

# CARACTERIZAÇÃO SAZONAL DAS ÁGUAS DO SISTEMA ESTUARINO DO CAETÉ (BRAGANÇA-PA)

Hanna Tereza Garcia de Sousa MOURA<sup>1</sup>, Zélia Maria Pimentel NUNES<sup>1</sup>

## RESUMO

Investigou-se o efeito das marés de sizígia na qualidade física, química e biológica da água de canais-de-maré, considerando a sazonalidade regional e a distribuição espacial do furo do Taici e do furo da Estiva no estuário do Caeté. As variáveis abióticas foram determinadas *in situ* durante o ciclo diurno da maré. Os nutrientes e a clorofila-*a* foram determinados por espectrofotometria. Em Taici houve aumento significativo da salinidade ( $18,57 \pm 2,78$ ) e do nitrito ( $12,93 \pm 7,92 \mu\text{M}$ ) no período seco, enquanto que no chuvoso foram registradas elevadas turbidez ( $>900\text{UNT}$ ) e clorofila-*a* ( $12,09 \pm 5,72 \mu\text{g L}^{-1}$ ). Em Estiva, a salinidade apresentou valores distintos no período seco ( $36,84 \pm 1,37$ ) e no chuvoso ( $21,56 \pm 5,54$ ). Na enchente foram registrados valores de pH ( $7,72 \pm 0,18$ ) e oxigênio dissolvido ( $6,62 \pm 0,54 \text{ mg L}^{-1}$ ) superiores aos da vazante. Os valores da temperatura ( $29,26 \pm 1,08^\circ\text{C}$ ), fosfato ( $1,73 \pm 1,43 \mu\text{M}$ ) e clorofila-*a* ( $33,6 \pm 14,74 \mu\text{g L}^{-1}$ ) foram mais elevados na vazante. O furo da Estiva sofreu influência de águas costeiras, e o do Taici, influência da drenagem do manguezal.

**Palavras-chave:** nutrientes; clorofila-*a*; pluviosidade

# SEASONAL CHARACTERIZATION OF THE ESTUARINE WATER SYSTEM OF THE CAETÉ (BRAGANÇA-PA)

## ABSTRACT

The effect of Spring tides on the physical, chemical and biological quality of tidal water channels (called *furos*) was investigated, taking into account the regional seasonality and the spatial distribution of the *Furo do Taici* and the *Furo da Estiva* in the estuary of the Caeté. The abiotic variables were determined *in situ* during the diurnal cycle of the tide. The nutrients and chlorophyll-*a* were determined spectrophotometrically. In the Taici, there was a significant increase in salinity ( $18.57 \pm 2.78$ ) and in nitrite ( $12.93 \pm 7.92 \mu\text{M}$ ) in the dry season, while in the rainy season, high turbidity ( $> 900\text{UNT}$ ) and chlorophyll-*a* ( $12.09 \pm 5.72 \mu\text{g L}^{-1}$ ) were recorded. In the Estiva, the values of salinity were different in the dry season ( $36.20 \pm 0.90$ ) and in the rainy season ( $23.23 \pm 6.19$ ). When there was flooding, pH ( $7.72 \pm 0.18$ ) and dissolved oxygen ( $6.62 \pm 0.54 \text{ mg L}^{-1}$ ) were recorded which were higher than those of the ebb tide. The temperature ( $29.26 \pm 1.08^\circ\text{C}$ ), phosphate ( $1.73 \pm 1.43 \mu\text{M}$ ) and chlorophyll-*a* ( $33.6 \pm 14.74 \mu\text{g L}^{-1}$ ) had higher values during the ebb tide. Coastal waters had an influence on the Furo da Estiva and the waters of the Furo do Taici were influenced by drainage from the mangrove.

**Key words:** nutrients; chlorophyll-*a*; rainfall

---

**Artigo Científico: Recebido em 03/03/2016 – Aprovado em 20/10/2016**

<sup>1</sup> Universidade Federal do Pará Campus Bragança, Instituto de Estudos Costeiros. Avenida Leandro Ribeiro s/n CEP: 68600-000 Aldeia, Bragança, Pará, Brasil. e-mail: hannapesca01@yahoo.com.br, znunes@ufpa.br (autora para correspondência)

Bol. Inst. Pesca, São Paulo, 42(4): 844-854, 2016  
Doi: 10.20950/1678-2305.2016v42n4p844

## INTRODUÇÃO

A costa norte do Brasil possui aproximadamente 1.200 km de extensão e abrange a maior faixa contínua de manguezais do mundo, com área de 7.423,60 km<sup>2</sup> (SOUZA-FILHO *et al.*, 2009; NASCIMENTO-JÚNIOR *et al.*, 2013). Esses ambientes fornecem abundante suprimento de sedimentos fluviais, nutrientes dissolvidos e matéria orgânica aos ecossistemas aquáticos (PARDAL *et al.*, 2011; COLLAÇO *et al.*, 2015). Os manguezais do Amapá, Pará e Maranhão constituem 56,6% dos manguezais brasileiros (SOUZA-FILHO, 2005).

A linha de costa Pará-Maranhão é irregular e se entende por 480 km de florestas de mangue contínuas (KJERFVE *et al.*, 2002). Ao longo da costa, pode-se encontrar 23 estuários e 30 bacias de drenagem, que cobrem uma área de 330.000 km<sup>2</sup> (SOUZA-FILHO, 2005; NASCIMENTO-JÚNIOR *et al.*, 2013; SOUSA *et al.*, 2013). Os estuários são importantes regiões de interação entre o continente e o oceano, além de constituir uma das principais rotas de nutrientes provenientes da drenagem continental aos ambientes costeiros marinhos (MIRANDA *et al.*, 2002; FALCO *et al.*, 2010). A mistura de água doce, proveniente do continente, com a água salgada do oceano gera uma grande variabilidade da salinidade e instabilidade dos fatores ambientais dos estuários (PRITCHARD, 1967; SILVA, 2000). Esses ecossistemas possuem elevada capacidade de renovação periódica de suas águas, onde ocorrem intensas transformações de matéria orgânica (PEREIRA-FILHO *et al.*, 2003).

