



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA - UFRA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AQUICULTURA E RECURSOS AQUÁTICOS
TROPICAIS

ANA CAROLINA SANTA ROSA DE SOUSA

**CARACTERÍSTICAS GEOQUÍMICAS DO FÓSFORO E SUAS ESPECIAÇÕES
QUÍMICAS NOS SEDIMENTOS DO FURO DO MURIÁ (REGIÃO AMAZÔNICA,
BRASIL).**

BELÉM

2017

ANA CAROLINA SANTA ROSA DE SOUSA

**CARACTERÍSTICAS GEOQUÍMICAS DO FÓSFORO E SUAS ESPECIAÇÕES
QUÍMICAS NOS SEDIMENTOS DO FURO DO MURIÁ (REGIÃO AMAZÔNICA,
BRASIL).**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Aquicultura e Recursos Aquáticos Tropicais da Universidade Federal Rural da Amazônia, requisito para obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Prof^ª.Dr^ª. Maria de Lourdes Souza Santos.

BELÉM

2017

ANA

Sousa, Ana Carolina Santa Rosa de
Características geoquímicas do fósforo e suas especiações químicas nos
sedimentos do furo do Muriá (região amazônica, Brasil) / Ana Carolina Santa
Rosa de Sousa. – Belém, 2017.
68 f.

Dissertação (Mestrado em Aquicultura e Recursos Aquáticos Tropicais)
– Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2017.
Orientadora: Dra. Maria de Lourdes Souza Santos.

1. Fósforo - Sedimentos superficiais - Pará 2. Extração de fósforo 3.
Fósforo – Características geoquímicas 4. Fósforo – Especiações químicas I.
Santos Maria de Lourdes Souza, (orient.) II. Título

CDD – 631.417098115

CAROLINA SANTA ROSA DE SOUSA

**CARACTERÍSTICAS GEOQUÍMICAS DO FÓSFORO E SUAS ESPECIAÇÕES
QUÍMICAS NOS SEDIMENTOS DO FURO DO MURIÁ (REGIÃO AMAZÔNICA,
BRASIL).**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Curso de Mestrado em Aquicultura e Recursos Aquáticos Tropicais, para obtenção do título de Mestre. Área de Concentração: Biologia e Manejo de Ecossistemas Aquáticos Naturais.

Aprovado em 17/03/2017.

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Maria de Lourdes Souza Santos – Orientadora
Universidade Federal Rural de Amazônia – ISARH/UFRA

Prof. Dr. Igor Charles Castor Alves - Membro Externo
Universidade da Amazônia – UNAMA

Prof. Dr. Maamar El-Robrini - Membro Externo
Universidade Federal do Pará – UFPA

Prof. Dr. Nuno Filipe Alves Correia de Melo - Membro Interno
Universidade Federal Rural da Amazônia – ISARH/UFRA

Prof. Dr. Glauber David Almeida Palheta- Suplente
Universidade Federal Rural de Amazônia – ISARH/UFRA

*Dedico este trabalho aos meus tios Tanha
Charle Santa Rosa de Sousa e Mauro
Henriques Prestes, as duas pessoas que foram
fundamentais em minha vida e sem as quais
não teria chegado até aqui, por toda a vida
irei amá-los.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por ser meu refúgio nos momentos difíceis, por sempre cuidar de mim e por toda a força que meu deus para não desistir e seguir em frente.

A toda minha família, em especial aos meus tios - Tanha Sousa e Mauro Prestes - e minha mãe - Ana Carla Sousa - que sempre me ajudaram quando precisei. Agradeço por todos esses anos em que dedicaram parte de suas vidas a me proporcionar cuidados e educação, sei que não foi fácil e espero poder um dia recompensá-los, pois vocês foram a base que me sustentou para que eu chegasse até aqui, de todo o coração muito obrigada por tudo.

A minha orientadora Prof^a. Dr^a. Maria de Lourdes Souza Santos pela oportunidade que me concedeu em construir minha carreira profissional desde a graduação, pela paciência e ótima orientação, pelo apoio na elaboração da dissertação, bem como por todo o apoio à realização das análises no Laboratório de Química Ambiental (LQA). Sem a senhora eu não conseguiria, muito obrigada.

A Universidade Federal Rural da Amazônia, ao Programa de Pós-Graduação em Aquicultura e Recursos Aquáticos Tropicais e a CAPES, pelo apoio financeiro durante todo o período de desenvolvimento da pesquisa, que contribuíram à formação de uma Mestre.

A SUDAM- Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia- ao projeto Camurim e a Cetemar-UFRA em Curuçá, pelo apoio logístico a realização das coletas, bem como ao senhor Cláudio e senhora Ruth por toda ajuda prestada no período de coleta.

Ao Prof. Dr. Maamar El-Robrini pelos subsídios prestados durante o desenvolvimento deste trabalho, bem como ao Grupo de Estudos Marinhos e Costeiros (GEMC-UFPA) pelo apoio a realização das análises.

Agradeço ainda por todo o apoio dos amigos que fiz no Laboratório de Química Ambiental, em especial a Rosa Maria - com quem superei momentos difíceis e celebrei pequenas conquistas ao decorrer desta pós-graduação - e ao Pedro Henrique, pela parceria e ajuda durante as árduas, porém gratificantes coletas de sedimento. Muito obrigada por toda a colaboração, respeito, carinho, amizade e lealdade de ambos.

A todos que direta e indiretamente me apoiaram e contribuíram para que a elaboração deste estudo fosse possível.

“A menos que modifiquemos a nossa maneira de pensar, não seremos capazes de resolver os problemas causados pela forma como nos acostumamos a ver o mundo.”

(Albert Einstein)

RESUMO

O Furo do Muriá está inserido na Região Hidrográfica da Bacia do Atlântico Nordeste Ocidental. A área de estudo é um "Furo", uma denominação regional que consiste em um canal ou acidente hidrográfico o qual faz a conexão entre lagos, um rio a um lago ou um rio a ele mesmo, sendo, nesse último caso, fora da planície aluvial. A importância de estuários como o Furo do Muriá, ou também chamado de Furo Maripanema, está em estes ambientes possuírem grandes utilidades à sociedade, tanto em atividades econômicas como à pesca e à navegação, quanto recreativas. Dentre os nutrientes carregados para os estuários, o fósforo é um elemento associado à matéria orgânica que tem grande potencial de adsorção nos sedimentos das zonas estuarinas. Dessa forma, este estudo objetiva determinar a distribuição espacial e sazonal das concentrações das espécies químicas: fósforo inorgânico não apatítico (PINA), fósforo apatítico (PA), fósforo inorgânico (PI), fósforo orgânico (PO), fósforo total (PT), da matéria orgânica, e da granulometria dos sedimentos superficiais do Furo do Muriá, no município de Curuçá, a fim de avaliar a distribuição dessas variáveis ambientais na área de estudo e identificar se este ambiente sedimentar representa um potencial depósito de fósforo para a região. As amostras de sedimento foram coletadas com o uso de uma draga do tipo Ekman-Birge em 14 pontos do Furo do Muriá nos meses de março, junho, setembro e dezembro de 2015. Em cada mês foram coletadas 14 amostras, totalizando 56 amostras. No laboratório, as amostras foram processadas em triplicatas e os resultados expressos em $\mu\text{g.g}^{-1}$ de fósforo, onde o teor de matéria orgânica (MO) foi obtido por gravimetria, as espécies de fósforo pelo método de Williams (1976), o fósforo total por soma de todas as frações, e a granulometria pelo método clássico de Suguio (1973). As concentrações de fósforo variaram de 164,54 a 280,32 $\mu\text{g.g}^{-1}$ para o PINA, de 63,02 a 102,80 $\mu\text{g.g}^{-1}$ para o PA, de 227,21 a 378,61 $\mu\text{g.g}^{-1}$ para o PI, de 30,33 a 135,88 $\mu\text{g.g}^{-1}$ para o PO e de 257,54 a 507,73 $\mu\text{g.g}^{-1}$ para PT, onde 88% de PT é constituído por PI. Os resultados estatísticos demonstraram que a sazonalidade não foi fator preponderante a influenciar às concentrações de fósforo. Considerando a classificação de condições para os sedimentos do estuário, afirma-se que as concentrações de fósforo total encontradas ainda não representam riscos de deterioração ambiental.

Palavras chave: Extração sequencial, mangue, matéria orgânica, Furo do Muriá.

ABSTRACT

The Furo of Muriá is inserted in the Hydrographic Region of western northeast Atlantic Basin. The study area is a "hole" ("Furo"), a local expression to define a channel or hydrographic accident connecting lakes, or connecting a river to a lake or a river to itself, and in the latter case, out of the alluvial plain. The importance of estuaries such as the Furo of Muriá in these environments have a great usefulness for society, as much in economic activities like fishing and navigation, as recreational. Among the nutrients carried to the estuaries, phosphorus is an element associated with organic matter that has great adsorption potential in the sediments of the estuarine zones. In this sense, the objective of this study is to determine the spatial and seasonal distribution of concentrations of non-apatite inorganic phosphorus (PINA), apatite phosphorus (AP), inorganic phosphorus (PO), organic phosphorus (PO), total phosphorus of the organic matter and granulometry in the surface sediments of the Furo Muriá estuary in the municipality of Curuçá in order to evaluate the distribution of these environmental variables in the study area and to identify if this sedimentary environment represents a potential deposit of phosphorus for the region. The sediment samples were collected using an Ekman-Birge dredger at fourteen points of the Furo Muriá in the months of March, June, September and December of 2015. Fourteen samples were collected each month, one for each point, totaling 56 samples. In the laboratory, the samples were processed in triplicates and the results expressed in $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ of phosphorus, where the organic matter content (OM) was obtained by gravimetry, the phosphorus species by Wilians (1976) method, Total Phosphorus by the sum of all fractions, and granulometry by Suguio (1973) classic method. The phosphorus concentrations ranged from 164.54 to 280.32 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ for NAIP, 63.02 to 102.80 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ for AP, 227.21 to 378.61 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ for IP, 30.33 to 135.88 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ for OP and 257.54 to 507.73 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ for TP, where 88% TP is composed by IP. Statistical results showed that seasonality was not a preponderant factor influencing phosphorus concentrations. Considering the classification of conditions for estuarine sediments, it is stated that the total phosphorus concentrations found do not yet represent a risk of environmental deterioration.

Keywords: Sequential extraction, mangrove, organic matter, Furo of Muriá.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO 1

Figura 1 - Esquema do ciclo biogeoquímico do fósforo em estuários.....	19
Figura 2 - Mapa de localização do município de Curuçá.....	23
Figura 3 - Mapa de localização do Furo do Muriá.....	24
Figura 4 - Mapa de localização dos pontos no Furo do Muriá (Montante, meio jusante).....	27
Figura 5 - (a) embarcação utilizada durante as coletas; (b) amostrador do tipo Ekman-Birge, (c) lavagem do amostrador; (d) coleta realizada na Zona Intertidal do estuário; (e) e (f) abertura da draga com sedimento coletado; (g) e (h) coleta da camada superficial e oxidada da amostra; (i) acondicionamento das amostras coletadas.....	28
Figura 6 - (a) e (b) processo de lavagem do sedimento; (c), (d) e (e) decantação das partículas; (f) secagem das amostras em estufa; (g) armazenamento das amostras; (h) quarteamento e maceração do sedimento seco.....	30
Figura 7 - (a) pesagem do sedimento bruto; (b) secagem das amostras em estufa; (c) resfriamento dos cadinhos em dessecador.....	31
Figura 8 - (a) adição de reagentes às amostras nos tubos de ensaio; (b) amostras processadas em triplicata sobre mesa agitadora; (c) centrífuga utilizada para separar a amostra digerida do sobrenadante; (d) Espectrofotômetro utilizado para leitura das amostras como ortofosfato.....	33
Figura 9 - (a) adição de $\text{HCl } 1\text{mol.L}^{-1}$ às amostras nos tubos de ensaio; (b) cadinhos com amostras calcinadas e aderidas a superfície da porcelana; (c) amostras resfriando em dessecador com sílica.....	34

CAPÍTULO 2

Figura 1 - Mapa de localização dos pontos de coleta de amostras de sedimentos.....	46
Figura 2 - (a), (b), (c) e (d) embarcações utilizadas como meio de locomoção pela população local; (e) e (f) queima de resíduos sólidos; (g) vazamento de óleo no estuário (h) banheiro.....	47
Figura 3 - Box plot com os valores encontrados para a salinidade nos dois períodos sazonais.....	49
Figura 4 - Diagramas de Shepard e Pejrup correspondente aos períodos de maior e menor precipitação. (a) diagrama de Shepard para período de maior precipitação; (b) diagrama de Shepard para período de menor precipitação; (c) diagrama de Pejrup para período de maior precipitação; (d) diagrama de Pejrup para período de menor precipitação.....	50
Figura 5 - Distribuição espacial da MO na área de estudo.....	51
Figura 6 - (a) Média das concentrações de P no período de maior precipitação; (b) média das porcentagens de P no período de maior precipitação; (c) Média das concentrações de P no período de menor precipitação; e (d) média das porcentagens de P no período de menor precipitação.....	52
Figura 7 - Valores dos parâmetros analisados nos dois períodos sazonais estudados.....	53
Figura 8 - Os fósforos PA e PO foram as frações que compuseram em menor porcentagem o PT. (a) Ponto 1 considerado como qualidade referência (muito bom) no período de maior precipitação; (b) ponto 6 considerado como de boa qualidade neste estudo; (c) ponto 11 considerado como menor qualidade durante o período de menor precipitação.....	61

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2

Tabela 1: Estatística descritivas das variáveis analisadas	54
Tabela 2: Matriz de correlação das variáveis analisadas na área de estudo.....	54
Tabela 3: Concentrações em $\mu\text{g.g}^{-1}$ das especiações de fósforo em várias áreas de estudo.....	58
Tabela 4: Classificação de condições dos sedimentos superficiais em relação as concentrações de fósforo total, proposta por Robertson and Stevens (2013).....	60

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	12
1. INTRODUÇÃO	12
2. HIPÓTESE	14
3. OBJETIVOS	15
3.1. Geral	15
3.2. Específicos	15
4. REVISÃO DE LITERATURA	16
4.1. Estuários	16
4.2. Manguezal	17
4.3. Ciclo do fósforo	18
4.4. Extração sequencial de fósforo	20
5. LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DA ÁREA	23
5.1. Município de Curuçá e Furo do Muriá	23
5.2. Cobertura vegetal	25
5.4. Geologia e geomorfologia	25
5.5. Bacia hidrográfica	25
5.6 Clima local	26
6. MATERIAL E MÉTODOS	27
6.1. Coleta dos sedimentos superficiais	27
6.2. Procedimentos laboratoriais	29
6.2.1. Tratamento dos sedimentos	29
6.2.2. Matéria orgânica	30
6.2.3. Granulometria	31
6.2.4. Especiação de fósforo	32
6.2.4.1. Fósforo ligado aos óxidos/hidróxidos de ferro/alumínio (Fósforo Inorgânico não Apatítico - PINA).....	32
6.2.4.2. Fósforo ligado ao cálcio (Fósforo Inorgânico Apatítico- PA).....	33

6.2.4.3. Fósforo inorgânico	33
6.2.4.4. Fósforo orgânico	34
6.2.4.5. Fósforo total.....	34
7. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS	35
8. REFERÊNCIAS.....	36
CAPÍTULO 2	42
ESPECIAÇÃO DO FÓSFORO NOS SEDIMENTOS SUPERFICIAIS EM AMBIENTE ESTUARINO AMAZÔNICO, BRASIL.....	42
RESUMO.....	42
PHOSPHORUS SPECIATION ON THE SURFACE SEDIMENTS IN AMAZON ESTUARINE ENVIRONMENT, BRAZIL.....	43
ABSTRACT.....	43
1. INTRODUÇÃO.....	44
2. ÁREA DE ESTUDO	45
3. MATERIAL E MÉTODOS	46
4. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS	48
5. RESULTADOS	48
6. DISCUSSÃO	55
7. CONCLUSÃO	62
8. AGRADECIMENTOS	63
9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	64

CAPÍTULO 1

1. INTRODUÇÃO

O acelerado crescimento das atividades urbano-industriais, nas últimas décadas, tem ocasionado o aumento do aporte de cargas poluentes para os ecossistemas aquáticos como rios, lagos, lagoas e estuários, sendo estes ambientes de grande valor para a manutenção da biodiversidade aquática (MARINS, 2007).

A zona estuarina está entre os ambientes com maior produtividade, sendo esta a mais importante zona de deposição de material particulado e de dinâmica de elementos biogênicos associados ao ambiente estuarino, advindos tanto da produtividade primária quanto de fontes continentais de origem mineral ou antrópica (BARCELLOS et al., 2005).

Os sedimentos estuarinos, em termos gerais, constituem material sólido inconsolidado a partir de partículas de minerais e restos orgânicos. Este material pode ter sua origem relacionada à erosão de rochas preexistentes e distantes do ambiente de deposição, ou à erosão de afloramento da zona costeira, ou ainda por meio da calcificação de sais minerais dissolvidos na água (SUGUIO, 1973; LIMA, 2015).

Os estuários são, ainda, uma importante interface entre os ambientes continentais e marinhos, e recebem nutrientes e sedimentos carreados da drenagem continental, bem como funcionam como exportadores de matéria orgânica para a plataforma continental (MIRANDA et al., 2002). Dentre os nutrientes carreados para os estuários, o fósforo é um elemento associado à matéria orgânica que tem grande potencial de adsorção nos sedimentos dos estuários (BARCELLOS et al., 2005).

É imprescindível que hajam estudos sobre a morfologia e a distribuição dos sedimentos estuarinos para identificar a existência de possíveis áreas de acumulação de sedimentos superficiais. Esses estudos poderão contribuir para a formação de um *background* de conhecimento e informações sobre as características físico-químicas e de comportamento de ambientes estuarinos. Tais informações contribuirão para identificar quais impactos ambientais que uma área sofreu ou está sofrendo devido às atividades humanas e naturais (SUN et al., 2016).

Dessa forma, para determinadas espécies químicas como o caso do fósforo, as emissões de poluentes antropogênicos superam as concentrações naturais de liberação de fósforo no ambiente aquático, haja vista que este é um elemento existente nos mais diversos efluentes originados de atividades humanas (PAULA FILHO, 2012). Assim sendo, inúmeros estudos têm se desenvolvido

relacionados às formas de fósforo no ambiente aquático, todavia a maioria aborda somente a dinâmica do fósforo total (PROTAZIO et al., 2004; SILVA, 2014).

No entanto, os riscos de eutrofização ocasionados por altas concentrações de nutrientes no meio aquático não podem ser aferidos considerando apenas os teores encontrados na coluna d'água. Segundo Lima (2014), há uma relação próxima entre a qualidade dos sedimentos e a qualidade da água, onde sedimentos podem agir como fonte de contaminação ambiental difusa de longa duração, ainda que os teores de nutrientes mensurados na água sejam consideravelmente reduzidos.

A origem, composição e distribuição do elemento fósforo nos sedimentos, assim como a matéria orgânica, em estuários sucedem em função das características gerais de cada estuário, e são determinadas a partir de fatores que se relacionam a gênese e morfologia desses ecossistemas, além de condições climáticas e contribuição de materiais locais (BARCELOS et al., 2005). A importância de estuários como o Furo do Muriá, ou também chamado de Furo Maripanema, está em estes ambientes possuírem grandes utilidades à sociedade, tanto em atividades econômicas como à pesca e à navegação, quanto recreativas (BARCELLOS et al., 2005).

