<0,1
8s	37,5	28,4	6,0	59,1	8,1	1,8	2,64	348,6	7,78E+06	2,0E+04	<1	<0,1
9s	37,2	28,6	5,8	58,9	8,1	1,7	3,22	341,7	7,63E+06	1,8E+04	<1	<0,1
10s	37,2	28,6	6,0	59,1	8,1	1,9	2,98	289,7	6,47E+06	1,7E+04	<1	<0,1
11s	36,9	28,7	5,8	58,8	7,0	2,4	2,60	121,3	2,71E+06	9,3E+03	<1	<0,1
12s	36,8	28,6	5,5	58,3	8,0	2,9	2,41	207,6	4,63E+06	1,9E+04	<1	<0,1
13s	36,7	28,8	5,4	57,8	8,0	3,8	2,71	227,4	5,07E+06	2,7E+04	<1	<0,1
14s	36,7	28,5	5,2	57,4	8,0	3,8	1,62	37,9	8,47E+05	4,6E+03	<1	<0,1
15s	36,7	28,5	5,2	57,3	7,9	3,7	2,25	154,0	3,44E+06	1,8E+04	<1	<0,1
1S	37,1	27,3	5,3	56,7	7,7	1,6	4,65	374,4	8,36E+06	1,9E+04	<1	<0,1
2S	36,6	27,5	5,1	56,7	7,8	1,9	2,83	417,2	9,31E+06	2,5E+04	<1	<0,1
3S	36,3	27,8	5,0	56,5	7,7	5,1	2,20	179,7	4,01E+06	2,9E+04	<1	<0,1
4S	36,0	27,9	5,0	56,4	7,8	3,1	2,89	287,3	6,41E+06	2,8E+04	1,3	0,1
5S	35,7	28	5,1	56,1	7,8	3,6	2,63	48,7	1,09E+06	5,6E+03	2,2	0,1
6S	35,4	28,3	5,0	55,9	7,7	3,9	2,55	246,5	5,50E+06	3,0E+04	2,9	0,2
7S	34,9	28,4	5,2	55,4	7,7	3,7	2,40	231,4	5,16E+06	2,7E+04	4,4	0,3
8S	34,9	28,6	6,1	54,4	7,8	5,0	1,80	110,1	2,46E+06	1,7E+04	4,4	0,3
9S	33,1	28,6	5,9	53,9	7,8	4,8	2,39	98,0	2,19E+06	1,5E+04	9,3	0,6
10S	33,1	28,8	6,1	53,3	7,8	5,2	2,05	17,4	3,88E+05	2,8E+03	9,3	0,6
11S	32,7	28,9	6,4	52,9	7,8	5,5	2,40	29,9	6,67E+05	5,2E+03	10,3	0,6
12S	32,5	28	6,7	52,6	7,8	5,9	2,53	99,0	2,21E+06	1,8E+04	10,9	0,7
13S	32,1	29	6,5	52,2	7,9	6,4	3,47	171,0	3,82E+06	3,4E+04	11,9	0,7
14S	32,2	29,3	8,0	52,5	8,0	5,5	2,35	73,4	1,64E+06	1,3E+04	11,9	0,7
15S	32,2	29,2	7,9	51,4	8,0	5,7	3,39	2,1	4,63E+04	3,7E+02	11,9	0,7

Dados referentes à amostragem lagrangeana em maré vazante (c) e enchente (C) na estação chuvosa

Ponto	S	T (°C)	OD (mgL <sup>-1</sup> )	Cond. (mS.cm <sup>-1</sup> )	pH	COD	Cla	Q (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )	VH (m <sup>3</sup> )	Fluxo (ton.ano <sup>-1</sup> )	PAD	TR
1c	36	29	6,3	58,5	7,2	1,7	2,6	567,6	1,27E+07	3,0E+04	1,4	0,1
2c	34,6	28,9	5,9	56,5	6,8	1,4	1,9	547,9	1,22E+07	2,3E+04	5,2	0,3
3c	34,2	28,9	5,8	56,1	7,6	1,1	2,6	651,4	1,45E+07	2,3E+04	6,3	0,4
4c	30,2	28,9	5,2	50	6,9	1,8	2,5	448,6	1,00E+07	2,5E+04	17,3	1,1
5c	27,7	29,1	5,1	46,53	7,0	2,2	1,7	545,8	1,22E+07	3,8E+04	24,1	1,5
6c	25,9	29,2	4,7	44,34	7,0	2,6	1,8	433,5	9,68E+06	3,6E+04	29,0	1,8
7c	25,5	29,3	4,5	43,25	7,1	2,6	2,9	481,3	1,07E+07	4,0E+04	30,1	1,9
8c	23	29,4	4,0	39,34	7,7	3,3	0,3	336,9	7,52E+06	3,5E+04	37,0	2,3
9c	21,3	29,5	3,9	37,13	7,4	3,2	1,2	222,2	4,96E+06	2,2E+04	41,6	2,6
10c	20	29,5	3,8	34,94	7,4	2,9	2,8	185,5	4,14E+06	1,7E+04	45,2	2,8
11c	15,6	29,4	3,8	29,05	7,2	3,0	2,2	124,5	2,78E+06	1,2E+04	57,3	3,6
12c	17,5	29,5	3,6	30,77	7,2	3,4	1,6	182,1	4,06E+06	2,0E+04	52,1	3,2
13c	15,8	29,5	3,4	28,4	7,8	3,3	3,6	307,3	6,86E+06	3,2E+04	56,7	3,5
14c	12,3	29,7	3,4	22,49	7,3	4,7	3,7	171,1	3,82E+06	2,5E+04	66,3	4,1
15c	9,3	29,7	3,6	17,48	7,3	5,3	10,7	149,4	3,33E+06	2,5E+04	74,5	4,6
1C	21,4	29	4,0	37,4	7,1	-	1,8	-	4,46E+06	-	-	2,6
2C	19,4	29,3	3,9	34,71	6,5	4,3	1,4	211,7	4,73E+06	2,9E+04	46,8	2,9
3C	19	29,4	3,7	33,35	7,0	4,5	1,3	266,9	5,96E+06	3,8E+04	47,9	3,0
4C	17,4	29,4	3,6	30,67	7,2	4,9	1,0	276,2	6,16E+06	4,3E+04	52,3	3,2
5C	17,2	29,2	4,0	30,48	7,0	5,1	1,5	285,5	6,37E+06	5,7E+04	52,9	3,3
6C	16,5	29,4	3,9	28,6	7,1	5,1	2,6	355,2	7,93E+06	5,1E+04	54,8	3,4
7C	16,6	29,3	3,9	29,66	7,2	3,7	2,5	320,2	7,15E+06	4,3E+04	54,5	3,4
8C	17,3	29,3	3,5	30,64	6,9	4,1	2,4	363,5	8,11E+06	2,7E+04	52,6	3,3
9C	16,7	29,4	3,6	29,61	7,0	3,9	4,8	205,0	4,58E+06	3,6E+04	54,2	3,4
10C	12,7	29,5	3,5	23,33	7,4	5,1	4,0	290,4	6,48E+06	4,0E+04	65,2	4,0
11C	12,2	29,5	3,4	22,16	7,2	5,5	3,2	248,4	5,54E+06	3,5E+04	66,6	4,1
12C	11,9	29,5	3,5	22,32	7,3	6,2	3,6	201,9	4,51E+06	4,1E+04	67,4	4,2
13C	8,8	29,4	3,5	16,7	7,4	7,5	5,1	208,2	4,65E+06	6,0E+04	75,9	4,7
14C	7,9	29,5	3,9	14,83	6,9	9,0	4,7	253,7	5,66E+06	6,1E+04	78,4	4,9
15C	7,2	29,6	4,0	13,74	6,8	9,2	4,3	213,5	4,77E+06	6,2E+04	80,3	5,0