Nos ambientes estuarinos existe grande quantidade de canais laterais, denominados canais-de-maré, que são preenchidos durante a maré alta (VENDEL *et al.*, 2002; PASSOS *et al.*, 2005). Esses ambientes são bastante complexos, além de serem importantes para o desenvolvimento econômico da região, especialmente aquele relacionado à pesca e à aquicultura (SOUSA *et al.*, 2013). Estes canais estuarinos transportam água, sedimento, nutrientes, detritos e organismos do ambiente marinho para áreas altamente produtivas, como o estuário e a zona costeira adjacente (HOOD, 2007). Nos estuários da costa norte do Brasil, a zona de mangue é um complexo sistema de expansão de

canais de intermarés que são inundados duas vezes ao dia. Muitos organismos, como peixes, crustáceos e aves, usam estes canais para migrar do *habitat* de mangue para áreas de submarés (ZANIN *et al.*, 2009; BARLETTA *et al.*, 2010).

A península de Ajuruteua, localizada no nordeste paraense, município de Bragança-PA, é caracterizada por apresentar mangues bem desenvolvidos e cortados por vários canais-de-maré, como os furos do Taici e da Estiva, que conectam o manguezal ao estuário do Caeté. As folhas que caem das florestas de mangue e são colonizadas por bactérias representam cerca de um terço da produção primária, e até a metade dessa quantidade pode ser exportada por canais-de-maré para águas adjacentes (ROBERTSON *et al.*, 1992; WOLFF *et al.*, 2000).

Em geral, os estuários amazônicos são rasos ( $z=10$  m), com inclinação suave, dominados por macromarés ( $\leq 5,6$  m) e bem misturados (SOUZA-FILHO *et al.*, 2009, DHN, 2013). Os canais-de-maré transportam constantemente nutrientes e matéria orgânica entre o manguezal e o estuário, devido às características hidrológicas e geomorfológicas predominantes. Esses canais inundam e drenam o manguezal na enchente e na vazante das marés de sizígia. Além das marés, a sazonalidade regional também influencia a qualidade das águas estuarinas. A região das Reentrâncias Maranhenses e Paraenses apresenta no período chuvoso índice pluviométrico de 2.500-2.800 mm e no período seco a precipitação pluviométrica é quase inexistente (MORAES *et al.*, 2005). No período de chuvas, a drenagem continental também influi na qualidade das águas estuarinas e no transporte de nutrientes e material particulado (GOMES *et al.*, 2013). Portanto, pode-se esperar que no período chuvoso ocorra maior concentração de nutrientes, favorecendo a produção fitoplanctônica, e que, no período seco, as águas costeiras influenciem a qualidade das águas estuarinas, com baixa turbidez, alto teor de oxigênio e pH levemente alcalino.

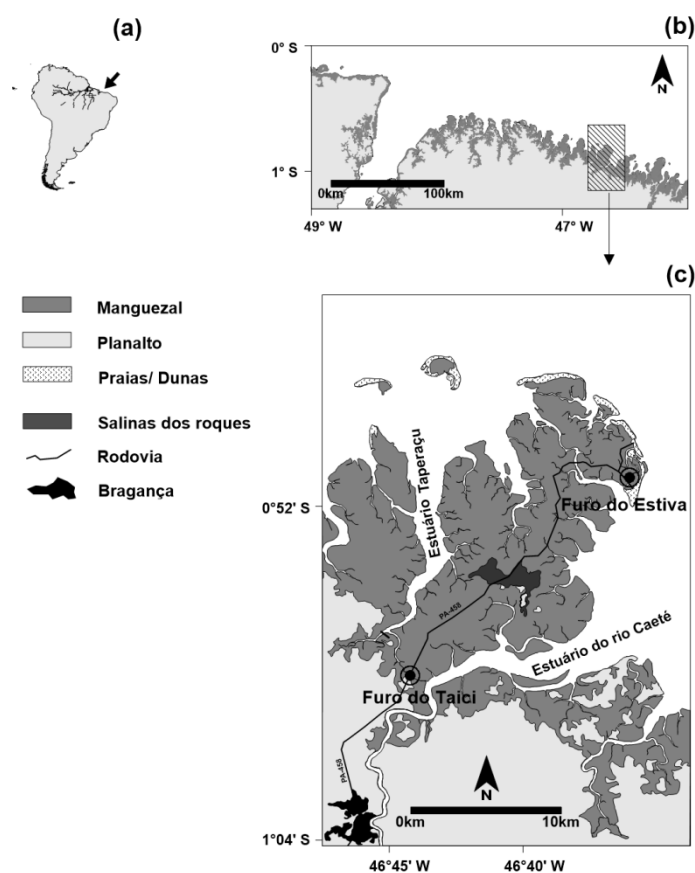
O presente estudo tem por objetivo investigar o efeito das marés de sizígia na qualidade física, química e biológica da água de canais-de-maré, considerando a sazonalidade regional, períodos seco e chuvoso e a distribuição espacial do furo do Taici, parte interna, e do furo da Estiva, parte mais

externa do estuário do Caeté, costa norte brasileira.

### MATERIAL E MÉTODOS

Os furos do Taici e da Estiva estão localizados na península de Ajuruteua, Bragança-PA, adjacente aos bosques de mangue. O furo do Taici situa-se no início da península ( $0^{\circ}58'05,27''S$

$46^{\circ}44'14,98''W$ ), próximo às áreas de terra firme, e sofre maior influência de água doce, apresentando salinidade média de 16,4 (MATNI, 2007). O furo da Estiva, que se encontra na parte mais externa do estuário, no km 32 da PA-458 ( $0^{\circ}50'37''S$   $46^{\circ}36'36,89''W$ ), é circundado por um bosque de *Rhizophora mangle* (L) e *Avicennia germinans* (L) Stearn (Figura 1).



**Figura 1.** Localização dos furos do Taici e da Estiva na península de Ajuruteua-PA, estuário do Caeté (Modificado de MEHLIG, 2011).

As amostras de água para determinação das variáveis físicas, químicas e biológica foram coletadas entre os meses de março de 2010 e outubro de 2012 nos furos do Taici e da Estiva, durante a enchente e a vazante da maré de sizígia. A temperatura, salinidade, potencial hidrogeniônico (pH), condutividade, oxigênio dissolvido e turbidez da água foram mensurados

*in situ* utilizando o multianalisador de água HORIBA - U10.

As amostras para análise química e biológica foram coletadas na subsuperfície da água com auxílio de garrafa de Van Dorn, na vazante e na enchente, em cada local, e ainda em campo foram conservadas em caixa isotérmica e transferidas ao Laboratório de Qualidade de Água (UFPA/IECOS/FEPESCA).

