



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE OCEANOGRAFIA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

VARIAÇÕES HIDROLÓGICAS NA MARGEM EQUATORIAL EM FUNÇÃO DA DISTÂNCIA DA COSTA E SAZONALIDADE

Trabalho apresentado por:

LUANA FREIRE DA SILVA

Orientador: Msc. Rafael Fernando Oliveira Aquino (UFPA)

Coorientador: Prof. Dr. Marcelo Rollnic (UFPA)

BELÉM - PARÁ

2018



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE OCEANOGRAFIA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**VARIAÇÕES HIDROLÓGICAS NA MARGEM EQUATORIAL
EM FUNÇÃO DA DISTÂNCIA DA COSTA E SAZONALIDADE**

Trabalho apresentado por:

LUANA FREIRE DA SILVA

Orientador: Msc. Rafael Fernando Oliveira Aquino (UFPA)

Coorientador: Prof. Dr. Marcelo Rollnic (UFPA)

P

BELÉM - PARÁ

2018

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

S586v Silva, Luana Freire da.
Variações hidrológicas na margem equatorial em função da distância da costa e da sazonalidade / Luana Freire da Silva. — 2018.
xix, 60 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Me. Rafael Fernando Oliveira Aquino
Coorientador(a): Prof. Dr. Marcelo Rollnic
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Faculdade de Oceanografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2018.

1. Plataforma continental. 2. Estuário. 3. Parâmetros físico-químicos. 4. Sazonalidade. 5. Maré. I. Título.

CDD 551.46009811



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE OCEANOGRAFIA

VARIAÇÕES HIDROLÓGICAS NA MARGEM
EQUATORIAL EM FUNÇÃO DA DISTÂNCIA DA COSTA E
SAZONALIDADE

TRABALHO APRESENTADO POR:
LUANA FREIRE DA SILVA

Como requisito parcial à obtenção do Grau de Bacharel em OCEANOGRAFIA

Data de Aprovação: 20 /12 /2018

Banca Examinadora:

Ms. Rafael Fernando Oliveira Aquino – Orientador
(UFPA)

Prof. Marcelo Rollnic –
Coorientador (UFPA)

Prof. Camila C. Santos Rodrigues – Membro
(UFPA)

Prof. Renan Peixoto Rosário – Membro
(UFPA)

*Dedico este árduo trabalho
ao Deus de Abraão, Isaque e Jacó, meu pai celestial,
e ao seu Antônio e dona Delma, meus pais desta vida terrena.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, por Sua irresistível graça ter me alcançado e me dar a nova vida em Cristo Jesus, mesmo eu não merecendo. Ele me possibilitou estudar mais a fundo a ciência por trás da sua criação e com isso, perceber mais ainda Sua Onipotência, Onipresença e Onisciência. Ele me sustenta e me guarda desde o ventre de minha mãe até os dias de hoje e isso serei grata a Ele eternamente. *Soli Deo Gloria!*

Ao seu Antônio e dona Delma, meus pais, que sempre me amaram incondicionalmente, me disciplinaram quando era necessário e me apoiaram durante toda minha trajetória nos estudos. Eles abriram mão de muitas coisas para me dar saúde, educação e alimentação desde criança, mesmo que as condições não fossem favoráveis e, claro nunca se esqueceram de me dar amor, que era o mais essencial. Deus escolheu a dedo vocês para serem meus “gurus” da vida! AMO MUITO VOCÊS, NÃO DUVIDEM DISSO!!!

Ao Rafael, meu orientador, que teve MUITA PACIÊNCIA para me orientar e ria do meu desespero com o TCC (cara, desculpa por ter enchido tanto o teu saco no zip zoperson hehehe). Ele me ajudou bastante e de novo digo...ele teve muita paciência porque eu não sou a melhor pessoa no quesito prazo de entrega (desculpa mais uma vez véi hueheuheuehue).

Ao Prof. Marcelo Rollnic, meu co-orientador, que me deu oportunidade de estagiar no LOF, acreditando em mim e dando impulso para minha experiência acadêmica (vlw chefe!).

Aos colegas do LAPMAR/LOF, que me ajudaram a sentir na pele a emoção especificamente da oceanografia física, além de terem sido cruciais para a coleta de dados (salve especial para o Leandro, ou melhor “Leandrinho/Leandrix”, pelas zoeiras e também de cair do barco e quase ter se afogado em Turiaçu ehuehauaehuaehuaehuae).

A todos os meus professores da graduação, que contribuíram de alguma forma com a minha formação acadêmica. Um agradecimento especial ao Prof. Renan Peixoto que incendiou no meu coração o sonho de fazer mestrado na FURG, e olha quem diria...esse sonho se tornou realidade agora para mim (AAAAAAAAA)!

À famigerada Oceano 2015 e agregados (MELHOR TURMA FALO MESMO), por terem sido meus companheiros nessa viagem de 4 anos e depois de diversos rolamentos de soco, insônia, raiva, risos de desespero, dormidas na sala, zoeiras, corpos estourados depois de um campo (às vezes vindo com o bônus da diarreia básica), provas e seminários, avistamos uma terra chamada formatura. É pessoal, agora os pombos vão voar!

Dessa turminha do barulho, quero agradecer especialmente ao Giulian (pé de bolinha, frank safadão, gorilão), Jeniffer (pow-pow-pow, beluga) e Anderson (pato quac quac cabuloso), que se tornaram meus melhores amigos no curso, pois riram, choraram, zoaram, brigaram e compartilhavam seu tempo, amizade e segredos comigo. Cada um de vocês tem um espaço no meu coração. Nunca esquecerei do “Carreta Furacão” (siga em frente, olhe para o lado)!

À Kayonne, que mesmo com a distância e falta de tempo, nossa amizade de mais de uma década ainda prevalece e é resumida em conversas no zip zoperson, encontros pra comer “besteirinhas”, abraçinhos e vários “eu te amo” (Kabeluda, te amo e não, não vou te abandonar mesmo se eu tiver no gaúcho’s *land* falando “bah tchê” misturado com “égua!”).

A todos que contribuíram de alguma forma para esse trabalho, meu muito obrigado!

*“Seu grande poder deveis contemplar
No céu estrelado, no amplo mar.
A gota de orvalho, a mínima flor,
Proclamam, constantes, ser Deus seu Autor. ”*
(Adoração ao Criador- Hinário Novo Cântico)

RESUMO

A Margem Equatorial Brasileira, situada na região Norte-Nordeste do Brasil, possui importância ecológica e econômica. Inserida nela, está a Plataforma Continental do Maranhão (PCM), com seu litoral adjacente bem variado, e o estuário do rio Turiaçu (MA), com sua importância biológica, alta amplitude de maré e potência maremotriz. O objetivo deste trabalho é avaliar a flutuação dos parâmetros físico-químicos em um trecho da margem equatorial, desde o estuário do rio Turiaçu até a quebra da PCM, de acordo com a espacialidade, sazonalidade e influência da maré. Foram realizadas coletas de amostras de água superficiais nos períodos chuvoso (janeiro/2018), intermediário (julho/2018) e seco (outubro/2018). Os parâmetros físico-químicos investigados foram temperatura ($^{\circ}\text{C}$), pH, condutividade elétrica (mS/cm), turbidez (NTU), sólidos totais dissolvidos (g/L), salinidade e oxigênio dissolvido (mg/L), sendo obtidos *in situ* com o auxílio da sonda multiparâmetros Horiba U50. No estuário, a amostragem durou um ciclo de maré (~13 hrs), ocorrendo coletas a cada 30 minutos e na plataforma, instantânea. Os dados foram tratados estatisticamente com o auxílio do teste ANOVA *two-way* e se houvessem diferenças significativas ($p < 0,05$), o teste de *Tukey* era realizado. Para analisar a correlação entre os parâmetros, de acordo com a sazonalidade, foi feita a correlação de *Pearson*. A temperatura variou de $27,1^{\circ}\text{C}$ a $32,4^{\circ}\text{C}$, refletindo a característica equatorial da área de estudo, percebendo-se que houve influência da sazonalidade. O pH obteve valores entre 5,24 a 9,88, sendo a região considerada predominantemente como um ambiente básico, além de haver variação espaço- sazonal desse parâmetro. Ele só obteve diferenças significativas considerando o local e correlação negativamente forte ($r = -0,95$) com sólidos totais dissolvidos (STD) e condutividade elétrica (CE). Somente no meio do estuário que foi perceptível alta influência da maré no pH. O OD variou de 0,3 mg/L a 10,6 mg/L, ocorrendo variação espaço- sazonal. Esse parâmetro foi o mais influenciado pela maré. A turbidez teve valores acima de 1000 NTU, revelando a característica de um rio de águas brancas. A flutuação da turbidez foi altamente influenciada pela atividade da maré. A CE, STD e salinidade variaram, respectivamente, de 0,04 mS/cm a 57,2 mS/cm, de 0,02 g/L a 78,3 g/L e de 0 a 38,1. A correlação entre esses três parâmetros é positivamente forte ($r = 0,99$), tendo comportamentos sazonais e espaciais, flutuação dos dados com a maré e diferenças significativas iguais. Percebeu-se variação sazonal, espacial e influência da maré nesses parâmetros. Concluiu-se que todos os parâmetros apresentaram variação sazonal e espacial, e quanto aos dados obtidos no estuário, foi perceptível a influência da maré em todos, exceto

na temperatura. Esse estudo contribuiu para o maior conhecimento científico a respeito do estuário do rio Turiaçu e a PCM.

Palavras-chave: Plataforma continental. Estuário. Parâmetros físico-químicos. Sazonalidade. Maré.

ABSTRACT

The Brazilian Equatorial Margin, located in North-Northeast region of Brazil, has great ecological and economic importance. Inserted in that place, there is the Maranhão Continental Shelf (MCS) with its surrounding coast so varied, and the estuary of Turiaçu's river (MA) with its biological significance, high tide amplitude and tidal power. Therefore, the objective of this work was to evaluate the variation of physico-chemical parameters in a stretch of equatorial margin, since Turiaçu River estuary until the break of MCS, according to spatiality, seasonality and tidal influence. The sampling was done in wet (january/2018), transitional (july/2018) and dry season (october/2018). The physico-chemical parameters investigated were temperature ($^{\circ}\text{C}$), pH, electric conductivity (mS/cm), turbidity (NTU), total dissolved solids (g/L), dissolved oxygen (mg/L) and salinity. They were obtained *in situ* by a multiparameters probe Horiba U50. In the estuary, the sampling lasted a tide cycle (~13 hrs), occurring the acquisition of water samples half-hourly and in the shelf it was instantaneously. The statistical treatment of data was done by ANOVA *two-way* test, and if significant differences were found, the *Tukey's* test was executed. *Pearson's* correlation was realized to examine the correlation between the studied parameters, in agreement with seasonality. The temperature varied from 27.1°C to 32.4°C , reflecting equatorial characteristic of studied area, understanding the seasonality influenced this parameter. The pH values were between 5.24 and 9.88, the study area was considered, predominantly, a basic environment, as well as this parameter presented spatial and seasonal variation. It had local significant differences and strong negative correlation ($r = -0.95$) with total dissolved salts (TDS) and electrical conductivity (EC). Solely in the middle of estuary, a high tidal influence in this parameter was observed. The DO ranged from 0.26 mg/L to 10.57 mg/L, occurring seasonal and spatial variation. This parameter was the most influenced by the tide. Turbidity ranged from 0 NTU to >1000 NTU revealing the characteristic of white waters estuary. The values of this parameter exceed the equipment detection range and was frequent in wet season. The significant differences did not occurred. The EC, TDS and salinity ranged, respectively, from 0.039 mS/cm to 57.2 mS/cm, 0.025 g/L to 78.3 g/L and 0 to 38.1. The correlation between these three parameters is positively very strong ($r = 0.99$), having the same seasonal and spatial behaviors, data fluctuation with tide and significant differences. It was perceived seasonal, spatial and tidal influence in these parameters. Therefore, it was concluded that, all parameters showed seasonal and spatial variation and the estuary's data, it was evident the tidal influence in all

of the studied parameters, except temperature. This study contributed to the scientific knowledge regarding the Turiaçu River's estuary and MCS.

Keywords: Continental shelf. Estuary. Physico-chemical parameters. Seasonality. Tide.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Localização da área de estudo e pontos de coleta.....	4
Figura 2 -	Local do Ponto E1, sendo A, em um momento de céu limpo e B no momento precipitação. Fonte: Da autora.....	5
Figura 3 -	Local do Ponto E2 (A e B). Fonte: Da autora.....	5
Figura 4 -	Local do Ponto E3, sendo A, margem esquerda e B a direita. Fonte: Da autora.....	5
Figura 5 -	Sonda multiparâmetros HORIBA U-50 (Figura A) e seu uso na coleta superficial dos dados dos parâmetros físico-químicos (Figura B). Fonte: (A) <i>Horiba Group</i> e (B) da autora.....	11
Figura 6 -	Sensor de pressão utilizado para a medição do nível de maré. Fonte: <i>Direct Industry</i>	12
Figura 7 -	Precipitação pluviométrica média para os meses de 2018 na cidade de Turiiaçu, Maranhão, Brasil. (Fonte: INMET, 2018)	17
Figura 8 -	Distribuição espaço-sazonal da temperatura, de acordo com a maré, no período chuvoso.....	21
Figura 9 -	Distribuição espaço-sazonal da temperatura, de acordo com a maré, no período intermediário.....	21
Figura 10 -	Distribuição espaço-sazonal da temperatura, de acordo com a maré, no período seco.....	22
Figura 11 -	Variação da temperatura ao longo do ciclo de maré, em cada ponto de coleta, no período chuvoso.....	22
Figura 12 -	Variação da temperatura ao longo do ciclo de maré, em cada ponto de coleta, no período intermediário.....	23
Figura 13 -	Variação da temperatura ao longo do ciclo de maré, em cada ponto de coleta, no período seco.....	23
Figura 14 -	Distribuição espaço-sazonal do pH, de acordo com a maré, no período chuvoso.....	24
Figura 15 -	Distribuição espaço-sazonal do pH, de acordo com a maré, no período intermediário.....	25

Figura 16 - Distribuição espaço-sazonal da pH, de acordo com a maré, no período seco.....	25
Figura 17 - Variação da pH ao longo do ciclo de maré, em cada ponto de coleta, no período chuvoso.....	26
Figura 18 - Variação da pH ao longo do ciclo de maré, em cada ponto de coleta, no período intermediário.....	26
Figura 19 - Variação da pH ao longo do ciclo de maré, em cada ponto de coleta, no período seco.....	27
Figura 20 - Distribuição espaço-sazonal do oxigênio dissolvido, de acordo com a maré, no período chuvoso.....	28
Figura 21 - Distribuição espaço-sazonal do oxigênio dissolvido, de acordo com a maré, no período intermediário.....	28
Figura 22 - Distribuição espaço-sazonal do oxigênio dissolvido, de acordo com a maré, no período seco.....	29
Figura 23 - Variação do oxigênio dissolvido ao longo do ciclo de maré, em cada ponto de coleta, no período chuvoso.....	29
Figura 24 - Variação do oxigênio dissolvido ao longo do ciclo de maré, em cada ponto de coleta, no período intermediário.....	30
Figura 25 - Variação do oxigênio dissolvido ao longo do ciclo de maré, em cada ponto de coleta, no período seco.....	30
Figura 26 - Distribuição espaço-sazonal da turbidez, de acordo com a maré, no período chuvoso.....	31
Figura 27 - Distribuição espaço-sazonal da turbidez, de acordo com a maré, no período intermediário.....	31
Figura 28 - Distribuição espaço-sazonal da turbidez, de acordo com a maré, no período seco.....	32
Figura 29 - Variação da turbidez ao longo do ciclo de maré, em cada ponto de coleta, no período chuvoso.....	32
Figura 30 - Variação da turbidez ao longo do ciclo de maré, em cada ponto de coleta, durante o período intermediário.....	33
Figura 31 - Variação da turbidez ao longo do ciclo de maré, em cada ponto de coleta, durante o período seco.....	33

Figura 32 - Distribuição espaço-sazonal da condutividade elétrica, de acordo com a maré, no período chuvoso.....	34
Figura 33 - Distribuição espaço-sazonal da condutividade elétrica, de acordo com a maré, no período intermediário.....	34
Figura 34 - Distribuição espaço-sazonal da condutividade elétrica, de acordo com a maré, no período seco.....	35
Figura 35 - Variação da condutividade elétrica ao longo do ciclo de maré, em cada ponto de coleta, durante o período chuvoso.....	35
Figura 36 - Variação da condutividade elétrica ao longo do ciclo de maré, em cada ponto de coleta, no período intermediário.....	36
Figura 37 - Variação da condutividade elétrica ao longo do ciclo de maré, em cada ponto de coleta, no período seco.....	36
Figura 38 - Distribuição espaço-sazonal dos sólidos totais dissolvidos, de acordo com a maré, no período chuvoso.....	37
Figura 39 - Distribuição espaço-sazonal dos sólidos totais dissolvidos, de acordo com a maré, no período intermediário.....	38
Figura 40 - Distribuição espaço-sazonal dos sólidos totais dissolvidos, de acordo com a maré, no período seco.....	38
Figura 41 - Variação dos sólidos totais dissolvidos ao longo do ciclo de maré, em cada ponto de coleta, durante o período chuvoso.....	39
Figura 42 - Variação dos sólidos totais dissolvidos ao longo do ciclo de maré, em cada ponto de coleta, durante o período intermediário.....	39
Figura 43 - Variação dos sólidos totais dissolvidos ao longo do ciclo de maré, em cada ponto de coleta, durante o período seco.....	40
Figura 44 - Distribuição espaço-sazonal da salinidade, de acordo com a maré, no período chuvoso.....	41
Figura 45 - Distribuição espaço-sazonal da salinidade, de acordo com a maré, no período intermediário.....	41
Figura 46 - Distribuição espaço-sazonal da salinidade, de acordo com a maré, no período seco.....	42
Figura 47 - Variação da salinidade ao longo do ciclo de maré, em cada ponto de coleta, no período chuvoso.....	42

- Figura 48 - Variação da salinidade ao longo do ciclo de maré, em cada ponto de coleta, no período intermediário..... 43
- Figura 49 - Variação da salinidade ao longo do ciclo de maré, em cada ponto de coleta, no período seco..... 43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Média mensal das vazões da bacia hidrográfica do rio Turiaçu. Fonte: Costa <i>et al.</i> (2011)	8
Tabela 2 - Valores de máximo, mínimo e média dos parâmetros físico-químicos obtidos na montante do estuário do rio Turiaçu (MA)	17
Tabela 3 - Valores de máximo, mínimo e média dos parâmetros físico-químicos obtidos no meio do estuário do rio Turiaçu (MA), no regime de maré de sizígia.....	18
Tabela 4 - Valores de máximo, mínimo e média dos parâmetros físico-químicos obtidos no meio do estuário do rio Turiaçu (MA), no regime de maré de quadratura....	18
Tabela 5 - Valores de máximo, mínimo e média dos parâmetros físico-químicos obtidos na jusante do estuário do rio Turiaçu (MA), no regime de sizígia.....	19
Tabela 6 - Valores de máximo, mínimo e média dos parâmetros físico-químicos obtidos na jusante do estuário do rio Turiaçu (MA), no regime de quadratura.....	19
Tabela 7 - Valores de máximo, mínimo e média dos parâmetros físico-químicos obtidos na Plataforma Continental do Maranhão.....	20

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANOVA – Analysis of Variance

AP – Amapá

APA – Área de Proteção Ambiental

CE – Condutividade Elétrica

CNB – Corrente Norte do Brasil

CO₂ – Dióxido de Carbono

g/L – Grama por Litro

H⁺ - Íons Hidrogênio

MA – Maranhão

MEB – Margem Equatorial Brasileira

mg/L – Miligrama por Litro

mS/cm – Milisiemens por Centímetro

NEB – Nordeste do Brasil

NTU – Nephelometric Turbidity Unit

OD – Oxigênio Dissolvido

PA – Pará

PCE – Plataforma Continental Externa

PCI – Plataforma Continental Interna

PCM – Plataforma Continental do Maranhão

PE – Pernambuco

pH – Potencial Hidrogeniônico

PI – PiauÍ

STD – Sólidos Totais Dissolvidos

ZCIT – Zona de Convergência Intertropical

µm – Micrômetro

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	iv
AGRADECIMENTOS	v
EPIÍGRAFE	vi
RESUMO	vii
ABSTRACT	ix
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	xi
LISTA DE TABELAS	xv
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	xvi
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	3
2.1 OBJETIVO GERAL.....	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
3 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	4
3.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	4
3.2 ESTUÁRIO DO RIO TURIAÇU.....	6
3.2.1 Aspectos gerais	6
3.2.2 Vegetação	6
3.2.3 Clima	7
3.2.4 Hidrodinâmica	8
3.3 PLATAFORMA CONTINENTAL DO MARANHÃO.....	8
3.3.1 Aspectos gerais	8
3.3.2 Clima	9
3.3.3 Geologia	10

4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	11
4.1 TRABALHO DE CAMPO.....	11
4.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS.....	12
5 PARÂMETROS ABIÓTICOS.....	13
5.1 TEMPERATURA.....	13
5.2 pH.....	13
5.3 CONDUTIVIDADE ELÉTRICA.....	14
5.4 TURBIDEZ.....	14
5.5 OXIGÊNIO DISSOLVIDO.....	14
5.6 SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS.....	15
5.7 SALINIDADE.....	15
6 RESULTADOS.....	17
6.1 CONDIÇÕES HIDROLÓGICAS.....	17
6.2 PARÂMETROS ABIÓTICOS.....	17
6.2.1 Temperatura.....	20
6.2.2 pH.....	23
6.2.3 Oxigênio dissolvido (OD)	27
6.2.4 Turbidez.....	30
6.2.5 Condutividade elétrica (CE)	33
6.2.6 Sólidos totais dissolvidos (STD)	36
6.2.7 Salinidade.....	40
7 DISCUSSÃO.....	44
8 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	49
REFERÊNCIAS.....	50

APÊNDICES	56
APÊNDICE A - Valores de média \pm desvio padrão dos parâmetros de todas as amostras de água coletada de todos os pontos durante os períodos sazonais estudados.....	57
APÊNDICE B - Matriz da correlação de Pearson para aos parâmetros físico-químicos do estuário do rio Turiaçu até a quebra da plataforma continental, no período chuvoso.....	58
APÊNDICE C - Matriz da correlação de Pearson para os parâmetros físico-químicos do estuário do rio Turiaçu até a quebra da plataforma continental, no período intermediário.....	59
APÊNDICE D - Matriz da correlação de Pearson para os parâmetros físico-químicos do estuário do rio Turiaçu até a quebra da plataforma continental, no período seco.....	60

1 INTRODUÇÃO

A Margem Equatorial Brasileira (MEB), situada na região Norte-Nordeste do Brasil, possui 344.000 km² de águas rasas com profundidade até 250 metros e 200.000 km² de águas profundas com 250 a 3000 metros de profundidade (Favera *et al.* 2013). Ela é muito importante ecologicamente por abrigar dezenas de estuários, ilhas costeiras e a maior extensão de manguezais do mundo além de ser economicamente interessante para a exploração de petróleo e gás natural (Favera *et al.* 2013, Souza-Filho *et al.* 2005).

Inserida na MEB, encontra-se a Plataforma Continental do Maranhão que possui um litoral adjacente bem variado. Em sua direção noroeste, o litoral é recortado por inúmeras “falsas rias”, também denominadas de Reentrâncias Maranhenses; a leste, o litoral é linear com campos de dunas e entre estes dois trechos ocorre o Golfão Maranhense (Baía de São Marcos) largamente aberto (100 km) para o Oceano Atlântico (Pontes & El-Robrini 2008).

Nas Reentrâncias Maranhenses está situado o estuário do rio Turiaçu, localizado no estado do Maranhão (Nordeste do Brasil), que possui uma das maiores amplitudes de maré (médias de 4,4 m e máxima de 7 m). Nessa área, por esse motivo, tem despertado interesse para instalação de uma usina maremotriz, uma vez que segundo estimativas seu potencial energético é superior a 3,4 GW (Leite Neto *et al.* 2009).

Os estuários apresentam grande potencial para o crescimento econômico, pois são locais ideais para instalação de portos uma vez que possuem via de acesso direto do oceano para o continente. Esses ecossistemas são altamente férteis já que apresentam alta quantidade de matéria orgânica e nutrientes, além do fato de suas águas serem constantemente renovadas devido à influência da oscilação da maré. Devido à expansão populacional nos últimos anos ser mais em cidades próximas aos estuários, a influência antrópica tem comprometido o desenvolvimento sustentável desses ambientes (Miranda *et al.* 2002).

A utilização de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos é importante por refletir características do ambiente aquático, além de fornecer informações sobre o grau de influência antrópica (Queiroz *et al.* 2003). Dionne (1963), por exemplo, levou em consideração a influência dos ventos, das correntes de maré e da descarga fluvial nos ambientes estuarinos, sendo isso refletido nas características hidrológicas desses ambientes. Os estuários apresentam certa heterogeneidade em relação às variações dos fatores físico-químicos, pois são influenciados tanto pelo rio quanto pelo mar e pela climatologia local, o que acarreta em flutuações nos parâmetros hidrológicos e biológicos (Grego *et al.* 2004).