Dados referentes à amostragem euleriana na estação seca e chuvosa.

Hora	S	T	OD	Cond	pH	COD	Cl a	Q (m <sup>3</sup> /s)	VH	PAD	TR		
6	17,2	29,7	3,1	30,3	6,5	3,8	2,9	334,5	7,47E+06	52,9	3,3	chuva	
7	16,5	29,7	2,8	20,4	6,7	4,6	-	270,6	6,04E+06	54,8	3,4		
8	14,5	30	2,9	26,2	6,7	3,2	2,8	229,7	5,13E+06	60,3	3,7		
9	11,1	30,3	3,0	20,9	6,9	4,6	2,4	256,9	5,73E+06	69,6	4,3		
10	8,2	30,4	3,6	15,8	6,9	5,6	6,4	164,1	3,66E+06	77,5	4,8		
11	6,2	30,5	4,2	12,1	7,1	6,8	5,6	92,4	2,06E+06	83,0	5,1		
12	5,5	30,6	4,1	10,9	7,3	7,4	8,0	72,6	-1,62E+06	84,9	5,3		
13	10	30,5	3,1	18,8	7,1	5,7	1,9	264,7	-5,91E+06	72,6	4,5		
14	15,3	30,4	3,4	28,2	7,0	4,1	2,5	299,5	-6,68E+06	58,1	3,6		
15	16,1	30,6	4,5	29,4	7,1	5,0	2,0	388,6	-8,67E+06	55,9	3,5		
16	20,4	30,2	4,4	36,1	7,1	4,1	1,2	326,9	-7,30E+06	44,1	2,7		
17	21	30,1	3,2	36,9	7,2	4,4	1,2	112,5	-2,51E+06	42,5	2,6		
18	16,2	30,3	3,5	31,4	7,2	6,0	2,6	273,2	6,10E+06	55,6	3,4		
6	35,6	27,3	4,2	56,3	7,7	3,7	2,4	7,2	1,60E+05	2,5	0,2		seca
7	35,7	27,4	4,2	56,2	7,3	4,4	3,1	7,4	1,66E+05	2,2	0,1		
8	34,9	27,5	3,9	55,5	7,3	5,0	3,4	48,0	1,07E+06	4,4	0,3		
9	34,3	27,8	4,1	55,0	7,3	5,5	2,4	43,2	9,63E+05	6,0	0,4		
10	33,6	28,1	4,6	54,2	7,3	6,1	3,1	45,2	1,01E+06	7,9	0,5		
11	32,8	28,4	4,8	53,5	7,3	6,7	2,9	21,5	4,81E+05	10,1	0,6		
12	32,2	28,7	4,9	52,9	7,2	6,8	4,1	41,6	9,28E+05	11,8	0,7		
13	32,4	28,8	5,5	53,3	7,4	7,0	3,5	207,7	-4,64E+06	11,2	0,7		
14	32,9	28,7	6,0	54,8	7,1	6,6	1,7	27,3	-6,09E+05	9,9	0,6		
15	34,8	28,6	4,9	56,5	7,4	5,2	2,8	266,8	-5,96E+06	4,7	0,3		
16	34,5	29	5,2	56,8	7,0	4,2	2,3	158,2	-3,53E+06	5,5	0,3		
17	35,3	28,7	4,6	57,4	7,1	4,2	2,4	143,7	-3,21E+06	3,3	0,2		
18	35,5	28,4	4,2	57,4	6,8	1,6	2,7	155,8	-3,48E+06	2,7	0,2		