Os nutrientes (N-amoniaco  $\text{NH}_3/\text{NH}_4^+$ , nitrito  $\text{NO}_2\text{-N}$  e fosfato  $\text{PO}_4\text{-P}$ ) foram analisados por espectrofotometria, de acordo com os métodos descritos por PARANHOS (1996) e APHA (2005). A determinação de clorofila-*a* foi feita pelo método descrito por NUSCH (1980).

As características físicas, químicas e biológica da água foram analisadas considerando a sazonalidade. O período seco abrangeu os meses de setembro a novembro de 2010 e de setembro a outubro de 2012. O período chuvoso incluiu os meses de março a julho de 2010, abril a junho de 2011 e março a abril de 2012. Essa classificação foi feita considerando o período chuvoso e o seco regional (MORAES *et al.*, 2005). Os dados de precipitação foram fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2012).

A estatística descritiva (valores mínimo e máximo, média e desvio padrão) foi aplicada a todas as variáveis abióticas e bióticas da água. O teste Shapiro Wilk ( $p < 0,05$ ) foi realizado para verificar se os valores estavam distribuídos normalmente, utilizando-se o *software* BioEstat 5.0. Detectou-se que os dados não estavam normais, sendo, portanto, logaritimizados aplicando-se a transformação de raiz quártica nos dados amostrais e, assim, tornando-os normais para uma posterior análise no Test t. Esse teste permitiu a verificação da influência da sazonalidade e das marés sobre as variáveis físicas, químicas e clorofila-*a* da água, adotando o nível crítico de significância de  $\alpha = 0,05$ .

A análise de componentes principais (ACP) foi utilizada para identificar os componentes responsáveis pela variação dos dados abióticos e biótico nos furos do Taici e da Estiva, e teve como base a matriz de correlação. Para detecção das relações não lineares foi aplicada a transformação de raiz quártica nos dados amostrais. Os círculos de correlação da análise multivariada foram feitos utilizando-se o *software* Primer 6.0.

## RESULTADOS

No furo do Taici, as variáveis salinidade, turbidez, nitrito e clorofila-*a* apresentaram diferença entre os períodos analisados (Tabelas 1 e 2). No período seco, a água apresentou salinidade máxima de 24,1 e média de  $18,57 \pm 2,78$ . A

concentração de nitrito também atingiu o máximo de 29,15  $\mu\text{M}$  e média de  $12,93 \pm 7,92$   $\mu\text{M}$  (Tabela 1). No período chuvoso, a água do furo do Taici caracterizou-se por apresentar elevada turbidez de até 992 UNT e valor médio de  $297 \pm 267,04$  UNT. A concentração de clorofila-*a* atingiu o máximo de 32,09  $\mu\text{g L}^{-1}$  e a média de  $12,09 \pm 5,72$   $\mu\text{g L}^{-1}$  (Tabela 1).

A água deste canal apresentou valores médios de temperatura, pH e oxigênio dissolvido de  $28,04 \pm 0,62^\circ\text{C}$ ;  $6,08 \pm 0,23$ ; e  $4,42 \pm 0,81$   $\text{mg L}^{-1}$ , respectivamente. Os nutrientes fosfato e N-amoniaco apresentaram concentrações médias de  $1,05 \pm 0,86$  e  $8,69 \pm 6,99$   $\mu\text{M}$  respectivamente. Essas variáveis não apresentaram diferença estatística significativa entre os períodos analisados (Tabelas 1 e 2). Não houve diferença estatística significativa do efeito das marés vazante e enchente sobre as variáveis físicas, químicas e biológica da água do furo do Taici (Tabela 2).

No furo da Estiva, a sazonalidade influenciou significativamente na salinidade. No período seco, o valor médio da salinidade foi de  $36,84 \pm 1,37$  e no período chuvoso, de  $21,56 \pm 5,54$  (Tabela 3). A temperatura, pH, oxigênio dissolvido, fosfato e clorofila-*a* apresentaram diferença significativa entre as marés (Tabelas 3 e 4). Na maré enchente foram registrados maiores valores de pH e oxigênio dissolvido:  $7,72 \pm 0,18$  e  $6,62 \pm 0,54$   $\text{mg L}^{-1}$ , respectivamente. Na maré vazante foram registrados os maiores valores de temperatura, fosfato e clorofila-*a*, quais sejam,  $29,26 \pm 1,08^\circ\text{C}$ ;  $1,73 \pm 1,43$   $\mu\text{M}$ ; e  $33,6 \pm 14,74$   $\mu\text{g L}^{-1}$ , respectivamente (Tabelas 3 e 4).

A água do furo (canal-de-maré) da Estiva apresentou valores médios de salinidade e turbidez de  $26,65 \pm 7,62$  e  $71 \pm 46,1$  UNT, respectivamente. As concentrações médias de nitrito e N-amoniaco foram  $0,78 \pm 0,93$  e  $6,12 \pm 5,65$   $\mu\text{M}$ , respectivamente.

Os valores máximos de temperatura, salinidade e concentração de fosfato foram registrados na maré vazante, sendo  $31,9^\circ\text{C}$ ; 39,50; e 5,99  $\mu\text{M}$ , respectivamente. Durante a maré enchente, a turbidez atingiu 400 UNT. Os valores dessas variáveis não apresentaram diferença significativa entre as marés (Tabelas 3 e 4).

**Tabela 1.** Concentrações e valores máximo (Max), mínimo (Min), médio (Med) e desvio padrão ( $\pm$ DP), das variáveis físicas, químicas e biológica no canal-de-maré Taici durante a maré enchente e a vazante, no período seco e no chuvoso.