Na área de estudo e em regiões adjacentes, diversas pesquisas foram desenvolvidas nos últimos anos sobre a qualidade ambiental da água - Palheta (2005); Paula et al. (2006); Pereira (2006); Almeida (2009); Leite et al. (2009); Silva et al. (2011); Lima et al. (2014); Vilhena et al. (2014); Santos (2016); Carvalho et al. (2016) e Sousa et al. (2016) - e dos sedimentos – Vilhena et al. (2003); Costa et al. (2004); Delfino (2006); Berrêdo et al. (2008); Ranieri (2011); Santos et al. (2012); Lima (2014); Lima et al. (2015); Barbosa et al. (2015). Entretanto, nenhum abordou a especiação química do fósforo em sedimentos superficiais, logo, este trabalho pode ser considerado pioneiro quanto ao desenvolvimento e investigação deste tema no Furo do Muriá.

Nesse sentido, este estudo objetivou determinar a distribuição espacial e sazonal das concentrações do fósforo e matéria orgânica, caracterizar as frações granulométricas nos sedimentos superficiais do Furo do Muriá, no município de Curuçá, e identificar se este ambiente sedimentar representa um potencial depósito de fósforo para a região.

2. HIPÓTESE

Determinou-se verificar no Furo do Muriá os valores base das concentrações de fósforo nos sedimentos superficiais por meio de técnicas de especiação de fósforo, que ainda não foram empregadas na região. Sendo assim, a hipótese deste estudo é:

- ✓ Os sedimentos superficiais do Furo do Muriá atualmente agem como um grande estoque de fósforo para o ambiente, pois a área é constituída majoritariamente por partícula finas, funcionando como um "filtro retentor" de nutrientes onde a predominância de liberação de fósforo está na primeira extração (PINA), realizada com digestão ácida, devido às características naturais das partículas sedimentares do local e da labilidade desta determinada forma de fósforo em relação a essas partículas sedimentares.
- ✓ Por outro lado, ainda não se sabe como o fósforo ligado ao sedimento é transportado ao longo do estuário, nem como a hidrodinâmica do local interfere no potencial de liberação e retenção desse elemento. Logo, sendo negativa a hipótese anterior, infere-se que os sedimentos do Furo do Muriá não atuam retendo grandes quantidades de fósforo e não representam riscos de desequilíbrio ambiental através da liberação de altas concentrações do nutriente.

3. OBJETIVOS

3.1. Geral

- Avaliar a distribuição espacial e temporal do fósforo nos sedimentos superficiais do Furo do Muriá no município de Curuçá (Pará).

3.2. Específicos

- Analisar a granulometria dos sedimentos superficiais amostrados no Furo do Muriá;
- Determinar a matéria orgânica nos sedimentos superficiais do Furo do Muriá;
- Determinar as diversas formas de fósforo (orgânico, ligado aos óxidos/hidróxidos de ferro/alumínio, ligado ao cálcio, inorgânico e total);
- Relacionar os resultados com a sazonalidade e a distribuição espacial dos pontos na área investigada;
- Avaliar a estatística da distribuição das concentrações de fósforo na área estudada.

4. REVISÃO DE LITERATURA

4.1. Estuários

A rede hidrográfica mais extensa do planeta está localizada na região Amazônica, a qual é intensamente influenciada por duas bacias hidrográficas: as bacias dos rios Amazonas e Tocantins-Araguaia (ANA, 2016). Estas duas bacias, somadas a outras de menor porte, constituem a Zona Costeira Amazônica (ZCA) e desembocam no litoral dos estados do Amapá, Pará e Maranhão. Segundo Sousa Filho et al. (2005) e Santos (2016), a ZCA é um ambiente o qual abriga a maior faixa contínua de manguezais existente, diversos estuários, planícies de maré e praias oceânicas e estuarinas.

Estuários são importantes zonas de troca sedimentar entre os ecossistemas continental e marinho, o acúmulo desses sedimentos nessas áreas conseqüentemente leva a acumulação de contaminantes e nutrientes advindos das atividades humanas (GASPAR et. al., 2013).

Em se tratando da zona estuarina, esta representa um ambiente de transição da interface continente-oceano. O ambiente estuarino, dessa forma, é definido como um corpo de água costeiro semifechado que tem uma ligação livre com o mar aberto e na qual a água do mar é mensuravelmente diluída pela água doce decorrente da drenagem continental (PRITCHAD, 1967).

Estes são ecossistemas que possuem características de ambientes dinâmicos, os quais resultam da interação e da variabilidade temporal existente entre o aporte fluvial, as marés e as ondas (SANTOS et al., 2013). Esta dinâmica entre as águas origina gradientes horizontais e verticais de salinidade, na qual, geralmente, o teor salino da água do mar é superior ao da zona estuarina.

Estas regiões costeiras são as que mais causam apreensão acerca da integridade e equilíbrio ambiental, pois são áreas ameaçadas tanto pela intensa exploração de seus recursos naturais quanto por representarem uma via de transporte para atividades de navegação e de pesca. Estas zonas estuarinas desempenham ainda, importância para o lazer, turismo e moradia de grande contingente populacional urbano (MIRANDA et al., 2002) que corroboram para a intensificação da exploração estuarina. Segundo Silva et al. (2011), os estuários são imprescindíveis além de seus limites físicos, uma vez que, em condições naturais, estes ambientes são biologicamente mais produtivos que os rios e a região costeira adjacente.

Os estuários são ambientes importantes, pois, além de sua diversidade biológica, funcionam como filtros de materiais continentais de encontro ao mar e como zonas de deposição de determinados compostos químicos. Todavia, é imprescindível destacar que estes não podem

constituir depósitos definitivos por causa das alterações geoquímicas que ocorrem na coluna d'água e no sedimento, ou mesmo como reação a processos erosivos que implicam em remobilizações desses materiais depositados (MARINS, 2007).

O fósforo é um nutriente fundamental que está entre estes materiais, pois este possui importância para todas as formas de vida na Terra haja vista que este elemento está incluso no metabolismo dos seres vivos, transferência de energia (ATP) envolvendo material genético e compondo a estrutura de organismos providos de membranas e ossos (NUNES, 2013).

Dessa forma, o estuário é um ecossistema geralmente heterotrófico e representa, portanto, uma fonte de fósforo inorgânico dissolvido para o oceano (SMITH et al., 1991). No entanto, o ciclo do fósforo em estuários ainda não é completamente compreendido, pois o fósforo dissolvido não é controlado somente pela dinâmica na camada intersticial e processos metabólicos, as partículas que se encontram em suspensão também desempenham ação importante na dinâmica do fósforo (DEBORDE, 2007).

4.2. Manguezal

O manguezal pode ser definido como ecossistema costeiro limitado a ambientes com climas tropicais e subtropicais. Estes possuem ocorrência em estuários, lagunas e planícies de maré, nas áreas de transição entre os ambientes terrestres e marinhos, sofrendo ação diária da maré. Os mangues propiciam inúmeros benefícios e serviços ambientais, protegendo as margens dos estuários, fornecendo subsídios vegetais e animais aos humanos, retenção de sedimentos, nutrientes, substâncias químicas, matéria orgânica, além de abrigar interações ecológicas marinho-fluviais (COSTA; ROCHA; CESTARO, 2014).

De acordo com Lacerda (1984) e Miola (2013), é estimado que existam aproximadamente 20 mil km² de manguezal ao redor do mundo, na qual os países que abrigam as maiores florestas são a Malásia, Índia, Brasil, Venezuela, Nigéria e Senegal.

No Brasil, os manguezais possuem área aproximada de 13.763 km² estendendo-se do Oiapoque (Amapá) até seu limite sul em Laguna (Santa Catarina) (COSTA; ROCHA; CESTARO, 2014). Esse ecossistema possui como característica a associação de árvores e arbustos, *Rizophoramangle* e *Avicennia* sp, assim como algumas gramíneas (*Spartina* sp), sendo estas vegetações halófitas as quais se desenvolvem em planícies de marés protegidas as margens de estuários e lagunas (SUGUIO, 1998; MIOLA, 2013).

Muitas espécies de líquens, macroalgas, diatomáceas e cianofíceas também estão presentes nos manguezais. Quanto a fauna, esta é constituída por centenas de espécies de pássaros, moluscos,

peixes, insetos, mamíferos, caranguejos e microorganismos adaptados a este ambiente, os quais influenciam diretamente na dinâmica desses ecossistemas (LACERDA et al., 2001).

Os solos de mangue possuem predominância das frações mais finas (silte e argila) dos sedimentos por estarem em ambientes caracterizados com baixa energia, grandes quantidades de matéria orgânica e sais solúveis em função da proximidade e contato com o ambiente marinho. Em decorrência da decomposição da serrapilheira, bem como pela saturação da água, os solos deste ambiente são reduzidos, com presença de sulfetos e com cores acinzentadas a preta que podem ter vários metros de profundidade, fracamente consolidados e semifluidos (MIOLA, 2013).

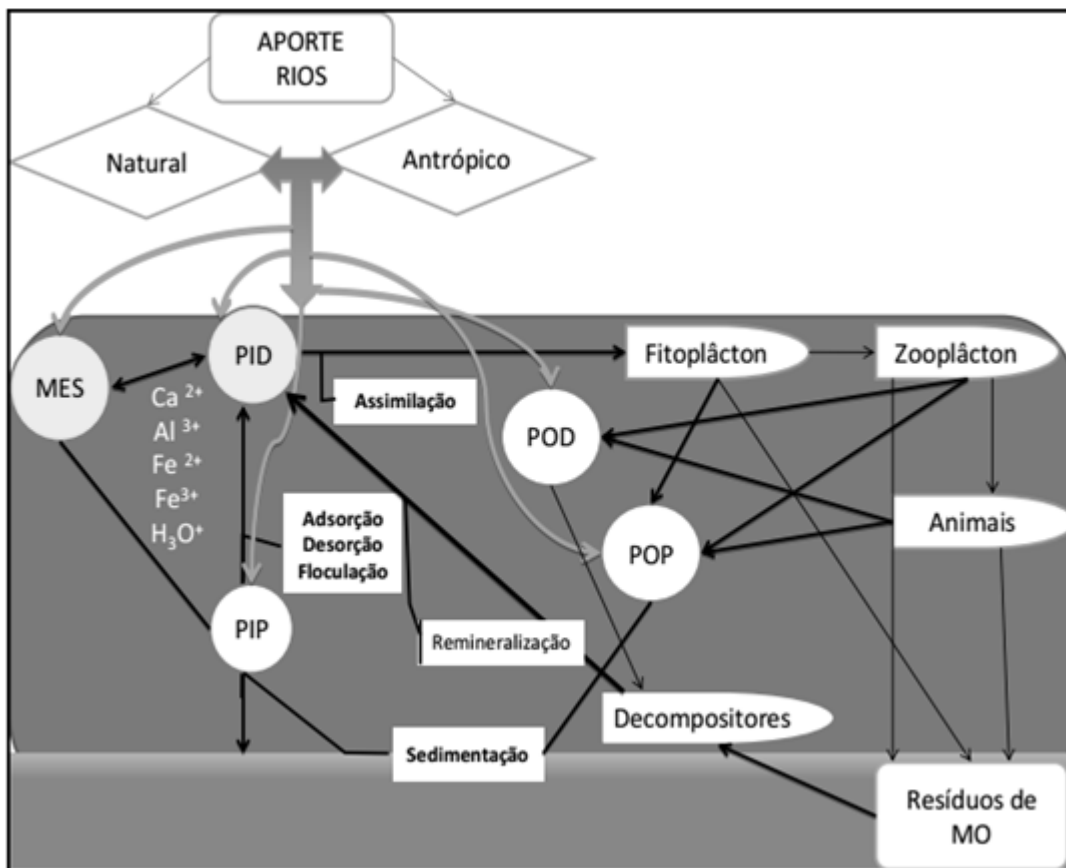
São frequentemente inundados e responsáveis por imprescindíveis alterações físico-químicas nos solos. Tais alterações propiciam a queda do potencial redox, aumento de pH, mudanças no equilíbrio dos minerais e na dinâmica de elementos como ferro e enxofre. São ainda solos halomórficos desenvolvidos dos sedimentos marinhos e fluviais com matéria orgânica e em topografias planas na zona costeira sob influência direta do ambiente marinho (EMBRAPA, 1978).

Os manguezais são considerados ambientes altamente produtivos devido à capacidade em exportar detritos orgânicos em suspensão ou macrodetríticos aos sistemas costeiros próximos (ARAÚJO et al., 2011). As regiões estuarinas e de manguezais são aquelas que apresentam maiores riscos biológicos e socioeconômicos, sendo sistemas na qual medidas de manejo bem planejadas se fazem necessárias à melhoria da qualidade ambiental dessas áreas.

4.3. Ciclo do fósforo

No ciclo do fósforo em águas continentais e costeiras (Figura 1), o fósforo é oriundo a partir da liberação pela rocha de origem através do processo de intemperismo e erosão natural, bem como de origem antrópica onde ocorre a remobilização de solos e sedimentos. A partir da liberação desse fósforo no ambiente, o mesmo é carregado para os ambientes aquáticos continentais por meio da infiltração e lixiviação causadas pelas águas pluviais e posteriormente é absorvido na forma de fósforo inorgânico pela biota aquática, principalmente pelos produtores primários (ESTEVES, 2011).

Figura 1 - Esquema do ciclo biogeoquímico do fósforo em estuários.



Fonte: Coelho, 2011.

Legenda: MES- Material em Suspensão; PID- Fósforo Inorgânico Dissolvido; PIP- Fósforo Inorgânico Particulado; POD- Fósforo Orgânico Dissolvido; POP- Fósforo Orgânico Particulado; MO- Matéria Orgânica.

O fósforo participa de inúmeros níveis tróficos até ser novamente depositado no fundo sedimentar e ser decomposto por bactérias e fungos, se reciclando. Para que o fósforo seja liberado de volta para o meio, este deve se apresentar em sua forma inorgânica que é a forma mais comum de assimilação deste nutriente pelos organismos. Parte deste fósforo presente na área continental é transportado para a zona marinha, este fósforo pode ser utilizado pelo ecossistema marinho ou simplesmente ser depositado nos sedimentos. A maior parte do fósforo no ambiente é perdido por incorporação mineral as rochas, porém este nutriente pode ainda ser devolvido a massa d'água por meio das correntes de ressuspensão. Em estuários, devido a sua grande dinâmica, essa recirculação de nutrientes é mais significativa entre as camadas d'água e a sedimentar (ESTEVEVES, 2011).

Alguns fatores influenciam diretamente no ciclo do fósforo nos sedimentos, como a concentração de oxigênio dissolvido (OD) no ambiente aquático, onde se o mesmo tiver característica aeróbica à tendência do fósforo é de precipitar no sedimento, enquanto que se as características forem de ambiente anaeróbico, o fósforo do ambiente tende a ser liberado de volta para a coluna d'água (LIBES, 1992).

Outros fatores físico-químicos corroboram para a precipitação/imobilização dos íons fosfato no ambiente aquático como o pH, a concentração de íons de ferro e alumínio, compostos orgânicos e condições de oxi-redução (FENZL,1988).

Destacando o papel ambivalente da matéria orgânica, esta pode tanto adsorver o fósforo no fundo sedimentar como também pode bloquear os sítios de adsorção que ocorrem nas superfícies das argilas e dos óxidos de ferro e alumínio (SANYAL; DATTA, 1991).

Quando se trata de adsorção de fósforo, os óxidos de ferro são os colóides inorgânicos de maior importância e eficiência, haja vista que o processo de troca de ligantes químicos é facilitada pela forte atração existente entre os prótons e o oxigênio dos óxidos ou grupos funcionais (SCHWERTMANN; TAYLOR, 1989).

A oxidação do Fe^{3+} para Fe^{2+} também condiciona a liberação dos íons fosfato no sedimento. Os íons fosfatos podem ser imobilizados no ambiente aquático pela formação de hidróxidos insolúveis de íons Fe^{3+} , enquanto que esses hidróxidos insolúveis não são formados com íons Fe^{2+} , que permanecem na solução. Nesta última situação, o ferro pode vir a combinar-se com o enxofre e formar a partir daí sulfetos de ferro (FeS) através de oxidação. Já a redução é o processo oposto ao da oxidação, ocorrendo em ambientes pobres ou isentos de oxigênio (SCHWERTMANN; TAYLOR, 1989).

De acordo com Esteves (2011), a liberação de fosfato na água que outrora estava ligado aos óxidos e hidróxidos de ferro se tornam disponíveis com a disponibilidade do íon Fe^{2+} no ambiente aquático. Logo, ecossistemas aquáticos em que predominam boas condições de oxidação e apresentam pH neutro a levemente ácido, a maioria dos íons de ferro presentes no ambiente contemplam sua forma oxidada e insolúvel, o qual pode absorver espécies fosfatadas em sua superfície, conseqüentemente precipitando e se depositando sobre o fundo sedimentar.

4.4. Extração sequencial de fósforo

As extrações sequenciais são métodos analíticos confiáveis que permitem diferenciar as frações de fósforo no ambiente sedimentar. Diversos estudos tem se voltado à especiação de fósforo em sedimentos estuarinos (HUANXIN et al., 1997; DEBORDE, 2007). Os estuários transformam a especiação de fósforo por meio de processos geoquímicos ou biogeoquímicos que controlam a evolução e distribuição desse nutriente na interface terra-mar. Assim, é de grande importância conhecer os processos que vêm a controlar as emissões de fósforo e seu ciclo no sedimento estuarino (DEBORDE, 2007).

A fim de otimizar o entendimento acerca dos processos biogeoquímicos que influenciam a dinâmica do elemento fósforo biodisponível no ambiente aquático, busca-se entender as frações geoquímicas em que este nutriente se encontra no leito sedimentar. Logo, a especiação geoquímica do fósforo em suas frações orgânica e inorgânicas proporciona uma visão completa e sistêmica desse elemento no sistema estuarino sedimentar (RUTTENBERG; BERNER, 1993; BERNER; RAO, 1994; KOCH et al., 2001).

Com a intenção de guiar os estudos voltados à especiação e extração sequencial de elementos, bem como de esclarecer e padronizar o conceito de especiação química foi publicado em 2000, pela International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC), o relatório “Diretrizes para termos relacionados à especiação química e fracionamento de elementos: Definições, aspectos estruturais, e abordagens metodológicas” (“*Guidelines for terms related to chemical speciation and fractionation of elements: Definitions, structural aspects, and methodological approaches*”).

Este relatório dispõe sobre o termo “especiação”, segundo o qual este deve se limitar à distribuição de determinado elemento entre espécies químicas em dada amostra ou matriz (TEMPLETON; ARIESE; CORNELIS, 2000), ou seja, entende-se este termo como sendo a distribuição de distintas espécies químicas de um elemento em uma amostra, avaliando e distinguindo as espécies quanto ao estado de oxidação, complexão e não complexação (LADEIRA et al., 2014).

Determinar as espécies químicas de fósforo resulta em excelente parâmetro para diagnóstico ambiental, sendo de grande importância para o reconhecimento tóxico no ambiente. O fósforo é considerado o principal fator limitante da produtividade primária de águas continentais, por este motivo a redução de nutrientes nos fluxos fluviais, especialmente de fósforo, pode alterar significativamente a produtividade nos estuários (ESTEVES, 2011).