A área de estudo desse trabalho ainda é pouco impactada, servindo de parâmetro para comparação com ambientes semelhantes a ela que podem ser influenciados não somente pela atividade antrópica, como também pela variação da maré, sazonalidade e descarga fluvial. Além disso, estudos como o de Pontes e El- Robrini (2008) e Leite Neto *et al.* (2009) são um dos poucos realizados nessa região. Por isso, esse trabalho contribui para o aumento do conhecimento científico do local, especificamente para a área da oceanografia física e química.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

- Avaliar a variabilidade de parâmetros físico-químicos em um trecho da Margem Equatorial Brasileira, desde o estuário do rio Turiaçu (MA) até a quebra da Plataforma Continental do Maranhão.

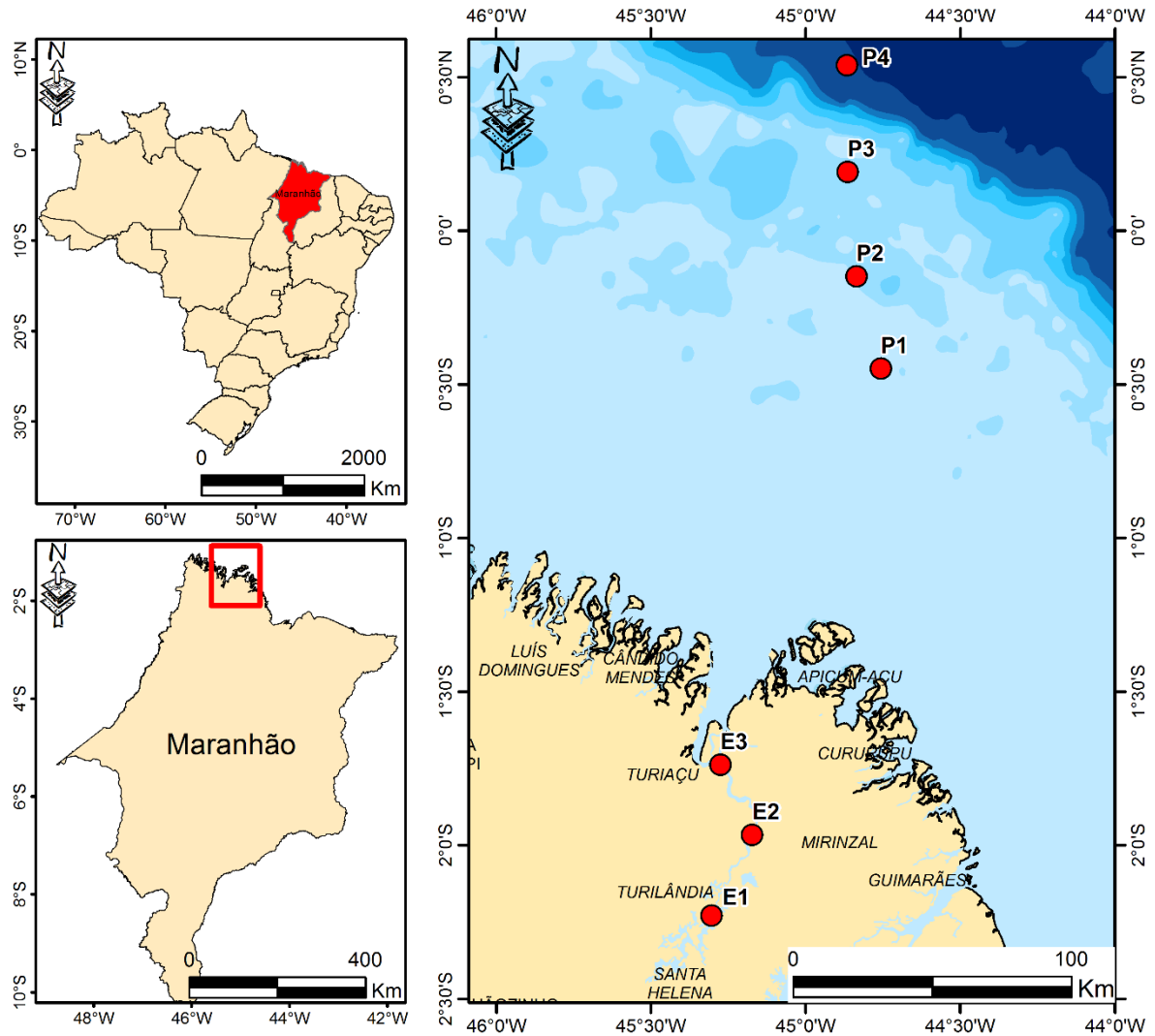
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar os parâmetros físico-químicos estudados (temperatura, pH, oxigênio dissolvido, turbidez, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos e salinidade) em amostras de água superficial do estuário e da plataforma;
- Avaliar a variação espacial e sazonal dos parâmetros físico-químicos na área de estudo;
- Investigar a influência da maré sobre as variáveis físico-químicas estudadas;
- Ampliar a base de dados hidrológicos da região investigada em questão.

3 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo consiste no estuário do rio Turiaçu, localizado na região costeira ocidental do estado do Maranhão, nordeste do Brasil, e na Plataforma Continental do Maranhão (PCM), adjacente à região costeira amazônica (Figura 1).



Legenda

● Pontos de Coleta	Batimetria (m)	100 - 500 m	1500 - 2000 m
	0 - 50 m	500 - 1000 m	2000 - 3000 m
	50 - 100 m	1000 - 1500 m	> 3000 m

Figura 1 - Localização da área de estudo e pontos de coleta. Fonte: Da autora.

No presente trabalho, foram coletadas amostras de água superficial em 7 pontos distribuídos da seguinte maneira: 3 pontos localizados no estuário do rio Turiaçu. 3 pontos na

plataforma continental e 1 na quebra da plataforma. As coordenadas, referências e pontos de amostragem estão representados a seguir.

- ❖ Estuário do rio Turiaçu:
- ✓ E1: localizado no alto estuário, em frente aos municípios de Santa Helena e Turilândia, com as coordenadas $2^{\circ}13.730'S$ e $45^{\circ}18.221'O$ (Figura 2);



Figura 2 - Local do Ponto E1, sendo A, em um momento de céu limpo e B no momento de precipitação. Fonte: Da autora.

- ✓ E2: localizado no médio estuário, com as coordenadas $1^{\circ}57.996'S$ e $45^{\circ}10.354'O$ (Figura 3);

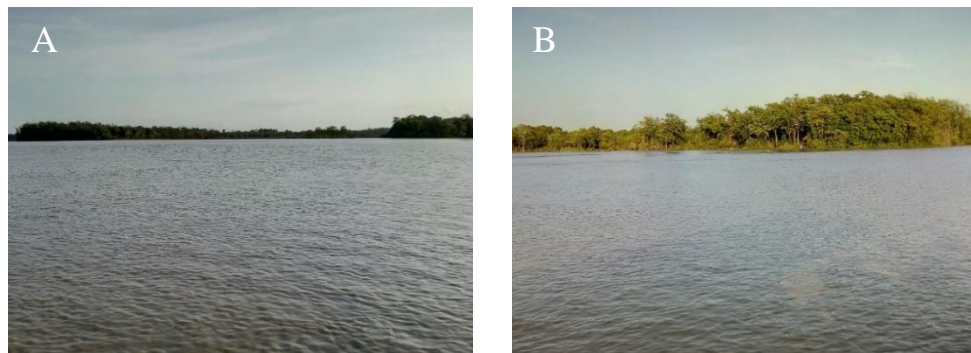


Figura 3 - Local do Ponto E2 (A e B). Fonte: Da autora

- ✓ E3: localizado baixo estuário, na foz do rio Turiaçu, com as coordenadas $1^{\circ}44.253'S$ e $45^{\circ}16.505'O$ (Figura 4).



Figura 4 - Local do Ponto E3, sendo A, margem esquerda, e B a direita. Fonte: Da autora.

- ❖ Plataforma continental:
 - ✓ P1: 0°26.881'S e 44°45.357'O;
 - ✓ P2: 0°26.881'S e 44°45.357'O;
 - ✓ P3: 0°11.498'N e 44°51.831'O.
- ❖ Quebra da plataforma:
 - ✓ P4: 0°32.304'N e 44°51.990'O.

3.2 ESTUÁRIO DO RIO TURIANÇA

3.2.1 Aspectos Gerais

A bacia hidrográfica do rio Turiaçu possui uma área igual a 14.131,6 km², corresponde até a 4,31% da área estadual do Maranhão (IBAMA 2006). A Baía de Turiaçu se localiza no litoral ocidental do Maranhão, entre as latitudes 01°20' - 1°45' S e longitudes 45°10' - 45°20' O, possuindo em sua foz uma das maiores entradas da costa leste do estado do Maranhão com uma área de superfície 900 km² (Mochel & Ponzoni 2007). O estuário do rio Turiaçu possui 107 km de comprimento e área total de 1171 km² (Lessa *et al.* 2018). O seu curso é de 720 km, predominantemente sinuoso, favorecendo a formação de lagos em suas adjacências com grande piscosidade (Marques *et al.* 2010)

Os solos aluviários de origem geológica recente, são representados essencialmente, por areias médias, com intercalações de silte e argila, principalmente nas planícies de inundação do rio Turiaçu, conferindo grande fertilidade e riqueza biológica, sobretudo da fauna ictiológica (Ibañez 1999, Marques *et al.* 2010). Além disso, há predominância de matas de galeria adaptadas aos frequentes alagamentos causados pelo rio Turiaçu (Lopes 1970).

3.2.2 Vegetação

O rio Turiaçu pertence a Área de Proteção Ambiental (APA) Reentrâncias Maranhenses. Essa APA se estende da baía de Marajó (PA) até a baía de São José, sendo a mais extensa planície de maré contínua do mundo, atingindo 650 km de extensão e 7500 km² de área, correspondendo a mais da metade de toda extensão de manguezais do Brasil (Souza- Filho 2005).

A vegetação do estuário do rio Turiaçu é caracterizada por ser predominantemente de manguezais, importantes berçários de espécies de peixes, crustáceos, moluscos e pássaros, além

de serem explorados economicamente devido a retirada de madeira para construção de casas, barcos e produção de carvão (Ribeiro *et al.* 2012). Além disso, a vegetação de manguezais dessa APA não somente cobre as margens da baía de Turiaçu, como também de riachos e de igarapés totalizando em uma área de aproximadamente 400 km² (Mochel & Ponzoni 2007).

Há ocorrência dos campos do litoral maranhense que bordejam os manguezais presentes na área do estuário do rio Turiaçu. Esses campos são mais conhecidos como “baixada maranhense”, caracterizados por uma fisionomia graminóide-herbácea nas áreas úmidas e alagadas e na periferia dos cursos d’água e brejos com predominância de gramíneas (El-Robrini *et al.* 2006).

3.2.3 Clima

Melo *et al.* (2009) ressalta que, no nordeste do Brasil (NEB), o Maranhão é um dos estados nordestinos que mais recebe a influência da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), organizada sobre o Atlântico Equatorial. Segundo essa e seus colaboradores, no norte e centro do estado que esse comportamento é perceptível, consequentemente, influenciando os máximos da precipitação pluviométrica que ocorrerem de março a abril nessa região, pois esse sistema é mais regular.

O município de Turiaçu, localizado ao norte do Maranhão, é submetido à estação chuvosa durante seis meses, de janeiro a junho, sempre com médias pluviométricas mensais superiores a 200 mm. O trimestre mais chuvoso ocorre de fevereiro a abril, sendo março o mais chuvoso de todos com média de 430 mm. Em julho, ocorre o período transicional entre essa estação para o período mais seco. A estiagem ocorre entre agosto e novembro com média pluviométrica mensal de 27,72 mm em todo o período. Em dezembro, novamente ocorre o período transicional para a próxima estação (BIOMAR 2012). A precipitação média anual dessa região é de 2.000 mm, com o máximo de 500 mm em março e mínimo de 14 mm em setembro-novembro (Mochel & Ponzoni 2007).

A cidade de Turiaçu apresenta temperatura média mensal do ar sempre superior a 25,5°C. As maiores médias ocorrem de setembro a dezembro, com temperatura média de 26,9°C nesse período. As menores temperaturas já ocorrem no período de fevereiro a julho, com uma temperatura média para o período de 25,9°C (BIOMAR 2012).

3.2.4 Hidrodinâmica

Segundo a FEMAR (1997), as médias das preamares de sizígia (MHWS) e as médias das preamares de quadratura (MHWN) na baía de Turiaçu são respectivamente, 6,65 m e 5,24 m. Segundo a classificação de Davies (1964), o estuário do rio Turiaçu é classificado como de macromaré.

Lessa *et al.* (2018) afirma que a descarga fluvial média do rio Turiaçu é 290,1 m³/s. Sua vazão varia com o comportamento das chuvas, apresentando o princípio de aumento da sua vazão no mês de dezembro com 7,37 m³/s e finalizando no mês de maio com 122 m³/s, além de seus máximos ocorrerem nos meses de março e abril sendo superiores a 140 m³/s e mínimos com vazão abaixo de 5 m³/s a partir de outubro (Costa *et al.* 2011) (Tabela 1).

Tabela 1. Média mensal das vazões da bacia hidrográfica do rio Turiaçu. Fonte: Costa *et al.* (2011).

Meses	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Média	29,5	65,45	108,4	140,4	121,6	58,95	30,4	16,83	9,425	6,48	5,735	7,37
Máxima	64,3	117,5	164	187,2	171	97,35	50,2	26,6	13,75	9,58	10,06	19,58
Mínima	10,01	28,23	65,15	96,3	73,65	34,85	20,31	11,3	6,695	4,67	3,593	3,457

MA: Média aritmética das vazões (série anual) = 50,04 m³/s

MTSM: Média do trimestre mais seco (agosto a outubro) = 6,53 m³/s

MTC: Média do trimestre de cheia (março a maio) = 123,47 m³/s

3.3 PLATAFORMA CONTINENTAL DO MARANHÃO (PCM)

3.3.1 Aspectos gerais

A Plataforma Continental do Maranhão (PCM) se situa próxima à região costeira do litoral amazônico, esta importante para a ocorrência de boa parte do transporte de calor e massa entre os hemisférios (Silva *et al.* 2007, Stramma *et al.* 2003, 2005, Stramma & Schott 1999).

A PCM possui características peculiares que a distingue das demais plataformas da Margem Continental Brasileira sendo elas as seguintes: sua geomorfologia que propicia a acumulação de minerais pesados; sua extensa faixa carbonática; os rios que percolam áreas de rochas antigas e nela desaguam trazendo materiais de interesse econômico; sua exuberante e diversificada fauna; sua dinâmica com as maiores amplitudes de maré da costa brasileira e a única possibilidade de geração de energia maremotriz; e plataforma rasa, fato este torna viável a exploração de seus bens minerais (Gualberto & El-Robrini 2005).

Ela possui processos hidrodinâmicos complexos resultantes da ação de ventos, de correntes e da descarga fluvial com alta concentração de solutos e material particulado em suspensão (Nittrouer & DeMaster 1996, Smith & Demaster 1996). A circulação de meso-escala nessa região é fortemente influenciada pela Corrente Norte do Brasil (CNB), diretamente afetada pelo espalhamento da pluma do Rio Amazonas (Nikiema *et al.* 2007).

A dinâmica dos fatores físico-químicos que regulam os processos oceanográficos na PCM não são tão conhecidos, especialmente aqueles relacionados a eventos de micro e meso-escala controlados pela descarga fluvial, energia das ondas, ventos alísios, padrões de macromarés e ZCIT (Castro *et al.* 2018).

3.3.2 Clima

A Plataforma Continental do Maranhão (PCM) se encontra na região atlântica equatorial que segundo Silva *et al.* (2007), está sob a influência da variabilidade espaço-temporal da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Conseqüentemente, pode-se verificar que durante os meses de janeiro a junho (inverno austral) são observadas chuvas mais fortes e com maior frequência na região Amazônica, justamente quando a ZCIT se encontra mais ao sul alcançando a área costeira e oceânica próximas ao equador. Entretanto, durante os meses de setembro a novembro (verão austral) ocorrem as menores taxas de precipitações, coincidentemente quando a ZCIT se encontra mais ao norte (Silva 2006). Essa migração da ZCIT reflete também no comportamento e na posição das correntes superficiais (Stramma & Scott 1999).

Associado com a migração da ZCIT, a ação do cisalhamento eólico é forte na PCM de janeiro até julho, com ventos fluindo de nordeste incidindo quase que perpendicularmente à costa atingindo uma velocidade máxima em média de 10 m/s. Nos meses de outubro a dezembro, estes ventos são menos intensos e sopram preferencialmente do quadrante leste a sudeste (Geyer *et al.* 1996, Silva 2006).

Silva *et al.* (2007) coletou informações sobre a intensidade e direção dos ventos no mês de novembro/1997 e junho/1999. Na região do PCM, em novembro/1997, os ventos atuantes provêm dos quadrantes Nordeste e Sudeste, com intensidade média em torno de 5,5 m/s. Em junho/1999, as direções preponderantes dos ventos eram de Nordeste, com intensidade média de 6,4 m/s.

3.3.3 Geologia

A Plataforma Continental do Maranhão possui uma superfície de 55.7 km² e está compartimentada entre a foz dos rios Gurupi e Parnaíba, limitada “offshore” pela isóbata de 80 m (Gualberto & El-Robrini 2005).

A Plataforma Continental Interna (PCI) do Maranhão é limitada pela isóbata de 40 m e possui um relevo complexo, típico de áreas com elevada energia de maré, onde ocorrem pequenas irregularidades devido à presença de canais e ondulações, e também é conhecida pela Depressão Maranhense. A Plataforma Continental Média (PCM) é uma área com maior inclinação situada entre a isóbata de 40 e 60 m, sendo marcada por uma série de feições erosivas, além de apresentar um dos maiores bancos de corais da América do Sul: o Parcel Manuel Luís (Gualberto & El-Robrini 2005). A Plataforma Continental Externa (PCE) está compartimentada entre a isóbata de 60 e 80 m, apresenta morfologia irregular que sugere uma natureza carbonática, provavelmente uma formação de bancos de algas paralelos à quebra do talude, onde ocorre uma série de reentrâncias, configurando pequenos canais de relevo irregular (Amaral 1998).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 TRABALHO DE CAMPO

Foram realizadas coletas de amostras hidrológicas (água superficial) em janeiro/2018, julho/2018 e outubro/2018, correspondendo respectivamente aos períodos chuvoso, intermediário e seco. Os parâmetros físico-químicos foram aferidos *in situ*, com a sonda multiparâmetros HORIBA modelo U-50 (Figura 5). Após a estabilização do aparelho, os dados foram devidamente anotados em planilha e salvos no próprio equipamento.

As amostragens realizadas no estuário duraram um ciclo de maré semidiurno (~13 hrs), com periodicidade de 30 em 30 minutos, para assim relacionar os valores dos parâmetros com as fases da maré (enchente, preamar, vazante e baixa-mar). Além do mais, as amostras foram coletadas tanto nos regimes de maré de sizígia quanto de quadratura. Entretanto, a montante, no regime de maré de quadratura e o meio do estuário, no período chuvoso, não ocorreram coletas na quadratura devido, respectivamente, às questões logísticas do projeto e ao não funcionamento do aparelho. Como não ocorre a influência da maré na plataforma continental até sua quebra, as coletas foram de forma instantânea.



Figura 5. Sonda multiparâmetros HORIBA U-50 (A) e sua utilização no momento da coleta dos dados dos parâmetros físico-químicos (B). Fonte: (A) *Horiba Group* e (B) da autora.

Como não há estação maregráfica na área de estudo, as variações do nível de maré foram medidas utilizando um sensor de pressão da marca *Hobo* (Figura 6). Ele foi fundeado durante um ciclo de maré, sendo obtidos os dados com frequência de 15 minutos.



Figura 6. Sensor de pressão utilizado para a medição do nível de maré. Fonte: *Direct Industry*.

4.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

Os dados obtidos dos parâmetros físico-químicos foram expressos estatisticamente como máximo, mínimo, média e desvio padrão, sendo apresentados em gráficos e tabelas. Esse método serviu para verificação de possíveis variações espaciais e também com relação a maré.

Para verificar as correlações positivas e negativas entre os parâmetros, foi utilizada a correlação de *Pearson*. Quanto à verificação de variações espaciais (distância da costa) e temporais (períodos de coleta), empregou-se a *ANOVA two-way*, considerando espaço e período como fatores independentes dos dados de cada parâmetro abiótico estudado. O teste *a posteriori* de Tukey foi aplicado quando houve diferenças significativas entre as médias dos dados ($p < 0,05$).

5 PARÂMETROS ABIÓTICOS

5.1 TEMPERATURA

A temperatura é uma característica física da água que consiste na medição do grau de agitação das partículas de um corpo, caracterizando o seu estado térmico. Esse parâmetro é importante pois quando há o aumento dos seus valores, aumentam as taxas das reações físicas, químicas e biológicas, diminui a solubilidade dos gases e aumenta a taxa de transferência dos gases (Von Spearling 2005).

Segundo Carmo (2014), esse parâmetro é de suma importância pois além de servir ao cálculo de algumas variáveis, como pressão atmosférica, umidade relativa do ar, serve também para obtenção de dados da alcalinidade, salinidade, pH, saturação de oxigênio dissolvido e na toxicidade de elementos e substâncias. A temperatura, nas águas estuarinas, função das condições meteorológicas e da profundidade do estuário, constituindo um fator controlador para a vida e para os processos químicos que se realizam no ambiente aquático (Cunha 1982, Monteiro 2006). Além do mais, esse parâmetro possui importância biológica pois é importante para a dinâmica das comunidades aquáticas em função da sucessão de organismos (Boney 1989).

5.2 pH

O potencial hidrogeniônico (pH) é relacionado à concentração de íons H^+ (em escala logarítmica) quanto à presença de íons OH^- no ambiente. Seus valores são expressos em uma escala de 0 a 14, podendo assim verificar a basicidade (valores superiores a 7) ou acidez (valores abaixo de 7) de um determinado ambiente aquático.

É uma das variáveis ambientais mais importantes, entretanto, ao mesmo tempo é uma das mais difíceis de serem interpretadas devido aos diversos fatores que a influenciam (Esteves 1998). Nos estuários, alguns dos fatores que podem ocasionar nas variações do pH são as atividades fotossintéticas/respiração dos organismos, a dissolução das rochas (intemperismo químico), absorção dos gases da atmosfera, oxidação da matéria orgânica e as variações induzidas pelas marés (Baumgarten & Pozza, 2001, Monteiro 2009). Se os seus valores estiverem afastados da neutralidade, pode afetar a vida aquática e os microorganismos responsáveis pelo tratamento biológico dos esgotos (Von Spearling 2005).

5.3 CONDUTIVIDADE ELÉTRICA

A condutividade elétrica é a medição da facilidade de a água conduzir corrente elétrica, e essa propriedade está diretamente ligado com o teor de sais dissolvidos. Esse parâmetro é determinado pela presença de substâncias dissolvidas que se dissociam em ânions e cátions, sendo principalmente pertencentes aos elementos maiores na água (Carmo 2014, Monteiro 2009).

É uma das variáveis mais importantes para o ambiente aquático, pois fornece informações sobre o metabolismo aquático e sobre os fenômenos que ocorrem na sua bacia. Assim, é possível detectar de possíveis impactos ambientais ocasionados pelo lançamento de resíduos industriais em um curso d'água (Monteiro 2009).

5.4 TURBIDEZ

A turbidez é o grau de atenuação de intensidade que um feixe de luz sofre ao atravessar certa quantidade de água, conferindo-lhe uma aparência turva (Junior & Cruz 2012). Esse parâmetro é a medida da capacidade da dispersão da radiação e a sua ocorrência está associada à presença de partículas de rocha, argila e silte, ou mesmo algas ou microorganismos (Esteves 1998, Vasco *et al.* 2010).

Nos estuários, especificamente nos amazônicos, a penetração da luz depende da turbidez da água, que é influenciada pela natureza geológica da bacia de drenagem, intemperismo químico dos solos expostos erodíveis ou agricultados, o fluxo dos rios, transporte de mar aberto e pela própria mistura do ambiente (Brigante *et al.* 2003, Monteiro 2006, Tundisi 1970).

5.5 OXIGÊNIO DISSOLVIDO (OD)

O oxigênio dissolvido é o mais importante indicador de qualidade ambiental, uma vez que é indispensável à manutenção dos processos vitais dos animais além de ser o principal parâmetro de caracterização dos efeitos da poluição de águas naturais por despejos orgânicos (Santos *et al.* 2009, Von Sperling 2005). As principais fontes de oxigênio para a água são a atmosfera e a fotossíntese enquanto que o sumidouro seria pela decomposição da matéria orgânica (oxidação), perdas para a atmosfera, respiração dos organismos aquáticos e oxidação dos íons metálicos (ferro e manganês, por exemplo) (Esteves 1998).