VARIÁVEIS	PERÍODO SECO						PERÍODO CHUVOSO					
	ENCHENTE			VAZANTE			ENCHENTE			VAZANTE		
	MÉDIA $\pm$ DP	MIN	MAX	MÉDIA $\pm$ DP	MIN	MAX	MÉDIA $\pm$ DP	MIN	MAX	MÉDIA $\pm$ DP	MIN	MAX
Temperatura (°C)	28,19 $\pm$ 0,6	27,80	29,30	28,70 $\pm$ 0,4	28,00	29,10	27,75 $\pm$ 0,4	27,10	28,90	27,94 $\pm$ 0,8	27,00	29,50
Salinidade	19,56 $\pm$ 2,6	16,65	24,10	17,58 $\pm$ 3,0	11,60	21,70	6,87 $\pm$ 4,0	2,00	16,60	5,26 $\pm$ 3,7	1,60	13,20
pH	7,13 $\pm$ 0,1	7,02	7,23	6,84 $\pm$ 0,1	6,71	7,05	6,71 $\pm$ 0,3	6,28	7,29	6,69 $\pm$ 0,1	6,32	7,00
Turbidez (UNT)	73,13 $\pm$ 14,9	57,00	103,00	4,50 $\pm$ 35,3	25,00	135,00	270 $\pm$ 247,5	10	980	324,28 $\pm$ 279,8	13,23	992,00
OD (mg L <sup>-1</sup> )	5,24 $\pm$ 0,6	4,10	6,02	4,51 $\pm$ 0,6	3,33	5,25	4,06 $\pm$ 0,8	2,66	6,62	4,32 $\pm$ 0,7	2,80	5,60
Nitrito ( $\mu$ M)	17,84 $\pm$ 10,9	3,56	29,15	8,02 $\pm$ 2,6	3,20	11,04	1,72 $\pm$ 1,7	0,35	7,39	1,42 $\pm$ 1,2	0,11	3,78
Fosfato ( $\mu$ M)	0,66 $\pm$ 0,2	0,29	0,85	2,69 $\pm$ 2,1	0,27	5,77	0,83 $\pm$ 0,7	0,14	3,07	1,05 $\pm$ 0,6	0,26	2,03
N-amoniacoal ( $\mu$ M)	5,10 $\pm$ 3,9	0,09	11,55	9,23 $\pm$ 8,4	0,14	21,05	9,53 $\pm$ 7,1	0,03	18,66	9,37 $\pm$ 6,9	0,11	21,91
Clorofila-a ( $\mu$ g L <sup>-1</sup> )	2,96 $\pm$ 4,1	0,18	11,07	5,85 $\pm$ 1,2	3,45	7,85	11,95 $\pm$ 4,8	5,05	28,89	13,43 $\pm$ 6,5	5,78	32,09

**Tabela 2.** Resumo dos resultados do Teste t para a influência da sazonalidade, período seco *versus* período chuvoso, e das marés enchente e vazante na qualidade da água do furo do Taici.

Variáveis Dependentes	Fonte das Variáveis	n	p	Significância	Fonte das Variáveis	n	p	Significância
Temperatura (°C)		28	> 0,05			28	> 0,05	
Salinidade		28	< 0,0001	Seco>Chuvoso		28	> 0,05	
pH		28	> 0,05			28	> 0,05	
Turbidez (UNT)		28	< 0,05	Chuvoso>Seco		28	> 0,05	
OD (mg.L <sup>-1</sup> )	Sazonalidade	28	> 0,05		Maré	28	> 0,05	
Nitrito ( $\mu$ M)		28	< 0,05	Seco>Chuvoso		28	> 0,05	
Fosfato ( $\mu$ M)		28	> 0,05			28	> 0,05	
N-amoniacoal ( $\mu$ M)		28	> 0,05			28	> 0,05	
Clorofila-a ( $\mu$ g.L <sup>-1</sup> )		28	< 0,05	Chuvoso>Seco		28	> 0,05	

**Tabela 3.** Concentrações e valores máximo (Max), mínimo (Min), médio (Med) e desvio padrão ( $\pm$ DP) das variáveis físicas, químicas e biológica do furo da Estiva durante as marés enchente e vazante, no período seco e no chuvoso.

VARIÁVEIS	PERÍODO SECO						PERÍODO CHUVOSO					
	ENCHENTE			VAZANTE			ENCHENTE			VAZANTE		
	MÉDIA $\pm$ DP	MIN	MAX	MÉDIA $\pm$ DP	MIN	MAX	MÉDIA $\pm$ DP	MIN	MAX	MÉDIA $\pm$ DP	MIN	MAX
Temperatura (°C)	27,45 $\pm$ 0,6	26,80	28,20	29,25 $\pm$ 0,7	27,90	30,50	28,11 $\pm$ 0,5	27,50	29,10	29,26 $\pm$ 1,3	27,30	31,90
Salinidade	35,53 $\pm$ 0,8	34,50	37,10	38,15 $\pm$ 0,7	37,00	39,50	23,00 $\pm$ 5,0	13,90	31,70	20,13 $\pm$ 5,8	10,60	29,20
pH	7,83 $\pm$ 0,1	7,69	7,92	7,10 $\pm$ 0,1	7,02	7,20	7,67 $\pm$ 0,2	7,09	8,00	7,08 $\pm$ 0,15	6,87	7,62
Turbidez (UNT)	48,59 $\pm$ 17,0	31,00	75,00	28,50 $\pm$ 8,0	16,00	44,00	90,63 $\pm$ 77,3	10,00	400,00	78,10 $\pm$ 42,2	16,70	160,00
OD (mg L <sup>-1</sup> )	6,48 $\pm$ 0,8	5,15	7,65	4,60 $\pm$ 1,4	3,12	6,23	6,15 $\pm$ 0,5	5,02	6,88	4,16 $\pm$ 2,5	1,87	11,21
Nitrito ( $\mu$ M)	0,08 $\pm$ 0,1	0,00	0,17	0,28 $\pm$ 0,1	0,17	0,35	0,49 $\pm$ 0,4	0,02	1,15	0,30 $\pm$ 0,2	0,00	0,59
Fosfato ( $\mu$ M)	0,62 $\pm$ 0,4	0,21	1,01	3,39 $\pm$ 2,1	0,29	5,99	0,41 $\pm$ 0,2	0,15	0,78	1,32 $\pm$ 0,8	0,25	3,11
N-amoniacoal ( $\mu$ M)	4,31 $\pm$ 3,3	0,11	10,55	5,33 $\pm$ 4,3	0,03	10,04	7,06 $\pm$ 6,2	0,03	24,30	7,41 $\pm$ 7,0	0,03	23,68
Clorofila-a ( $\mu$ g L <sup>-1</sup> )	10,76 $\pm$ 4,7	3,14	19,48	22,98 $\pm$ 12,2	1,66	38,21	16,28 $\pm$ 5,8	4,65	31,37	38,91 $\pm$ 17,4	9,57	96,17

No furo do Taici, a análise de componentes principais evidenciou que os três primeiros componentes representaram 67% da variação cumulativa (Figura 2). O primeiro componente