Dentre as formas de fósforo, Santos et al. (2007) descreveram que o fósforo orgânico dissolvido representa uma pequena fração da forma total dissolvida na coluna de água e o fósforo total particulado uma fração importante desse elemento, principalmente pela liberação para forma de fosfato. A quantificação das concentrações do fósforo total é importante para identificar os níveis de eutrofização dos ambientes aquáticos. De toda forma, estas concentrações de fósforo total não são suficientes para verificar os riscos associados com esta presença no ambiente aquático (GASPAR, 2013).

Além do fósforo total e fósforo orgânico, outras formas de fósforo desempenham importante papel na dinâmica dos ecossistemas aquáticos. O fósforo inorgânico não apatítico (PINA) é um fracionamento geoquímico da forma inorgânica do fósforo, o qual também é determinado como

sendo o fósforo biodisponível em sua forma dissolvida no ambiente aquático (PAULA FILHO, 2012; GASPAR, 2013; ZHUANG et al., 2014).

O PINA é a fração de fósforo que está ligada aos óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, e segundo Wetzel (2001) na camada superficial oxidada do sedimento, que mede alguns milímetros de espessura, os agregados de oxi-hidróxido de ferro formam uma superfície para contínua adsorção do PO_4^{3-} , liberado pela decomposição microbiana. Essa condição impõe uma barreira para a difusão e retorno do fósforo para a coluna d'água.

De acordo com Bortleson (1974), a ação dos íons de ferro sobre a dinâmica do fósforo depende do seu estado de oxidação que, por sua vez, depende da concentração do oxigênio e do pH do meio aquático. Assim, em condições oxidantes, a forma iônica de ferro predominantemente é o Fe^{3+} . Com base nessas premissas, o modelo clássico da ciclagem do fósforo descreve que o PO_4^{3-} é adsorvido a oxi-hidróxidos de ferro em ambientes aquáticos oxigenados (KALFF, 2002; ESTEVES, 2011).

O fenômeno de adsorção de fósforo às argilas assume grande importância em águas continentais tropicais pelo fato de a maioria desses corpos d'água receber aportes de argilas de suas bacias de drenagem. Essas argilas ao atingirem o ambiente aquático podem, dependendo das condições físico-químicas do meio e das concentrações de ferro e alumínio, precipitar grandes quantidades de fósforo, reduzindo a concentração desse íon na água (ESTEVES, 2011).

Outra fração de fósforo que pode ser determinada no ambiente é o fósforo apatítico (PA), este está ligado ao cálcio e representa os íons de ortofosfatos incluídos na estrutura cristalina da apatita e oclusa não sendo, portanto, biodisponível no ambiente (SPAN, 1990; PROTAZIO, et al. 2004; GASPAR, 2013).

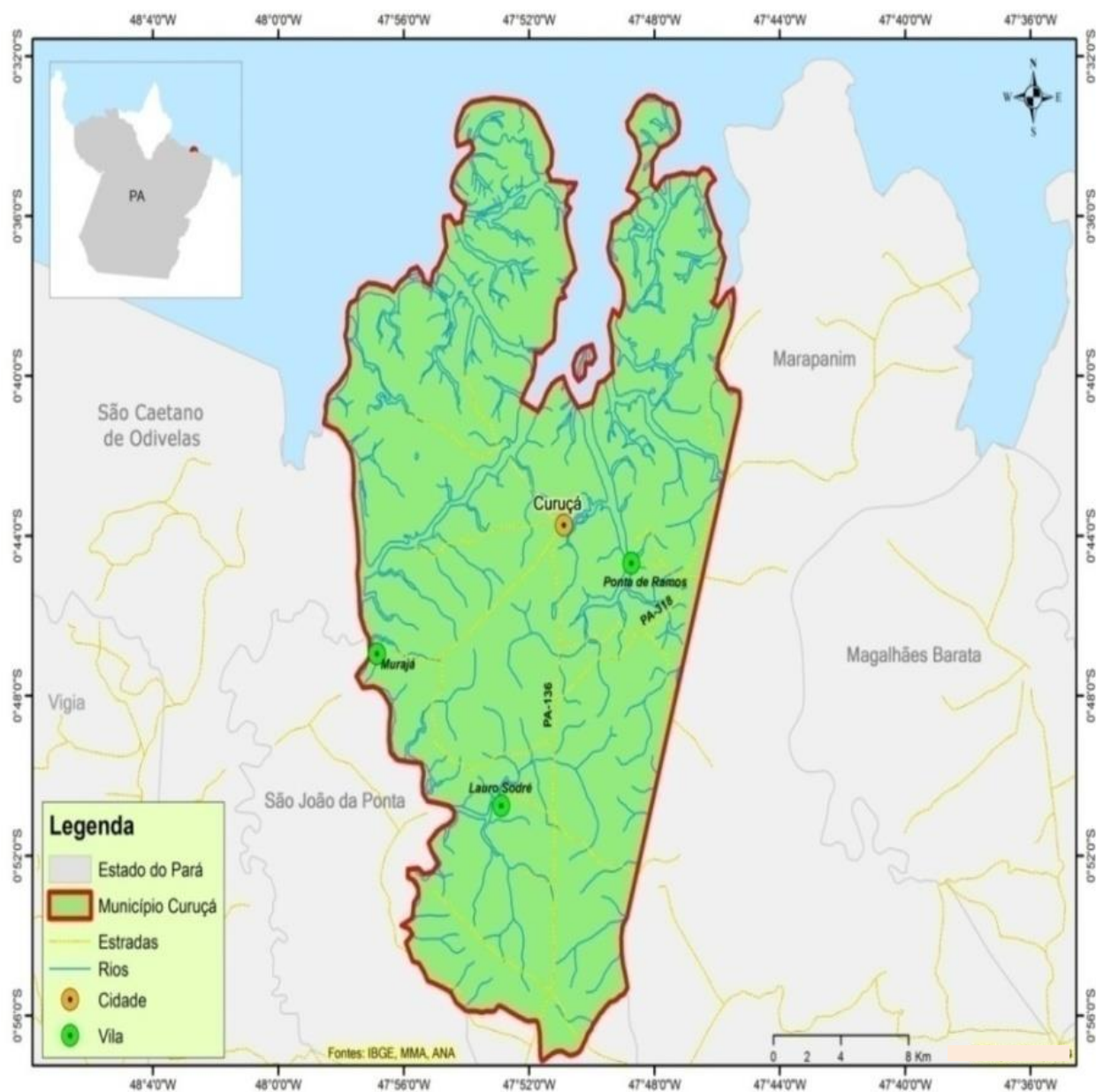
Ao somar as frações PINA e PA do fósforo, é possível obter a soma total da forma inorgânica deste elemento, ou simplesmente o fósforo inorgânico (PI). O fósforo de origem antrópica encontra-se principalmente nas formas inorgânicas, devido ao uso indiscriminado de fertilizantes químicos nos solos ou pelas emissões de efluentes urbanos, que contêm polifosfatos dos produtos de limpeza e ortofosfato e fosfatos inorgânicos condensados dos esgotamentos sanitários não tratados (MARINS et. al., 2007; OSORIO, 2001).

5. LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DA ÁREA

5.1. Município de Curuçá e Furo do Muriá

O município de Curuçá (Figura 2) pertence à Mesorregião do Nordeste paraense e à Microrregião do Salgado. A sede municipal distancia-se cerca de 136 Km da capital Belém e tem as seguintes coordenadas geográficas: 00° 43' 48" de latitude Sul e 47° 51" 06" de longitude a Oeste de Greenwich. Limites ao Norte - Oceano Atlântico; a Leste - Município de Marapanim; ao Sul - Município de Terra Alta; a Oeste - Municípios de São Caetano de Odivelas e São João da Ponta. (BITTENCOURT et al., 2014).

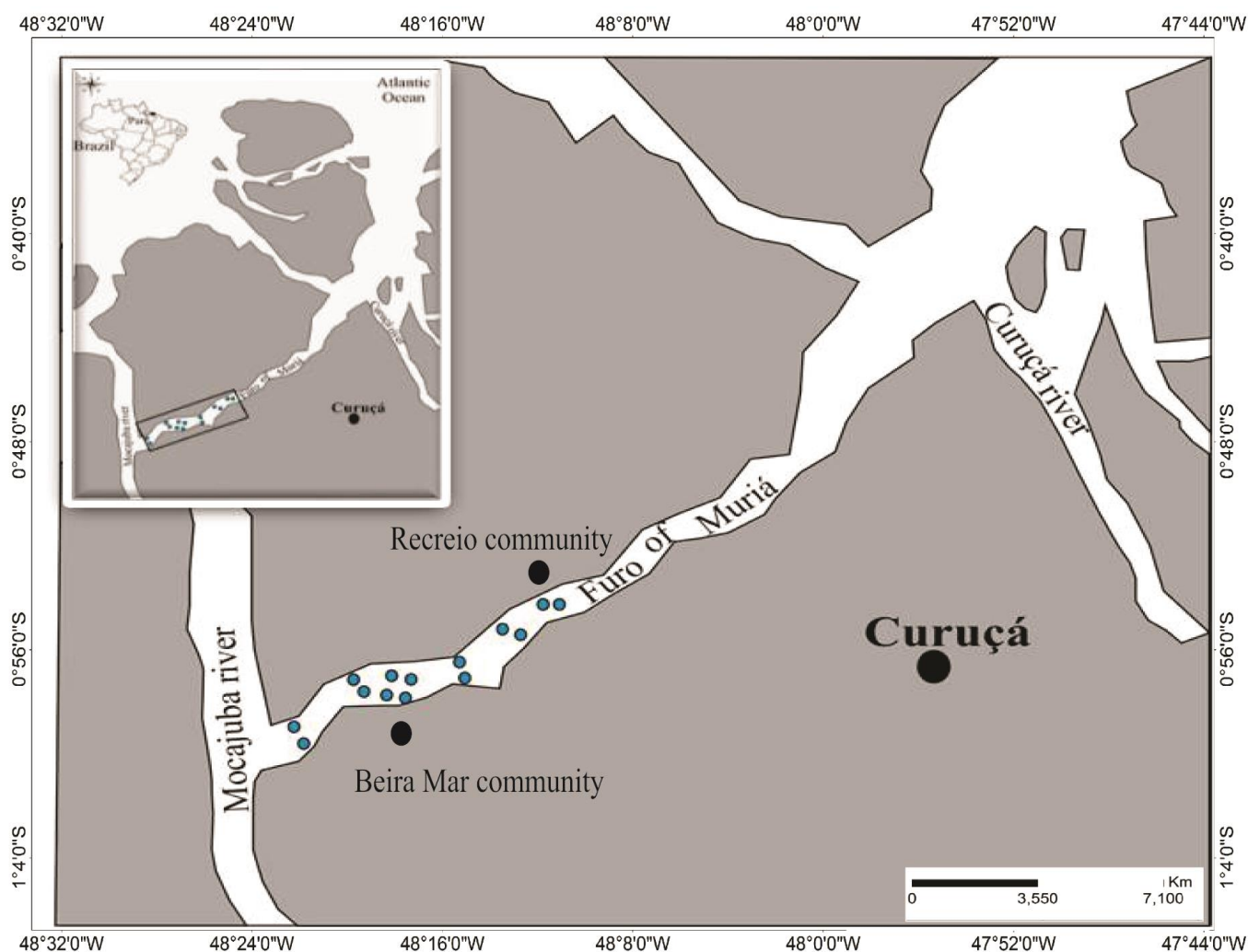
Figura 2 - Mapa de localização do município de Curuçá.



Fonte: Autora, 2015.

A área de estudo é um "Furo", uma denominação regional que consiste em um canal ou acidente hidrográfico o qual faz a conexão entre lagos, um rio a um lago ou um rio a ele mesmo, sendo, nesse último caso, fora da planície aluvial (PIMENTEL et al., 2012). Assim se enquadra o Furo do Muriá ou Furo Maripanema (Figura 3), ao sul da Ilha do Mutucal, que faz a ligação entre os rios Curuçá e Mocajuba com a Baía de Curuçá. Próximo as margens do Furo estão localizadas as comunidades Beira Mar e Recreio, inseridas no município de Curuçá/Pa (nordeste paraense), este com área aproximada de 673 Km² (LEITE, PEREIRA, COSTA, 2009).

Figura 3 - Mapa de localização do Furo do Muriá.



Fonte: Autora, 2016.

Às proximidades do Furo do Muriá é possível identificar inúmeras residências que compõem as comunidades Beira Mar e Recreio, que possuem, assim como no restante do município, suas economias baseadas principalmente em atividades agrícolas e pesca artesanal, todavia há também o comércio que atende as necessidades dos moradores e de turistas na região, pecuária, extrativismo, turismo e algumas indústrias. O Furo possui ainda papel fundamental à locomoção da população, pois o tráfego de pessoas entre as ilhas próximas se dá por meio de

pequenas embarcações. Os principais pontos de poluição observados na área de estudo estão intensamente ligados a carência em infra-estrutura de saneamento básico, sendo possível encontrar disposição de efluentes domésticos a céu aberto, queima e destinação irregular de resíduos sólidos e por vezes vestígios de escapes de óleo das embarcações da região.

5.2. Cobertura vegetal

A cobertura florestal do município é predominada por florestas secundárias, consequência dos desmatamentos ocorridos com grande intensidade e extensão, cujo objetivo foi à remoção da floresta primitiva para o plantio de espécies agrícolas de subsistência. Destaca-se também, a presença das florestas de mangue ou manguezais que ocupam as porções litorâneas e semilitorâneas. A alteração da cobertura vegetal nativa, levantada em imagens LANDSAT-TM, do ano de 1986, era de 78,15% e destes, apenas o manguezal permanecia inalterado. Como patrimônios naturais, destacam-se as praias de Mariteua e do Sino e os Furos Muriá ou Maripanema, Grande, as ilhas Ipomonga e Mutucal, assim como os recantos Arapironga de Dentro, Bosque da Igualdade e Bosque Centário (BITTENCOURT et al., 2014).

5.4. Geologia e geomorfologia

A baixa altitude apresentada condiz com a inexistência de acidentes topográficos expressivos, isso ocorre em virtude da altitude média ser de 5 a 15 m com sua cota mais elevada de 63 m no centro do Município. Na região ocorrem sedimentos do Grupo Barreiras (Terciário), principalmente, constituindo as partes mais internas do município e sedimentos inconsolidados recentes (Quaternário), localizados na zona litorânea. A região inclui áreas de planícies de inundações, terraços e esporádicos restos de tabuleiros, inseridos em duas unidades morfo-estruturais do relevo regional: Planalto Rebaixado da Amazônia (da zona Bragantina) e Litoral de "Rias" (BITTENCOURT et al., 2014).

5.5. Bacia hidrográfica

O rio Mocajuba é um dos mais importantes rios do município, formado pelo igarapé Pimenta e outros tributários menores, servindo de limite natural a Oeste entre os Municípios de Curuçá e São Caetano de Odivelas, corre em direção a Sudeste-Noroeste formando meandros, para depois tomar a direção Norte, até desembocar no Oceano Atlântico. Apresenta-se largo, em grande parte do seu trecho, atravessando os povoados conhecidos como Nazaré do Mocajuba e Murajá. Recebe vários afluentes sendo os da margem direita os de maior importância, para o Município,

como os rios Tijoca, Candeuca, e o furo Maripanema ou Muriá que banha o povoado de São João do Abade (BITTENCOURT et al., 2014).

O município de Curuçá possui várias ilhas de considerável extensão e de formação recente, como as ilhas Mutucal, Ipomonga, Mariteua, do Pacamurema, Cipoteua e Santa Rosa, que se comunica com uma infinidade de furos, e possuem praias banhadas pelo Oceano Atlântico. O rio Curuçá é o segundo mais expressivo do município, sendo que, no seu afluente, rio Baunilha, pela margem esquerda, se encontra a sede municipal. Outro curso d'água de grande importância é o igarapé Araquaim que parte da montante do povoado de Araquaim e recebe pela margem esquerda o igarapé Cachoeira e dirige-se para Noroeste, onde deságua numa das reentrâncias de Curuçá (BITTENCOURT et al., 2014).

O Furo do Muriá, bem como o município de Curuçá, está inserido na Região Hidrográfica da Bacia do Atlântico Nordeste Ocidental (ANA, 2016). As marés possuem altura máxima de aproximadamente 4 metros, sendo possível alcançarem valores superiores a este durante as marés equinociais de sizígia. As correntes são fortes e atingem velocidades que oscilam entre 0,97 e 1,08 m.s⁻¹, sendo estas as maiores responsáveis pela existência dos vários bancos de areia que se distribuem perpendicularmente à costa. Quanto à planície costeira de Curuçá, a mesma possui ambientes transicionais fortemente dinâmicos que resultam das condições meteorológicas e oceanográficas dessa região (LEITE et al., 2009).

5.6 Clima local

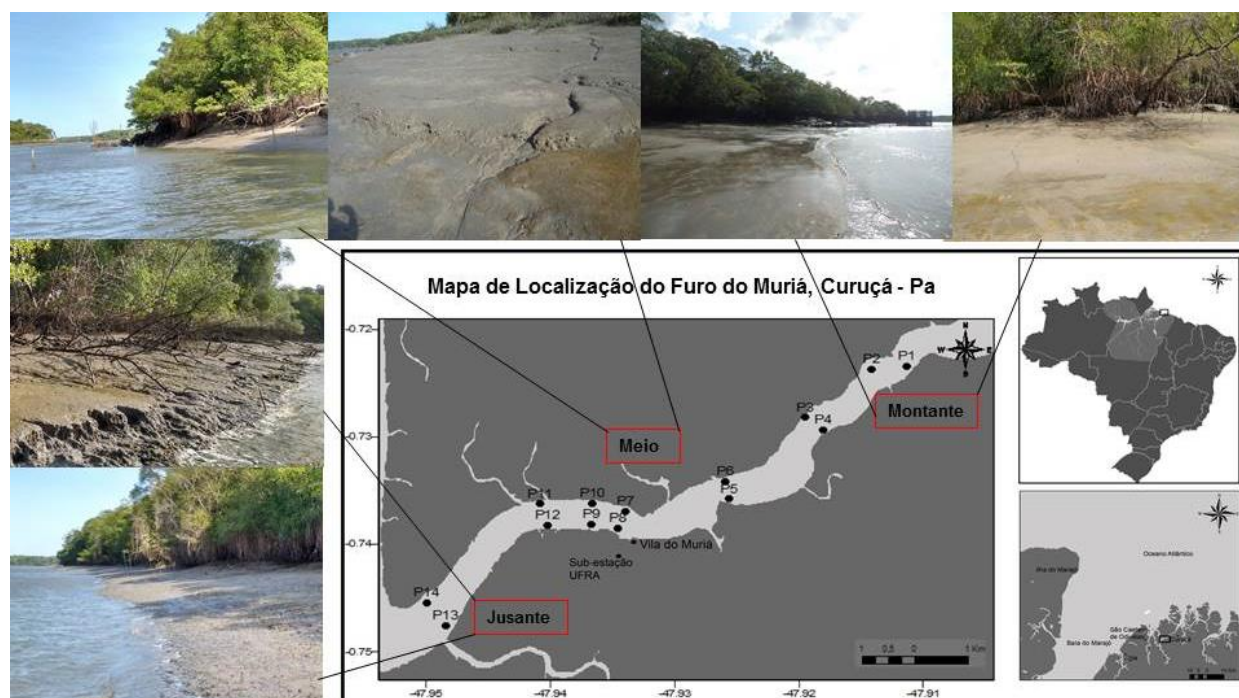
O Município de Curuçá apresenta clima equatorial Amazônico tipo Am da classificação de Köppen. Caracterizado pelas temperaturas elevadas, com temperatura média de 27° C, pequena amplitude térmica, precipitações abundantes que ultrapassam os 2.000 mm anuais, sendo os meses mais chuvosos de janeiro a junho e menos chuvosos de julho a dezembro (CARVALHO et al., 2016; BITTENCOURT et al., 2014).