A solubilidade do oxigênio depende de três fatores: temperatura, pressão e salinidade (Esteves 1998). Na superfície da água, sua concentração é maior devido ao seu contato com a atmosfera, à fotossíntese e aos processos físicos (Baumgarten *et al.* 1996). Porém, ao longo da coluna d'água, os teores de oxigênio dissolvido diminuem devido a vários fatores como decomposição da matéria orgânica, oxidação de sulfetos, processos de nitrificação e respiração dos organismos (Monteiro 2009).

5.6 SÓLIDOS TOTAIS DISSOLVIDOS (STD)

Parron *et al.* (2011) definem sólidos totais dissolvidos como a soma de todos os constituintes químicos minerais dissolvidos na água. É composto por íons orgânicos e/ou inorgânicos e analiticamente, são partículas de diâmetro inferior a $1,2\mu\text{m}$ (CETESB 1992, Sampaio *et al.* 2007).

A concentração de STD na água indica a quantidade de luz que pode penetrar na água e indica a quantidade do material dissolvido que é transportado em suspensão pela água e pode ser eventualmente sedimentar no estuário (Cheshire *et al.* 1985, Monteiro 2006, Sabri, 1977). Aplicando para a determinação da qualidade de água, os STD indicam qualidade estética da água e presença de produtos químicos contaminantes e em alta concentração na água, que podem ser prejudiciais à vida aquática (Parron *et al.* 2011).

5.7 SALINIDADE

A salinidade é a concentração total, ou o peso total em gramas, de todos os sais inorgânicos dissolvidos, quando todos os brometos e iodetos são trocados por uma quantidade equivalente de óxidos, e matéria oxidada, em um quilograma de água (Chester 1990, Millero 1996, Silva 2004, Stumm 1981).

Segundo Fairbridge (1980), a salinidade tem importância para a delimitação dos limites de um estuário. Seu gradiente ao longo do estuário depende da amplitude de maré na embocadura e da descarga fluvial nas cabeceiras (McLusky & Elliot, 2004). Dependendo da posição e intensidade desse gradiente, ele pode afetar diretamente a ocorrência e a densidade das populações das espécies estuarinas que possuem uma faixa de tolerância salina (Attrill & Rundle 2002). Esse parâmetro afeta processos físico-químicos dos estuários como floculação e

deposição dos sedimentos ou especiação e toxicidade dos metais dissolvidos (Laing *et al.* 2009, Postma 1967).

Nos estuários, a pluviometria, a evaporação, a drenagem terrestre e o grau de mistura entre a água fluvial e costeira influenciam a amplitude e o gradiente salino (Moura 1992). Além disso, grande parte da energia de mistura da água estuarina é originada principalmente pelas correntes de maré que atuam juntamente com a vazão do rio e a ação dos ventos (Moreira 1994).

6 RESULTADOS

6.1 CONDIÇÕES HIDROLÓGICAS

A precipitação pluviométrica mensal para o período amostral está representada na Figura 7. De janeiro até julho, os valores apresentaram médias superiores a 100 mm, sendo a máxima alcançada no mês de abril (644 mm). De agosto a outubro, as médias não alcançaram mais de 50 mm, sendo a mínima detectada no mês de setembro com 4 mm.

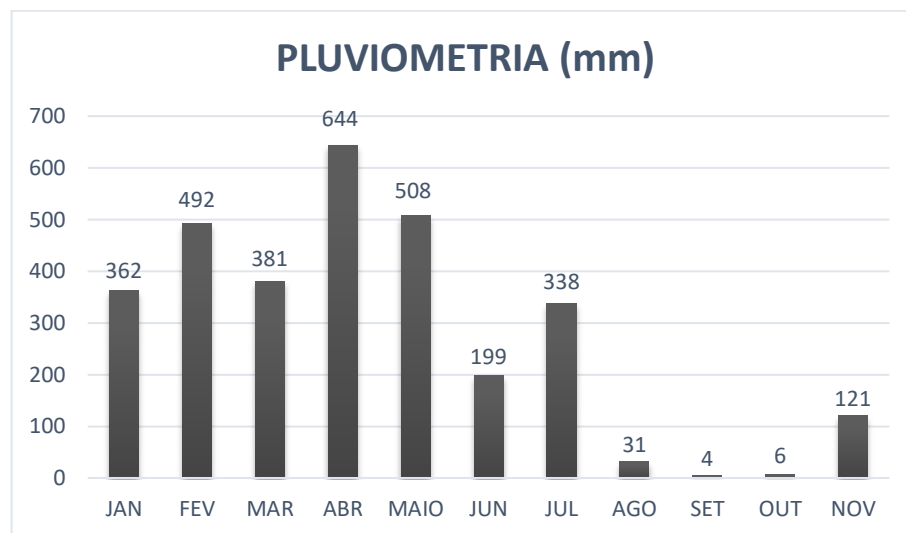


Figura 7. Precipitação pluviométrica média mensal no ano de 2018 na cidade de Turiçu, Maranhão, Brasil (Fonte: INMET, 2018).

6.2. PARÂMETROS ABIÓTICOS

Os resultados obtidos estatisticamente dos parâmetros abióticos, nos pontos de coleta em cada um dos períodos estão sumarizados nas tabelas 2, 3, 4, 5, 6 e 7.

Tabela 2. Valores de máximo, mínimo e média dos parâmetros físico-químicos obtidos na montante do estuário do rio Turiçu (MA).

MONTANTE (SIZÍGIA)									
PERÍODO	CHUVOSO			INTERMEDIÁRIO			SECO		
PARÂMETRO	MÉD.	MÁX.	MÍN.	MÉD.	MÁX.	MÍN.	MÉD.	MÁX.	MÍN.
TEMP. (C°)	28,5	29,7	27,7	29,6	32,4	28,4	29,2	30,5	27,1
pH	6,75	7,49	6,36	6,42	7,28	5,93	6,8	8,05	6,46
CE (mS/cm)	0,08	0,11	0,08	0,04	0,04	0,04	0,23	1,19	0,18
TURB. (NTU)	203	233	188	12,4	14,9	10,7	652	819	495
OD (mg/L)	4,04	5,56	3,27	3,99	9,93	2,57	3,10	3,74	2,15
STD (g/L)	0,052	0,069	0,049	0,026	0,027	0,025	0,123	0,158	0,118
SALINIDADE	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	0,1

Tabela 3. Valores de máximo, mínimo e média dos parâmetros físico-químicos obtidos no meio do estuário do rio Turiacu (MA), no regime de maré de sizígia.

MEIO (SIZÍGIA)						
PERÍODO	INTERMEDIÁRIO			SECO		
PARÂMETRO	MÉD.	MÁX.	MÍN.	MÉD.	MÁX.	MÍN.
TEMP. (C°)	29,3	29,7	28,9	29,9	30,2	29,2
pH	6,9	8,49	5,24	7,94	8,96	7,49
CE (mS/cm)	0,49	1,45	0,06	39,1	42,5	32,1
TURB. (NTU)	491	>1000 (ND)*	35	642	>1000 (ND)*	50
OD (mg/L)	2,10	4,03	1,13	2,77	6,69	1,91
STD (g/L)	0,31	0,93	0,04	23,9	26	19,6
SALINIDADE	0,2	0,7	0,0	24,9	27,3	20,0

*ND – Acima da faixa de detecção do equipamento

Tabela 4. Valores de máximo, mínimo e média dos parâmetros físico-químicos obtidos no meio do estuário do rio Turiacu (MA), no regime de maré de quadratura.

MEIO (QUADRATURA)									
PERÍODO	CHUVOSO			INTERMEDIÁRIO			SECO		
PARÂMETRO	MÉD.	MÁX.	MÍN.	MÉD.	MÁX.	MÍN.	MÉD.	MÁX.	MÍN.
TEMP. (C°)	28,6	30,2	28,2	30,1	31,1	29,5	29,6	30,6	28,3
pH	7,51	7,95	5,24	6,78	7,34	6,48	7,63	7,95	7,23
CE (mS/cm)	31,2	44,1	16,1	0,11	0,31	0,06	35,1	40,0	25,7
TURB. (NTU)	668	>1000 (ND)*	93	105	335	25	509	>1000 (ND)*	0
OD (mg/L)	3,19	5,10	1,70	2,30	3,91	1,64	3,12	5,04	2,09
STD (g/L)	19,1	26,9	10,0	0,1	0,2	0,04	46,9	78,3	24,5
SALINIDADE	19,6	28,4	9,4	0,0	0,1	0,0	22,1	25,7	15,7

*ND – Acima da faixa de detecção do equipamento

Tabela 5. Valores de máximo, mínimo e média dos parâmetros físico-químicos obtidos na jusante do estuário do rio Turiaçu (MA), no regime de sizígia.

JUSANTE (SIZÍGIA)									
PERÍODO	CHUVOSO			INTERMEDIÁRIO			SECO		
PARÂMETRO	MÉD.	MÁX.	MÍN.	MÉD.	MÁX.	MÍN.	MÉD.	MÁX.	MÍN.
TEMP. (C°)	28,1	28,6	27,1	29,0	29,6	28,6	29,7	30,1	29,3
pH	7,82	7,86	7,78	8,74	9,11	8,28	8,1	8,31	8,01
CE (mS/cm)	53,4	56,8	52,3	14,9	21,1	8,6	47,1	48,6	45,6
TURB. (NTU)	759	>1000 (ND)*	125	189	>1000 (ND)*	18	590	>1000 (ND)*	45
OD (mg/L)	4,46	10,57	2,68	1,25	4,98	0,26	2,88	3,42	2,25
STD (g/L)	32,1	34,5	31,4	9,2	13,1	5,4	28,7	29,6	31,7
SALINIDADE	35,2	37,1	34,4	8,6	12,6	4,8	30,6	31,7	29,5

*ND – Acima da faixa de detecção do equipamento

Tabela 6. Valores de máximo, mínimo e média dos parâmetros físico-químicos obtidos na jusante do estuário do rio Turiaçu (MA), no regime de quadratura.

JUSANTE (QUADRATURA)									
PERÍODO	CHUVOSO			INTERMEDIÁRIO			SECO		
PARÂMETRO	MÉD.	MÁX.	MÍN.	MÉD.	MÁX.	MÍN.	MÉD.	MÁX.	MÍN.
TEMP. (C°)	28,1	28,6	27,6	29,2	29,9	28,6	29,7	30,9	29,3
pH	7,90	7,98	7,84	7,82	8,15	7,63	7,83	8,11	5,4
CE (mS/cm)	54,3	56,2	53,3	16,2	22,1	9,89	46,5	47,7	45,3
TURB. (NTU)	576	1000	77	157	>1000 (ND)*	22	208	877	34
OD (mg/L)	3,32	4,97	2,53	1,24	4,82	0,49	2,66	4,09	2,08
STD (g/L)	32,6	33,7	32,0	10,0	13,7	6,3	28,4	29,1	27,6
SALINIDADE	35,9	37,3	35,2	9,5	13,3	5,6	30,2	31,1	29,3

*ND – Acima da faixa de detecção do equipamento

Tabela 7. Valores de máximo, mínimo e média dos parâmetros físico-químicos obtidos na Plataforma Continental do Maranhão.

PLATAFORMA (P1, P2, P3 E P4)									
PERÍODO	CHUVOSO			INTERMEDIÁRIO			SECO		
PARÂMETRO	MÉD.	MÁX.	MÍN.	MÉD.	MÁX.	MÍN.	MÉD.	MÁX.	MÍN.
TEMP. (C°)	27,7	28,1	27,2	27,7	28,0	27,4	28,5	28,8	28,2
pH	8,48	8,78	8,18	8,58	8,83	8,34	8,70	8,96	8,44
CE (mS/cm)	56,4	57,2	55,6	51,3	52,1	50,8	51,2	51,3	51,0
TURB. (NTU)	1,7	3,4	0,0	1,3	2,3	0,2	2,5	2,7	2,4
OD (mg/L)	3,34	5,06	1,82	4,71	5,60	3,48	3,89	4,59	3,30
STD (g/L)	33,9	34,3	33,4	30,8	31,2	30,5	30,7	30,8	30,6
SALINIDADE	37,5	38,1	36,9	33,9	34,3	33,6	33,6	33,7	33,5

6.2.1 Temperatura

Os valores de temperatura variaram de 27,1°C a 32,4°C refletindo a característica equatorial da região, além da variação dos níveis de incidência solar ao longo do ano. No quesito sazonal, durante o período seco foram observados os maiores valores, enquanto que no chuvoso os menores. Na plataforma foi onde os menores registros foram observados, com valor igual a 27,7°C, enquanto que os maiores ocorreram no estuário (E2), com 30,1°C. A distribuição espaço-sazonal e de acordo com o regime de maré, da temperatura são mostrados nas Figuras 8, 9 e 7.

Em termos estatísticos, segundo o ANOVA, a temperatura apresentou diferenças significativas tanto em relação a sazonalidade ($F = 9,96$; $p < 0,05$) quanto espacialmente ($F = 8,86$; $p < 0,05$). Quanto a correlação de Pearson, no período seco, houve correlação negativa muito forte entre T e oxigênio dissolvido ($r = -0,99$).

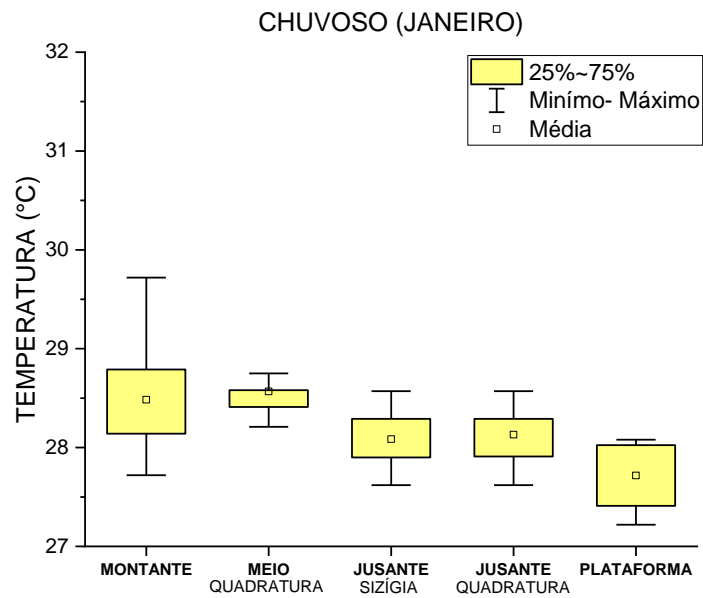


Figura 8. Distribuição espaço-sazonal da temperatura, de acordo com a maré, no período chuvoso.

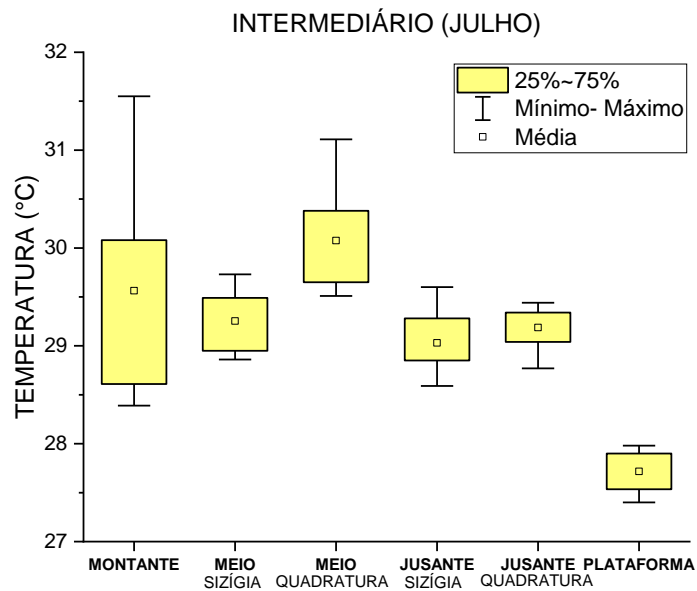


Figura 9. Distribuição espaço-sazonal da temperatura, de acordo com a maré, no período intermediário.

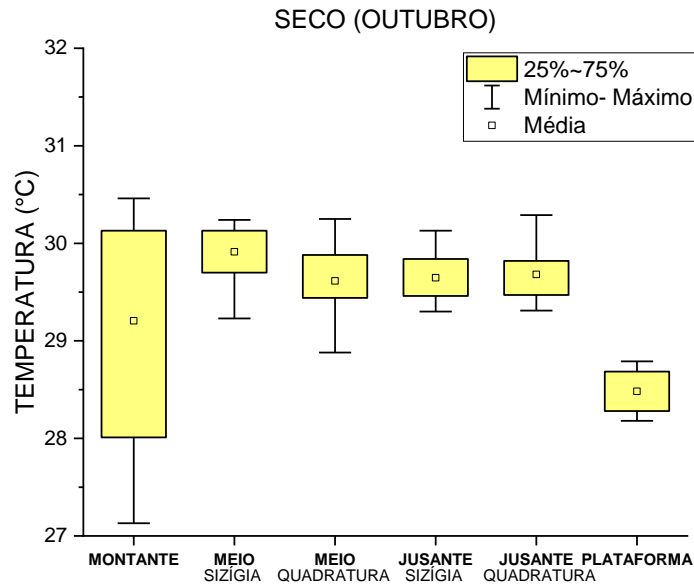


Figura 10. Distribuição espaço-sazonal da temperatura, de acordo com a maré, no período seco.

As variações dos regimes da maré não tiveram influência significativa nos valores de temperatura, como pode ser observado nas Figuras 11, 12 e 13, ao mesmo tempo em que não é perceptível variações significativas ao longo do ciclo de maré em cada uma das coletas.

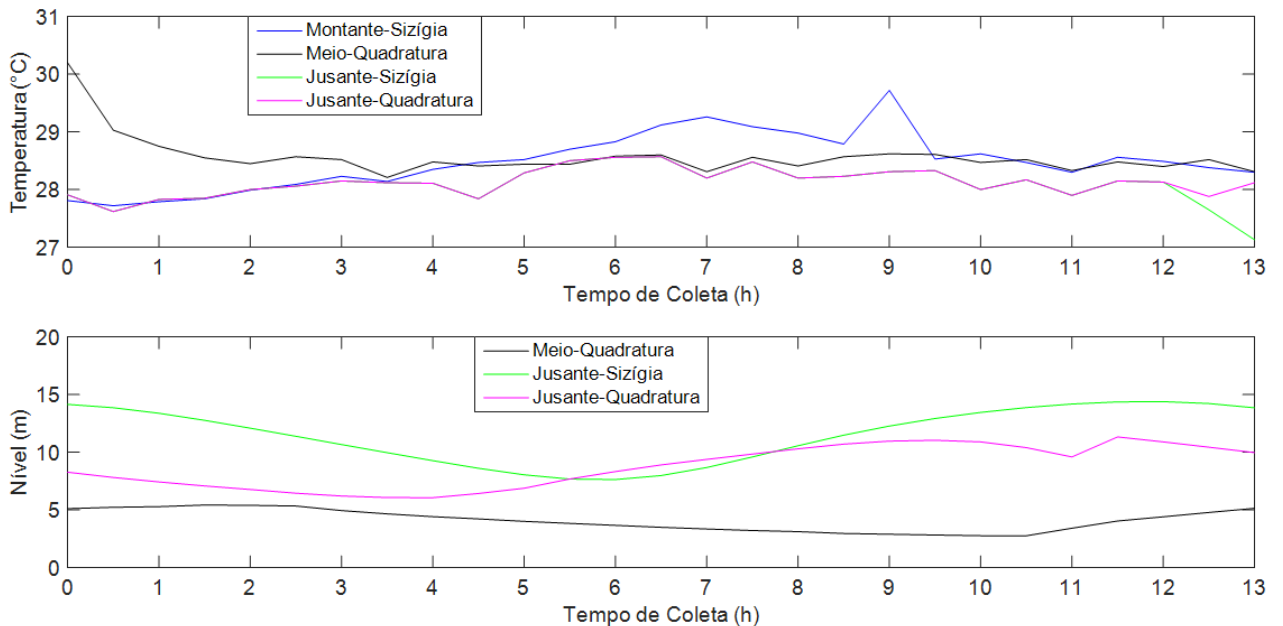


Figura 11. Variação da temperatura ao longo do ciclo de maré, no estuário do rio Turiagu, durante o período chuvoso.

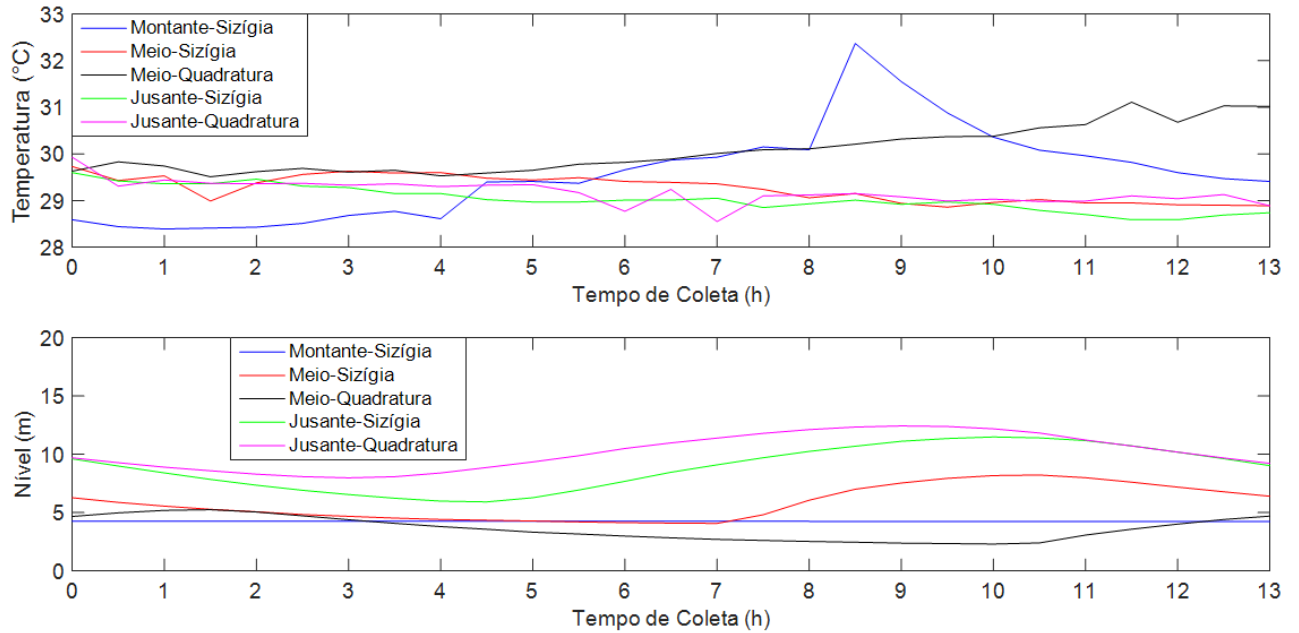


Figura 12. Variação da temperatura ao longo do ciclo de maré, em cada ponto de coleta, no período intermediário.

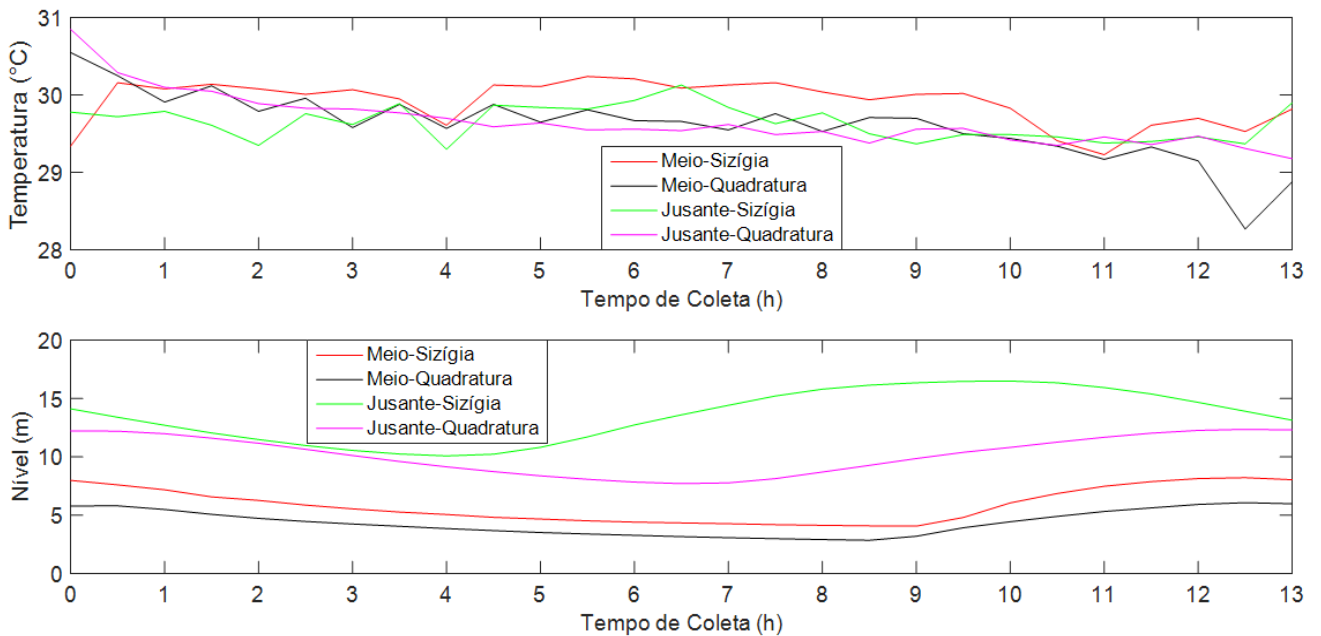


Figura 13. Variação da temperatura ao longo do ciclo de maré, em cada ponto de coleta, no período seco.