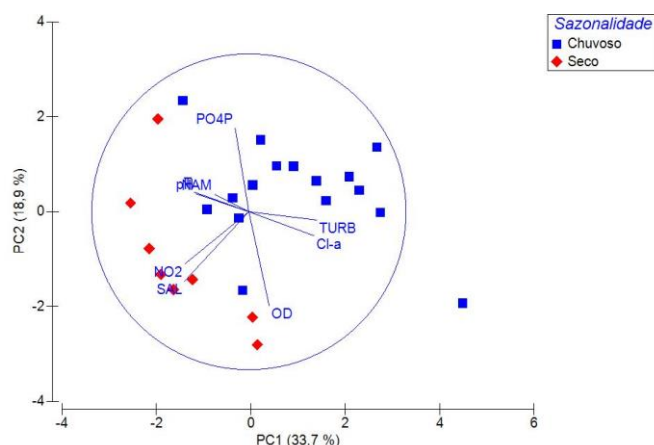
sofreu influência da sazonalidade sobre as variáveis turbidez (0,434), clorofila-a (0,417), nitrito (-0,406) e temperatura (-0,347). No período chuvoso foram registrados os maiores valores de

turbidez e clorofila-a e os menores de temperatura e nitrito, devido ao transporte de nutrientes e material em suspensão da bacia de drenagem e do manguezal pelas chuvas. O segundo componente refletiu a influência das marés sobre a qualidade da água no período seco. Na maré enchente, a

água apresentou os maiores valores de salinidade (-0,440) e oxigênio dissolvido (-0,594), devido à entrada de água costeira. Na maré vazante, a água apresentou elevadas concentrações de fosfato (0,529), devido à drenagem do manguezal (Figura 2 e Tabela 1).

**Tabela 4.** Resumo dos resultados do Teste t para a influência da sazonalidade, dos períodos seco e chuvoso e das marés enchente e vazante na qualidade da água do furo da Estiva.

Variáveis Dependentes	Fonte das Variáveis	n	p	Significância	Fonte das Variáveis	n	p	Significância
Temperatura (°C)	Sazonalidade	28	> 0,05	<b>Seco&gt;Chuvoso</b>	Maré	28	<0,05	<b>Vaz&gt;Ench</b>
Salinidade		28	<0,0001			28	<0,05	<b>Ench&gt;Vaz</b>
pH		28	> 0,05			28	<0,05	<b>Ench&gt;Vaz</b>
Turbidez (UNT)		28	> 0,05			28	<0,05	<b>Ench&gt;Vaz</b>
OD (mg.L <sup>-1</sup> )	Sazonalidade	28	> 0,05	<b>Seco&gt;Chuvoso</b>	Maré	28	<0,05	<b>Ench&gt;Vaz</b>
Nitrito (µM)		28	> 0,05			28	<0,05	<b>Vaz&gt;Ench</b>
Fosfato (µM)		28	> 0,05			28	<0,05	<b>Vaz&gt;Ench</b>
N-amoniacoal (µM)		28	> 0,05			28	<0,05	<b>Vaz&gt;Ench</b>
Clorofila-a (µg.L <sup>-1</sup> )		28	> 0,05			28	<0,05	<b>Vaz&gt;Ench</b>

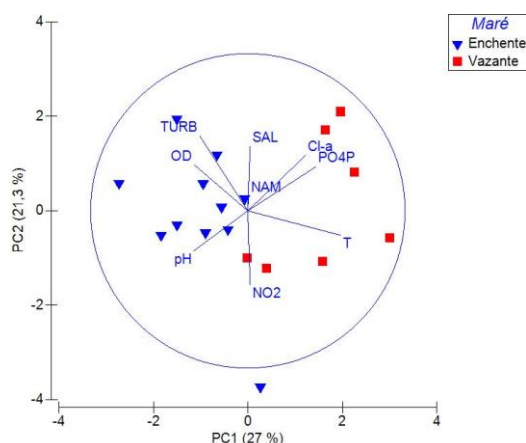


**Figura 2.** Círculo de correlação da análise de componentes principais (PC1 x PC2) entre as variáveis abióticas e clorofila-a da água do furo do Taici, estuário do Caeté. TURB=turbidez; OD=Oxigênio Dissolvido; NO<sub>2</sub>=Nitrito; PO<sub>4</sub>P=Fosfato; NAM=N-amoniacoal; Cl-a=Clorofila-a; SAL=Salinidade e T=Temperatura.

O terceiro componente principal esteve relacionado ao pH e ao N-amoniacoal. Durante a maré vazante foram registrados os menores valores de pH e as maiores concentrações de N-amoniacoal, devido a à drenagem do manguezal.

No furo da Estiva, os três primeiros componentes principais representaram 67,4% da variação cumulativa. O primeiro componente

refletiu a influência das marés sobre as variáveis temperatura, pH, fosfato e clorofila-a. O efeito da maré vazante esteve relacionado à temperatura (0,594), ao fosfato (0,433) e à clorofila-a (0,366), que apresentaram menores valores. O efeito da maré enchente esteve relacionado ao pH (-0,343), devido aos maiores valores decorrentes da entrada de água costeira.



**Figura 3.** Círculo de correlação da análise de componentes principais (PC1 x PC2) entre as variáveis abióticas e clorofila-*a* da água do furo da Estiva, estuário do Caeté. TURB=Turbidez; OD=Oxigênio Dissolvido; NO<sub>2</sub>=Nitrito; PO<sub>4</sub>P=Fosfato; NAM=N-amoniaco; Cl-*a*=Clorofila-*a*; SAL=Salinidade e T=temperatura.

O segundo componente principal sofreu influência da sazonalidade e do movimento das marés sobre as variáveis turbidez e nitrito. Durante o período seco foram registrados menores valores de turbidez (0,475) na maré enchente. Nesse período foram registradas as maiores concentrações de nitrito (-0,472), durante a maré vazante, devido à lavagem do manguezal que carregou nutrientes e matéria orgânica particulada e dissolvida para este canal.

O terceiro componente principal relacionou inversamente a salinidade e o oxigênio dissolvido. No período seco, na maré vazante, registraram-se a elevação da salinidade e a redução da concentração de oxigênio dissolvido na água deste canal. O domínio do processo de decomposição da matéria orgânica oriunda do manguezal proporcionou o maior consumo de oxigênio dissolvido e a liberação de íons que contribuíram para o aumento da salinidade.