6. MATERIAL E MÉTODOS

6.1. Coleta dos sedimentos superficiais

As amostras de sedimento foram coletadas em quatorze pontos localizados no Furo do Muriá (Figura 4) nos meses março, junho, setembro e dezembro de 2015, somando 56 amostras de sedimentos. Todos os pontos foram devidamente georreferenciados com sistema de posicionamento global (GPS da marca Magellan, modelo NAV 5000 PROTM).

Figura 4 - Mapa de localização dos pontos no Furo do Muriá (Montante, meio jusante).



Fonte: Autora, 2016.

As coletas de sedimentos foram realizadas a bordo de embarcação de pequeno porte (Figura 5a) mediante uso de um amostrador pontual (draga) tipo Ekman-Birge (Figura 5b) lavado e devidamente higienizado a cada amostragem realizada (Figura 5c). Este amostrador possui duas conchas que estão articuladas entre si por uma dobradiça, duas barras cruzadas e presas a um cabo para facilitar o manuseio do amostrador até o fundo do Furo ou superfície sedimentar do corpo hídrico estudado.

As amostragens de sedimento foram feitas somente nas margens do estuário (Figura 5d) - Zona Intertidal ou Zona Entremarés, ecossistemas muito variados que sofrem oscilação dos níveis de água - sendo estas emersas e expostas ao ar durante as marés vazantes de cada período estudado, pois na sessão central do corpo hídrico não foi verificado a deposição de sedimentos finos. Após a abertura da draga em basqueta plástica (Figura 5e e 5f), foram recolhidas amostras representativas

da camada superficial (Figura 5g e 5h) dos pontos ao longo da área de estudo, correspondendo à fração oxidada (aproximadamente os primeiros 5 cm na vertical).

Figura 5 - (a) embarcação utilizada durante as coletas; (b) amostrador do tipo Ekman-Birge, (c) lavagem do amostrador; (d) coleta realizada na Zona Intertidal do estuário; (e) e (f) abertura da draga com sedimento coletado; (g) e (h) coleta da camada superficial e oxidada da amostra; (i) acondicionamento das amostras coletadas.



Fonte: Autora, 2015.

Posteriormente as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos devidamente identificados e limpos (Figura 5i) a fim de evitar contaminações e qualquer interferência sobre as amostras. As amostras foram devidamente vedadas e etiquetadas para posterior armazenamento em isopor com gelo para transporte ao Laboratório de Química Ambiental da Universidade Federal Rural da Amazônia onde foram realizadas as especiações químicas do fósforo, e ao Laboratório do Grupo de Estudos Marinhos e Costeiros (GEMC) da universidade Federal do Pará, onde foram realizadas as análises de matéria orgânica e granulometria.

6.2. Procedimentos laboratoriais

6.2.1. Tratamento dos sedimentos

Primeiramente se realizou o processo de lavagem dos sedimentos (Figuras 6a e 6b), onde as amostras foram colocadas em béqueres e, com auxílio de bastão de vidro e pisceta, lavadas com água destiladas para diminuir os teores de sal presentes no sedimento. Após a lavagem, as amostras ficaram em repouso para que as partículas sedimentares pudessem decantar ao fundo dos béqueres (Figuras 6c, 6d e 6e), processo cujo período foi de 2 a 6 dias dependendo do teor de partículas finas em cada amostra. Em seguida, utilizando uma pipeta, toda a água que dissolveu os sais do sedimento foi cuidadosamente descartada para reduzir ao máximo as perdas das partículas mais finas até que somente o sedimento úmido ficasse no béquer. Todas as amostras passaram pelo processo de lavagem três vezes para que houvesse a retirada de todo o sal possível.

Após a lavagem as amostras foram para o procedimento de secagem em estufa a 40°C (Figura 6f), temperatura indicada para evitar o ressecamento excessivo da amostra, durante vários dias. Após a secagem das amostras, estas foram armazenadas em sacos plásticos limpos e identificados (Figura 6g) e posteriormente maceradas e quarteadas com o auxílio de um almofariz de porcelana e de um pistilo de ponta revestida em borracha (Figura 6h), para que as amostras ficassem em condições de serem trabalhadas durante as análises.

Figura 6 - (a) e (b) processo de lavagem do sedimento; (c), (d) e (e) decantação das partículas; (f) secagem das amostras em estufa; (g) armazenamento das amostras; (h) quarteamento e maceração do sedimento seco.



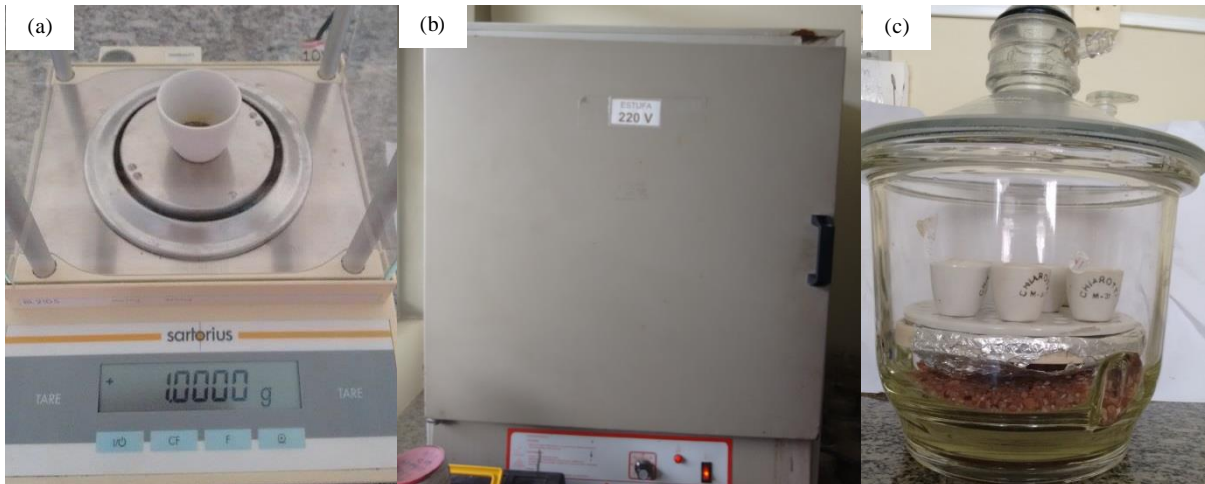
Fonte: Autora, 2015.

6.2.2. Matéria orgânica

A matéria orgânica (MO) foi determinada por gravimetria, seguindo a metodologia proposta por Kralik (1999). As amostras foram levadas ao Laboratório do Grupo de Estudos Costeiros e Marinhos (GEMC/UFPA), onde pesou-se em balança analítica cerca de 1g de sedimento bruto e não lavado de cada ponto em cadinhos de porcelana (Figura 7a) para secagem de umidade em estufa (Figura 7b) a 100°C por um período de 24 horas. Após isto, as amostras foram submetidas à calcinação em forno mufla por 2 horas a 360°C, seguidas de resfriamento dos cadinhos em dessecador com sílica (Figura 7c). A diferença entre o peso

final (sedimento calcinado) e o peso inicial (sedimento seco) constituiu a quantidade de matéria orgânica.

Figura 7 - (a) pesagem do sedimento bruto; (b) secagem das amostras em estufa; (c) resfriamento dos cadinhos em dessecador.



Fonte: Autora, 2015.

6.2.3. Granulometria

A análise granulométrica das amostras seguiu a metodologia clássica proposta por Suguio (1973) e foi realizada no Laboratório do Grupo de Estudos Costeiros e Marinhos (GEMC/UFGA). Para o processo de separação das frações granulométricas do sedimento, pesou-se cerca de 50g de sedimento lavado, seco e macerado que foi submetido a peneiramento a úmido com auxílio de uma peneira com malha de 63 μm , água destilada e bastão de vidro, para fazer a separação da fração areia das frações silte e argila. O sedimento retido na peneira correspondeu à fração areia, a qual foi levada a estufa para secagem.

Quanto às frações mais finas, para que estas fossem separadas, utilizou-se uma balança apropriada para tubos de ensaio para medir pesos equivalentes de amostras em tubos de 50 mL e, em seguida, centrifugá-las a 1000 rpm por 2 minutos. Assim, a fração granulométrica silte precipitou no fundo dos tubos de ensaio enquanto a argila se manteve em suspensão como sobrenadante. O silte foi separado e levado para secagem em estufa a 40°C enquanto o sobrenadante com argila foi novamente centrifugado para que houvesse separação das partículas finas do excesso de água, porém a 2000 rpm por 10 minutos. Seguidamente, a argila foi levada para secar a mesma temperatura que as demais frações granulométricas. Depois que todas as frações estavam devidamente secas, estas foram pesadas em balança

analítica para que se determinassem os percentuais de cada fração granulométrica por amostra.

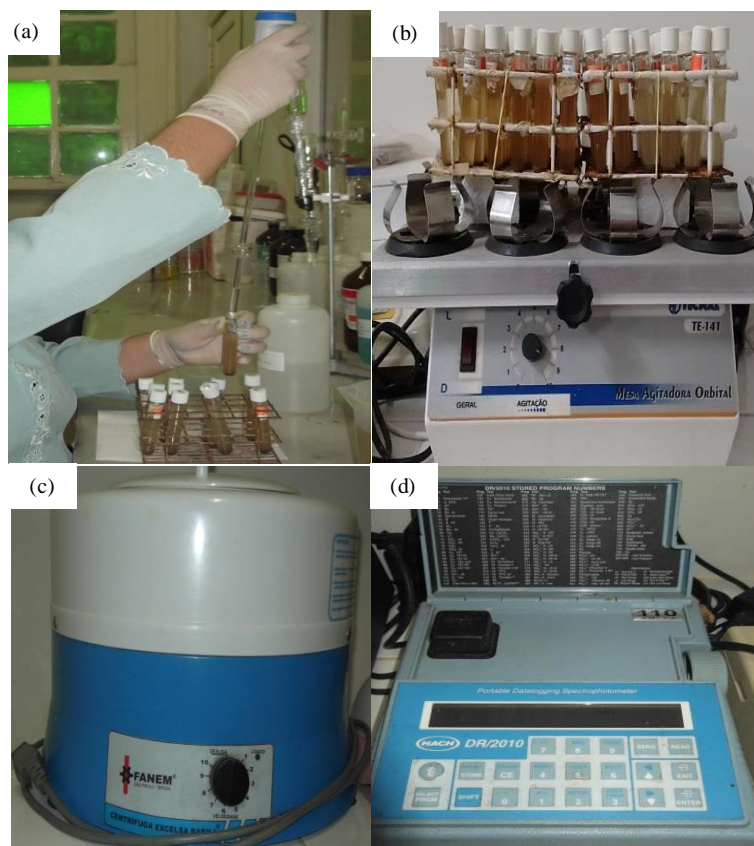
6.2.4. Especificação de fósforo

As análises das frações de fósforo (orgânico, inorgânico total, inorgânico não apatítico e ligado ao cálcio) foram determinadas pelo método de Williams (1976) modificado por Burros et al. (1990) e descrito por Pardo et al. (2004), utilizado pelo *Standards, measurements and testing (SMT) programme* da comissão europeia.

6.2.4.1. Fósforo ligado aos óxidos/hidróxidos de ferro/alumínio (Fósforo Inorgânico não Apatítico - PINA)

No Laboratório de Química Ambiental, as amostras de sedimentos coletadas foram processadas em triplicata e os resultados expressos em $\mu\text{g.g}^{-1}$ de fósforo. Em tubos de ensaio foram colocados 0,50 g de sedimento lavado, seco e macerado. Foram adicionados 20 mL da solução de NaOH 1 mol.L^{-1} (Figura 8a) sob agitação durante 16 horas (Figura 8b). Em seguida, as amostras foram centrifugadas por cinco minutos a 3.000 rpm (Figura 8c). Do extrato foram retirados 10 mL e transferidos para um tubo de ensaio no qual foram adicionados 4 mL da solução de HCl $3,5 \text{ mol.L}^{-1}$, deixando-se decantar por 16 horas para a precipitação da matéria orgânica e para posterior análise dos ortofosfatos. Todas as amostras obtiveram as leituras realizadas em um Espectrofotômetro Modelo DR/2010 da Hach (Figura 8d), um instrumento mono-feixe, controlado por microprocessador, usado para testes colorimétricos em laboratório ou em campo.

Figura 8 - (a) adição de reagentes às amostras nos tubos de ensaio; (b) amostras processadas em triplicata sobre mesa agitadora; (c) centrífuga utilizada para separar a amostra digerida do sobrenadante; (d) Espectrofotômetro utilizado para leitura das amostras como ortofosfato.



Fonte: Autora, 2015.

6.2.4.2. Fósforo ligado ao cálcio (Fósforo Inorgânico Apatítico- PA)

À fase sólida resultante da especiação anterior adicionou-se 12 mL da solução de NaCl 1 mol.L^{-1} , deixando sob agitação por cinco minutos. As amostras foram centrifugadas por cinco minutos a 3.000 rpm, descartando-se o sobrenadante. Aos resíduos foram adicionados 20 mL de HCl 1 mol.L^{-1} deixando-se sob agitação por um período de 16 horas. As amostras foram novamente centrifugadas por igual período de tempo, rotação e temperatura, obtendo-se o extrato e posterior análise de ortofosfato. A leitura também foi realizada em um Espectrofotômetro Modelo DR/2010 da Hach.

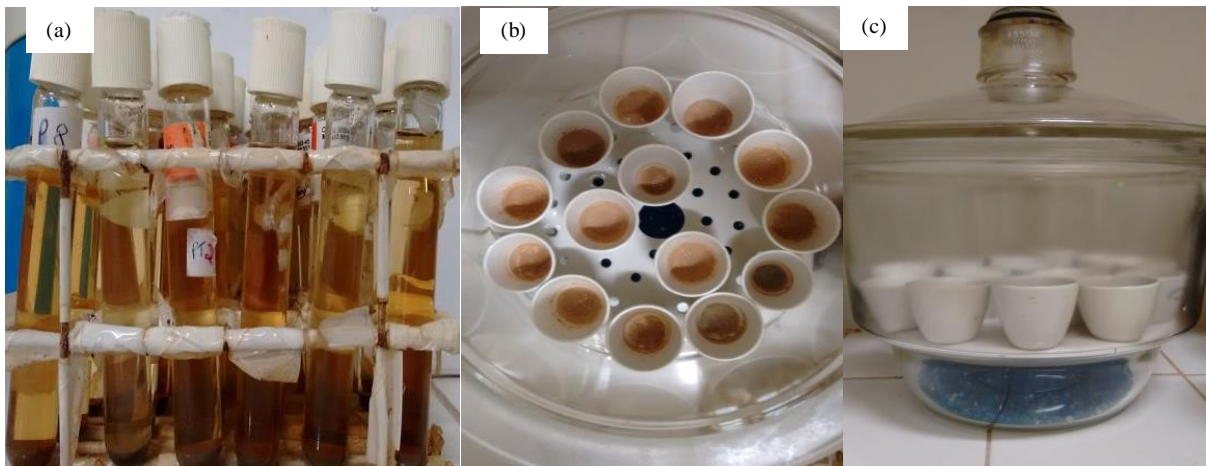
6.2.4.3. Fósforo inorgânico

Este foi determinado a partir do somatório das frações de fósforo inorgânico não apatítico (PINA) e fósforo inorgânico apatítico (PA).

6.2.4.4. Fósforo Orgânico

Com auxílio de balança analítica, pesou-se 0,5g de cada amostra (sedimento lavado, seco e macerado) e a elas se adicionou 10,0 mL de HCl 1mol.L⁻¹, permanecendo sob agitação por 16 horas (Figura 9a). As amostras foram centrifugadas (cinco minutos a 3.000 rpm), rejeitando-se o sobrenadante. Ao resíduo, foram adicionados 6,0 mL de água destilada, agitando-se por cinco minutos para posterior centrifugação por igual tempo e rotação. As amostras foram transferidas para cadinhos de porcelana e levadas para estufa à temperatura de 105 °C e em seguida calcinadas a 550 °C por uma hora em forno mufla (Figura 9b). Os cadinhos foram reservados para resfriamento em dessecador com sílica (Figura 9c) e os resíduos das amostras retiradas dos cadinhos com auxílio de bastão de vidro e adição de 10,0 mL de HCl 1mol.L⁻¹. Seguidamente, as amostras foram transferidas para tubos de ensaio, submetidas à agitação por 16 horas e finalmente centrifugadas por cinco minutos a 3.000 rpm para posterior análise de ortofosfato.

Figura 9 - (a) adição de HCl 1mol.L⁻¹ às amostras nos tubos de ensaio; (b) cadinhos com amostras calcinadas e aderidas a superfície da porcelana; (c) amostras resfriando em dessecador com sílica.



Fonte: Autora, 2015.

6.2.4.5. Fósforo Total

Neste estudo, a fração de Fósforo Total (PT) corresponde à soma das frações de Fósforo Orgânico (PO) e Inorgânico (PI).

7. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

Os dados foram organizados em tabelas utilizando o software estatístico Past 3.14 e aos dados aplicaram-se estatística descritiva (mínimo, máximo, média e desvio padrão), matriz de correlação (Pearson) onde se considerou correlação fraca ($\rho < 0,3$), moderada ($0,3 < \rho < 0,4$) e forte ($\rho > 0,4$), e teste de normalidade (Shapiro Wilk com significância ($\rho < 0,05$)) seguido da análise de variância ANOVA ONE-WAY (valor crítico de $\rho < 0,05$) para verificar se houveram diferenças sazonais e espaciais significativas entre a composição granulométrica, concentrações de fósforo e matéria orgânica.

8. REFERÊNCIAS

- ANA - Agência Nacional de Águas. **Região Hidrográfica Atlântico Nordeste Ocidental**. Disponível em: <<http://www2.ana.gov.br/Paginas/portais/bacias/AtlanticoNordesteOccidental.aspx>>. Acesso em: 25 de Agosto de 2016.
- ANDERSEN, JM. Ignition method for determination of total phosphorus in lake sediments. **Wat. Res.**, 10, p.329-331, 1976.
- ALMEIDA, J. B. A. **Efeito de características ambientais no uso dos canais-de-maré por três espécies de peixes bentófagos durante o período transição-seca no estuário de Curuçá (Pará-Brasil)**. 2009. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aquática e Pesca) - Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Pará. 93 p. 2009.
- ARAÚJO A.M.; MINEIRO A.L.B.; CANTALICE J.R.B. Estimativa do potencial de sedimentação e erosão: caso Manguezal do Pina, Recife (PE). **Eng Sanit Ambient.** v. 16, n.2, 133-140, 2011.
- BARBOSA, I. C. C.; MÜLLER, R. C. S.; ALVES, C. N.; BERRÊDO, J. F.; SOUZA FILHO, P. W. M. Composição química de sedimento de manguezal do estuário bragantino (Pa) – Brasil. **Rev. Virtual Quim.**, 7 (4), 1087-1101, 2015.
- BARCELLOS, R. L. et al. Distribuição e características do fósforo sedimentar no sistema estuarino lagunar de Cananéia – Iguape, Estado de São Paulo, Brasil. **Geochimica Brasiliensis**. Brasil, 19(1) 022-036, 2005.
- BERNER, R.A.; RAO J.L. Phosphorus in sediments of the Amazon River and estuary: Implications for the global flux of phosphorus to the sea. **Geochimica et Cosmochimica Acta**. Vol.58. 10: p. 2333 – 2339, 1994.
- BERRÊDO, J. F.; COSTA, M. L.; PROGNE, M. P. S. Efeitos das variações sazonais do clima tropical úmido sobre as águas e sedimentos de manguezais do estuário do rio Marapanim, costa nordeste do Estado do Pará. **Acta Amazonica**, Belém, vol. 38(3), 2008.
- BITTENCOURT, B.T.T., PACHECO, J.J., PALHETA, M.V.O., COSTA JR., R.N.F., COSTA, S.V., TOSTES, W.S. Estatística municipal do município de Curuçá. Belém: IDESP, 48 p., 2014.
- BOROTTI-FILHO, M. A. **Evolução dos manguezais do norte da ilha do Cardoso (Cananéia-SP)**. 137f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Energia Nuclear na Agricultura), Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2013.
- BORTLESON, G. C.; FRED L. G. Phosphorus, iron, and manganese distribution in sediment cores of six Wisconsin lake. **Limnology and Oceanography**, Baltimore, v. 19, n. 5, September,1974. p. 794-801.