6.2.2 pH

Os valores de pH variaram de 5,24 a 8,96, ambos correspondendo ao período intermediário e seco, respectivamente, no meio do estuário (E2). Foi observada uma influência

da sazonalidade nos valores de pH (Figuras 14, 15 e 16), com os máximos no período seco e os mínimos durante o chuvoso. Especialmente, a plataforma foi onde os ocorreram os maiores valores do parâmetro, chegando a 8,96, enquanto que os mínimos ocorreram no meio do estuário do rio Turiaçu, no qual alcançou o valor de 5,24, tanto no período chuvoso quanto intermediário.

Estatisticamente, não houveram diferenças significativas com relação a sazonalidade ($F = 2,69$; $p > 0,05$), porém, na variação espacial, há diferenças significativas ($F = 68,3$; $p < 0,05$). A correlação de *Pearson* mostrou forte correlação positiva ($r = 0,95$) com a condutividade, STD e salinidade, em todos os períodos amostrados. Além de uma correlação negativa ($r = -0,95$) com a turbidez.

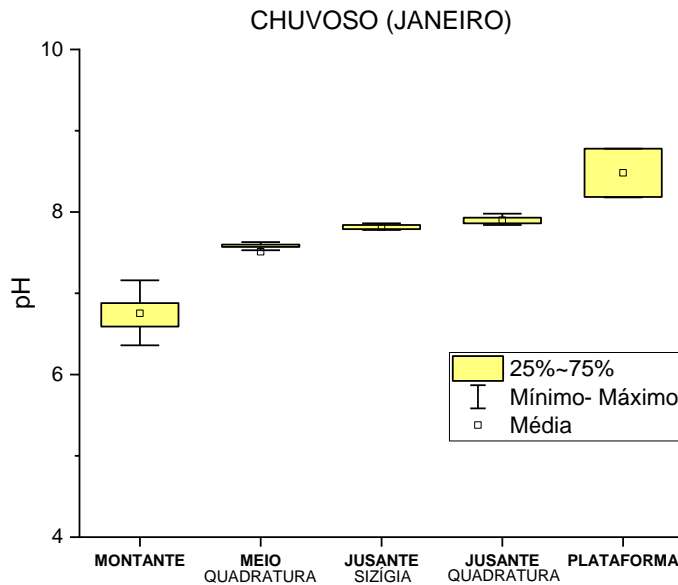


Figura 14. Distribuição espaço-sazonal do pH, de acordo com a maré, no período chuvoso.

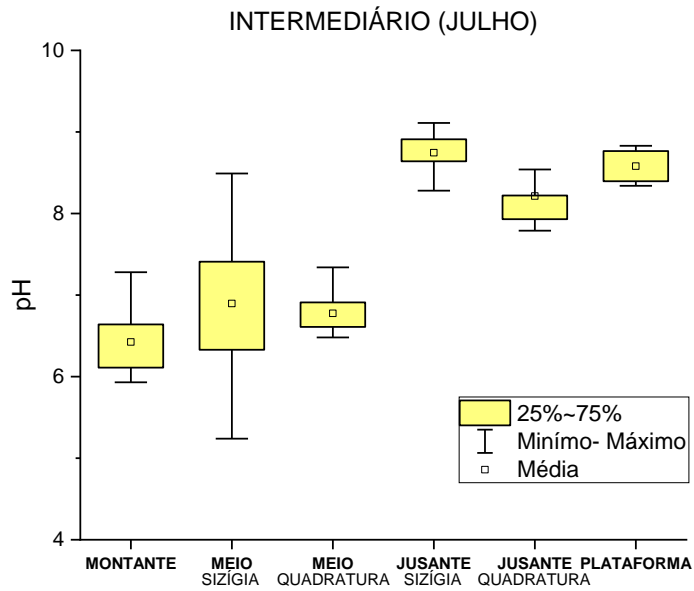


Figura 15. Distribuição espaço-sazonal do pH, de acordo com a maré, no período intermediário.

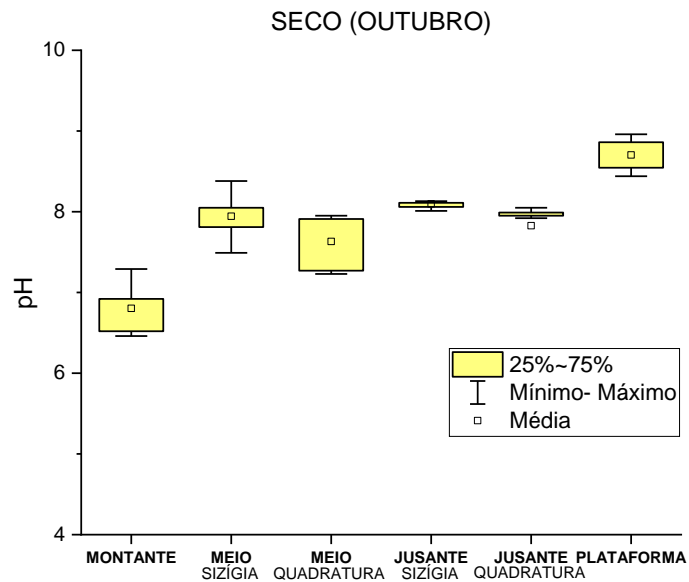


Figura 16. Distribuição espaço-sazonal do pH, de acordo com a maré, no período seco.

A influência da maré no pH das águas do estuário do rio Turiaçu foi observada tanto nos regimes de maré quanto durante o ciclo de maré (Figuras 17, 18 e 19). Durante o regime de maré de sizígia os valores do pH apresentaram maior variabilidade.

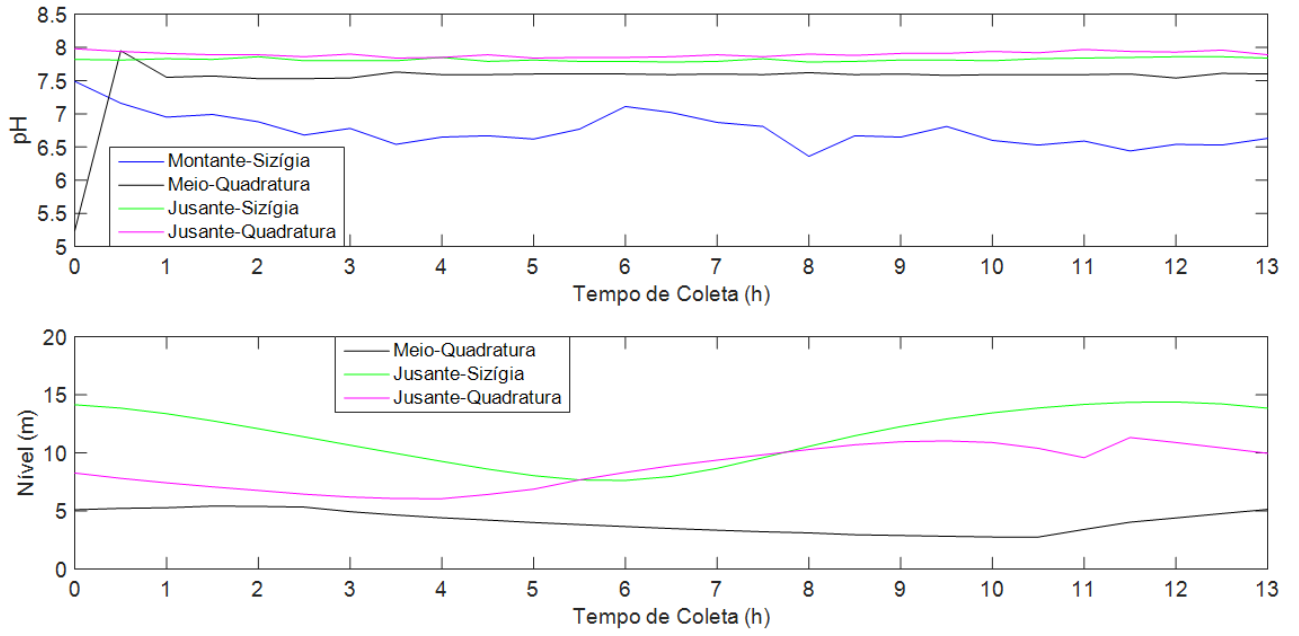


Figura 17. Variação do pH ao longo do ciclo de maré, em cada ponto de coleta, no período chuvoso.

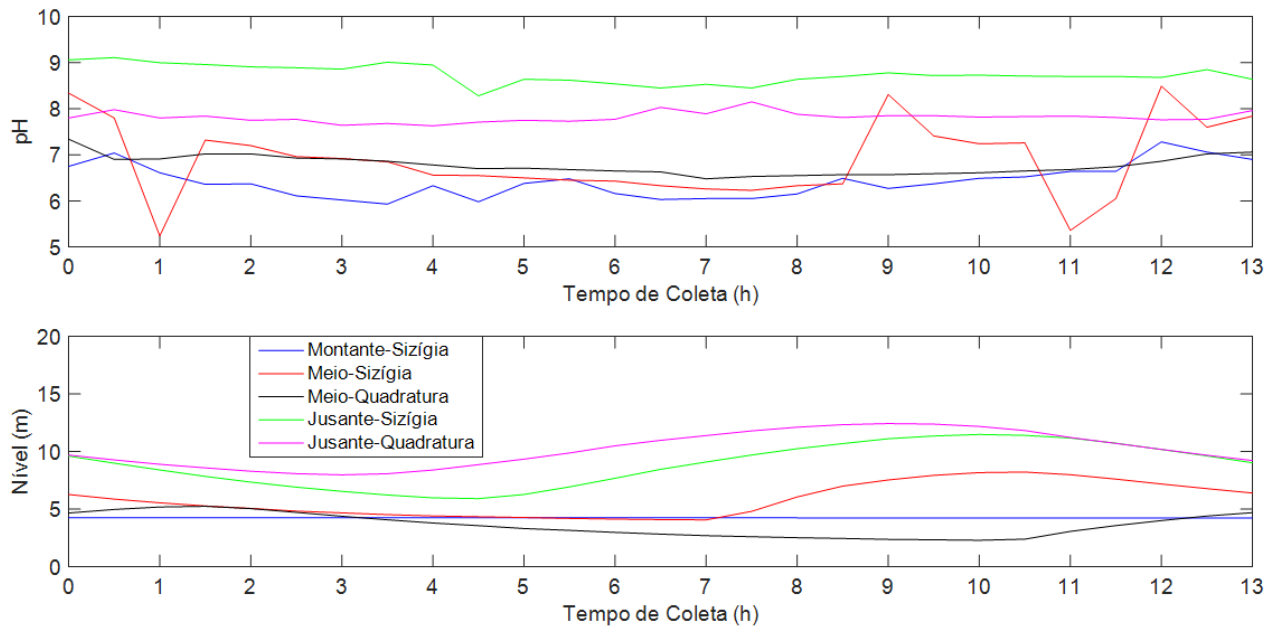


Figura 18. Variação do pH ao longo do ciclo de maré, em cada ponto de coleta, no período intermediário.

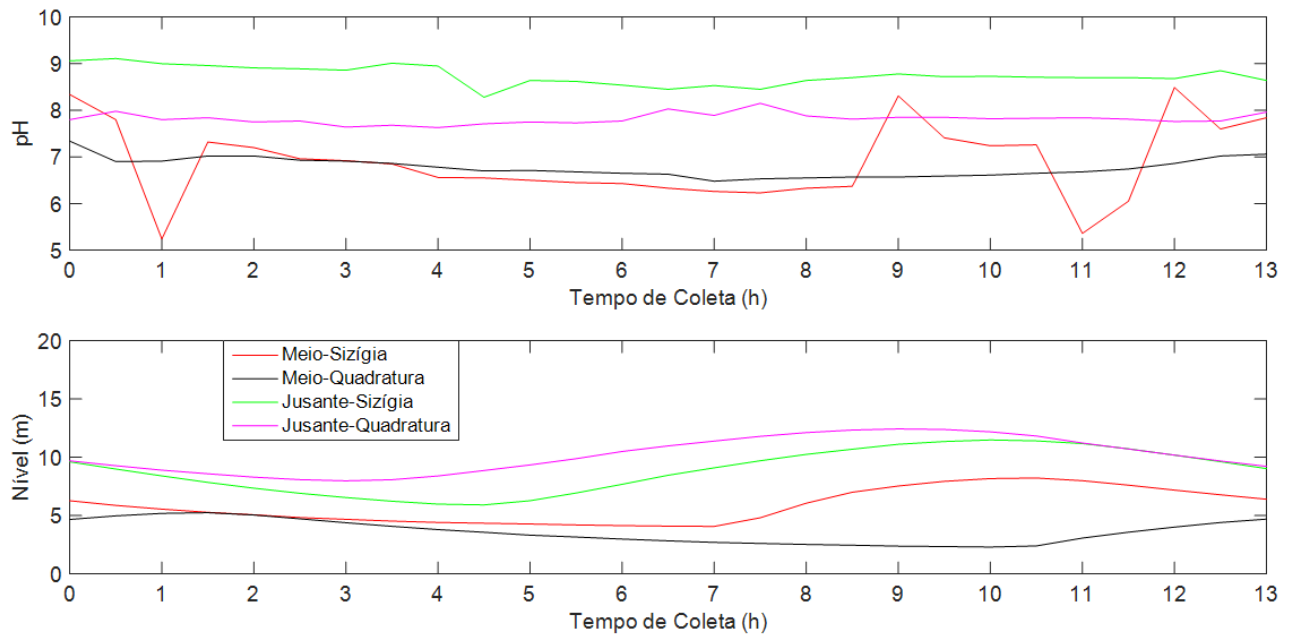


Figura 19. Variação do pH ao longo do ciclo de maré, em cada ponto de coleta, no período seco.

6.2.3 Oxigênio dissolvido (OD)

Os valores de OD variaram de 0,26 mg/L a 10,57 mg/L, sendo estes correspondendo, respectivamente, ao período intermediário e chuvoso, no ponto E3. A variabilidade sazonal foi bem acentuada, obtendo-se os valores máximos durante o período chuvoso. O período intermediário apresentou os menores valores, sendo estes, predominantemente, abaixo do que a biota aquática necessita (> 2 mg/L). Na variação espacial, o ponto E2 obteve a maioria dos valores menores, sendo o mínimo igual a 1,7 mg/L. A distribuição espacial do oxigênio dissolvido, de acordo com a maré, está representada nas Figuras 20, 21 e 22.

Segundo a ANOVA, não houve diferença significativa sazonal ($F = 0,51$; $p > 0,05$) e espacial ($F = 1,83$; $p > 0,05$). Quanto a correlação de Pearson, no período seco, esse parâmetro apresentou uma correlação negativa forte com a temperatura, sendo igual a -0,99.

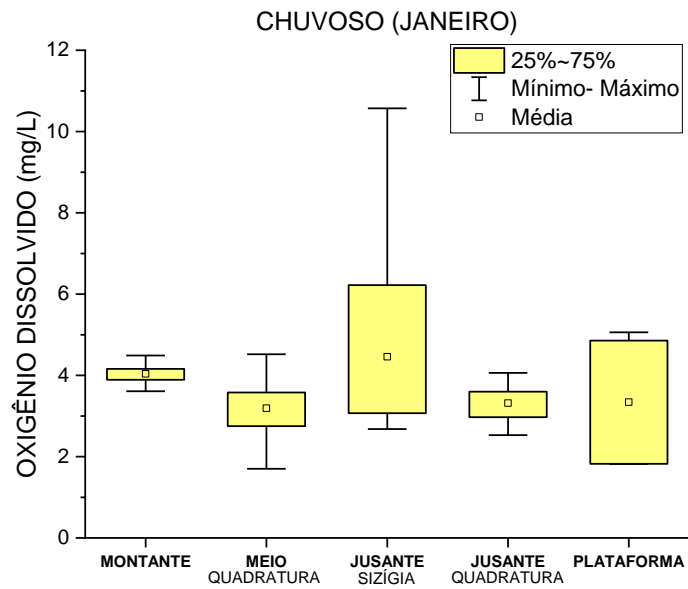


Figura 20. Distribuição espaço-sazonal do oxigênio dissolvido, de acordo com a maré, no período chuvoso.

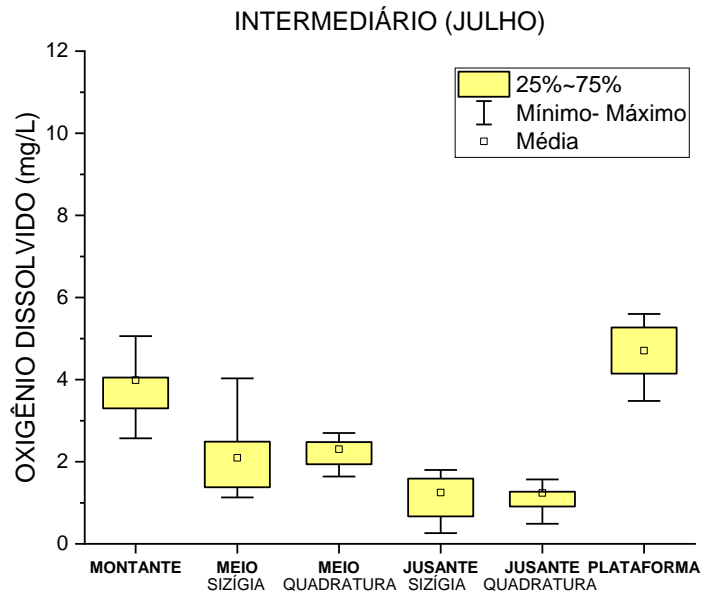


Figura 21. Distribuição espaço-sazonal do oxigênio dissolvido, de acordo com a maré, no período intermediário.

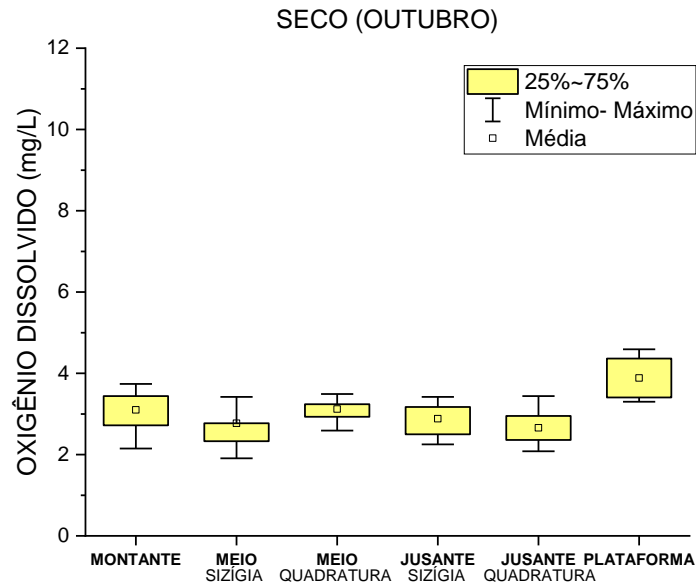


Figura 22. Distribuição espaço-sazonal do oxigênio dissolvido, de acordo com a maré, no período seco.

A influência da maré no OD das águas do rio Turiaçu foi observada tanto nos regimes de maré quanto ao longo do ciclo de maré (Figuras 23, 24 e 25). Durante a sizígia os valores foram maiores do que na quadratura.

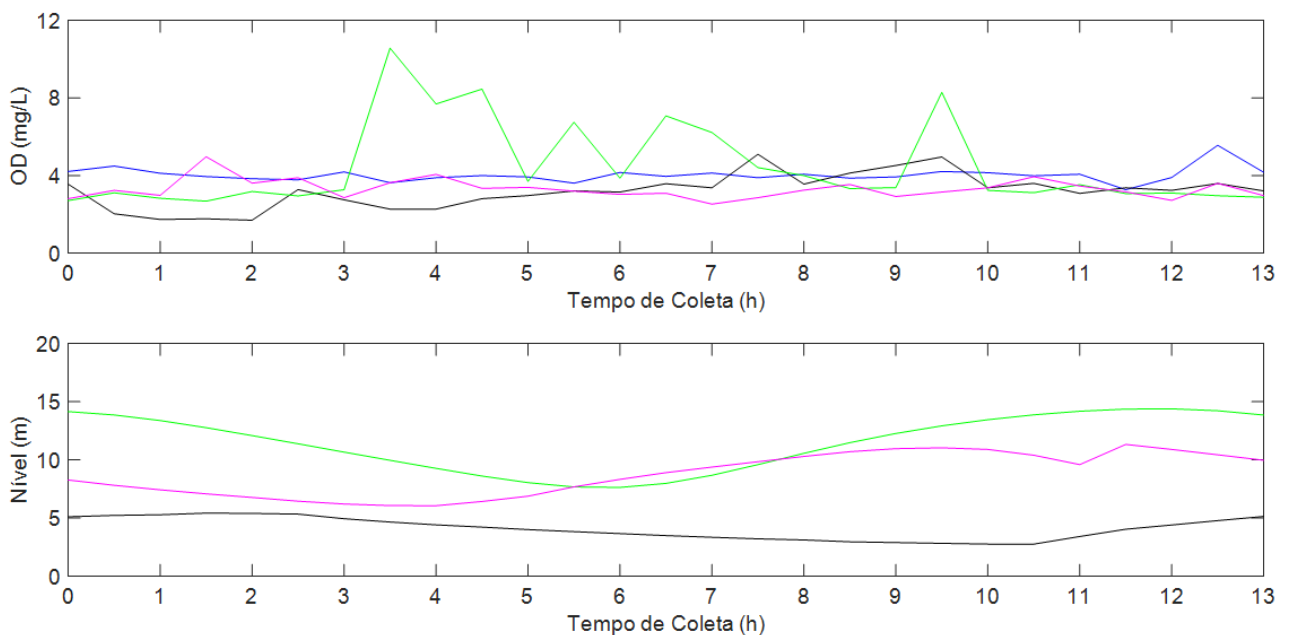


Figura 23. Variação do oxigênio dissolvido ao longo do ciclo de maré, em cada ponto de coleta, no período chuvoso.

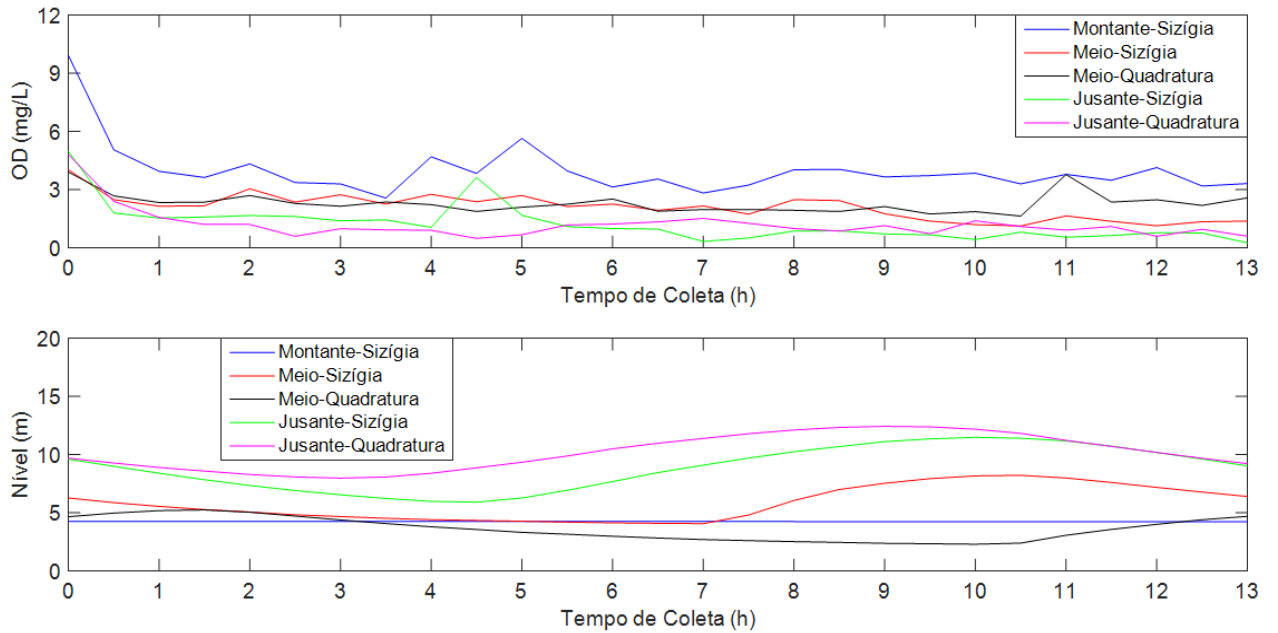


Figura 24. Variação do oxigênio dissolvido ao longo do ciclo de maré, em cada ponto de coleta, no período intermediário.