## DISCUSSÃO

O estuário do Caeté está classificado como raso, bem misturado e dominado por macromarés (SOUZA-FILHO *et al.*, 2006; BARBOSA *et al.*, 2007), que possuem

amplitude entre 3 e 4 m e máxima até 6 m (COHEN *et al.*, 1999; ROSA-FILHO *et al.*, 2006). Outros estuários amazônicos, como o do Taperaçú e o do rio Pará, possuem amplitudes semelhantes, que atingem valores superiores a 5 m (MONTEIRO *et al.*, 2009; ZACARDI *et al.*, 2016). A sazonalidade na região amazônica é controlada pela presença da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), que determina os elevados índices pluviométricos e a estação chuvosa (2°S). Na estação seca, verifica-se a migração da ZCIT (14°N), baixo índice pluviométrico (próximo a zero) e maior intensidade de ventos (SOUZA-FILHO *et al.*, 2009).

Sob este foco, observa-se que as chuvas acarretam uma maior disponibilidade de nutrientes na coluna d'água, aumento da concentração de clorofila-*a*, redução do teor dos sais dissolvidos e menor salinidade (PEREIRA *et al.*, 2010; GOMES *et al.*, 2013). Por outro lado, a inundação dos manguezais adjacentes contribuiu para o aumento da carga de sedimentos, de nutrientes e de matéria orgânica particulada e dissolvida, que é transportada pelos canais-de-maré ao estuário, aumentando, assim, a biomassa fitoplanctônica, expressa em clorofila-*a* (PAMPLONA *et al.*, 2013; LARA e DITTMAR,

1999; PARDAL *et al.*, 2011). Devido a estes fatores, o aumento da concentração de clorofila-*a* pode ser percebido no canal-de-maré Taici, com média de  $12,09 \pm 5,72 \mu\text{g L}^{-1}$ , durante o período de maior pluviosidade. MONTEIRO *et al.* (2016), estudando o estuário do Caeté, também registraram concentrações elevadas de clorofila-*a* durante o período chuvoso. Assim como em estuários amazônicos, na Índia, no estuário Gautami-Godavari, verificou-se aumento da concentração de clorofila-*a*, com média de  $5,23 \pm 4,84 \mu\text{g L}^{-1}$ , durante o período chuvoso, proporcionado pelas chuvas, que promovem o carreamento de alta concentração de nutrientes da bacia de drenagem e a liberação de nutrientes e matéria orgânica particulada e dissolvida, estimulando o crescimento fitoplanctônico (TRIPATHY *et al.*, 2005).

Similar comportamento sobre a liberação de nutrientes e aumento da biomassa fitoplânctônica em canais-de-maré da zona de salinidade intermediária, como o furo do Taici, foi registrado nos canais-de-maré do estuário do rio Sangga Besar, associado à Reserva de Manguezal Matang, na Malásia. Nos canais desse estuário, TANAKA e CHOO (2000) verificaram que, no período chuvoso, a elevada biomassa fitoplânctônica foi decorrente da liberação de nutrientes pela inundação do manguezal e pela mistura promovida durante a maré de sizígia.

No período seco, a água do furo do Taici apresentou salinidade moderada e elevada concentração de nitrito, devido à redução do aporte de água doce e à drenagem do manguezal (LARA e DITTMAR, 1999; SOUSA *et al.*, 2013). No presente trabalho não se verificou efeito significativo dos movimentos das marés de sizígia na qualidade da água do furo do Taici, devido ao processo de mistura no setor médio do estuário do Caeté, em que a água se encontra homogênea, com pequenas alterações diurnas da temperatura, salinidade, pH, oxigênio dissolvido e nutrientes. GOMES *et al.* (2013) verificaram que neste setor do estuário do Caeté, durante o período chuvoso, a velocidade da corrente de vazante da maré de sizígia ( $1,3 \text{ m s}^{-1}$ ) foi superior à da corrente de enchente ( $1,1 \text{ m s}^{-1}$ ), devido ao aumento da vazão fluvial (cerca de  $85,6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ ). No período seco, a velocidade de corrente da maré de

sizígia na enchente ( $1,11 \text{ m s}^{-1}$ ) foi similar à da vazante ( $1,14 \text{ m s}^{-1}$ ). Nesse período, o valor médio da vazão fluvial no mês de novembro foi de  $5,3 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ .

A turbidez apresentou ampla variação no período chuvoso. GOMES *et al.* (2013) comprovaram que o transporte de sedimentos no setor médio do estuário do Caeté é realizado durante as marés de sizígia. No período chuvoso, o Caeté transportou até  $3 \text{ g L}^{-1}$  de sólidos em suspensão, enquanto, no período seco, essa concentração de sólidos em suspensão foi de  $0,73 \text{ g L}^{-1}$ . O transporte de sedimentos pode ser comprovado pelo aumento da turbidez da água no período chuvoso, cujo valor atingiu 992 UNT (maio/2010).

No furo da Estiva, observou-se maior influência marinha devido à sua localização na parte mais externa do estuário. O efeito da sazonalidade esteve restrito à variação da salinidade, que diminuiu no período chuvoso. O movimento das marés foi a força responsável por variações observadas na temperatura, pH, oxigênio dissolvido, fosfato e clorofila-*a*. Na maré enchente, as águas do furo da Estiva apresentaram-se bem oxigenadas, com pH levemente alcalino devido ao aporte de águas costeiras. Essas águas são mais límpidas, com menores concentrações de matéria orgânica e mais oxigenadas, em razão da circulação e da mistura (GRECO *et al.*, 2004).

Na maré vazante, devido à redução da coluna d'água, a temperatura foi mais elevada (COSTA *et al.*, 2013). Os canais de maré do sistema estuarino do Caeté estão localizados abaixo do nível médio do mar (SOUZA-FILHO *et al.*, 2003) e, durante a maré vazante de sizígia, a profundidade é inferior a  $0,5 \text{ m}$ . Desse modo, a coluna d'água recebe radiação solar em toda a sua extensão, tornando-se aquecida. As concentrações de fosfato e clorofila-*a* foram mais elevadas, devido ao aporte de nutrientes oriundos do manguezal adjacente. No estuário do rio Perequê (SC), SIGNORIN *et al.* (2010) registraram maiores concentrações de nutrientes durante a vazante, devido à maior influência da drenagem continental.



## CONCLUSÕES

A qualidade da água dos canais-de-maré do sistema estuarino do Caeté sofreu influência das condições climáticas, geomorfológicas e hidrológicas. As principais forçantes que controlaram as variáveis físicas, químicas e biológica da água foram a sazonalidade, a vazão do rio e os movimentos das marés de sizígia de acordo com a distribuição espacial desses canais-de-maré.

O furo do Taici, localizado no setor médio do estuário do Caeté, onde a drenagem do manguezal foi mais significativa, sofreu influência da sazonalidade, que promoveu o aumento dos valores de salinidade e nitrito no período seco e da turbidez e clorofila-*a* no período chuvoso.