BURRUS, D., THOMAS, R.L., DOMINIK, J., VERNET, J.P. 1990. Seasonal delivery of the particulate forms of phosphorus to lake Geneva from upper Rhone River. **Aquatic Science** 52, 221-254.

CARVALHO, A.S.S., MARTINELLI-LEMOES, J.M., NEVIS, A.B., ISAAC, V. 2016. Spatio-temporal variation of the density of shrimps *Farfantepenaeus subtilis*, *Litopenaeus schmitti* and *Xiphopenaeus kroyeri* (Crustacea; Decapoda) in the Curuçá estuary, north of Brazil. **Bol. Inst. Pesca** 42, 598-610, 2016.

COELHO, L. H. F. **Estudo biogeoquímico do fósforo no complexo Estuarino Lagunar de Cananéia-Iguape (SP):** Influência do valo grande e fluxo bêntico. 2011. 142 f. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Química e Geológica) - Universidade de São Paulo, São Paulo. 2011.

COSTA, B. O. **Variação nictemeral do microfitoplâncton em um estuário do Nordeste Paraense, Brasil.** Dissertação (Mestrado em Ecologia Aquática e Pesca) – Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Pará. 102 p. 2016.

COSTA, D. F. S., ROCHA, R. M., CESTARO, L. A. Análise fitoecológica e zonação de manguezal e, estuário hipersalino. **Mercator**, Fortaleza, v. 13, n. 1, p. 119-126, jan./abr. 2014.

COSTA, M. L.; BEHLING, H.; BERRÊDO, J. F.; CARMO, M. S.; SIQUEIRA, N. V. M. Mineralogical, geochemical and palynological studies of late holocene mangrove sediments from Northeastern Pará State, Brazil. **Revista Brasileira de Geociências**, 34 (4): 479-488, 2004.

DEBORDE, J.; ANSCHUTZ, P.; CHAILLOU, G.; ETCHEBER, H.; COMMARIEU, M. V.; LECROART, P.; ABRIL, G. The dynamics of phosphorus in turbid estuarine systems: Example of the Gironde estuary (France). **Limnology and Oceanography**, 52(2), 862–872, 2007.

DELFINO, I. B. **Geoquímica dos sedimentos superficiais de fundo do estuário do Rio Maracanã, NE do Pará.** Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) – Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará. 165 p. 2006.

EMBRAPA. **Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Manual de métodos de análise de solo.** (EMBRAPA-CNPS. Documentos, 1). 2. ed. rev. atual. Rio de Janeiro, p 212, 1997.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Espírito Santo.** Rio de Janeiro, p.370 – 379. 1978.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de limnologia.** 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência. 2011.

FENZL, N. Introdução à Hidrogeoquímica. Belém: **Gráfica e Editora Universitária da Universidade Federal do Pará**, 1988, 189p.

GASPAR, F.; FLORES-MONTES, M.; ALVES, G.; LINS, I.; PAULO, J.; LONGO, A. Spatial and seasonal sediment phosphorus species and its relation with granulometry, organic

matter and CaCO₃ in a tropical estuary. **Journal of Coastal Research, Special Issue**. n 65, 2013.

HUANXIN, W.; PRESLEY, B. J.; VELINSKY, D. J. Distribution and sources of phosphorus in tidal river sediments in the Washington, DC, area. **Environmental Geology**, 30: 224–228, 1997.

KALFF, J. Limnology: inland water ecosystems. Upper Saddle River, NJ.: **Prentice-Hall**, c2002. 592 p.

KOCH, M.S., BENZ, R.E. E RUDNICK, D.T. Solid-phase phosphorus pools in highly organic carbonate sediments of Northeastern Florida Bay. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**. 52: 279-291p. 2001.

LACERDA, L. D.; CONDE, J.E.; KJERFVE, B.; ALVAREZ-LEÓN, R.; ALARCÓN, C.; POLANÍA, J. **American mangroves**. In: LACERDA, L.D. Mangrove ecosystems: functions and management. Berlin: Springer Verlag, 2001. chap. 1, p. 1-62.

LACERDA, L. D. **Manguezais**: florestas de beira-mar. *Ciência Hoje*, v.3, n.13, p.63-70, 1984.

LADEIRA, A. C.; PANIAGO, E. B.; DUARTE, H. A.; CALDEIRA, C. L. Especificação química e sua importância nos processos de extração mineral e de remediação ambiental. **In**: Caderno Temático da Química Nova na Escola, 8, 2014, Belo Horizonte, Sociedade Brasileira de Química, p. 18-23, 6p.

LEITE, N. R., PEREIRA, L. C. C., COSTA, R. M. Temporal distribution of the mesozooplankton in the Muriá creek, Pará, Brazil. **Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Cienc. Nat.** 4, 149-164. 2009.

LIBES, S. M. **An Introduction to Marine biogeochemistry**. New York: wiley e Sons, 5: 734p, 1992.

LIMA, M. W. de. Análise temporal da composição granulométrica de um estuário amazônico, Pará, Brasil. Belém, **SCIENTIA PLENA**, vol. 11, num. 01, 2015.

LIMA, M. W. de. **Avaliação da distribuição sazonal e espacial dos metais pesados nos sedimentos superficiais do Furo da Laura, Amazônia Oriental, Brasil**. 97 f. Dissertação (Mestrado em Aquicultura e Recursos Aquáticos Tropicais) – Instituto Socioambiental e dos Recursos Hídricos, Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2014.

LIMA, M. W.; ALVES, M. A. M. S.; SANTOS, M. L. S.; RIBEIRO, A. M.; SANTOS, E. T.; NUNES, D. M. Influência do Ciclo de Maré na Variação dos Parâmetros FísicoQuímicos no Estuário do Rio Curuçá, Nordeste Paraense. **Bol. Téc. Cient. Cepnor**, v. 14, n. 1, p: 09 - 15, 2014.

MARINS, R. V.; PAULA FILHO, F. J.; ROCHA, C. A. S. Geoquímica de fósforo como indicadora da qualidade ambiental e dos processos Estuarinos do rio Jaguaribe - costa nordeste oriental brasileira. **Química Nova**, Vol. 30, No. 5, 1208-1214, 2007.

- MIOLA, B. **Caracterização geoquímica e mineralógica dos sedimentos do manguezal do estuário do rio Coreau, Ceará, Brasil**. Dissertação (Mestrado em Ciências Marinhas Tropicais) - Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do Mar, Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais, Fortaleza, 102 p., 2013.
- MIRANDA, L. B. de; CASTRO, B. M. de & KJERFVE, B. **Princípios de Oceanografia Física de Estuários**. 1 ed. Universidade de São Paulo – SP. 15-105 p. 2002.
- MIRANDA, L. B.; CASTRO, B. M.; KJERFVE, B. Princípios de oceanografia física de estuários. 1 ed. São Paulo: **Editora da Universidade de São Paulo**, 2002, v. 1, 424 p.
- NUNES, M. L. F. **Distribuição e fracionamento do fósforo nos sedimentos dos rios Bacanga e Anil na Ilha do Maranhão**. Dissertação (Mestrado em Química). Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal do Maranhão. São Luís, 2013.
- OSORIO, V. K. L.; OLIVEIRA, W. Polifosfatos em detergentes. **Química Nova**, v. 24, p. 700-708, 2001.
- PALHETA, G. D. A. **Composição e distribuição espaço temporal de ovos e larvas de peixes, nos estuários dos rios Curuçá e Muriá (Curuçá-Pará)**. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) - Núcleo de Ciências Agrárias e Desenvolvimento Rural, Universidade Federal do Pará. 88 p. 2005.
- PARDO, P., RAURET, G., LÓPEZ-SÁNCHEZ, J. F. 2004. Shortened screening method for phosphorus fractionation in sediments: a complementary approach to the standards, measurements and testing harmonised protocol. **Anal. Chim. Acta**. 508, 201-206.
- PAULA FILHO, F. J.; de MOURA, M. C. S.; MARINS, R. V. Fracionamento Geoquímico do Fósforo em Água e Sedimentos do Rio Corrente, Bacia hidrográfica do Parnaíba/PI. **Revista Virtual Química**, 4 (6), 623-640, 2012.
- PAULA, J. H. C.; ROSA FILHO, J. S.; SOUZA, A. L. B.; AVIZ, D. A meiofauna como indicadora de impactos da carcinicultura no estuário de Curuçá (Pa). **Boletim do Laboratório de Hidrobiologia**, Belém, 19:61-72. 2006.
- PEREIRA, C. T. C. **Caracterização hidrogeoquímica do estuário do Rio Curuçá (município de Curuçá – NE do Pará)**. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) – Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará. 126 p. 2006.
- PIMENTEL, M. A. S.; OLIVEIRA, I. S.; RODRIGUES, J. C. M. Dinâmica da paisagem e risco ambiental na ilha de Caratateua, Distrito de Belém-PA. **Revista Geonorte**, v.1, N.4, p.624 – 633, 2012.
- PRITCHARD, D. W. (1967). What is an Estuary: Physical View point. **In: Estuaries**. G. H. Lauff (Ed.) American Association for the Advancement of Science, nº 83, Washington D. C.
- PRITCHARD, D.W. 1952. Salinity distribution and circulation in the Chesapeake Bay estuarine system. **J Mar Res**, 11:106-123.

PROTAZIO, L.; TANAKA, S. M. C. N.; CAVALCANTE, P. R. S. Avaliação de procedimentos de extração sequencial de fósforo em sedimento. **Revista Analytica**. nº 08, 035-041, 2004.

RANIERI, L. A. **Morfodinâmica e transporte de sedimentos na praia da Romana, Ilha dos Guarás (nordeste do Pará)**. 137 F. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Programa de PósGraduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2011.

RUTTENBERG, K.C.; BERNER, R.A. Authigenic apatite formation and burial in sediments from non-upwelling, continental margin environments. **Geochimica ET Cosmochimica Acta**. Vol. 57: p. 991 – 1007, 1993.

RUTTEMBERG, K.C. The Global Phosphorus cycle. In: Biogeochemistry First Edition. **Treatise of Geochemistry**. v. 8. 700 p., 2005.

SANTOS, A. Z. **Modelagem matemática do sistema estuarino dos rios Mojuim e Mocajuba (Pará-BR)**. 2016. Dissertação (Mestrado em Geofísica Marinha) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará. 61 p. 2016.

SANTOS, E. S.; JENNERJAHN, T.; LEIPE, T.; MEDEIROS, P. R. P.; SOUZA, W. F. L. de; KMOPPERS, B. A. Origem da matéria orgânica sedimentar no delta-estuarino do Rio São Francisco, AL/SE – Brasil. **Geochimica Brasiliensis**, 27(1): 37-48, 2013.

SANTOS, S. N.; LAFON, J. M.; CORRÊA, J. A. M. Distribuição e assinatura isotópica de Pb em sedimentos de fundo da foz do rio Guamá e da Baía do Guajará (Belém - Pará). **Quim. Nova**, Vol. 35, No. 2, 249-256, 2012.

SANTOS, M. L. S.; MUNIZ, K.; NETO, B. B.; FEITOSA, F. A. N. Estudo das diferentes formas de fósforo nas águas da Plataforma Continental do Amazonas- **Química Nova**, 30(3): 569-573, 2007.

SANYAL, S. K.; DATTA, S. K. Chemistry of phosphorus transformations in soil. **Advances in Soil Science**, New York, v.16, p.1-120, 1991.

SCHWERTMANN, U.; TAYLOR, R.M. Iron Oxides. In: DIXON, J.B.; WEED S.B., eds. Minerals in soil environments. Madison, **Soil Science Society of America**, p.379-438, 1989.

SILVA, L. A.; COELHO, L. M.; ROSOLEN, V.; COELHO, N. M. M.; Especiação do metal em sedimentos superficiais do rio Uberabinha, em Uberlândia, Estado de MG, Brasil. **Revista da Sociedade Brasileira de Química**, São Paulo, v. 22, n.11, pp. 2094-2100. 2011.

SILVA, A. C.; MANGAS, A. P.; PALHETA, G. D. A.; MELO, N. F. A. C. Caracterização do ictioplâncton de quatro estuários da microregião do salgado do estado do Pará-Brasil. **Bol. Téc. Cient. Cepnor**, v. 11, n. 1, p: 33 - 44, 2011.

SILVA, R. G. da. **Concentração do fósforo total nos sedimentos superficiais do rio Guajará-Miri, Vigia (Pará, Brasil)**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Pesca). Instituto Socioambiental e dos Recursos Hídricos, Universidade Federal Rural da Amazônia. Belém, 2014.

SMITH, S. V.; HOLLIBAUGH, J. T.; DOLLAR, S. J.; VINK, S. Tomales Bay metabolism: C-N-P stoichiometry and ecosystem heterotrophy at the land sea interface. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**. 33, 223–257, 1991.

SPAN, D. Evolution du phosphore dans l'eau interstitielle et dans les sédiments. Evolution de la pollution métallique. **Rapp. Comm. Int. prot. Eaux Lémancontrepollut.** p.115-135, 1990.

SOUZA FILHO, P. W. M.; SALES, M. E. da C.; PROST, M. T. R. da C.; COSTA, F. R.; SOUZA, L. F. M. de O. Zona Costeira Amazônica: o cenário regional e os indicadores bibliométricos em C&T. In: SOUZA FILHO, P. W. M. et al. **Bibliografia da Zona Costeira Amazônica**. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 2005. p. 09-20.

SOUSA, P. H. C.; SANTOS, M. L. S.; SANTOS, R. M.; SOUZA, R. A. L.; MOURÃO, F. V.; SOUSA, A. C. S. R.; MENDES, R. M. L.; SARAIVA, A. L. L. Qualidade da água em tanques de juvenis do camurim *Centropomus parallelus* (Poey, 1860), Curuçá, estado do Pará, Brasil. **Acta of Fisheries and Aquatic Resources**. 4(2): i-viii, 2016.

SUGUIO, K. Introdução a Sedimentologia. Edgar Blunhen, São Paulo: **EDUSP**, 1973, 371p.

SUN, Q.; SHENG, Y.; YANG, J.; BONITO, M.; MORTIMER, R. Dynamic characteristics of sulfur, iron and phosphorus in coastal polluted sediments, north China. **Environmental Pollution**, xxx 1-8, 2016.

TEMPLETON, D. M.; ARIESE, F.; CORNELIS, R. et al. Guidelines for terms related to chemical speciation and fractionation of elements: definitions, structural aspects, and methodological approaches. **Pure Applied Chemistry**, v. 72, n.8, p. 1453-1470, 2000.

VILHENA, M. P. S.; COSTA, M. L.; BERRÊDO, J. F.; PAIVA, R. S.; ALMEIDA, P. D. Chemical composition of phytoplankton from the estuaries of Eastern Amazonia. **Acta Amazonia**, Belém, VOL. 44(4), 2014.

VILHENA, M. P. S. P.; COSTA, M. L.; BERRÊDO, J. F.; SÁ, G. C.; COSTA, A. M.; SANTOS, E. O.; BRABO, E. S. Mercúrio em sedimentos de mangue, caranguejos (*Ucides Cordatus*) e cabelos humanos em torno dos manguezais no Nordeste do Pará. **Geochim. Brasil.**, 17 (2), 121-129, 2003.

WETZEL, R. G. **Limnology**. Philadelphia, W.B. Saunders, 3d. 743 p. 2001.

WILLIAMS J. D. H.; JAQUET J. M.; THOMAS R. L. Forms of phosphorus in the surficial sediments of Lake Erie. **Journal of Fishers Research Board Canadian**, v.33, p. 413- 429, 1976.

ZHUANG, W.; GAO, X.; ZHANG, Y.; XING, Q.; TOSI, L.; QIN, S. Geochemical characteristics of phosphorus in surface sediments of two major Chinese mariculture areas: the Laizhou bay the coastal waters of the Zhangzi island. **Marine Pollution Bulletin**. 83, 343-351, 2014.

CAPÍTULO 2

ESPECIAÇÃO DO FÓSFORO NOS SEDIMENTOS SUPERFICIAIS EM AMBIENTE ESTUARINO AMAZÔNICO, BRASIL.

RESUMO

Buscou-se caracterizar a distribuição espacial e sazonal das diferentes frações de fósforo nos sedimentos superficiais do estuário do Furo do Muriá, pelo método do fracionamento químico. Cinco espécies de fósforo foram separadas, sendo fósforo ligado aos óxi/hidróxidos de Fe/Al (Fósforo Inorgânico Não Apatítico - PINA - variando de 164,54 a 280,32 $\mu\text{g.g}^{-1}$), fósforo ligado ao cálcio (Fósforo Apatítico - PA - variando de 63,02 a 102,80 $\mu\text{g.g}^{-1}$), fósforo inorgânico (PI - variando de 227,21 a 378,61 $\mu\text{g.g}^{-1}$), fósforo orgânico (PO- variando de 30,33 a 135,88 $\mu\text{g.g}^{-1}$) e fósforo total (PT - variando de 257,54 a 507,73 $\mu\text{g.g}^{-1}$), onde 88% de PT é constituído por PI. Os resultados estatísticos demonstraram que a sazonalidade não foi fator preponderante a influenciar às concentrações de fósforo. Considerando a classificação de condições para os sedimentos do estuário, afirma-se que as concentrações de fósforo total encontradas ainda não representam riscos de deterioração ambiental.

Palavras-Chave

Furo do Muriá, fracionamento químico, zona intertidal.

PHOSPHORUS SPECIATION ON THE SURFACE SEDIMENTS IN AMAZON ESTUARINE ENVIRONMENT, BRAZIL.

ABSTRACT

We sought to characterize the spatial and seasonal distribution of different phosphorus fractions in the surface sediments of the Furo of Muriá estuary by chemical fractionation. Five phosphorus species were separated: phosphorus bound to Fe/Al oxyhydroxides (Non-Apatite Inorganic Phosphorus - NAIP - ranging from 164.54 to 280.32 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$), phosphorus bound to calcium (Apatite Phosphorus - AP - ranging from 63.02 to 102.80 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$), inorganic phosphorus (IP - ranging from 227.21 to 378.61 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$), organic phosphorus (OP ranging from 30.33 to 135.88 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) and total phosphorus (TP - ranging from 257.54 to 507.73 $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$), where 88% of TP is constituted by IP. Statistical results showed that seasonality was not a major factor influencing phosphorus concentrations. Considering the classification of estuarine sediment condition, we can state that total phosphorus concentrations found in the Furo Muriá do not represent risk of environmental deterioration yet.