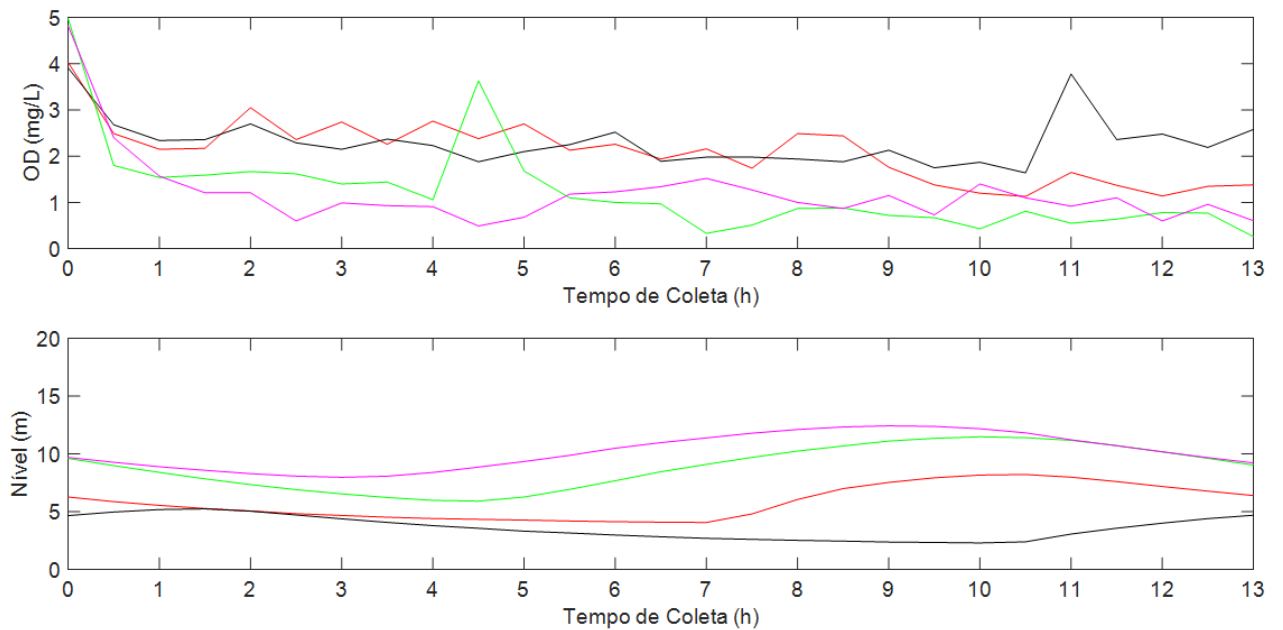


Figura 25. Variação do oxigênio dissolvido ao longo do ciclo de maré, em cada ponto de coleta, no período seco.

6.2.4 Turbidez

Nos valores de turbidez, a influência da sazonalidade foi perceptível (Figuras 26, 27 e 28), sendo obtidos no período chuvoso valores maiores que 1000 NTU, ou seja, acima da faixa

de detecção do equipamento e isso ocorreu nos pontos E2 e E3. Nesse mesmo período, ocorreram na plataforma, especificamente nos pontos SL13 e SL15, valores desse parâmetro iguais a 0.

Em termos estatísticos, segundo a ANOVA, a turbidez não apresentou diferenças significativas com relação a sazonalidade ($F = 2,96$; $p > 0,05$) e quanto a variação espacial também teve o mesmo resultado ($F = 2,46$; $p > 0,05$). Na correlação de Pearson, ocorreram correlações negativas da turbidez com o pH ($r = -0,94$) e o OD ($r = -0,89$), podendo isto estar associado à ressuspensão de sedimentos e de matéria orgânica, sendo que no processo de decomposição desta, ocorre o consumo de OD.

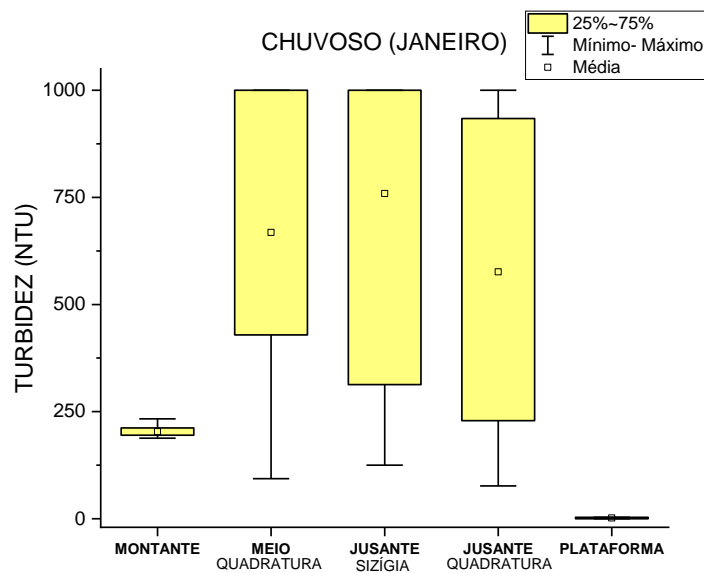


Figura 26. Distribuição espaço-sazonal da turbidez, de acordo com a maré, no período chuvoso.

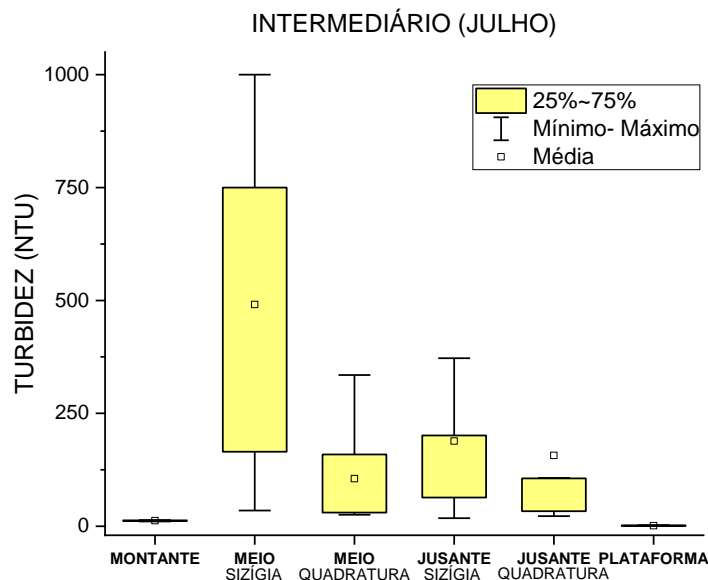


Figura 27. Distribuição espaço-sazonal da turbidez, de acordo com a maré, no período intermediário.

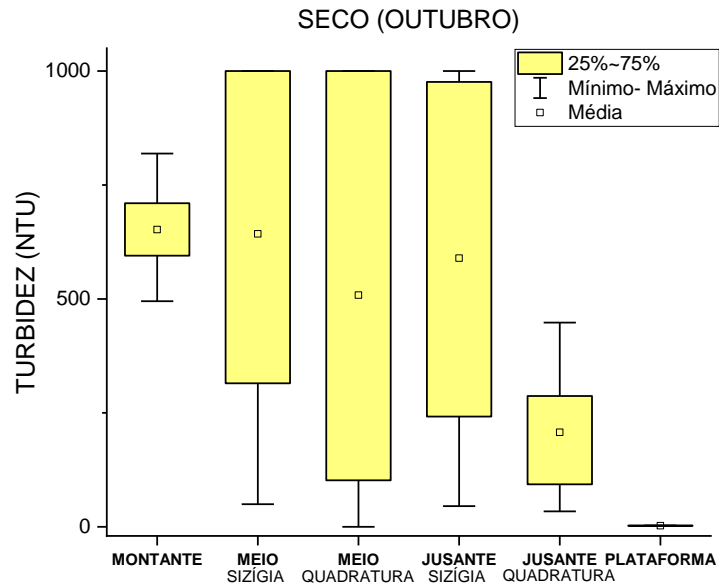


Figura 28. Distribuição espaço-sazonal da turbidez, de acordo com a maré, no período seco.

A turbidez foi altamente influenciada pela maré, durante o ciclo e os diferentes regimes de maré (Figuras 29, 30 e 31). Ao longo do estuário, em ambos os regimes, foram detectados valores acima da faixa de detecção do equipamento, porém nas marés de sizígia apresentaram maiores frequências nesse comportamento. Os picos de turbidez ocorreram durante a enchente, enquanto que os mínimos na vazante, sendo o menor valor observado igual a 17,8 NTU no ponto E3 do estuário do rio Turiaçu.

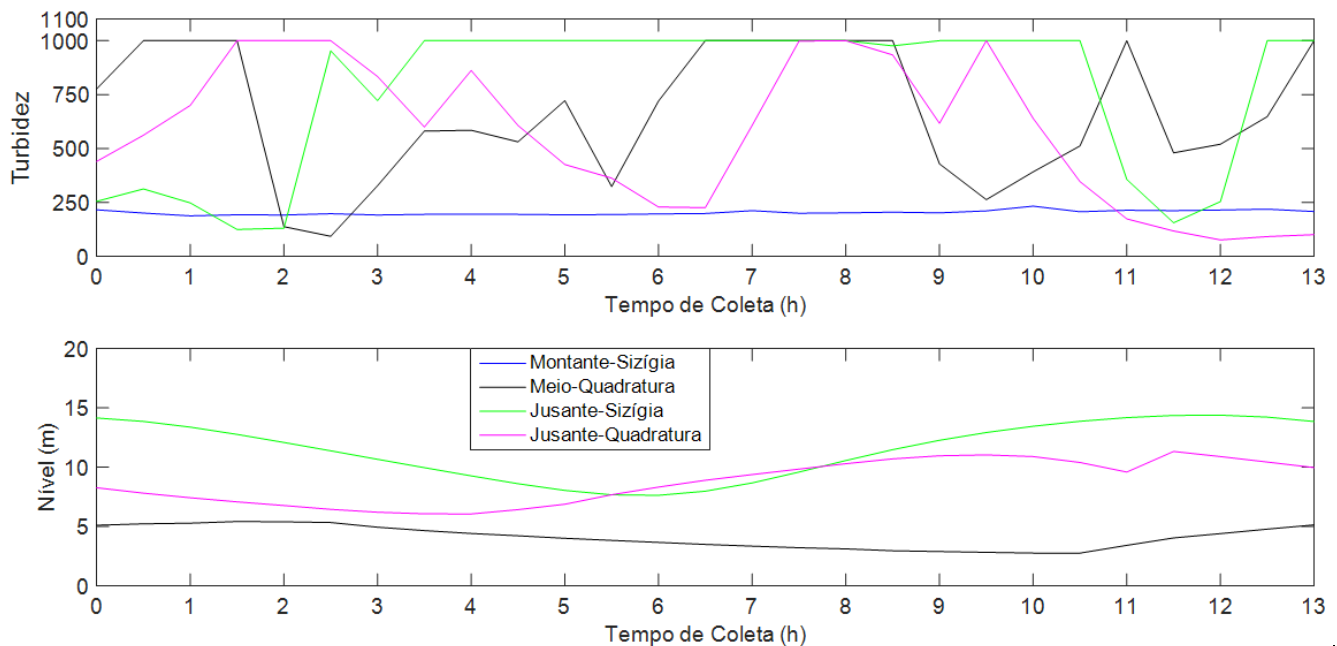


Figura 29. Variação da turbidez ao longo do ciclo de maré, em cada ponto de coleta, no período chuvoso.

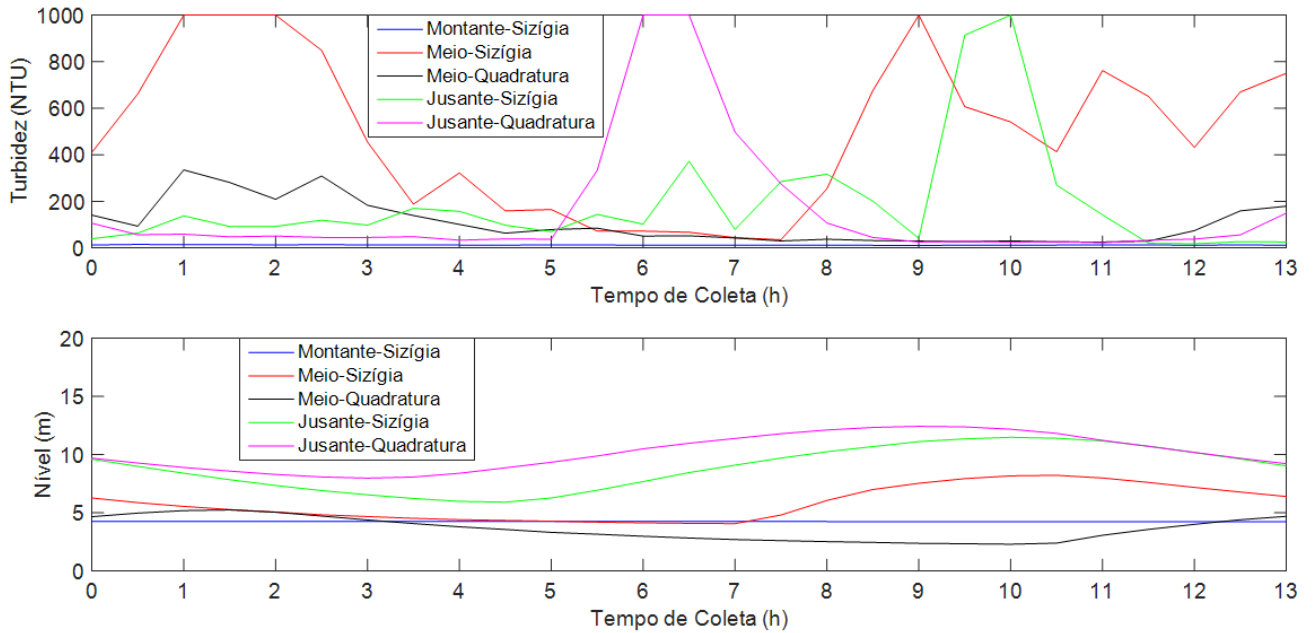


Figura 30. Variação da turbidez ao longo do ciclo de maré, em cada ponto de coleta, no período intermediário.

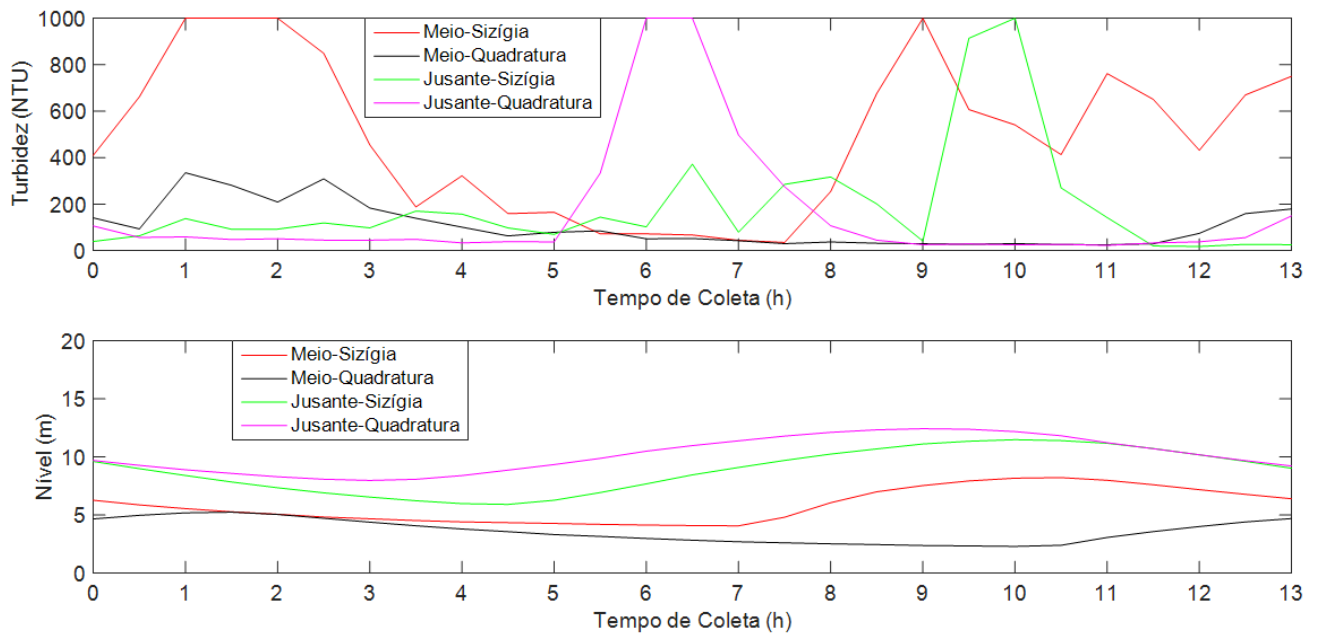


Figura 31. Variação da turbidez ao longo do ciclo de maré, em cada ponto de coleta, no período seco.

6.2.5 Condutividade elétrica (CE)

A distribuição sazonal da CE demonstrou valores máximos no período chuvoso, enquanto os mínimos, no intermediário (Figuras 32, 33 e 34). Ao longo da amostragem espacial, a plataforma continental obteve os maiores valores, alcançando 57,20 mS/cm nos pontos P1 e

P2. No ponto E1 foram observados os menores valores, com o valor mínimo igual a 0,04 mS/cm.

Estatisticamente, na sazonalidade não houveram diferenças significativas ($F= 3,47$; $p > 0,05$), entretanto, na variação espacial, elas ocorreram ($F = 16,03$; $p > 0,05$). Na correlação de Pearson, em todos os períodos, houve correlação positiva muito forte com STD, CE e salinidade ($r = 0,99$), e com o pH ($r = 0,95$) foi detectado nos períodos chuvoso e seco.

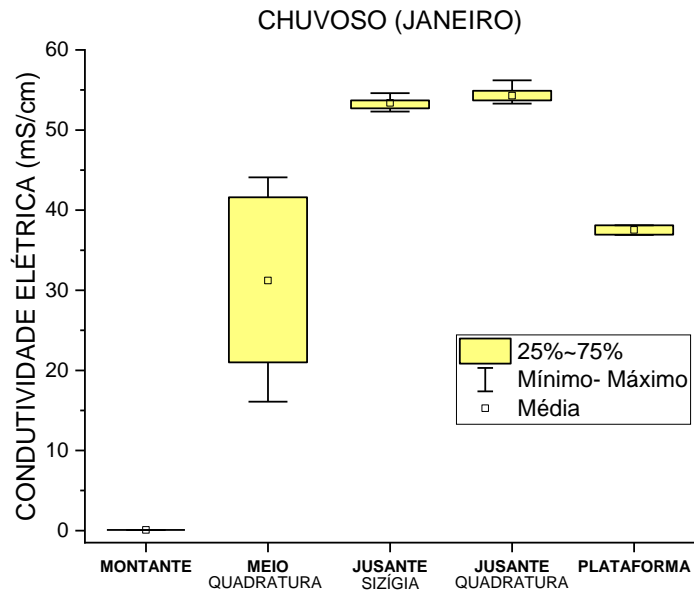


Figura 32. Distribuição espaço-sazonal da condutividade elétrica, de acordo com a maré, no período chuvoso.

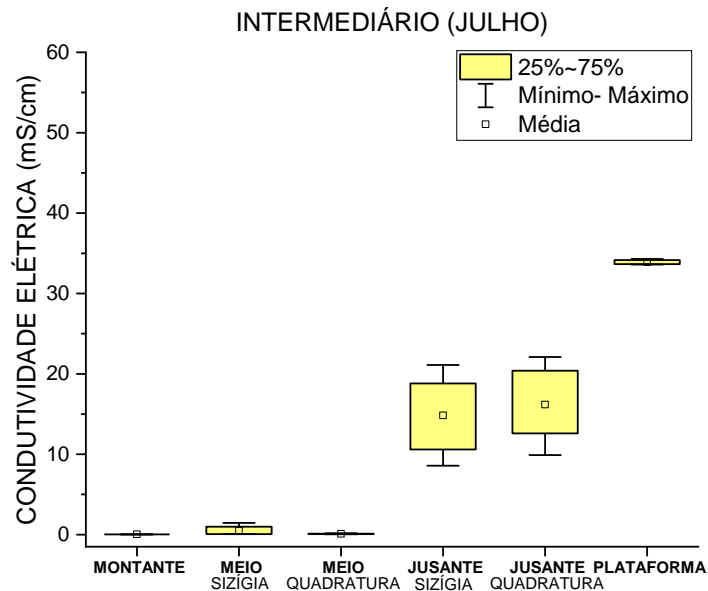


Figura 33. Distribuição espaço-sazonal da condutividade elétrica, de acordo com a maré, no período intermediário.

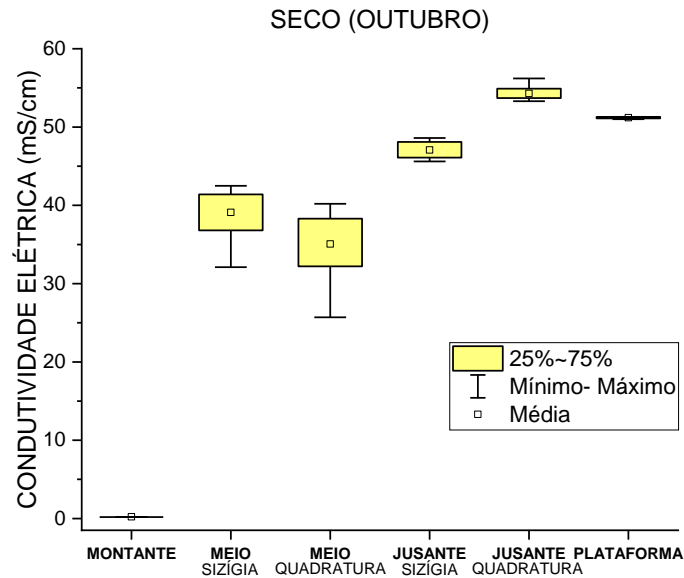


Figura 34. Distribuição espaço-sazonal da condutividade elétrica, de acordo com a maré, no período seco.

Ao longo da amostragem, foi perceptível a flutuação da condutividade elétrica ao longo do ciclo de maré (Figuras 35, 36 e 37), além da diferença dos valores entre os regimes de maré. Na quadratura foram obtidos valores maiores que na sizígia. Todos os máximos desse parâmetro ocorreram na enchente, sendo o maior valor igual a 56,80 mS/cm, registrado na E3. Quanto aos mínimos, todos foram obtidos na vazante, sendo o menor valor 0,06 mS/cm, ocorrente na E2.

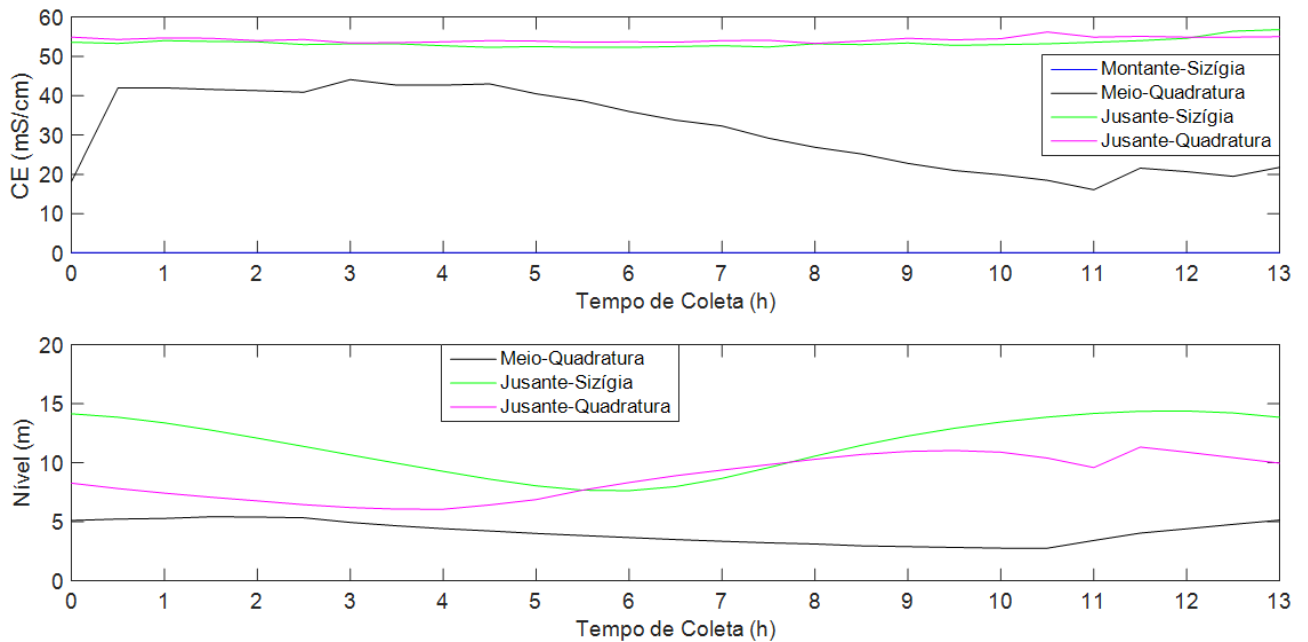


Figura 35. Variação da condutividade elétrica ao longo do ciclo de maré, em cada ponto de coleta, no período chuvoso.