O furo da Estiva, devido à proximidade da costa, sofreu influência do movimento das marés. Na maré vazante, os valores de temperatura, fosfato e clorofila-*a* foram superiores aos registrados na maré enchente, em que a água apresentou valores elevados de pH e oxigênio dissolvido. O efeito da sazonalidade restringiu-se à variação da salinidade.

## AGRADECIMENTOS

Ao Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica (PIBIC Interior -UFPA), pela bolsa de iniciação científica concedida a Hanna Tereza G. de S. Moura. Ao M.Sc. Vando José Costa Gomes, pela adequação do mapa.

## REFERÊNCIAS

- APHA - American Public Health Association. Standart Methods for the examination of water and wastewater. 2005 American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, 21<sup>th</sup> ed., Washington, 1120p.
- BARBOSA, V.M.; GREGÓRIO, A.M.S.; BUSMAN, D.V.; COSTA, R.A.A.M.; SOUSA-FILHO, P.W.M.; PEREIRA, L.C.C. 2007 Estudo morfodinâmico durante uma maré equinocial de sizígia em uma praia de macromaré do litoral amazônico (Praia de Ajuruteua-PA, Brasil). *Boletim Paranaense de Geociências*, 60: 31-43.
- BARLETTA, M.; JAUREGUIZAR, A.J.; BAIGUN, C.; FONTOURA, N.F.; AGOSTINHO, A.A.; ALMEIDA-VAL, V.M.F.; VAL, A.L.; TORRES, R. A.; JIMENES-SEGURA, L. F.; GIARRIZZO T.; FABRÉ, N. N.; BATISTA, V. S., LASSO, C. ; TAPHORN, D. C.; COSTA, M. F.; CHAVES, P. T.; VIEIRA, J. P.; CORRÊA, M. F. M. 2010 Fish and aquatic habitat conservation in South America: a continental overview with emphasis on neotropical systems. *Journal of Fish Biology*, 76: 2118-2176.
- COHEN, M. C. L.; LARA, R. J.; RAMOS, J. D. F.; DITTMAR, T. 1999. Factors influencing the variability of Mg, Ca and K in waters of a mangrove creek in Bragança, North Brazil. *Mangroves and Salt Marshes*, 3: 9-15.
- COLLAÇO, F. L.; SARTOR, S.M.; BARBIERI, E. 2015 Uso do geoprocessamento para definição de áreas para o cultivo de ostras na região estuarina de Cananéia/SP. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, 15(2): 193-207.
- COSTA, A.K.R.; PEREIRA, L.C.C.; COSTA, R.M.; MONTEIRO, M.C.; FLORES-MONTES, M.J. 2013 Oceanographic processes in an Amazon estuary during an atypical rainy season. *Journal of Coastal Research, Special Issue*, 1104-1109.
- DHN - Diretoria de Hidrografia e Navegação, Marinha do Brasil. 2013. Disponível em: <<http://www.mar.mil.br/dhn/chm/box-previsao-mare/tabuas/index.htm>>. Acesso em: 21 de janeiro de 2013.
- FALCO, S.; NIENCHESKI, L.F.; RODILLA, M.; ROMERO, I.; DEL RÍO, J.G.; SIERRA, J.P.; MÖSSO, C. 2010 Nutrient flux and budget in the Ebro estuary. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 87: 92-102.
- GOMES, V.J.C.; FREITAS, P.T.A.; ASP, N.E. 2013 Dynamics and seasonality of the middle sector of a macrotidal estuaries. *Journal of Coastal Research, Special Issue*: 1140-1145.
- GRECO, C.K.S.; FEITOSA, F.A.N.; SILVA, M.H.; MONTES, M.J.F. 2004 Distribuição espacial e sazonal da clorofila fitoplanctônica do estuário rio Timbó (Paulista-PE). *Tropical Oceanography*, 32, 181-199.
- HOOD, W.G. 2007 Scaling tidal channel geometry with marsh island area: A tool for habitat restoration, linked to channel

- formation process. *Water Resources Research*, 43(3): 1-15.
- INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. 2012. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/>>. Acesso em: 20 de novembro de 2012.
- KJERFVE, B., PERILLO G.M.E.; GARDNER, L.R.; RINE, J.M.; DIAS, G.T.M.; MOCHEL, F.R. 2002 Morphodynamics of muddy environments along the Atlantic coasts of North and South America. In: HEALY, T.R.; WANG, Y.; HEALY, J-A. editors. *Muddy Coasts of the World: Processes, Deposits and Functions*. Amsterdam: Elsevier p. 219-39.
- LARA, R.J.; DITTMAR, T. 1999 Nutrients dynamics in a mangrove creek (North Brazil) during the dry season. *Mangroves and Salt Marshes*, 3: 185-195.
- MATNI, A.S. 2007 Estudo comparativo da fenologia reprodutiva de *Rhizophora mangle* L., *Avicennia germinans* (L.) Stearn e *Laguncularia racemosa* (L.) Gaertn. F. ao longo da península de Ajuruteua, Bragança-Pará. Dissertação de mestrado - Programa de Pós-Graduação em Biologia Ambiental. Universidade Federal do Pará, Bragança. Disponível em: <http://www.ufpa.br/lama/mestradoa.php>. Acesso em 7 de maio de 2012.
- MEHLIG, U. 2011. Aspects of tree primary production in na equatorial mangrove florest in Brazil. *ZMT-Contribution*, 14-155p.
- MIRANDA, L.B.; CASTRO, B.M.; KJERFVE, B. 2002. Princípios de Oceanografia Física de Estuários. 1ed. Universidade de São Paulo - SP. 15-105p.
- MONTEIRO, M.C.; PEREIRA, L.C.C.; OLIVEIRA, S.M.O. 2009 Morphodynamic changes of a macrotidal sand beach in the Brazilian Amazon coast (Ajuruteua, Pará). *Journal of Coastal Research, Special Issue*, 56: 103-107.
- MONTEIRO, M.C.; JIMÉNEZ, J.A.; PEREIRA, L.C.C. 2016 Natural and human controls of water quality of na Amazon estuary (Caeté-PA, Brazil). *Ocean & Coastal management*, 124: 42-52.
- MORAES, B.C.; COSTA, J.M.N.; COSTA, A.C.L.; COSTA, M.H. 2005 Variação espacial e temporal da precipitação no estado do Pará. *Acta Amazonica*, 30(2) : 207-214.
- NASCIMENTO-JÚNIOR, W.R.; SOUZA-FILHO, P.W.M.; PROISY, C.; LUCAS, R.M.; PASSOS, E.A.; BARBIERI, E.; GARCIA, C.A.B.; ALVES, J.P.H. 2005 Contaminação das águas do estuário do Rio do Sal, Sergipe e Poxim. *O Mundo da Saúde*, 29(2): 226-237.
- NUSCH, E.A. 1980 Comparasion of different methods for clorophyll and phaeopigment determination. *Ergebnisse Der Limnologie*, 14: 14-36.
- PAMPLONA, F.C.; PAES, E.T.; NEPOMUCENO, A. 2013 Nutrients fluctuations in the Quatipuru river: A macrotidal estuarine mangrove system in the Brazilian Amazonian basin. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 133: 273-284.
- PARANHOS, R. 1996. Alguns métodos para análise da água. Rio de Janeiro, Cadernos Didáticos, 200p. UFRJ.
- PARDAL, E.C.; PEREIRA, L.C.C.; GUIMARÃES, D.O.; OLIVEIRA, S.M.O.; TRINDADE, W.N.; COSTA, R.M. 2011 Influence of oceanography conditions on the spacial and temporal distribution of chlorophyll-a in the coastal Waters of the Brazilian Amazon region (São Luís-MA). *Journal of Coastal Research, Special Issue*, 64: 421-424.
- PASSOS, E. A.; BARBIERI, E.; GARCIA, C. A. B.; ALVES, J. P. H. 2005 Contaminação das águas do estuário do Rio do Sal, Sergipe e Poxim. *O Mundo da Saúde*, 29(2): 226-237.
- PEREIRA, L.C.C.; MONTEIRO, M.C.; GUIMARÃES, D.O.; MATOS, J.B.; COSTA, R.M. 2010. Seasonal effects of wastewater to the water quality of the Caeté river estuary, Brazilian Amazon. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 82: 467-478.
- PEREIRA-FILHO, J.; SPILLERE, L.C.; SCHETTINI, C.A.F. 2003 Dinâmica de nutrientes na região portuária do estuário do Rio Itajaí-Açu, SC. *Atlântica*, 25: 11-20.
- PRITCHARD, D.W. 1967 What is an estuary: physical view point. In: LAUFF, G.H. (Ed.). *Estuaries*. Washington.: American Association for the Advancement of Science. p. 3-5.