Keywords

Furo of Muriá, chemical fractionation, intertidal zone.

1. INTRODUÇÃO

Os estuários são regiões de importantes trocas sedimentares entre os ecossistemas continentais e marinhos, bem como possuem papel fundamental no controle e equilíbrio do fósforo vindo dos continentes aos oceanos onde este é um nutriente limitante imprescindível à produtividade biológica. O acúmulo de sedimentos nessas áreas inevitavelmente leva a acumulação de contaminantes advindos das atividades humanas (GASPAR et al., 2013).

O sedimento é importante portador de fósforo durante o ciclo biogeoquímico. Quando a entrada de fósforo no ambiente é maior, os sedimentos tendem a absorver este nutriente funcionando como "tanques", todavia se a carga de fósforo na água for reduzida os sedimentos tenderão a liberar o fósforo, outrora absorvido, ao ambiente aquático funcionando como fonte deste nutriente ao meio (CAO et al., 2017; COTOVICZ JUNIOR et al., 2014; MENG et al., 2014; WANG e LI, 2010). Segundo Fisher et al. (1982), cerca de 28-35% do fósforo necessário à produtividade primária em áreas marinhas costeiras são fornecidos pelos sedimentos.

A análise da fração total do fósforo no sedimento é capaz de fornecer informações acerca do seu estado trófico no sistema marinho. Entretanto, não são todas as espécies de fósforo que podem ser liberadas para a camada d'água sobreposta, sendo que as frações liberadas possuem mobilidade e biodisponibilidade semelhantes. Com isso, o estudo do comportamento do fósforo em seu ciclo para a avaliação do estado trófico é mais eficiente quando considerado as frações de fósforo que não apenas a total (CAO et al., 2017; ZHU et al., 2013; ZHANG et al., 2012; ZHU et al., 2012).

Esta disposição dos sedimentos para armazenar ou liberar fósforo no ambiente tem reflexo para o estado trófico das águas, conseqüentemente, sobre a sua produtividade. A observação do comportamento do fósforo no sedimento é, dessa forma, um fator fundamental que ajuda a compreender o ciclo deste nutriente em rios, lagos e águas marinhas (WANG et al., 2013)

Dessa forma, tem-se como objetivo caracterizar a distribuição espacial e sazonal das diferentes frações de fósforo encontrados nos sedimentos da zona intertidal do Furo do Muriá a fim de fornecer informações acerca dos processos geoquímicos do fósforo que servirão como informações de *background* à região, assim como identificar as correlações entre o conteúdo das frações de fósforo com a granulometria e matéria orgânica no estuário.

2. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo é um "Furo", uma denominação regional que consiste em um canal ou acidente hidrográfico o qual faz a conexão entre lagos, um rio a um lago ou um rio a ele mesmo, sendo, nesse último caso, fora da planície aluvial (PIMENTEL et al., 2012). Assim se enquadra o Furo do Muriá, ao sul da Ilha do Mutucal, que faz a ligação entre os rios Curuçá e Mocajuba com a Baía de Curuçá.

O Furo do Muriá, ou Furo Maripanema, distancia-se 8 km do centro de Curuçá e 136 km da capital Belém, e está inserido no estuário do rio Curuçá nas proximidades das comunidades Beira Mar e Recreio, município de Curuçá, pertence à Mesorregião do Nordeste paraense e à Microrregião do Salgado (BITTENCOURT et al., 2014).

A região possui clima equatorial amazônico com temperaturas médias de 27 °C, pequena amplitude térmica e precipitações abundantes que ultrapassam os 2.000 mm por ano (CARVALHO et al., 2016). O período de maior precipitação é caracterizado pelos meses de janeiro a junho, já o de menor precipitação pelos meses de julho a dezembro (BITTENCOURT et al., 2014).

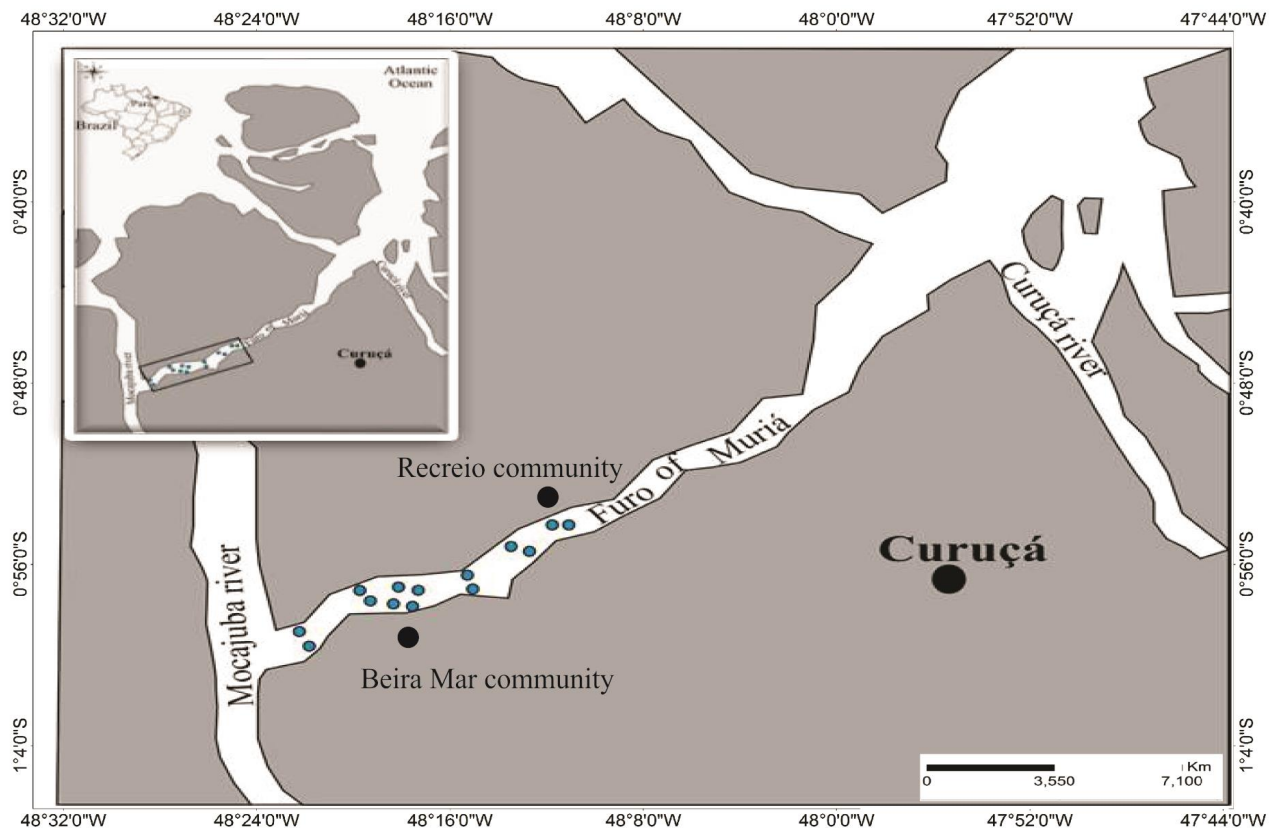
As marés possuem altura máxima de 4m, sendo possível alcançarem valores superiores a este durante as marés equinociais de sizígia. As correntes são fortes e atingem velocidades que oscilam entre 0,97 e 1,08 m.s⁻¹, sendo estas as maiores responsáveis pela existência dos vários bancos de areia que se distribuem perpendicularmente à costa. Quanto à planície costeira de Curuçá, a mesma possui ambientes transicionais fortemente dinâmicos que resultam das condições meteorológicas e oceanográficas dessa região (LEITE et al., 2009).

As águas do estuário do rio Curuçá possuem salinidade variando entre 7 (período chuvoso) e 39 (período menos chuvoso). A vegetação se caracteriza pela dominância de florestas de mangue ao longo das margens do estuário, sendo as principais espécies *Rhizophora mangle* L. e *Avicennia germinans* (L.) L. (CARVALHO et al., 2016)

3. MATERIAL E MÉTODOS

As amostras de sedimento foram coletadas em quatorze pontos no Furo do Muriá (Figura 1) nos meses março, junho, setembro e dezembro de 2015, com total de 56 amostras de sedimentos distribuídas em 5,1 km. Todos os pontos foram georreferenciados com sistema de posicionamento global (GPS da marca Magellan, modelo NAV 5000 PROTM).

Figura 1 - Mapa de localização dos pontos de coleta de amostras de sedimentos.



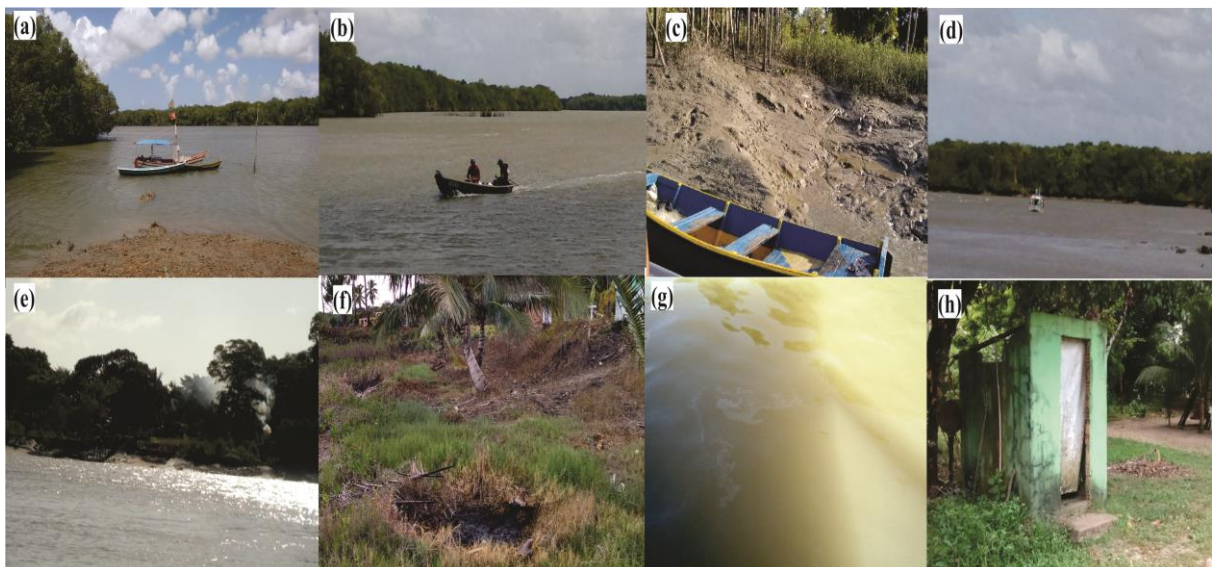
Fonte: Autora, 2016.

As coletas de sedimentos foram realizadas a bordo de embarcação de pequeno porte mediante uso de um amostrador pontual do tipo Ekman-Birge. Após a abertura da draga foram recolhidas amostras representativas dos pontos, sendo coletado a fração mais oxidada e recente do sedimento. As amostragens de sedimento foram feitas somente nas margens do estuário (zona intertidal), sendo estas emersas e expostas ao ar durante as marés vazantes de cada período estudado, pois na sessão central do corpo hídrico não foi verificado a deposição de sedimentos finos. Posteriormente as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos limpos, sendo devidamente vedados e etiquetados para posterior armazenamento em isopor

com gelo para transporte ao Laboratório de Química Ambiental da Universidade Federal Rural da Amazônia, onde foram realizadas as especiações químicas do fósforo, e ao Laboratório do Grupo de Estudos Marinhos e Costeiros (GEMC) da universidade Federal do Pará, onde foram realizadas as análises de matéria orgânica e granulometria.

As proximidades do Furo do Muriá são possíveis identificar inúmeras residências que compõem as comunidades Beira Mar e Recreio, que possuem, assim como no restante do município, suas economias baseadas principalmente em atividades agrícolas e pesca artesanal, todavia há também o comércio que atende as necessidades dos moradores e de turistas na região, pecuária, extrativismo, turismo e algumas indústrias. O Furo possui ainda papel fundamental à locomoção da população, pois o tráfego de pessoas entre as ilhas próximas se dá por meio de pequenas embarcações. Os principais pontos de poluição observados na área de estudo estão intensamente ligados a carência em infra-estrutura de saneamento básico, sendo possível encontrar disposição de efluentes domésticos a céu aberto, queima e destinação irregular de resíduos sólidos e por vezes vestígios de escapes de óleo das embarcações da região (Figura 2).

Figura 2 - (a), (b), (c) e (d) embarcações utilizadas como meio de locomoção pela população local; (e) e (f) queima de resíduos sólidos; (g) vazamento de óleo no estuário (h) banheiro.



Fonte: Autora, 2016.

As análises das frações de fósforo (orgânico, inorgânico total, inorgânico não apatítico e ligado ao cálcio) foram determinadas pelo método de Williams (1976) modificado por Burros et al. (1990) e descrito por Pardo et al. (2004), utilizado pelo *Standards, measurements and testing (SMT) programme* da comissão europeia. Neste estudo, a fração de Fósforo Total

(PT) corresponde a soma das frações de Fósforo Orgânico (PO) e Inorgânico (PI), enquanto que o Fósforo Inorgânico é composto pelas frações de Fósforo Apatítico (PA) e Não Apatítico (PINA).

A matéria orgânica foi determinada por gravimetria seguindo metodologia de Kralik (1999) e a granulometria pelo método descrito por Suguio (1973) que consistiu em peneiramento a úmido seguido de centrifugação para separação das frações mais finas. Todas as análises foram realizadas em triplicata. Os resultados de salinidade foram obtidos no momento da coleta utilizando uma sonda multiparâmetros da marca Hanna, modelo HI9828.

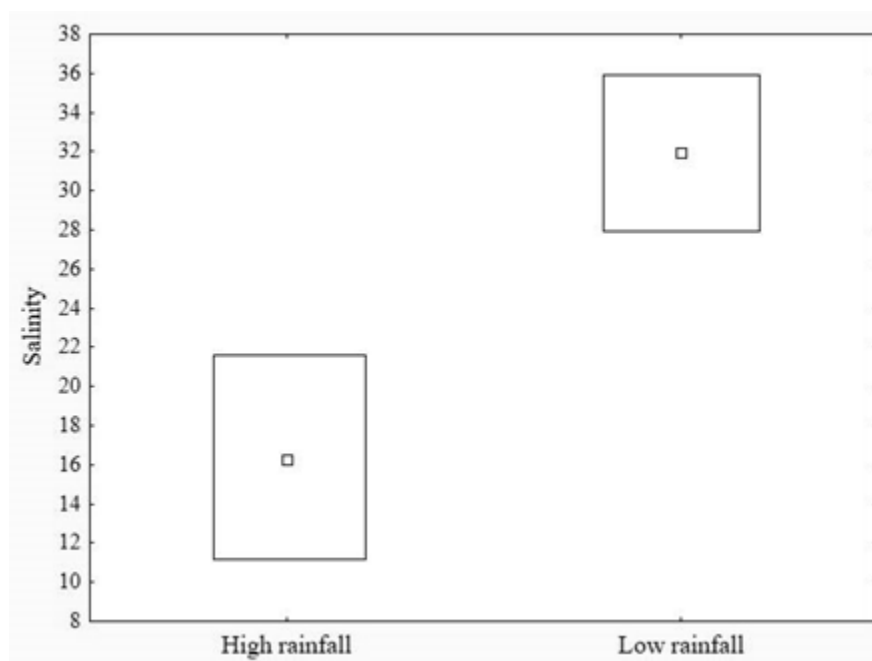
4. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

Os dados foram organizados em tabelas utilizando o software estatístico Past 3.14 e aos dados aplicaram-se estatística descritiva (mínimo, máximo, média e desvio padrão), matriz de correlação (Pearson) onde se considerou correlação fraca ($\rho < 0,3$), moderada ($0,3 < \rho < 0,4$) e forte ($\rho > 0,4$), e teste de normalidade (Shapiro Wilk com significância ($\rho < 0,05$)) seguido da análise de variância ANOVA ONE-WAY (valor crítico de $\rho < 0,05$) para verificar se houveram diferenças sazonais e espaciais significativas entre a composição granulométrica, concentrações de fósforo e matéria orgânica.

5. RESULTADOS

Os valores para salinidade (de 13 a 35) tiveram os mínimos e máximos detectados durante o período de maior e menor precipitação, respectivamente, o que demonstrou a influência da sazonalidade na distribuição dessa variável (Figura 3). Durante a maré vazante, não foram observadas variações pontuais de salinidade nos meses estudados. Contudo, o menor valor foi detectado próximo ao estuário do Mocajuba e o maior próximo ao estuário do Curuçá.

Figura 3 - Box plot com os valores encontrados para a salinidade nos dois períodos sazonais.

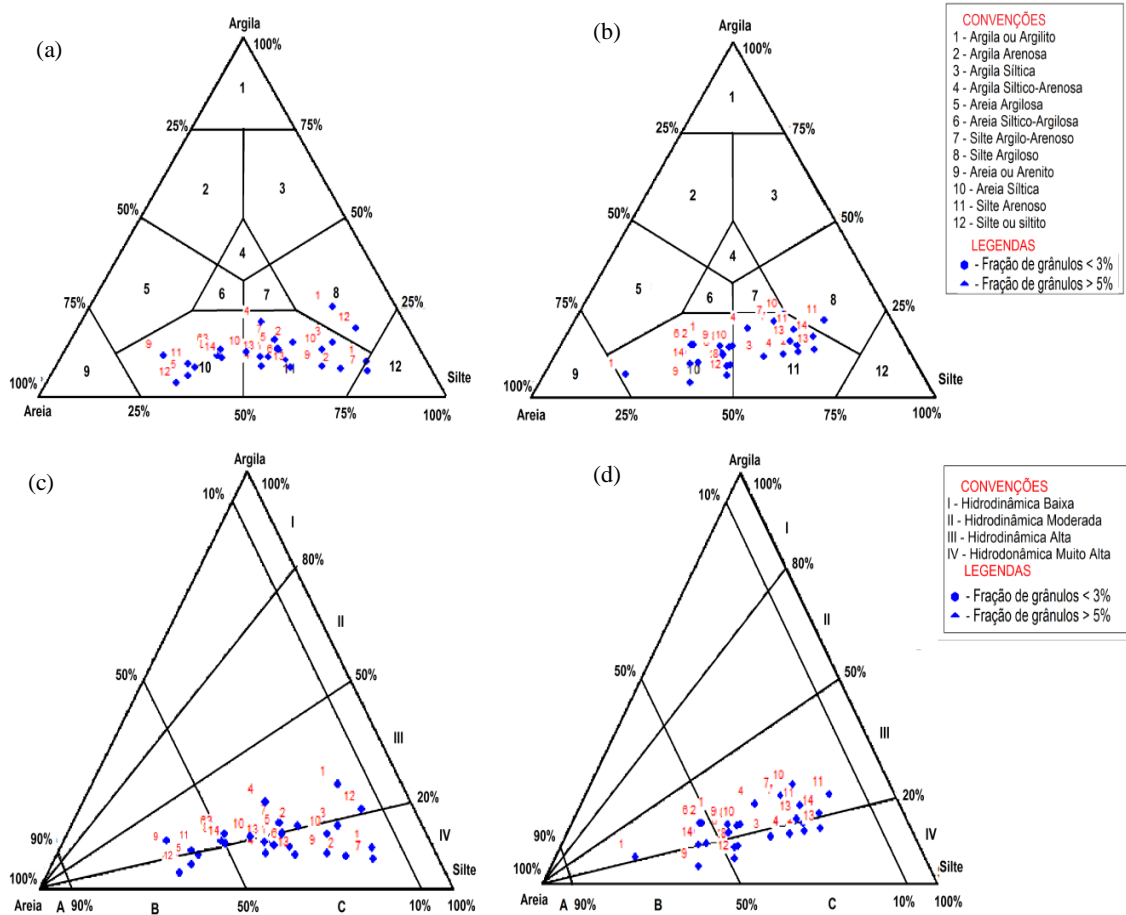


Fonte: Autora, 2016.