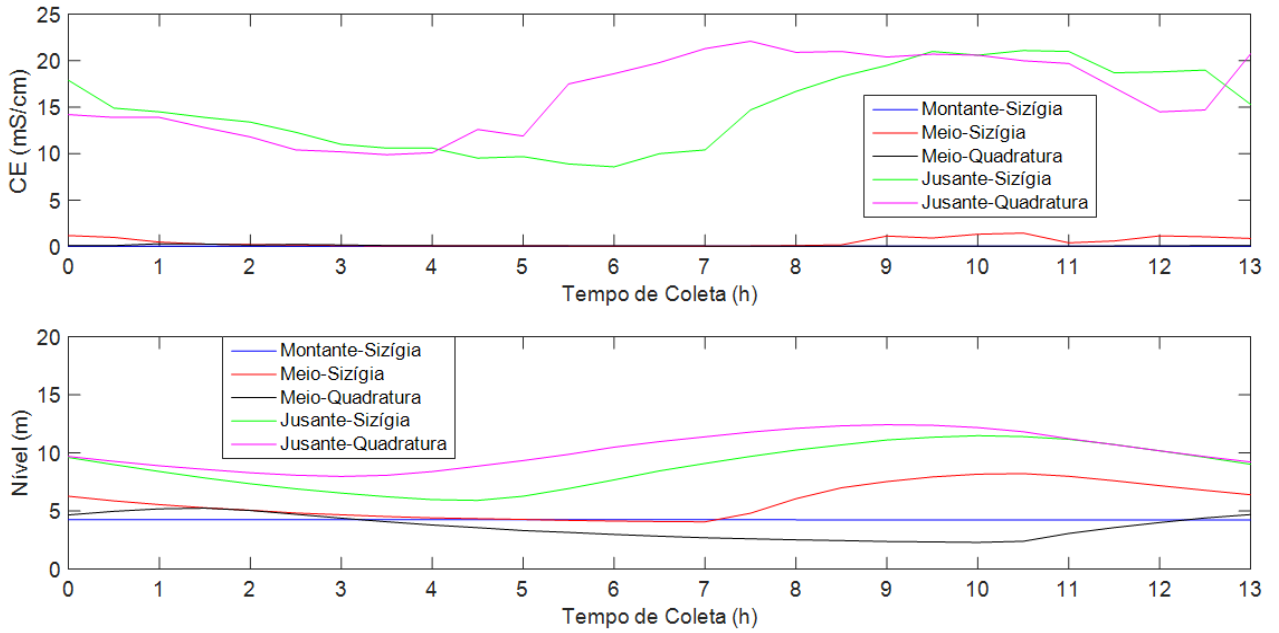


Figura 36. Variação da condutividade elétrica ao longo do ciclo de maré, em cada ponto de coleta, no período intermediário.

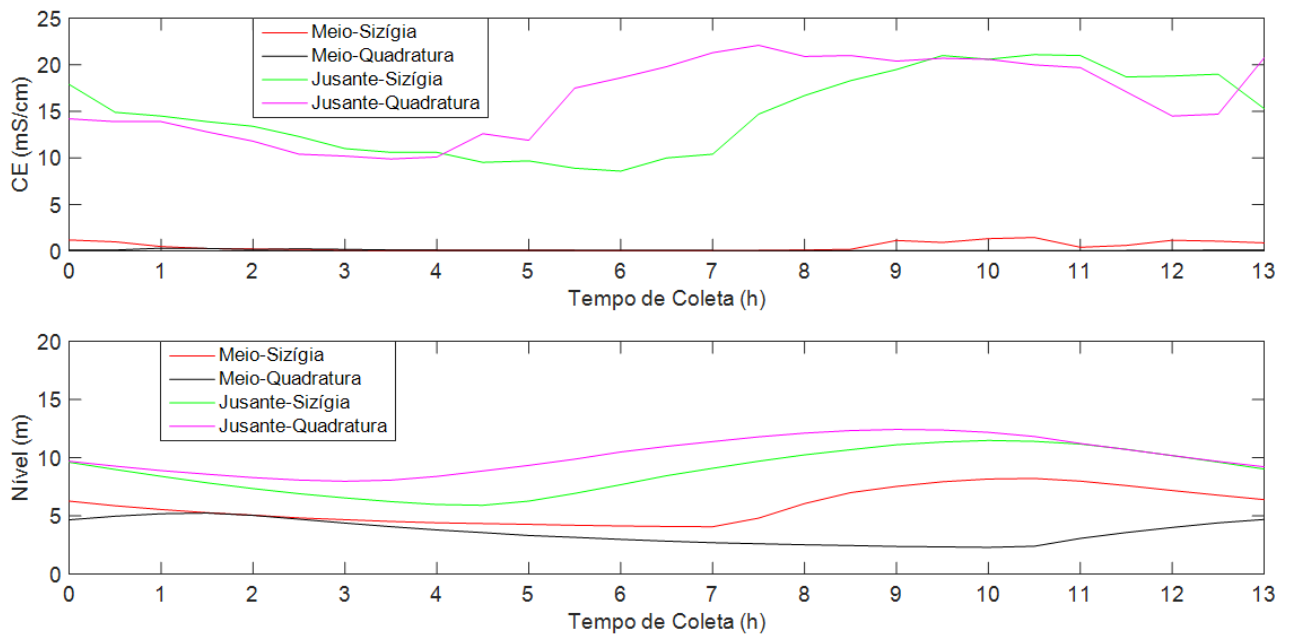


Figura 37. Variação da condutividade elétrica ao longo do ciclo de maré, em cada ponto de coleta, no período seco.

6.2.6 Sólidos totais dissolvidos (STD)

Os valores obtidos do STD variaram de 0,025 g/L a 78,30 g/L, sendo estes, respectivamente, do período intermediário e seco, nos pontos E1 e E2. No período chuvoso

observou-se os maiores valores e os menores ocorreram durante período intermediário (Figuras 38, 39 e 40). Quanto à variação espacial, a plataforma continental, especificamente nos pontos P1 e P2, foram encontrados os maiores valores desse parâmetro, sendo o máximo igual a 34,3 g/L.

A ANOVA não detectou diferenças significativas na sazonalidade ($F = 3,46$; $p > 0,05$), entretanto, para os pontos de coleta já foram significativas ($F = 15,92$; $p > 0,05$). A correlação de Pearson detectou nos três períodos correlação positiva muito forte do STD com condutividade elétrica e salinidade ($r = 0,99$).

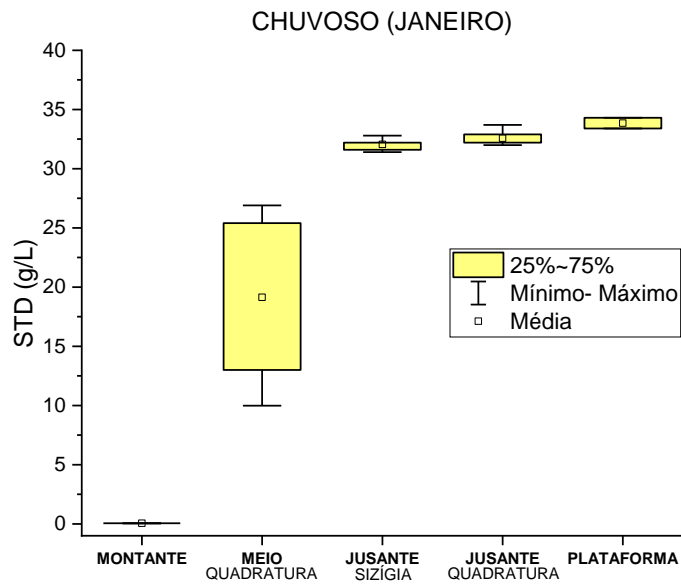


Figura 38. Distribuição espaço-sazonal dos sólidos totais dissolvidos, de acordo com a maré, no período chuvoso.

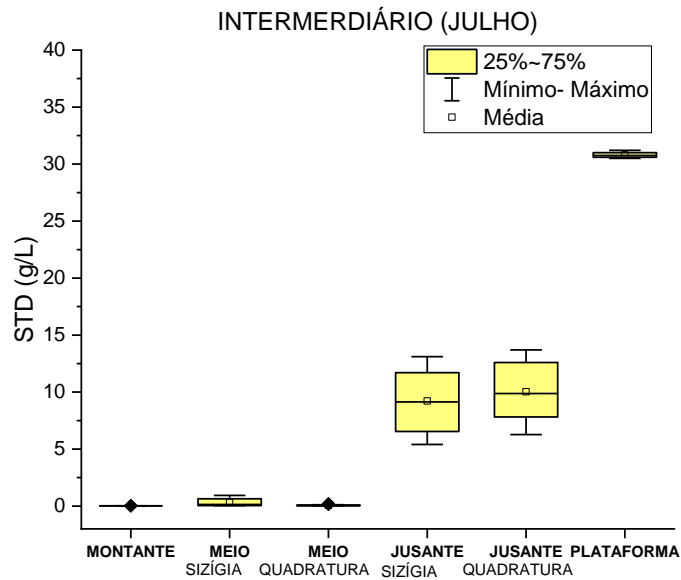


Figura 39. Distribuição espaço-sazonal dos sólidos totais dissolvidos, de acordo com a maré, no período intermediário.

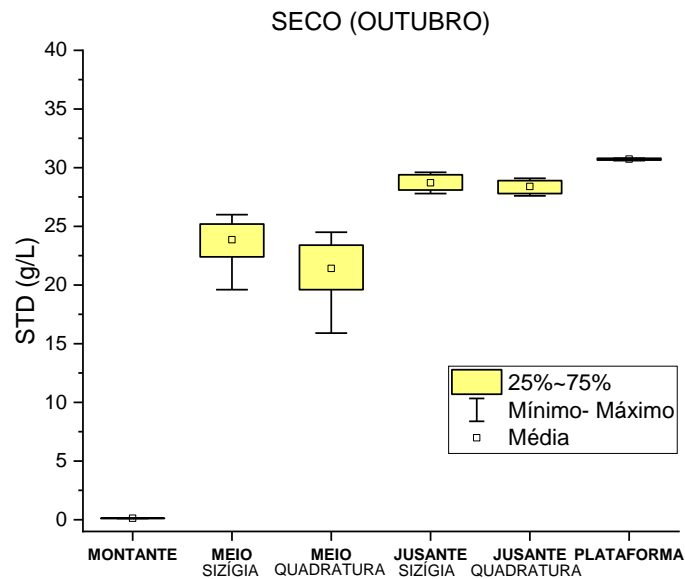


Figura 40. Distribuição espaço-sazonal dos sólidos totais dissolvidos, de acordo com a maré, no período seco.

Os STD sofreram grande influência da maré, principalmente considerando os regimes de maré (Figuras 41, 42 e 43). A sizígia obteve os valores desse parâmetro maiores que os de quadratura. Além disso, foi verificado que os máximos foram predominantes na enchente, registrando o maior valor igual a 34,5 g/L. Os mínimos foram obtidos na vazante, sendo o menor valor igual a 0,036 g/L. Foi perceptível que no meio do estuário, no período intermediário, não houve grande diferença entre os valores obtidos na sizígia e quadratura.

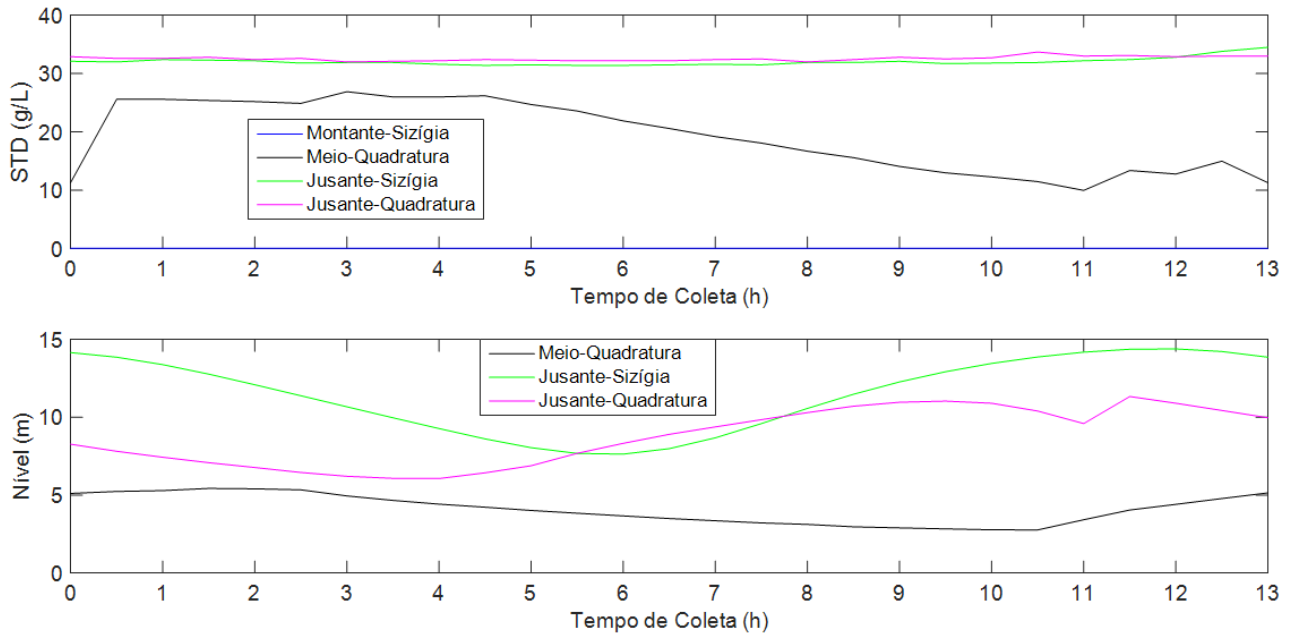


Figura 41. Variação dos sólidos totais dissolvidos ao longo do ciclo de maré, em cada ponto de coleta, no período chuvoso.

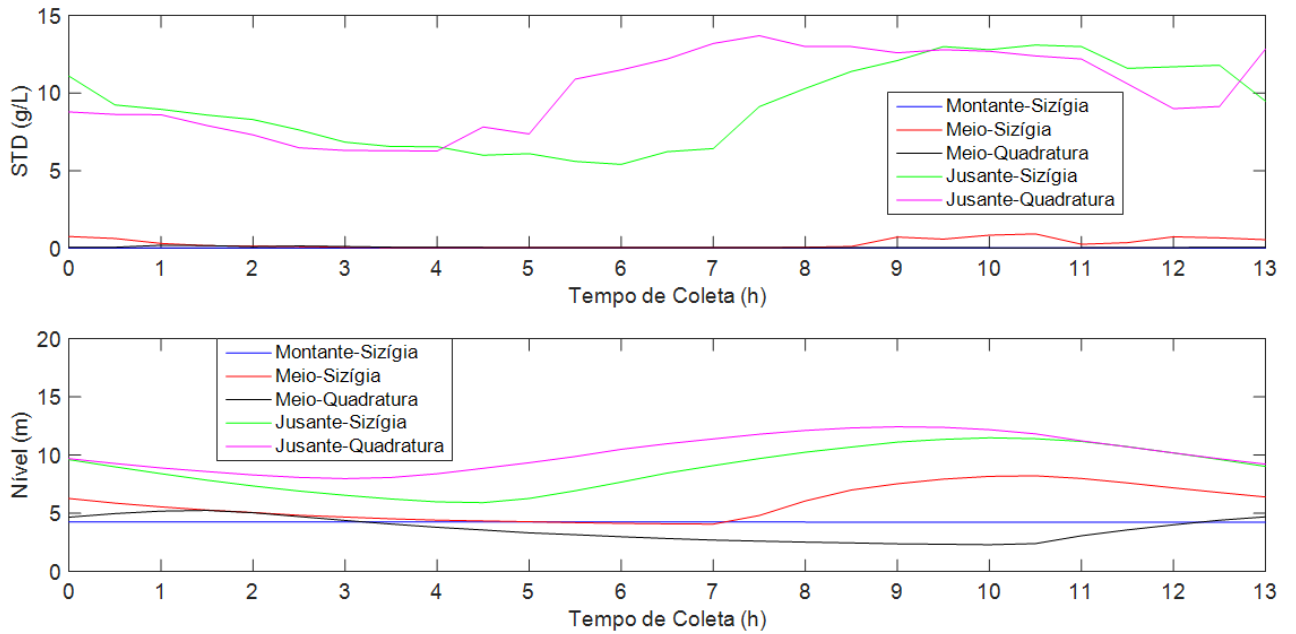


Figura 42. Variação dos sólidos totais dissolvidos ao longo do ciclo de maré, em cada ponto de coleta, durante o período intermediário.

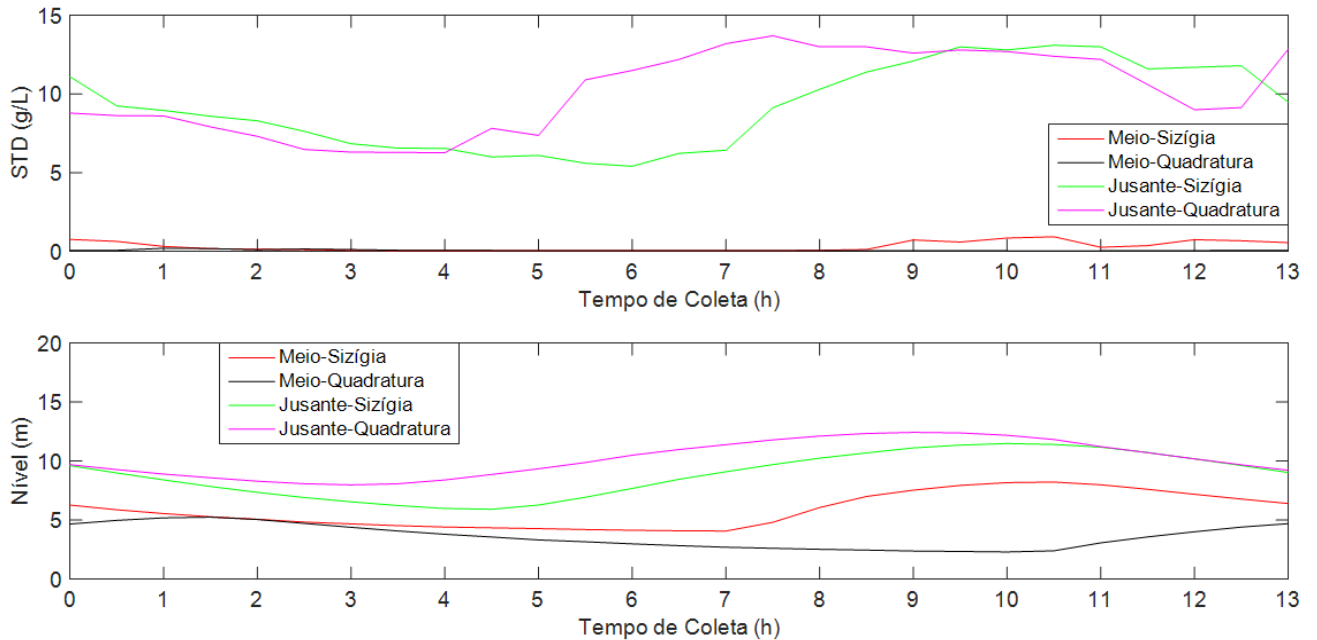


Figura 43. Variação dos sólidos totais dissolvidos ao longo do ciclo de maré, em cada ponto de coleta, durante o período seco.

6.2.7 Salinidade

Os valores obtidos da salinidade variaram de 0 a 38,1, sendo estes, respectivamente, do período intermediário e chuvoso. Os maiores valores de salinidade foram obtidos na plataforma, especificamente nos pontos SL11 e SL12, alcançando o valor de 38,1. No ponto E1, foi observada a salinidade igual a zero, percebendo-se o gradiente espacial de salinidade. Além disso, o ponto E1, durante o período chuvoso, também teve valores desse parâmetro iguais a zero. O período chuvoso registrou os maiores valores enquanto que o intermediário, os menores (Figuras 44, 45 e 46).

Após o tratamento da ANOVA, foi detectado que não houveram diferenças significativas levando em consideração a sazonalidade ($F = 3,41$; $p > 0,05$). Todavia, quanto a distância da costa, foram observadas diferenças significativas ($F = 15,52$; $p < 0,05$).

Na correlação de Pearson, a correlação positiva forte com o STD e CE ($r = 0,99$) foi detectada nos três períodos de amostragem ao mesmo tempo que esse mesmo tipo de correlação, porém, com o pH ($r = 0,95$) foi detectado nos períodos chuvoso e seco.

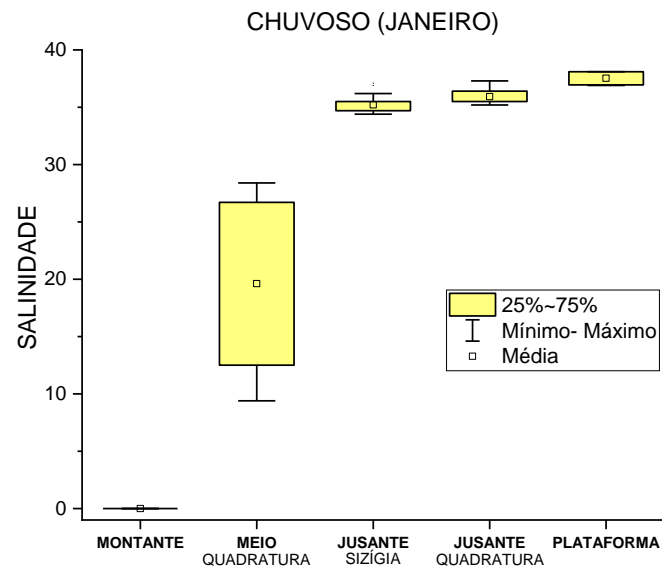


Figura 44. Distribuição espaço-sazonal da salinidade, de acordo com a maré, no período chuvoso.

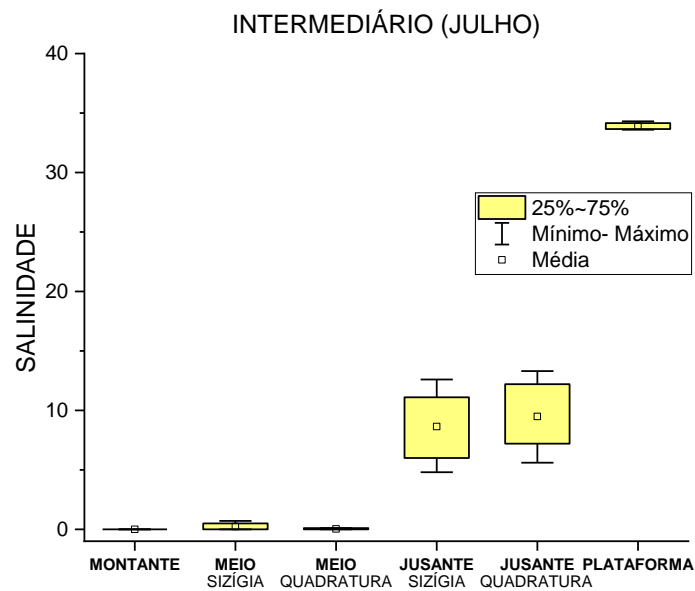


Figura 45. Distribuição espaço-sazonal da salinidade, de acordo com a maré, no período intermediário.

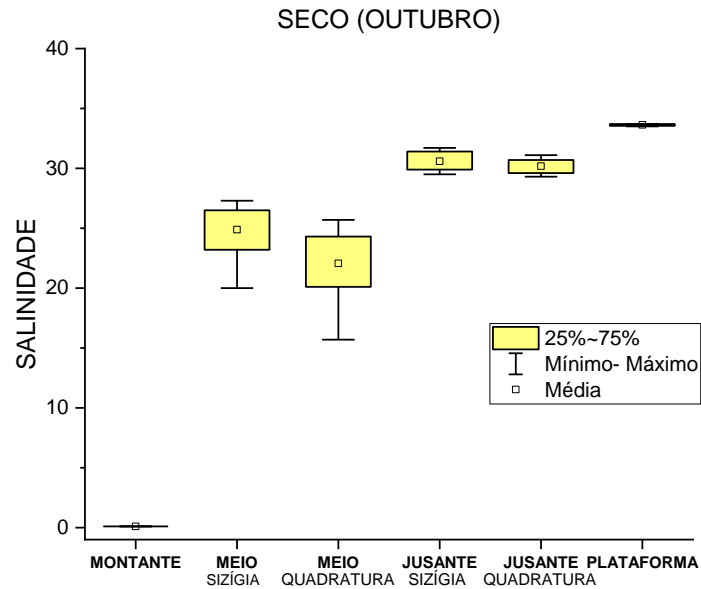


Figura 46. Distribuição espaço-sazonal da salinidade, de acordo com a maré, no período seco.