- ROSENQVIST, A. 2013 Mapping changes in the largest continuous Amazonian mangrove belt using object-based classification of multisensor satellite imagery. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 117: 83-93.
- ROBERTSON, A.I.; ALONGI, D.M.; BOTO, K.G. 1992 Food chains and carbon fluxes. In: Robertson AI, Alongi DM (eds) *Tropical mangrove ecosystems. Coastal and Estuarine Series*, 41: 293-326.
- ROSA-FILHO, J.S.; BUSMAN, D.V.; VIANA, A. P., GREGÓRIO, A.M.; OLIVEIRA, D.M. 2006. Macrofauna bentônica de zonas entre-marés não vegetadas do estuário do rio Caeté, Bragança, Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi Ciências Naturais*, 1: 85-96.
- SIGNORIN, M.; PEREIRA FILHO, J.; DELFIN, R.; SDRITTINI, C.F. 2010 Hidrodinâmica e nutrientes inorgânicos dissolvidos no estuário do rio Perenquê, SC. *Brazilian Journal Aquatic Science and Tecnology*, 14: 11-19.
- SILVA, M.C. 2000. Estuário: critérios para uma classificação ambiental. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, 5: 25-35.
- SOUSA, J.A.; CUNHA, K.N.; NUNES, Z.M.P. 2013 Influence of seasonal factors on the quality of the water of a tidal creek on the Amazon Coast of Brazil. *Journal of Coastal Research, Special Issue*, 65: 129 - 134.
- SOUZA-FILHO P.W.M. 2005 Costa de manguezais de macromaré da Amazônia: cenários morfológicos, mapeamento e quantificação a partir de dados de sensores remotos. *Revista Brasileira de Geofísica*, 23: 427-435.
- SOUZA-FILHO, P.W.M.; LESSA, G.C.; COHEN, M.C.L.; COSTA, F.R.; LARA, R.J. 2009 The subsiding macrotidal barrier estuarine system of the eastern Amazon coast, Northern Brazil. *Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil*, 107: 347-375.
- SOUZA-FILHO, P.W.M.; MARTINS, E.S.F.; COSTA, F.R. 2006 Using mangroves as a geological indicator of coastal changes in the Bragança macrotidal flat, Brazilian Amazon: a remote sensing data approach. *Ocean & Coastal Management*, 49: 462-475.
- SOUZA-FILHO, P.W.M.; TOZZI, H.A.M.; ELROBRINI, M. 2003 Geomorphology, land-use and environmental hazards in Ajuruteua macrotidal sand beach, Northern Brazil. *Journal of Coastal Research, Special Issue*, 35: 580-589.
- TANAKA, K.; CHOO, P.S. 2000 Influences of nutrients outwelling from the mangrove swamp on the distribution of phytoplankton in the Matang Mangrove estuary, Malaysia. *Journal of Oceanography*, 56: 69-78.
- TRIPATHY, S.C.; RAY, A.K.; PATRA, S.; SARMA, V.V. 2005 Water quality assesment of Guautami-Godovari mangrove estuarine ecosystem of Andhra Pradesh, India during september 2001. *Journal of Earth System*, 114: 185-190.
- VENDEL, A.L.; SPACH, H.L.; LOPES, S.G.; SANTO, C. 2002 Structure and dynamics of fish assemblages in a tidal creek environment. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 45:365-373.
- WOLFF, M.; KOCH, V.; ISAAC, V. 2000 A trophic flow model of the Caeté mangrove estuary (North Brazil) with considerations for the sustainable use of its resources. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 50: 789-803.
- ZACARDI, D.M.; BITTENCOURT, S.C.S.; NOKAYAMA. 2016 O ictioplâncton e sua relação com variação diária e os ciclos de marés no estuário amazônico. *Biota Amazônia*, 6: 32-40.
- ZANIN, G.R.; TOSIN, L.F.; BARBIERI, E. 2009. Variação da avifauna, em relação ao nível da maré, no uso de um plano intermareal no Mar Pequeno, Ilha Comprida, São Paulo, Brasil. *Estudos de Biologia*, 75: 39-48.