A composição granulométrica dos sedimentos superficiais do Furo do Muriá é composta em sua maioria por sedimentos finos (silte e argila), todavia sendo encontrados percentuais de areia. Os diagramas de Shepard (Figuras 4a e 4b) para classificação textural mostram que as amostras ficaram entre silte argilo-arenoso e silte ou siltico.

Os resultados obtidos a partir da análise granulométrica foram plotados no diagrama de Pejrup (Figuras 4c, 4d). O Furo do Muriá possui a composição de seus sedimentos predominantemente nas seções III C e IV C, caracterizando hidrodinâmica alta a muito alta.

Figura 4 - Diagramas de Shepard e Pejrup correspondente aos períodos de maior e menor precipitação. (a) diagrama de Shepard para período de maior precipitação; (b) diagrama de Shepard para período de menor precipitação; (c) diagrama de Pejrup para período de maior precipitação; (d) diagrama de Pejrup para período de menor precipitação.

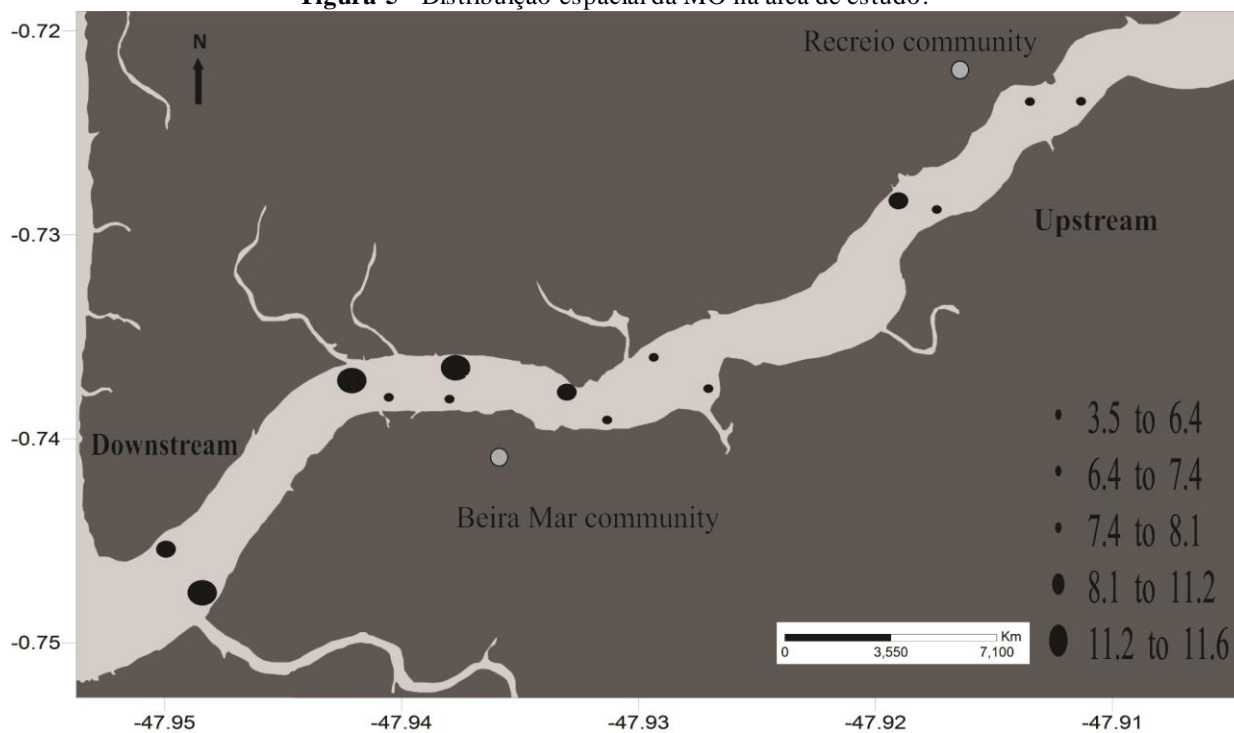


Fonte: Autora, 2016.

A diferença granulométrica das amostras foi avaliada pela comparação da distribuição de sedimentos finos. O resultado da ANOVA ($\rho = 0,940$) revelou que não há diferença significativa na composição granulométrica dos sedimentos ao longo dos pontos amostrados. O inverso foi observado para a MO ($\rho = 0,0027$), evidenciando haver variação espacial significativa para este parâmetro.

A matéria orgânica (MO) atingiu valores elevados, já que a área de estudo possui características de um ambiente confinado e de manguezal, que classicamente é enriquecido em concentrações de MO (PEREIRA et al., 2015). As menores médias foram observadas a montante do Furo do Muriá, onde ocorre a maior influência do estuário do rio Curuçá, com a menor média de 3,53 %. Quanto as maiores médias, estas ficaram distribuídas nos pontos que estão mais próximos da influência das águas do rio Mocajuba (Figura 5), com a maior média de 11,55 %.

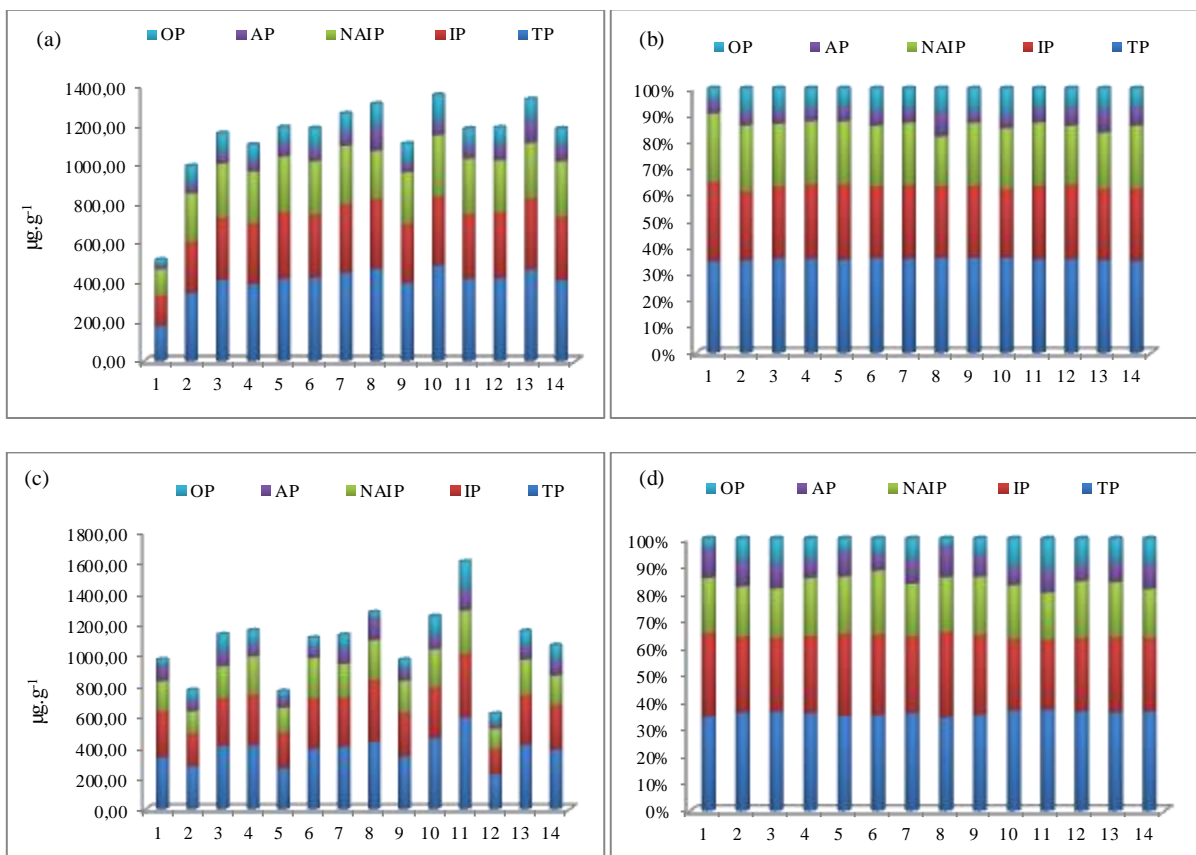
Figura 5 - Distribuição espacial da MO na área de estudo.



Fonte: Autora, 2016.

A distribuição espacial das concentrações para três formas de fósforo foi semelhante ao longo do estuário, com as maiores concentrações de PT, PI e PINA nas proximidades do rio Mocajuba. Já as espécies PA e PO tiveram distribuição heterogênea de suas concentrações ao longo do Furo, sem possíveis influências dos estuários Curuçá ou Mocajuba (Figura 6).

Figura 6 - (a) Média das concentrações de P no período de maior precipitação; (b) média das porcentagens de P no período de maior precipitação; (c) Média das concentrações de P no período de menor precipitação; e (d) média das porcentagens de P no período de menor precipitação.

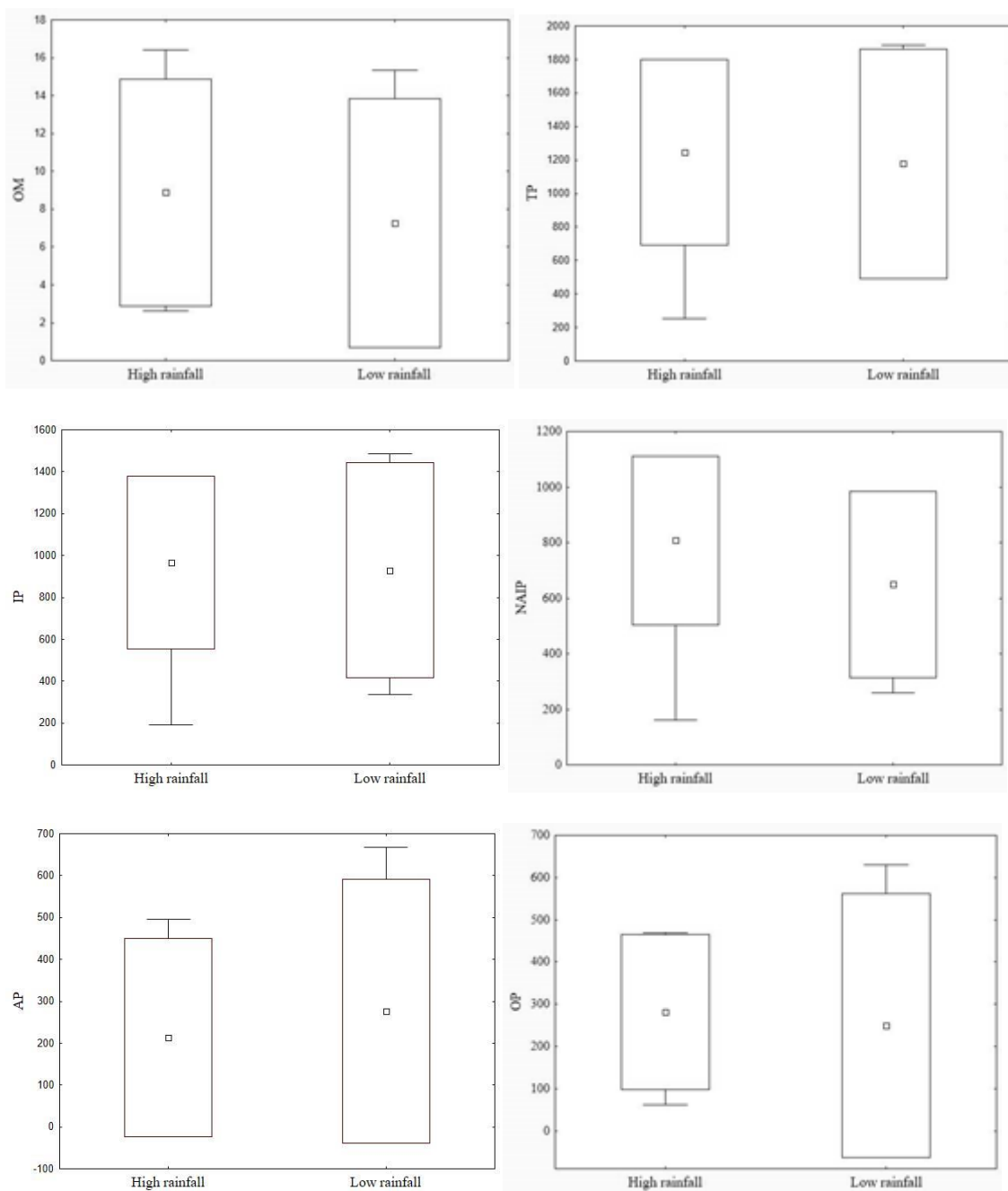


Fonte: Autora, 2016.

As concentrações das espécies de fósforo que apresentaram variação significativa ao longo dos pontos foram PO ($p=0,03246$) e PT ($p=0,01821$), as demais espécies não tiveram variação espacial expressiva.

Quanto a avaliação sazonal dos parâmetros analisados (Figura 7), os valores da ANOVA apontaram variação apenas para o PINA ($p=0,0004$). Esta fração de fósforo contribuiu com percentual acima de 50 % da soma total de PI, indicando que em condições ambientais favoráveis à liberação de fósforo à coluna d'água, a maior contribuição seria da fração biodisponível para o ambiente.

Figura 7 - Valores dos parâmetros analisados nos dois períodos sazonais estudados.



Fonte: Autora, 2016.

Valores expressivos foram encontrados para o Fósforo Apatítico (PA) no Furo do Muriá, onde os valores máximos (Tabela 1) foram verificados nos Pontos 8, 10 e 11, evidenciando grande quantidade de fósforo ligado ao elemento cálcio nessa região. Quanto ao Fósforo Orgânico (PO), Fósforo Inorgânico (PI) e Fósforo Total (PT) as maiores médias também foram encontradas nos Pontos 8, 10 e 11 ($135,88 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, $378,61 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ e $507,73 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ respectivamente).

Tabela 1: Estatística descritivas das variáveis analisadas.

			Salinidade	PINA ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	PA ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	PI ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	PO ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	PT ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	MO (%)
Mínimo	Março	Maior Precipitação	13,17	52,78	17,21	62,45	20,37	82,82	3,55
Máximo			14,14	314,79	102,65	392,72	128,07	520,78	12,77
Média±Desvio Padrão			13,70±0,23 9	260,12± 62,81	84,83 ± 20,48	308,85 ± 57,93	100,72 ± 25,09	409,57 ± 102,04	8,29± 2,81 1
Mínimo	Junho	Maior Precipitação	17,88	213,41	9,89	227,17	27,01	274,59	2,60
Máximo			20,35	309	161,63	445,14	153,26	564,32	16,43
Média±Desvio Padrão			18,79 ± 0,71	267,44 ± 33,26	54,15 ± 46,67	322,13 ± 57,93	82,61 ± 32,48	404,74 ± 80,47	8,70± 3,40
Mínimo	Setembro	Menor Precipitação	29,11	117,66	51,13	224,74	29,82	278,42	3,43
Máximo			31,21	290,32	217,68	485,25	159,80	577,37	15,32
Média±Desvio Padrão			30,06±0,63	213,71 ± 51,92	109,73 ± 50,45	323,98 ± 77,29	69,98 ± 45,01	393,96 ± 94,72	8,70±3,40
Mínimo	Dezembro	Menor Precipitação	33,10	84,71	16,04	109,45	35,76	166,90	2,46
Máximo			35,00	300,35	144,54	410,71	205,38	616,90	10,68
Média±Desvio Padrão			33,90±0,59	210,34 ± 59,92	71,14 ± 46,22	282,02 ± 87,55	92,73 ± 55,83	374,75 ± 129,15	5,83±2,56

Fonte: Autora, 2016.

As espécies de fósforo tiveram forte correlação positiva entre si e com a matéria orgânica (destacadas em negrito na Tabela 2), pois a MO está diretamente ligada aos processos de adsorção e dessorção do fósforo nos sedimentos. A única correlação fraca observada foi entre MO e PA, pois esta espécie química de fósforo está ligada a estrutura cristalina da apatita não estando, portanto, disponível no ambiente.

Tabela 2: Matriz de correlação das variáveis analisadas no Furo do Muriá.

	PINA	PA	PI	PO	PT	MO (%)	AREIA (%)	SILTE (%)	ARGILA (%)
PINA	1,0000								
PA	0,1307	1,0000							
PI	0,7662	0,6865	1,0000						
PO	0,5273	0,1369	0,4411	1,0000					
PT	0,7898	0,5690	0,9287	0,7425	1,0000				
MO%	0,5246	0,2302	0,5099	0,4927	0,5843	1,0000			
AREIA	-0,0562	-0,0105	-0,0483	-0,0979	-0,0765	-0,4536	1,0000		
SILTE	0,0139	-0,0475	-0,0380	0,0583	-0,0042	0,4375	-0,9477	1,0000	
ARGILA	0,1343	0,1564	0,2463	0,1442	0,2434	0,2297	-0,5496	0,2542	1,0000

Fonte: Autora, 2016.

6. DISCUSSÃO

De acordo com Gaspar (2013), a salinidade aumenta dentro dos estuários e induz a troca de fosfato unido aos óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio por sais de cálcio, aumentando assim a contribuição de PA em direção ao estuário. Isto pode ser verificado neste estudo, pois a concentração de Fósforo Apatítico foi diretamente proporcional aos teores de salinidade.

Valores de salinidade próximos aos encontrados neste estudo (Tabela 1) também foram detectados por Carvalho et al. (2016), com mínimo de 6,1 e máximo de 40,8 de salinidade no Furo do Muriá, Lima et al. (2014), com variação de 15,49 a 30,42 no estuário do rio Curuçá, e Barbosa et al. (2015), com 35 de salinidade para o estuário Bragantino no período de menor precipitação. Logo, estes são valores de salinidade normalmente encontrados na região devido a proximidade e forte influência oceânica, principalmente em período de menor precipitação.

Os dados da granulometria mostram que, apesar da ocorrência de variações nos percentuais granulométricos, ocorreu um predomínio de areia siltica e silte arenoso, seguido por silte argiloso em menor frequência. Os teores da fração mais fina (silte+argila) formam a composição granulométrica majoritária das amostras em quase todos os pontos coletados, o que condiz com as características naturais encontradas para áreas de manguezal. Assim o sedimento que compõe o Furo, devido sua composição granulométrica fina, possui grande potencial de retenção de matéria orgânica e fósforo, já que esses se associam ao material mais fino (SONG et al., 2014; PEREIRA et al., 2015).

Os resultados de granulometria foram semelhantes aos encontrados por Barbosa et al. (2015) no manguezal do estuário Bragantino com predominância da fração silte+argila (58 %) em relação a areia (42 %). Santos et al. (2013) também encontraram percentuais majoritários da fração fina de sedimento (70 %) na porção central do estuário do rio São Francisco em área de manguezal. Maior composição de sedimentos finos foram observados, ainda, por Yang et al. (2015) para o estuário do rio Yangtze na China.