As oscilações da salinidade ao longo do ciclo de maré, principalmente considerando os diferentes regimes de maré (Figuras 47, 48 e 49). Predominantemente, a quadratura obteve valores maiores que os de sizígia. Os máximos foram mais frequentes na enchente, alcançando o valor de 37,1. Os mínimos de salinidade, incluindo momentos em que ocorriam anulações desse parâmetro, ocorreram durante a vazante.

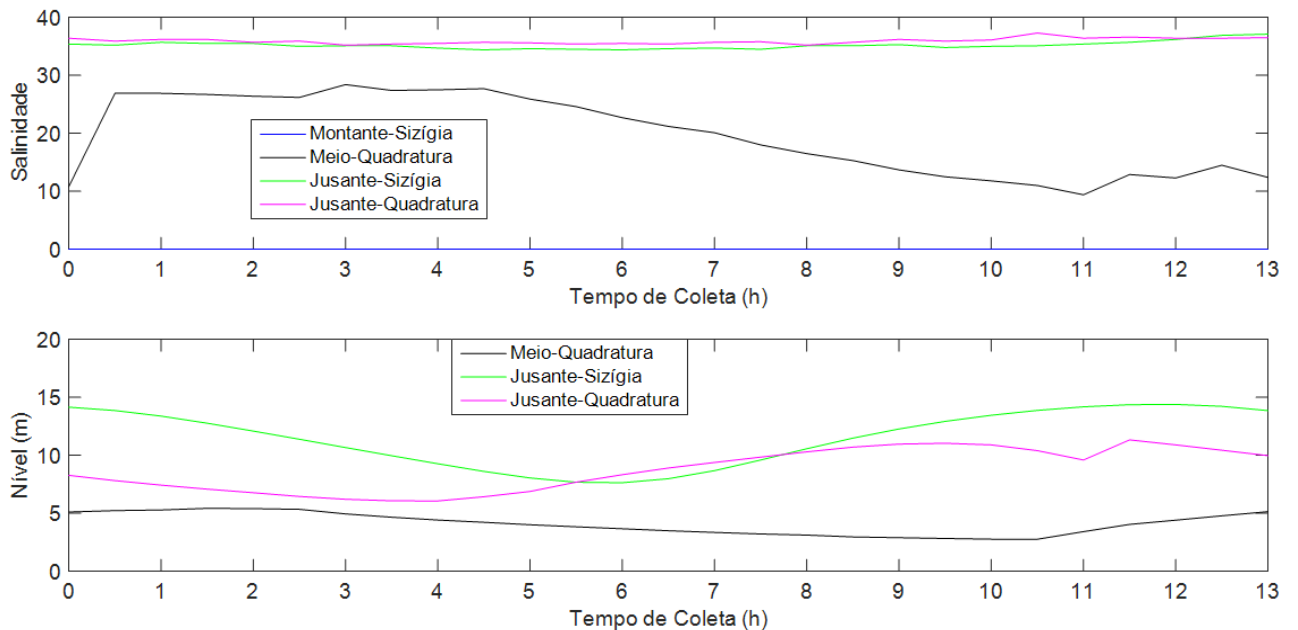


Figura 47. Variação da salinidade ao longo do ciclo de maré, em cada ponto de coleta, durante o período chuvoso.

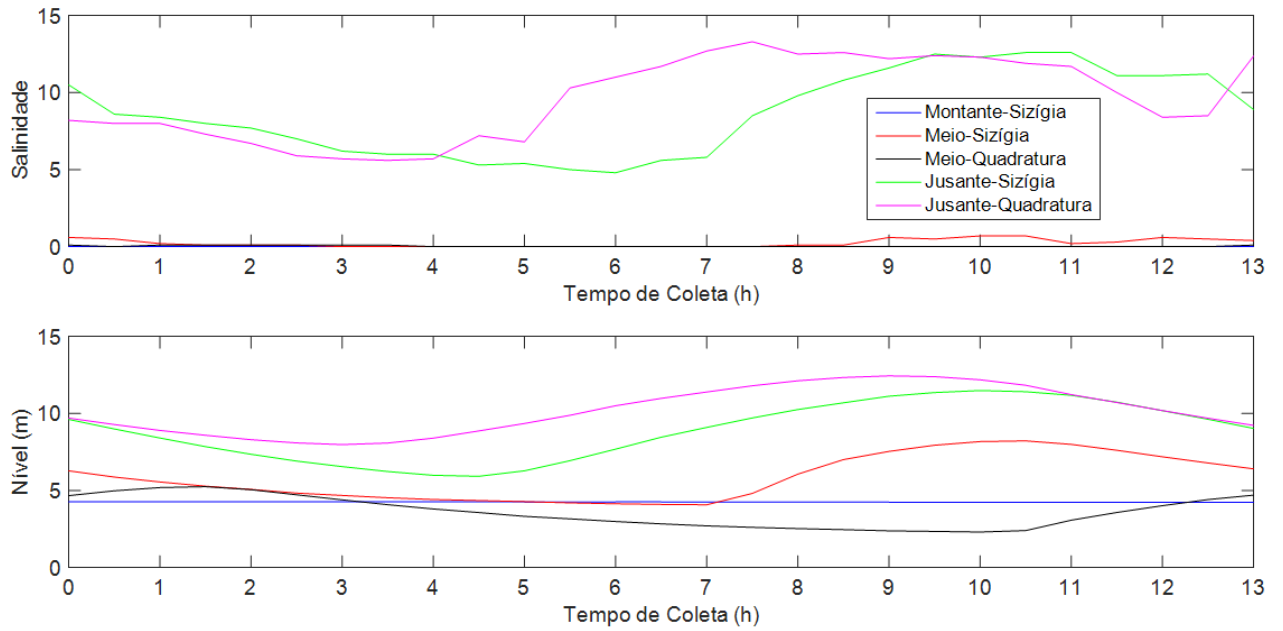


Figura 48. Variação da salinidade ao longo do ciclo de maré, em cada ponto de coleta, durante o período intermediário.

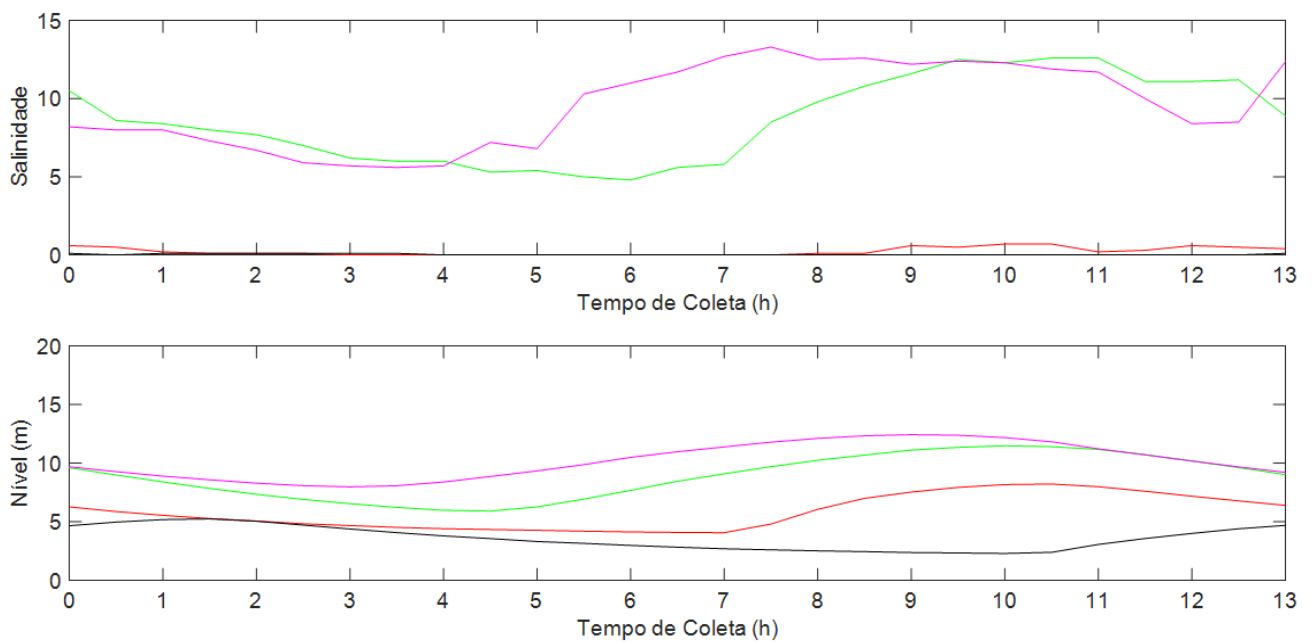


Figura 49. Variação da salinidade ao longo do ciclo de maré, em cada ponto de coleta, durante o período seco.

7 DISCUSSÃO

Nas regiões tropicais e subtropicais, a pluviometria é o fator que controla a distribuição, abundância e dinâmica sazonal do fitoplâncton estuarino (Sassi 1991). Além disso, Moura (1992) foi um dos primeiros autores que investigou a importância da precipitação pluviométrica sobre os parâmetros abióticos e bióticos nos ambientes estuarinos e tropicais. Durante a amostragem, foi perceptível a influência da maior pluviosidade nos valores da temperatura, salinidade e turbidez, sendo este mesmo comportamento observado por Grego *et al.* (2004) no estuário do Rio Timbó (PE).

A temperatura e salinidade, quando em conjunto, são parâmetros utilizados para a caracterização das camadas de água que contêm fauna e flora específica (Eschrique 2011). Além disso, esse é um parâmetro importante de ser monitorado pois age diretamente na periodicidade e distribuição dos organismos aquáticos, sendo crucial para a atividade biológica da água, além de ser um limitante para distribuição geográfica da fauna e flora aquática (Sipaúba-Tavares 1998).

Nos estuários tropicais e regiões adjacentes, a temperatura sempre é elevada e sua estreita a faixa de variação ao longo do ano, é decorrente do grau de insolação e/ou condições meteorológicas (Honorato da Silva 2004). Castro *et al.* (2018) observaram uma variação da temperatura de 27,37°C a 30,33°C na plataforma continental interna adjacente ao Golfo Maranhense, e descrevem que as médias de temperatura obtidas por eles podem ser consideradas reflexo da região equatorial, sendo esse comportamento também perceptível para a PCM e para o estuário do rio Turiaçu.

Os maiores valores de temperatura da PCM foram verificados nas proximidades da região costeira no período seco, esse padrão foi também observado por Silva *et al.* (2007), que o relacionou às menores taxas de precipitação da região. O gradiente da temperatura, sentido montante do estuário a plataforma, foi perceptível principalmente nos períodos chuvoso e intermediário. Sousa (2003) observou que nas proximidades da desembocadura do rio Lima, Noroeste de Portugal, a influência de águas oceânicas que possuem temperaturas mais baixas do que aqueles que recebem maior aporte de águas continentais, por isso o autor afirma que um afastamento da foz do estuário resulta no aumento da temperatura dos pontos próximos a montante.

No comportamento do pH, foram perceptíveis variações induzidas pelas marés que podem provocar a ressuspensão dos sedimentos de fundo e, conseqüentemente, de material orgânico composto por ácidos húmicos e fúlvicos, acidificando o ambiente aquático. Essa

flutuação nos valores de pH pode estar associada a uma resposta da atividade fotossintética/respiração dos organismos (Esteves 1998). Foram obtidos valores que se enquadram na faixa de estresse da biota (< 7) sendo esse mesmo resultado encontrado por Grego *et al.* (2004) no estuário do rio Timbó (PE) e Honorato da Silva (2004) no estuário do rio Formoso (PE). Predominantemente, o pH obteve valores maiores na sizígia do que na quadratura, sendo esta mesma observação feita por Lima *et al.* (2014) para o estuário do rio Curuçá (PA). Além disso, os mesmos autores verificaram uma variação desse parâmetro entre 7,84 e 8,03, corroborando com os dados obtidos para o estuário médio e baixo do rio Turiaçu.

Houve um gradiente nos valores de pH, indo desde a montante do estuário do rio Turiaçu até a plataforma continental. Isso ocorreu devido à influência da água doce, que possui características um pouco mais ácidas devido às grandes quantidades de ácidos orgânicos dissolvidos como os fúlvicos e húmicos, produzidos pelas interações metabólicas dos microrganismos aquáticos (Esteves 1998).

A proximidade com regiões costeiras e marinhas leva ao incremento dos valores de pH, devido à presença de águas oceânicas, onde ocorre presença expressiva dos carbonatos e bicarbonatos, que aumentam a alcalinidade das águas superficiais, sendo por esse motivo que a água do oceano é considerada uma solução-tampão (Castro *et al.* 2018). Além disso, de acordo com Kumary *et al.* (2007), os valores de pH mudam de ácidos para básicos quando as partículas coloidais se misturam com a água do mar.

No período intermediário e seco, a jusante do estuário até a plataforma continental, houveram valores maiores desse parâmetro em consequência da redução do efeito acidificante do gás carbônico livre e dissolvido. O período intermediário teve níveis de pluviometria consideráveis, talvez refletindo na diminuição do pH da montante até o meio, devido à presença de ácidos orgânicos (Monteiro 2009).

Santiago *et al.* (2005) detectaram que o estuário do rio Pisa Sal (RN) pode ser considerado sempre básico, independentemente do período, pois os maiores valores oscilaram de 7 a 8,58. Além disso, Bastos *et al.* (2005) registraram esse mesmo comportamento para o estuário do rio Una (PE), além da ausência de variação espacial e também relacionando ao ciclo de maré. Essa observação difere do que foi encontrado no estuário Turiaçu, pois no período intermediário esse ambiente aquático torna-se mais ácido, principalmente no meio do estuário. Os valores de pH obtidos na PCM foram semelhantes aos que Santos *et al.* (2016) registraram no Programa de Avaliação do Potencial Sustentável de Recursos Vivos na Zona Econômica Exclusiva (REVIZEE), entre o cabo Orange (AP) e a foz do rio Parnaíba (PI).

O monitoramento do oxigênio dissolvido é essencial, pois fornece informações sobre a degradação da matéria orgânica presente na água, o que determina se é um processo aeróbico ou não (Junior & Cruz 2012). Se for degradação aeróbica, os produtos desse processo são inócuos, enquanto que se for anaeróbico podem gerar compostos nocivos para o ambiente aquático, como o gás sulfídrico e o metano (Oliveira 2000).

Foram observados valores muito baixos para o OD (< 2 mg/L), principalmente na jusante do estuário de Turiaçu, nos períodos intermediário e seco. Dados de vazão obtidos durante as campanhas do Projeto Costa Norte, no estuário do rio Turiaçu, mostraram que nos períodos intermediário e seco a descarga fluvial foi nula, o que pode aumentar o tempo de residência das águas no estuário e, por consequência, incrementar a decomposição da matéria orgânica e ocasionar a depleção de OD (Honorato da Silva 2004, Santos 2000, Vasconcelos 2011).

A diminuição dos valores de OD foi observada na sizígia, durante os períodos de enchente, tanto no médio quanto no baixo do estuário, sendo esse comportamento diferente de trabalhos como o de Grego *et al.* (2004), que registram picos durante a enchente e preamar, com menores concentrações de matéria orgânica e mais oxigenadas devido a circulação. Apesar disso, a sizígia apresentou valores maiores desse parâmetro que a quadratura, podendo isso estar associado a maior mistura das águas estuarinas durante esse regime, causada pela intensificação das correntes de maré, que aumentam a distribuição vertical e horizontal do oxigênio dissolvido ao longo da coluna d'água Grego *et al.*, 2004).

No período intermediário, a jusante do estuário, em ambos os regimes de maré, houve picos de OD durante a vazante e isso pode ser devido á maior atividade fitoplanctônica para a produção desse gás (Grego *et al.* 2004). Outro motivo para esse comportamento seria atribuído a ação da velocidade e intensidade de correntes de maré durante os momentos de pico, enquanto que os mínimos de OD podem ser devido a diminuição da velocidade das correntes na baixa-mar e preamar (Lima *et al.* 2014). No período intermediário, Castro *et al.* (2018) obtiveram valores similares para o oxigênio dissolvido, variando de 3,67mg/L a 5,07 mg/L.

Segundo Sen Gupta & Machain-castillo (1993), a concentração de OD na água do mar pode variar entre 0 e 8 mg/L, sendo a variação mais comum entre 1 a 6 mg/L, e isto está de acordo com os resultados obtidos para a PCM. Os maiores valores de OD nesse local foi verificada no período intermediário, diferindo ao que Carvalho *et al.* (2016), que dividiu os em períodos chuvoso, intermediário e seco, observaram na mesma área de estudo, pois os maiores valores foram obtidos no período seco, sendo a média igual a 4,41 mg/L. Apesar disso, os menores valores obtidos para esse parâmetro no presente estudo ocorreram no período chuvoso,

coincidindo com o que os mesmos autores observaram, pois verificaram que os menores valores foram no mesmo período, sendo a média igual a 4,26 mg/L.

Segundo Tundisi (1970), a penetração da luz na água depende de sua turbidez, sendo está condicionada pelo fluxo fluvial, transporte de mar aberto e pela própria mistura com o ambiente. O estuário do rio Turiaçu apresentou alta turbidez, principalmente, entre a montante e o meio do estuário. Como é considerado um estuário amazônico, pode ser classificado com um rio de águas brancas, segundo Sioli (1984), devido a sua pouca transparência.

De acordo com Grego *et al.* (2004), a pluviometria exerce um papel importante na transparência da água. Esta é dependente da turbidez, pois as chuvas acarretam maior lixiviação do solo e conseqüentemente maior quantidade de material em suspensão, que diminuem a camada fótica da água reduzindo, conseqüentemente a fotossíntese da vegetação enraizada submersa (Vasco 2010).

Cavalcanti (2018) observou no estuário do rio Paciência (MA), no período chuvoso, os maiores valores de turbidez, em média 37,53 NTU. Porém, esses valores foram muito menores que os obtidos no estuário do rio Turiaçu também no período chuvoso. Moura & Nunes (2016) avaliaram os valores de turbidez no período chuvoso do estuário do rio Caeté (PA) e verificaram a máxima de 992 NTU, sendo visível a similaridade entre esse estuário e o do rio Turiaçu. O aumento da turbidez é um indicativo de elevado transporte de sedimentos (Moura & Nunes 2016).

Durante a amostragem, tanto a distribuição sazonal quanto a espacial da condutividade elétrica (CE) demonstraram correlação direta com a salinidade e o STD. Predominantemente, os valores máximos da CE foram detectados durante a enchente no período seco e isso, conforme Lima *et al.* (2014), foi consequência da entrada das águas oceânicas adjacentes que possuem alta carga de íons dissolvidos na água. Com isso, pode-se observar que há influência tanto da entrada das águas oceânicas quanto da sazonalidade, principalmente.

Segundo Castro *et al.* (2018), o STD apresenta correlação direta e proporcional com a CE devido a concentração de íons e da similaridade na distribuição sazonal e espacial com o STD e a salinidade, sendo isso também observado no presente trabalho. É perceptível que a variação da salinidade, STD e CE, que estão correlacionados positivamente, foi provocada também pela entrada das águas oceânicas no estuário do rio Turiaçu. Monteiro (2009) observou esse mesmo comportamento entre o rio Paracauari (PA) e as águas oceânicas da Baía do Marajó.

Os menores e maiores valores de STD obtidos por Lima *et al.* (2014) no estuário do rio Curuçá (PA), no regime de maré de quadratura, variaram de 23,494 g/L a 23,151 g/L, sendo isto similar ao comportamento que ocorreu no meio do estuário do rio Turiaçu, na quadratura.

Os valores dos três parâmetros foram maiores no período chuvoso devido ao aumento da pluviosidade que lixivia os sais depositados nas áreas que são alagadas apenas neste período. Segundo Alves *et al.* (2012), o STD é influenciado pela transparência da coluna d'água e a sua ressuspensão com a ação das marés.

A salinidade é um fator condicionante para o estabelecimento de espécies, pois há a oscilação considerável desse parâmetro de acordo com a variação da maré, sendo isso, motivo para a adaptação delas para essas condições (Grego *et al.* 2004). Segundo a classificação de Veneza (1959 *apud* McLusky 1981), o estuário do rio Turiaçu pode ser classificado como variando de mesohalino para euhalino (5 a 35).

Castro *et al.* (2018) registrou valores médios da salinidade no período chuvoso e seco, respectivamente, igual a 35,04 e 33,68 na plataforma interna adjacente ao Golfão Maranhense, sendo esses resultados similares aos obtidos na PCM nesse estudo. Além disso, os autores obtiveram a maior média desse parâmetro no período seco, sendo esta igual a 36,7, o que difere do presente estudo, que obteve a mesma igual a 37,5, no período chuvoso. Assim como no presente estudo, Silva *et al.* (2004) encontrou correlação positiva entre o pH e a salinidade no estuário do rio Formoso (PE) devido à influência marinha. Ouyang *et al.* (2006) registrou correlação positiva ($r = 0,83$) entre o pH e CE e salinidade durante o outono do rio St. John, Flórida, sendo isso ocorrente também nesse trabalho.

Foi observado um gradiente dos valores da salinidade, desde a montante do estuário até a sua foz e esse comportamento foi igual ao que Bastos *et al.* (2005) observaram no estuário do rio Una (PE), pois, do ponto de vista espacial, foi perceptível um gradiente decrescente desse parâmetro da foz desse estuário até sua montante. Os principais fatores que afetam o gradiente de salinidade da área de estudo desse trabalho são a influência dos rios e precipitação pluviométrica (Araújo *et al.* 2011, Silva *et al.* 2007a).

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A variabilidade espacial e temporal dos parâmetros físico-químicos analisados (temperatura, pH, oxigênio dissolvido, turbidez, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos e salinidade) na Margem Equatorial Brasileira podem estar associadas com a dinâmica desse local que é regulada pela descarga fluvial, variações da maré, correntes, variação sazonal e eventos climatológicos.

Todos os parâmetros físico-químicos apresentaram variação espacial e sazonal. Considerando as diferenças significativas, apenas a temperatura apresentou com relação a sazonalidade e ao mesmo tempo, considerando os pontos investigados, todos os parâmetros apresentaram diferenças significativas, exceto OD e turbidez.

Com relação ao comportamento dos parâmetros físico-químicos analisados no estuário do rio Turiaçu, de acordo com as variações de maré, considerando os diferentes regimes e o ciclo de maré, foi perceptível a influência dela em todos os parâmetros estudados, exceto na temperatura.

A correlação de *Pearson* confirmou diversas correlações positivas e negativas entre os parâmetros físico-químicos. A correlação positiva mais revelante foi entre a salinidade, condutividade elétrica e STD em todos os períodos amostrais. As correlações negativas ocorrentes foram entre a temperatura e o OD, a turbidez e o pH e OD.

Este trabalho contribuiu para um melhor conhecimento sobre os aspectos físico-químicos do estuário do rio Turiaçu que, nesse quesito é pouco conhecida. Tanto esse ambiente estuarino quanto a Plataforma Continental do Maranhão possuem grande importância ecológica e econômica, e por isso um maior investimento científico nessa região deve ser realizado.

REFERÊNCIAS

- Alves I.C.C., El- Robrini M., Santos M.L.S., Monteiro S.M., Barbosa L.P.F., Guimarães J.T.F. 2012. Qualidade das águas superficiais e avaliação do estado trófico do rio Arari (Ilha do Marajó, norte do Brasil). *Acta Amazônica*, **42** (1): 115-124.
- Amaral M. S. 1998. *Estudo da Distribuição dos Minerais Pesados Presentes na Cobertura Arenosa Superficial a Plataforma Continental do Maranhão*. TCC (Graduação em Geologia), Universidade Federal do Pará. 58p.
- Araújo M., Limongi C., Servain J., Silva M., Leite F.S., Veleda D., Lentini C.A.D. 2011. Salinity-induced mixed and barrier layers in the southwestern tropical Atlantic Ocean off the northeast of Brazil. *Ocean Science*, **7**: 63-7.
- Attrill M.J., Rundle S.D. 2002. Ecotone or ecocline: ecological boundaries in estuaries. *Estuarine Coastal and Shelf Science*, **55**(6): 929-936.
- Bastos R.B., Feitosa F.A.N., Muniz K. 2005. Variabilidade espaço- temporal da biomassa fitoplânctonica e hidrologia no estuário do rio Una (Pernambuco- Brasil). *Tropical Oceanography*, **33** (1): 1-18.
- Baumgarten M.G.Z., Rocha J.M.B., Niencheski L.F.H. 1996. *Manual de análises em oceanografia química*. Rio Grande, Editora FURG, 132 p.
- Baumgarten M.G.Z., Pozza S.A.P. 2001. *Qualidade de águas: Descrição de parâmetros químicos referidos na legislação ambiental*. Rio Grande, Editora FURG, 164p.
- BIOMAR: Mineração Ltda. 2012. *Exploração e beneficiamento de sedimento biodetrítico marinho da plataforma continental (Cururupu- MA)*. São Luís. Disponível em: <http://licenciamento.ibama.gov.br>. Acesso em: 22 out. 2018.
- Brigante J., Espíndola E.L.G., Povinelli J., Nogueira A.M. 2003 Caracterização física, química e biológica da água do rio Mogi-Guaçu. In: Brigante J.; Espíndola E.L.G. (eds.). *Limnologia fluvial: um estudo no rio Mogi-Guaçu*. São Carlos, Rima Editora, p. 55-76.
- Boney A.D. 1989. *Phytoplankton (Studies in Biology)*. 2ª ed. Londres, Cambridge University Press, 128 p.
- Carmo J. A. R. 2014. *Recarga subterrânea direta e sua influência sobre a temperatura e a condutividade elétrica em microbacias do rio Vacavá-Mirim, RS*. DS Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 132 p.
- Carvalho R.C.Q., Cutrim M.V.J., Eschrique S.A., Cutrim A.C.G.A., Moreira E.G., Silveira P.C.A., Coêlho J.M. 2016. Microphytoplankton composition, chlorophyll-a concentration and environmental variables of the Maranhão Continental Shelf, Northern Brazil. *Latin American Journal Aquatic Research*. **44**(2): 256-266.
- Castro A.L.C., Eschrique S.A., Silveira P.C.A., Azevedo J.W.J., Ferreira H.R.S., Soares L.S., Monteles J.S., Araújo M.C., Nunes J.L., Silva M.H.L. 2018. Physicochemical properties and distribution of nutrients on the inner continental shelf adjacent to the gulf of Maranhão (Brazil) in the equatorial Atlantic. *Applied Ecology and Environmental Research*, **16** (4): 4829-4847.
- Cavalcanti L. 2018. *Variabilidade espaço- temporal do fitoplâncton ao longo de um gradiente salino em um estuário tropical de macromaré na Margem Equatorial Brasileira*. DS Mestrado (Mestrado em Oceanografia), Departamento de Oceanografia e Limnologia, Universidade Federal do Maranhão, 65 p.

- CETESB (Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. 1992. *Nota Técnica sobre tecnologia de controle - Indústria Têxtil - NT-22*. São Paulo, 31 p.
- Cheshire H.M., Khorram S., Brockhaus J.A. 1985. Monitoring estuarine water quality from Landsat TM. *In: International Conference on Advanced Technology for Monitoring and Processing Global Environmental Data*, Londres, p. 10–12.
- Chester R. 1990. *Marine geochemistry*. Liverpool, Unwin Hyman Ltda.
- Costa K. S. P., Bezerra V.L.A.R., Sousa C.J.S. 2011. Estudo da potencialidade hídrica da Amazônia Maranhense Através do Comportamento de Vazões. *In: Martins M.B., Oliveira T.G. (orgs.). Amazônia Maranhense: Diversidade e Conservação*. Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém, p. 71-92.
- Cunha E.M.S. 1982. *Caracterização e planejamento ambiental do estuário Potengui*. DS Mestrado, Centro de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 211 p.
- Davies J.L. 1964. A morphogenetic approach to world shorelines. *Zeitschrift fur Geomorphologie*, **8**: 127-142.
- Dionne J.C. 1963. Towards a more adequate definition of the St. Lawrence estuary. *Zeitschrift fur Geomorphologie*, **7** (1): 36-44.
- El-Robrini M., Marques J.V., Silva M.M.A., El-Robrini M.H.S., Feitosa A.C., Tarouco J.E.F., Santos J.H.S., Viana J.S. 2006. Erosão e progradação do litoral brasileiro: Maranhão. *In: Muehe D. (org.). Erosão e progradação do litoral brasileiro*. Brasília, Ministério do Meio Ambiente, p. 87-130.
- Eschrique S.A. 2011. *Estudo do balanço biogeoquímico dos nutrientes principais como indicador da influência antrópica em sistemas estuarinos do nordeste e sudeste do Brasil*. TS Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Oceanografia Química e Geológica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 254 p.
- Esteves F.A. 1998. *Fundamentos de limnologia*. Rio de Janeiro, Interciência (2ª edição).
- Fairbridge R.W. 1980. The Estuary: its identification and geodynamic cycle. *In: Olausson E., Cato I. (eds.). Chemistry and biochemistry of estuaries*. Nova York, Wiley, p. 1-36.
- Favera J.C.P.; Fainstein R.; Borges H.; Miura K.; Leonel B.; Orange D.; Wittstrom M. 2013. New Exploration Frontiers of Brazil's Atlantic Margin: From Theory to Reality. *In: Offshore Technology Conference*. Rio de Janeiro. p. 1-11.
- FEMAR (Fundação de Estudos do Mar). 1997. *Catálogo das Estações Maregráficas do Brasil*. Rio de Janeiro.
- Geyer W.R., Beardsley R.C., Lentz S.J., Candela J., Limeburner R., Johns W.E., Castro B.M., Soares I.D. 1996. Physical oceanography of the Amazon shelf. *Continental Shelf Research*, **16**: 575–616.
- Grego C.K.S., Feitosa F.A.N., Silva M.H., Montes M.J.F. 2004. Distribuição espacial e sazonal da clorofila a fitoplânctonica e hidrologia do estuário do Rio Timbó (Paulista-PE). *Tropical Oceanography*, **32** (2): 181-199.
- Gualberto L.P.S., El-Robrini M. 2005. Faciologia da cobertura sedimentar superficial da plataforma continental do Maranhão. *Estudos Geológicos*, **15**: p. 234-243.

- Honorato da Silva M. 2004. *Fitoplâncton do estuário do rio Formoso (Rio Formoso, Pernambuco, Brasil): biomassa, taxonomia e ecologia*. DS Mestrado (Mestrado em Oceanografia), Universidade Federal de Pernambuco 131 p.
- IBAMA (Instituto do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis). 2006. *Plano Nacional de Recursos Hídricos: Síntese Executiva*. Brasília, DF, Ministério do Meio Ambiente, Secretaria De Recursos Hídricos, 135 p.
- INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). 2018. *Banco de dados das estações automáticas*. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br>. Acesso em: 04 dez. 2018.
- Ibañez M.S.R. 1999. Os onze anos da limnologia no Estado do Maranhão. In: Pompêo M.L.M. (ed.). *Perspectivas da limnologia no Brasil*. São Luís, Gráfica e Editora União, p. 1-9.
- Junior A.B.D.S.R., Cruz M.J.M. 2012. Variabilidade espaço-temporal de parâmetros físico-químicos e metais pesados no rio São Paulo, município de Candeias, Bahia. *Geociências*, **31**(4): 622-637.
- Kumary K.S.A.A., Azis P.K.A., Natarajan P. 2007. Water quality of the Adimalathura estuary, southwest coast of India. *Journal of the Marine Biological Association of India*, **49** (1): 1-6.
- Laing G.D., Rinklebe J., Vandecasteele B., Meers E., Tacka F.M.G. 2009. Trace metal behaviour in estuarine and riverine floodplain soils and sediments: A review. *Science of The Total Environment*, **407**(13): 3972-3985.
- Leite Neto P.B., Oliveira D.Q.N.J.C., Saavedra O.R. 2009. Estudo do potencial para a geração de energia elétrica a partir de fonte eletromotriz. In: The 8th Latin-American Congress On Electricity Generation and Transmission, São Paulo. p.1-4.
- Lessa G.C., Santos F.M., Souza-Filho P.W., Côrrea- Gomes L.C. 2018. Brazilian estuaries: a geomorphologic and oceanographic perspective. In: Lana P.C., Bernardino A.F. (eds.). *Brazilian Estuaries*. Springer International Publishing, p. 1-37.
- Lima M.W., Alves M.A.M.S., Santos M.L.S., Ribeiro A.M., Santos E.T., Nunes D.M. 2014. *Boletim Técnico Científico do CEPNOR*, **14** (1): 9-15.
- Lopes. R. 1970. *Uma região tropical*. Rio de Janeiro, Editora Fon-Fon e Seleta, 197 p.
- Marques F.C., Cavalcante P.R.S. Barbieri R. 2010. Qualidade das águas subterrâneas da área urbana no município de Santa Helena (MA). In: Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas e Encontro Nacional de Perfuradores de Poços, São Luís. *Anais eletrônicos*. Disponível em: <http://www.essentiaeditora.iff.edu.br>. Acesso em: 05 dez. 2018.
- McLusky D.S., Elliott M. 2004. *The estuarine ecosystem: ecology, threats and management*. Oxford, Oxford University Press, 214 p. (3ª edição).
- Melo A.B.C, Cavalcanti I.F.A., Souza P. P. 2009. Zona de Convergência Intertropical do Atlântico. In: Cavalcanti I.F.A., Ferreira N.J., Silva M.G.A.J., Dias M.A.F.S. *Tempo e clima no Brasil*. São Paulo, Oficina de Textos, p. 25-42.
- Millero F.J. 1996. *Chemical oceanography*. Florida, CRC Press. 581 p.
- Miranda L.B., Castro B.M., Kjerfve B. 2002. *Princípios de oceanografia física de estuários*. EDUSP, 414 p.

- Mochel F. R.; Ponzoni F. 2007. Spectral characterization of mangrove leaves in the Brazilian Amazonian Coast: Turiaçu Bay, Maranhão State. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, **79** (4): 683-692.
- Monteiro S.M. 2006. *Avaliação da água superficial da Baía do Guajará (Belém- PA) utilizando indicadores abióticos*. TCC (Graduação em Oceanografia), Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 57 p.
- Monteiro S.M. 2009. *Dinâmica dos parâmetros abióticos na zona de mistura do estuário do rio Paracauari, Ilha do Marajó- PA*. DS Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, 151 p.
- Moreira M.O.P. 1994. *Produção do fitoplâncton em um ecossistema estuarino tropical (estuário do rio Cocó, Fortaleza, Ceará)*. DS Mestrado (Mestrado em Oceanografia Biológica), Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 338 p.
- Moura H.T.G.S, Nunes Z.M.P. 2016. Caracterização sazonal das águas do sistema estuarino do Caeté (Bragança-PA). *Boletim do Instituto de Pesca*, **42**(4): 844–854.
- Moura R.T. 1992. *Biomassa, produção primária do fitoplâncton e alguns fatores ambientais de Baía de Tamandaré, Rio Formoso, Pernambuco, Brasil*. MS Dissertação (Mestrado em Oceanografia Biológica), Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 290 p.
- Nikiema O., Devenon J. L., Baklouti M. 2007. Numerical modeling of the Amazon River plume. *Continental Shelf Research*, **27**(7): 873-899.
- Nittrouer C.A., DeMaster D.J. 1996. The Amazon shelf setting tropical, energetic, and influenced by a large river. *Continental Shelf Research*, **15**: 553-574.
- Oliveira O.M.C. 2000. *Diagnóstico geoambiental em zonas de manguezal da Baía de Camamu – BA*. TS Doutorado (Doutorado em Geoquímica Ambiental), Universidade Federal Fluminense Niterói, Rio de Janeiro, 249 p.
- Ouyang Y., Nkedi-Kizza P., Wu Q., Shinde D., Huang C. 2006. Assessment of seasonal variations in surface water quality. *Water Research*, **40**(20):3800–3810.
- Parron L.M., Muniz D.H.F., Pereira C.M. 2011. *Manual de procedimentos de amostragem e análise físico- química de água*. Colombo, Embrapa Florestas. Disponível em: <http://www.cnpf.embrapa.br>. Acesso em: 4 dez. 2018.
- Pontes. P. H. P., El-Robrini. M. 2008. Massa d'água da plataforma continental do Maranhão durante o período seco (Novembro, 1997). *Boletim do Laboratório de Hidrobiologia*. **8** (21): 17-24.
- Postma H. 1967. Transport and sedimentation in the estuarine environment. In: Lauff G.H. (ed.). *Estuaries*. Washington, American Association for the Advancement of Science, p. 158- 179.
- Queiroz A.B., Queiroz. R.V., Moreira. H.A., 2003. *Programa Nacional do Meio Ambiente II: Qualidade da Água*. Pernambuco, Agência Estadual do Meio Ambiente e Recursos Hídricos. Disponível em <http://www.cprh.pe.gov.br>. Acesso em: 28 de agosto de 2018.
- Ribeiro L.A.S, Santos M.C.F.V, Saavedra O.R., Neto P.B.L. 2012. A energia maremotriz no Maranhão: uma análise crítica. *Plural- Instituto*, **4**: 45-65.
- Sabri A. 1977. *Phosphate Flux in Breydon Water Estuary*. PhD Tese, Univerity of East Anglia, Norwich, Inglaterra.

- Sampaio S.C., Silvestro M.G., Frigo E.P., Borges C.M. 2007. Relação entre série de sólidos e condutividade elétrica em diferentes águas residuárias. *Irriga*, **12**(4): 569-574.
- Santiago M.F., Passavante J.Z.O., Silva-Cunha M.G.G. 2005. Caracterização de parâmetros físicos, químicos e biológico em ambiente hipersalino, estuário do rio Pisa Sal (Galinhos, Rio Grande do Norte, Brasil). *Tropical Oceanography*, **33** (1): 39–55.
- Santos M.D.L.S., Bordalo A.O., Silva A.C., Araújo M. 2016. Alcalinidade total normalizada na Zona Econômica Exclusiva da região Norte (Brasil). *Scientia Plena*, **12**(9):1-8.
- Santos T.G., Bezerra-Junior J. L., Costa K. M. P., Feitosa F.A.N. 2009. Dinâmica da biomassa fitoplanctônica e variáveis ambientais em um estuário tropical (Bacia do Pina, Recife, PE). *Revista Brasileira de Engenharia de Pesca*, **4**(1): 95-109.
- Santos M.L.S. 2000. *Influência dos rios Amazonas e Pará sobre a biomassa fitoplânctônica*. DS Mestrado (Mestrado em Oceanografia), Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 180 p.
- Sassi R. 1991. Phytoplankton and environmental factor in the Paraíbado Norte river estuary, northeastern Brazil: composition, distribution and quantitative remarks. *Boletim do Instituto Oceanográfico*, **39**(2): 93-115.
- Sen Gupta B.K., Machain-Castillo M.L. 1993. Benthic foraminifera in oxygen poor habitats. *Marine Micropaleontology*, **20** (3-4): 183-201.
- Silva A.C. 2006. *An analysis of water properties in the western tropical Atlantic using observed data and numerical model results*. TS Doutorado, Departamento de Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 156 p.
- Silva C.A.R. 2004. *Análises físico-químicas de sistemas marginais marinhos*. Rio de Janeiro, Editora Interciência, 120 p.
- Silva A.C., Araújo M., Pinheiro L.S. 2007. Caracterização hidrográfica da plataforma continental do Maranhão a partir de dados oceanográficos medidos, remotos e modelados. *Revista Brasileira de Geofísica*, **25**(3): 281-293.
- Silva A.C., Araújo M., Bourlès B. 2007a. Seasonal variability of the Amazon River plume during REVIZEE Program. *Tropical Oceanography*, **38**(1): 1-22.
- Sipaúba-Tavares L.H. 1998. Limnologia dos sistemas de cultivos. In: Valenti W.C. (ed.), *Carcinicultura de Água Doce: Tecnologia para Produção de Camarões*. Brasília, IBAMA/FAPESP, p. 47-75.
- Smith W.O. Jr., D.J. DeMaster. 1996. Phytoplankton and biomass productivity in the Amazon River plume: correlation with seasonal river discharge. *Continental Shelf Research*, **16**: 291-317.
- Sioli H. 1984. The Amazon and its main affluents: Hydrography, morphology of the river courses, and river types. In: Sioli H. (ed), *The Amazon limnology and landscape ecology of a mighty tropical river basin*. Noruega, Dr. W. Junk Publishers, p. 127- 165.
- Sousa R.G.D. 2003. *Estruturas das comunidades de macroinvertebrados bentônicos presentes no estuário do Rio Lima*. DS Mestrado, Instituto de Ciências Biomédicas de Abel Salazar, Universidade do Porto, Portugal.
- Souza-Filho P.W.M. 2005. Costa de manguezais de macromaré da Amazônia: cenários morfológicos, mapeamento e quantificação de áreas usando imagens de sensores remotos. *Revista Brasileira de Geofísica*, **(23)**4: p. 427-435.

- Souza-Filho P.W.M., Sales M.E.C., Prost M.T.R.C., Costa F.R., Souza L.F.M.O. 2005. Zona Costeira Amazônica: O cenário regional e os indicadores bibliométricos em C&T. In: Souza-Filho P.W.M., Cunha E.R.S.P.; Sales M.E.C.; Souza L.F.M.O.; Costa F.R. (Org.). *Bibliografia da zona costeira amazônica*. Museu Emílio Goeldi/ Universidade Federal do Pará/ Petrobrás, Belém, 401 p.
- Stramma L., Schott F. 1999. The mean flow field of the tropical Atlantic Ocean. *Deep Sea Research*, **46**(1-2): 279-303.
- Stramma L., Fischer J., Brandt P., Schott F. 2003. Circulation, variability and near-equatorial meridional flow in the central tropical Atlantic. In: Goni G.J., Malanotte-Rizzoli P. (eds.). *Interhemispheric water exchange in the Atlantic Ocean*. Amsterdam, Elsevier, p. 1–22.
- Stramma L., Rhein M., Brandt P., Dengler M., Boning C., Walter C. 2005. Upper ocean circulation in the western tropical Atlantic in boreal fall 2000. *Deep Sea Research I*, **52**: 221-240.
- Stumm W. 1981. *Aquatic Chemistry: An Introduction Emphasizing Chemical Equilibria in Natural Waters*. New York, Wiley, 569p. (2ª edição)
- Tundisi J. G. 1970. O plâncton estuarino. *Contribuições Avulsas do Instituto de Oceanografia da Universidade de São Paulo*, Série Oceanografia Biológica, **19**: 1-22.
- Vasco A.N., Ribeiro D.O., Santos, A.C.A.S., Júnior, A.V.M., Tavares, E.D., Nogueira L.C. 2010. Qualidade da água que entra no estuário do rio Vaza Barris pelo principal fluxo de contribuição de água doce. *Scientia Plena*, **6** (9):1-10.
- Vasconcelos V.M.M., Souza C.F. 2011. Caracterização dos parâmetros de qualidade da água do manancial Utinga, Belém, PA, Brasil. *Revista Ambiente & Água*, **6** (2): 305-324.
- Veneza. 1959. The final resolution of the symposium on the classification of brackish Waters. *Archo Oceanog. Limnol*, **11**: 243-248 *apud* McLusky D.S. 1981. *The estuarine ecosystem*. Nova York, John Wiley and Sons, 150 p.
- Von Spearling M. 2005. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. Belo Horizonte, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 452 p.

APÊNDICES

APÊNDICE 1. Valores da média \pm desvio padrão dos parâmetros de todas as amostras de água coletada de todos os pontos durante os períodos sazonais estudados.

Parâmetro	Unidade	Período Chuvoso				Período Intermediário				Período Seco			
		Montante	Meio	Jusante	Plataforma	Montante	Meio	Jusante	Plataforma	Montante	Meio	Jusante	Plataforma
Temperatura	°C	28.49 \pm 0.03	28.57 \pm 0.58	28.11 \pm 0.03	27.72 \pm 0.39	29.56 \pm 0.99	29.66 \pm 0.58	29.11 \pm 0.11	27.72 \pm 0.25	29.2 \pm 1.08	29.76 \pm 0.21	29.66 \pm 0.02	28.48 \pm 0.26
		a	a	a	b	c	c	c	c	d	c	c	c
pH	-	6.75 \pm 0.25	7.51 \pm 0.09	7.86 \pm 0.06	8.48 \pm 0.34	6.42 \pm 0.35	6.84 \pm 0.9	8.48 \pm 0.38	8.58 \pm 0.22	6.8 \pm 0.4	7.79 \pm 0.22	7.96 \pm 0.19	8.7 \pm 0.22
		a	b	c	d	a	b	c	d	a	b	c	c
Cond. elétrica	mS/cm	0.08 \pm 0.006	0.3 \pm 0.27	53.84 \pm 0.64	56.41 \pm 0.9	0.04 \pm 0.0005	0.3 \pm 0.27	15.51 \pm 0.94	51.33 \pm 0.56	0.23 \pm 0.19	37.08 \pm 2.86	46.79 \pm 0.4	51.2 \pm 0.14
		a	ab	bc	c	a	ab	bc	c	a	ab	bc	bc
Turbidez	NTU	283.3 \pm 10.5	298.1 \pm 272.8	667.5 \pm 129.3	1.7 \pm 1.96	12.35 \pm 0.97	227.97 \pm 307.69	172.7 \pm 22.5	1.33 \pm 0.99	652.3 \pm 73.7	575.6 \pm 94.96	398.5 \pm 270.2	2.53 \pm 0.13
		a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
OD	mg/L	4.04 \pm 0.38	2.2 \pm 0.15	3.89 \pm 0.81	3.34 \pm 1.76	3.99 \pm 1.36	2.2 \pm 0.15	1.24 \pm 0.007	4.71 \pm 0.89	3.1 \pm 0.41	2.96 \pm 0.25	2.77 \pm 0.15	3.89 \pm 0.59
		a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	a
STD	g/L	0.052 \pm 0.004	0.19 \pm 0.17	32.31 \pm 0.37	33.85 \pm 0.52	0.03 \pm 0.0003	0.19 \pm 0.17	9.62 \pm 0.57	30.8 \pm 0.29	0.12 \pm 0.007	22.64 \pm 1.73	28.56 \pm 0.22	30.73 \pm 0.1
		a	ab	bc	c	a	ab	bc	c	a	ab	bc	bc
Salinidade	-	0	0.13 \pm 0.14	35.57 \pm 0.51	37.53 \pm 0.67	0	0.13 \pm 0.14	9.06 \pm 0.6	33.9 \pm 0.32	0.1 \pm 2.83E-17	23.47 \pm 2	30.39 \pm 0.29	33.63 \pm 0.1
		a	ab	bc	c	a	ab	bc	c	a	ab	bc	bc

Letras diferentes na mesma linha, indicam médias significativamente diferentes pelo teste ANOVA, seguido pelo teste de Tukey ($p < 0,05$).

APÊNDICE 2. Matriz da correlação de Pearson para aos parâmetros físico-químicos do estuário do rio Turiagu até a quebra da plataforma continental, no período chuvoso.

	Temperatura (°C)	pH	Cond. elétrica (mS/cm)	Turbidez (NTU)	OD (mg/L)	Sólidos totais dissolvidos (g/L)	Salinidade
Temperatura (°C)	1,00	-0,87	-0,772	0,53	0,15	-0,77	-0,79
pH	-0,86606	1	0,94829	-0,18794	-0,55302	0,9477	0,95046
Cond. elétrica (mS/cm)	-0,77207	0,94829	1	0,09043	-0,43031	0,99992	0,99953
Turbidez (NTU)	0,53082	-0,19	0,09043	1	-0,03	0,1	0,1
OD (mg/L)	0,15483	-0,55	-0,43031	-0,0331	1,00	-0,4	-0,4
Sólidos totais dissolvidos (g/L)	-0,76523	0,95	0,99992	0,09819	-0,43955	1	0,99905
Salinidade	-0,78921	0,95	0,99953	0,06858	-0,41089	0,99905	1

APÊNDICE 3. Matriz da correlação de Pearson para aos parâmetros físico-químicos do estuário do rio Turiaçu até a quebra da plataforma continental, no período intermediário.

	Temperatura (°C)	pH	Condutividade (mS/cm)	Turbidez (NTU)	OD (mg/L)	Sólidos totais dissolvidos (g/L)	Salinidade
Temperatura (°C)	1,00	-0,87	-0,772	0,53	0,15	-0,77	-0,79
pH	-0,86606	1	0,94829	-0,18794	-0,55302	0,9477	0,95046
Condutividade (mS/cm)	-0,77207	0,94829	1	0,09043	-0,43031	0,99992	0,99953
Turbidez (NTU)	0,53082	-0,19	0,09043	1	-0,03	0,1	0,1
OD (mg/L)	0,15483	-0,55	-0,43031	-0,0331	1,00	-0,4	-0,4
Sólidos totais dissolvidos (g/L)	-0,76523	0,95	0,99992	0,09819	-0,43955	1	0,99905
Salinidade	-0,78921	0,95	0,99953	0,06858	-0,41089	0,99905	1

APÊNDICE 4. Matriz da correlação de Pearson para aos parâmetros físico-químicos do estuário do rio Turiaçu até a quebra da plataforma continental, no período seco.

	Temperatura (°C)	pH	Condutividade (mS/cm)	Turbidez (NTU)	OD (mg/L)	Sólidos totais dissolvidos (g/L)	Salinidade
Temperatura (°C)	1,00	-0,58	-0,319	0,66	-0,99	-0,31	-0,33
pH	-0,58052	1	0,95414	-0,93627	0,65386	0,94973	0,95734
Condutividade (mS/cm)	-0,31891	0,95414	1	-0,82611	0,41114	0,9999	0,99988
Turbidez (NTU)	0,66129	-0,94	-0,82611	1	-0,70	-0,8	-0,8
OD (mg/L)	-0,99361	0,65	0,41114	-0,70155	1,00	0,4	0,4
Sólidos totais dissolvidos (g/L)	-0,30549	0,95	0,9999	-0,81906	0,39838	1	0,99962
Salinidade	-0,33136	0,96	0,99988	-0,82867	0,42348	0,99962	1