Forte correlação negativa foi observada entre silte e areia ($r = -0,9477$) podendo ser observada uma tendência inversamente proporcional entre as frações areia e silte+argila. Ambientes como manguezais são constituídos por sedimentos lamosos e com baixa energia hidráulica no local, todavia a velocidade do fluxo de água é variável em se tratando de

manguezais podendo causar variações no tamanho e na disposição dos grãos de sedimento na região (AGUIAR NETO, 2013). Fatores físicos como velocidade e intensidade das correntes, junto com profundidade e regime de marés, são decisivos à composição granulométrica dos sedimentos (LIMA et al, 2015), como foi constatado para o Furo do Muriá, que apresentou percentuais significativos de areia siltica e silte arenoso em sua granulometria influenciando diretamente nas características hidrodinâmicas locais (alta a muito alta).

A inserção de MO nos sedimentos do Furo do Muriá está ligado sobretudo às condições naturais de produção e deposição de material orgânico no manguezal, principalmente de origem vegetal, pois Aguiar Neto (2013) destaca que os sedimentos estuarinos, assim como em outros sistemas costeiros, são reservatórios de matéria orgânica em escala global, na qual esta é preservada no sedimento e constituída basicamente por substâncias húmicas formadas tanto pela degradação química e enzimática de plantas e animais, como também pela ação sintética de organismos. Barbosa et al. (2015) contribuíram também ao afirmar que altos teores de MO nos sedimentos sugerem maturação elevada da vegetação, bem como da ação indireta das marés que promovem retenção e assimilação de MO nos sedimentos superficiais.

Além da fonte natural, o Furo também possui contribuição antrópica de MO advinda principalmente de efluentes não tratados e atividades agrícolas da região. Esta influência causada pelo homem modifica a composição e concentrações naturais de MO no ambiente, podendo afetar a biota local (COSTA et al., 2016).

Segundo a definição de Esteves (2011), os sedimentos do Furo do Muriá podem ser classificados como do tipo orgânico, pois valores acima de 10 % de MO foram encontrados neste ambiente.

Assim como neste estudo, altas porcentagens de MO foram detectadas por Santos et al. (2015), com 24,61 % de MO nos sedimentos superficiais de mangue do estuário do rio São Francisco, também classificando os sedimentos como do tipo orgânico. Yang et al. (2015) também encontraram altos valores de MO no estuário do rio Yangtze (China), variando de 18 a 22 % de MO.

A partir dos resultados estatísticos se observou que a sazonalidade não foi fator preponderante a influenciar às concentrações de fósforo no Furo do Muriá. Variações sazonais nas concentrações de fósforo nos sedimentos são mais evidentes em regiões temperadas, onde as temperaturas variam muito entre o inverno e o verão. O aumento de

temperatura conduz a uma grande atividade microbiana e, conseqüentemente, a decomposição de matéria orgânica, a qual aumenta disponibilidade de fósforo dissolvido em estuários e lagos de regiões temperadas (GASPAR, 2013).

Em ambientes aquáticos, o comportamento do fluxo de fósforo entre os sedimentos e a água circundante é fundamental ao ciclo do fósforo, na qual diversos fatores químicos, físicos e biológicos intervêm na precipitação (imobilização) e liberação dos íons fosfato como o pH, compostos orgânicos e carbonáticos, condições de oxirredução, sulfetos e concentrações de íons ferro e alumínio (ESTEVEZ, 2011).

Os valores encontrados neste estudo para as formas de fósforo foram próximos aos encontrados em outros estuários do Brasil e do mundo (Tabela 3).

Tabela 3: Concentrações em $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ das especiações de fósforo em várias áreas de estudo.

Área de Estudo	País	Clima	PT	PI	PO	PINA	PA	Autores
Estuário do rio Jaguaribe	Brasil	Semiárido	$77,5 \pm 11,4$ -	$43,0 \pm 7,0$ -	$10,4$ - 58,1	$11,2 \pm 0,6$ -	$8,5 \pm 0,7$ -	Marins et al., 2007
			$157,1 \pm 3,2$	$124,8 \pm 1,2$		$77,2 \pm 2,7$	$42,8 \pm 2,5$	
Estuário Yangtze	China	Continental	451,98 - 1141,11	355,25 - 956,97	40,92 - 209,56	37,51 - 329,53	11,16 - 111,6	Hou et al., 2009
Estuários dos rios Botafogo e Carrapicho	Brasil	Tropical	52 - 1124,4	$51,4$ - 915,2*	0,6 - 209,2	29,7- 398,1	21,72 - 558,8	Gaspar et al., 2013
		Monção marítima subtropical	648,9 - 1064	422,5 - 643,9	125 - 300	98 - 495	202 - 309	
Estuário do rio Zhujiang	China	Monção marítima subtropical	648,9 - 1064	422,5 - 643,9	125 - 300	98 - 495	202 - 309	Wang et al., 2013
Estuário de Changjiang e plataforma adjacente ao mar da China oriental	China	Continental	465 - 663,4	$439,6$ - 531 *	25,4 - 132,4	11,5 - 20,15	16,7 - 46,5	Meng et al., 2014
Estuário da baía de Guaratuba	Brasil	Sub-	$114,9 \pm 42,7$ -	$91,3 \pm 36,2$ -	$23,6 \pm 17$ -	-	-	Cotovicz Junior et al., 2014
		Tropical	$330 \pm 136,7$	$234,8 \pm 109,9$	$95,2 \pm 30,4$			
Baía de Laizhou e águas costeiras da ilha de Zhangzi	China	Continental	315,9 - 582,7	272,5 - 491,8	4,8 - 90,9	1,2 - 68,4	3,1 - 100,3	Zhuang et al., 2014

Sistema estuarino Santos–São Vicente	Brasil	Tropical	117,8 - 2297,4	106,3 - 1971,9*	11,4 - 325,5	33,79 - 1168	11,2 - 329,8	Berbel et al., 2015
Estuário rio Yangtze e mar adjacente	China	Continental	300,7 - 674,25	259 - 590,5	23,6 - 176,08	-	-	Yang et al., 2015
Murray Ridge	Nordeste do mar arábico	-	933,8 - 1897,2	913,65 - 1871,78*	20,15 - 25,42	9,3 - 1016,8	15,5 - 722,3	Kraal et al., 2015
Baía de Sishili	China	-	466,2 - 669,3	385,3 - 566,4	4,65 - 158,4	46,5 - 86,5	34,7 - 87,1	Zhang et al., 2016
Estuário de Guapimirim	Brasil	Tropical	-	98,6 - 221	-	24,5 - 53	21 - 59,2	Vicente et al., 2016
Furo do Muriá	Brasil	Equatorial Amazônico	257,54 ± 154,54 - 507,73± 104,02	227,21±148,11 - 378,61±76,70	30,33±7,09 - 135,88 ±50,50	164,54±82,22 - 280,32 ± 17,25	63,02 ± 55,01 - 102,80 ± 41,99	

* Obtido pela subtração do PT e PO.

Robertson e Stevens (2013), com base nos valores encontrados para PT, propuseram uma "classificação de condições" dos sedimentos para o estuário New River (Nova Zelândia). Esta categorização foi utilizada para classificar os sedimentos do Furo do Muriá, onde este local de estudo foi considerado majoritariamente "Bom" (Tabela 4).

Tabela 4: Classificação de condições dos sedimentos superficiais em relação às concentrações de fósforo total, proposta por Robertson and Stevens (2013).

Concentrações ($\mu\text{g.g}^{-1}$)	$<200\mu\text{g.g}^{-1}$	200 - $500\mu\text{g.g}^{-1}$	500 - $1000\mu\text{g.g}^{-1}$	$>1000\mu\text{g.g}^{-1}$
Qualidade dos sedimentos em relação ao P total	Muito Bom	Bom	Moderado	Pobre
Pontos (esse estudo)	1	2,3,4,5,6,7,8,9,10, 11,12,13,14	-	-
Maior precipitação				
Pontos (esse estudo)	-	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 13, 14	11	-
Menor precipitação				

O PI foi a principal forma de fósforo a compor o PT na área de estudo. Segundo Cotovicz Junior et al. (2013), a predominância do PI é encontrada em diversos estuários no Brasil e no mundo, pois esta é a principal característica que diferencia os sedimentos dos estuários do solo, o qual possui predominantemente a forma orgânica do fósforo. O fósforo de origem antrópica encontra-se principalmente nas formas inorgânicas, devido ao uso indiscriminado de fertilizantes químicos nos solos ou pelas emissões de efluentes urbanos, que contêm polifosfatos dos produtos de limpeza e ortofosfato e fosfatos inorgânicos condensados dos esgotamentos sanitários não tratados (MARINS et al., 2007)

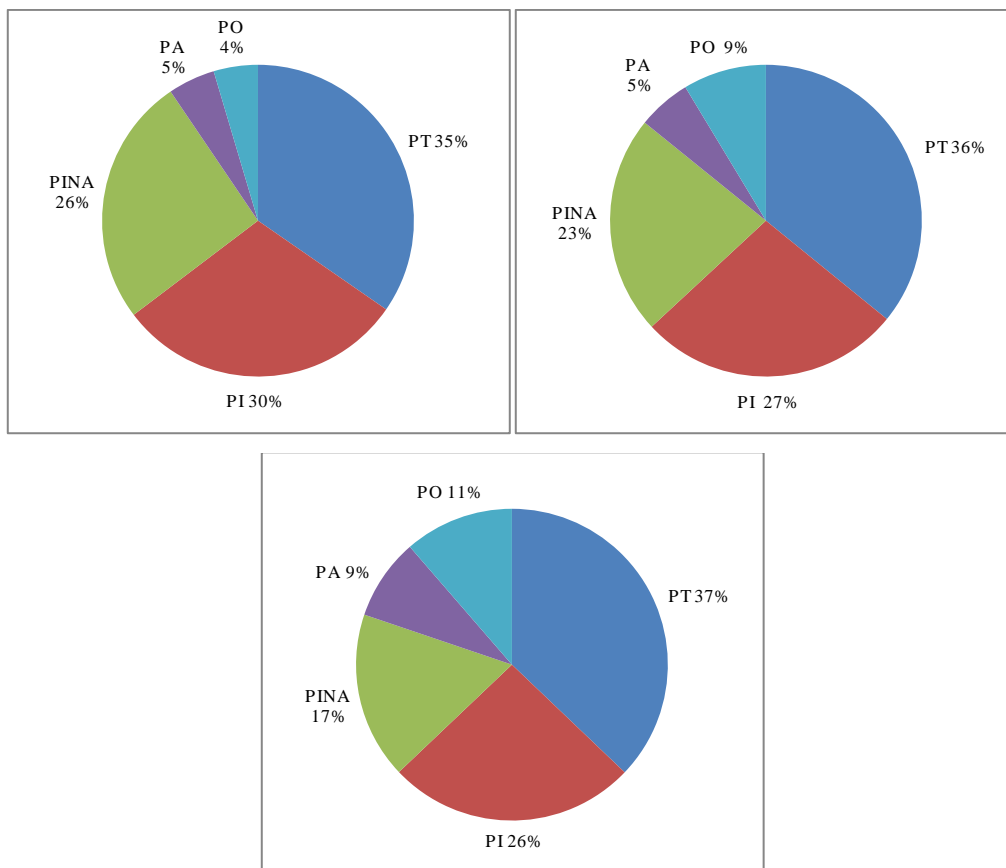
O ciclo biogeoquímico do fósforo nos sedimentos superficiais está sujeito às diversas espécies de fósforo, onde sucede ligado a oxi/hidróxidos de ferro, alumínio ou cálcio podendo ser absorvido a superfície dos minerais ou compostos orgânicos (SINGH et al., 2015).

A espécie de fósforo PINA é comumente observada como a fração mais predominante nos sedimentos de mangue e representam a fração móvel sensível ao potencial redox nos sedimentos costeiros (SINGH et al., 2015). O fósforo ligado ao ferro e alumínio representa em grande parte os íons de ortofosfato de origem antrópica adsorvidos sobre os hidróxidos de ferro e alumínio, com os quais formam complexos (GACHTER, 1998).

Quanto ao PA, estes são os ortofosfatos incluídos na estrutura cristalina da apatita não estando disponível ao ambiente. Esta espécie de fósforo, juntamente com a fração orgânica,

resultou nas menores porcentagens do PT em toda a área investigada do Furo quando comparada com as demais espécies investigadas (Figura 8). Segundo SINGH et al. (2015), a precipitação de fosfato junto ao Ca^{+2} e sua adsorção em CaCO_3 é controlada pela solubilidade da apatita no ambiente aquático, bem como pela diminuição do pH do meio.

Figura 8 - Os fósforos PA e PO foram as frações que compuseram em menor porcentagem o PT. (a) Ponto 1 considerado como qualidade referência (muito bom) no período de maior precipitação; (b) ponto 6 considerado como de boa qualidade neste estudo; (c) ponto 11 considerado como menor qualidade durante o período de menor precipitação.



Fonte: Autora, 2016.

As concentrações de PO nos sedimentos induz que há influência das raízes da vegetação do mangue, bem como da carga de matéria orgânica existente no meio, das descargas antropogênicas e das condições biogeoquímicas. Assim, o PO teve concentrações representativas nos sedimentos, sugerindo alta retenção e ciclagem de MO no mangue, adsorvendo P na matriz orgânica e consequentemente liberando fósforo por degradação microbiana à coluna d'água e influenciando a dinâmica do fósforo dissolvido (SINGH et al., 2015). Ao comparar as espécies químicas de fósforo investigadas para o Furo do Muriá com outros estuários no Brasil e no mundo, afirma-se que as concentrações de P encontradas nos sedimentos estão abaixo da faixa reportada para ambientes considerados contaminados.

7. CONCLUSÃO

Os valores de salinidade refletiram a sazonalidade da região, a qual não teve influência nos sedimentos superficiais do Furo do Muriá. Contudo, a influência das águas oriundas do rio Mocajuba foi verificada na distribuição da matéria orgânica e das formas de fósforo, onde foram observadas as maiores concentrações, com destaque para PT e PI.

Considerando a classificação de condições para os sedimentos do Furo, afirma-se que as concentrações de fósforo total encontradas ainda não representam riscos de deterioração.

Para se obter mais detalhes acerca do acúmulo da fração inorgânica e do estado trófico dos sedimentos são necessários estudos direcionados à hidrodinâmica e a produtividade estuarina da bacia hidrográfica, principalmente em regiões onde existem despejos de efluentes ricos em nutrientes, como ocorre na aquicultura, e nas áreas urbanizadas por não possuírem esgotamento sanitário apropriado.

Dentro da composição inorgânica do fósforo, a espécie química de maior destaque foi o PINA, a qual representa a forma que pode se tornar biodisponível, caso ocorra alterações nas condições ambientais do estuário.

O estudo das espécies de fósforo em estuários, além de proporcionar informações sobre a qualidade dos sedimentos, também evidencia que a região possui potencial de deposição de fósforo no sedimento de origens naturais e antrópicas.

8. AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro através de bolsas de estudo e ao apoio logístico e financeiro do Projeto "Desenvolvimento de Pesquisa para Estudo de Desempenho Zootécnico de Camurim, *Centropomus parallelus* (Poey, 1860) (PISCES, CENTROPOMIDAE) em Tanques-Rede no Município de Curuçá - Pará, financiado pela Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia - SUDAM e com a execução da Fundação de Apoio à Pesquisa, Ensino de Ciências Agrárias - FUNPEA e Universidade Federal Rural da Amazônia - UFRA.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguiar Neto, A.B., Gomes, F.G., Freire, G.S.S. 2012. Origem da deposição da matéria orgânica em sedimentos de manguezal na porção nordeste da Baía de Todos os Santos, Bahia. *Rev. Geol.* 25, 7-17.

Barbosa, I.C.C., Müller, R.C.S., Alves, C.N., Berrêdo, J.F., Souza Filho, P.W.M. 2015. Composição Química de Sedimento de Manguezal do Estuário Bragantino (PA) - Brasil. *Rev. Virtual Quim.* 7, 1087-1101.

Berbel, G.B.B., Favaro, D.I.T., Braga, E.S. 2015. Impact of harbour, industry and sewage on the phosphorus geochemistry of a subtropical estuary in Brazil. *Mar. Poll. Bull.* 93, 44–52.

Bittencourt, B.T.T., Pacheco, J.J., Palheta, M.V.O., Costa Jr., R.N.F., Costa, S.V., Tostes, W.S. 2014. Estatística municipal do município de Curuçá. IDESP, Belém, 48 p.

Burrus, D., Thomas, R.L., Dominik, J., Vernet, J.P. 1990. Seasonal delivery of the particulate forms of phosphorus to lake Geneva from upper Rhone River. *Aquatic Science* 52, 221-254.

Cao, X., Liu, X., Zhu, J., Wang, L., Liu, S., Yang, G. 2017. Characterization of phosphorus sorption on the sediments of Yangtze River Estuary and its adjacent areas. *Mar. Pollut. Bull.* 114, 277–284.

Carvalho, A.S.S., Martinelli-Lemos, J.M., Nevis, A.B., Isaac, V. 2016. Spatio-temporal variation of the density of shrimps *Farfantepenaeus subtilis*, *Litopenaeus schmitti* and *Xiphopenaeus kroyeri* (Crustacea; Decapoda) in the Curuçá estuary, north of Brazil. *Bol. Inst. Pesca* 42, 598-610.

Costa, A.B., Souza, J.R.B., Zucchi, M.R., Azevedo, A.E.G., Argollo, R.M. 2016. Characterization of organic matter in a sediment Core near the Mataripe refinery, Bahia–Brazil. *Mar. Poll. Bull.* 105, 411-415.

Cotovicz Junior, L.C., Machado, E.C., Brandini, N., Zem, R.C., Knoppers, B.A. 2014. Distributions of total, inorganic and organic phosphorus in surface and recent sediments of the sub-tropical and semi-pristine Guaratuba Bay estuary, SE Brazil. *Environ. Earth Sci.* 72, 373–386.

Esteves, F.A. *Fundamentos de Limnologia*, 3ª. ed., Interciência: Rio de Janeiro, 2011.

Fisher, T.R., Carlson, P., Barber, R., 1982. Sediment nutrient regeneration in three North Carolina estuaries. *Estuar. Coast. Shelf. Sci.* 14, 101–116.

Gachter, R., Meyer, J.S., Mares, A. 1998. Contribution of bacteria to release and fixation of phosphorus in lakes sediments. *Lim. Oceanog.* 33, 1542-1558.

Gaspar, F., Montes, M.F., Alves, G., Lins, I., Paulo, J., Longo, A. 2013. Spatial and seasonal sediment phosphorus species and its relation with granulometry, organic matter and CaCO₃ in a tropical estuary. *J. Coastal Res.* 65, 1134-1139.

Hammer, O. 2016. Paleontological statistics - PAST version 3.14. Natural History Museum, University of Oslo, 252p.

Hou, L.J., Liu, M., Yang, Y., Ou, D.N., Lin, X., Chen, H., Xu, S.Y.. 2009. Phosphorus speciation and availability in intertidal sediments of the Yangtze Estuary, China. *Appl. Geochem.* 24, 120-128.

Kraal, P., Bostick, B.C., Behrends, T., Reichart, G.J., Slomp, C.P. 2015. Characterization of phosphorus species in sediments from the Arabian Sea oxygen minimum zone: Combining sequential extractions and X-ray spectroscopy. *Mar. Chem.* 168, 1-8.

Kralik, M. 1999. A rapid procedure for environmental sampling and evaluation of polluted sediments. *Appl. Geochem.* 14, 807-816.

Leite, N.R., Pereira, L.C.C., Costa, R.M. 2009. Temporal distribution of the mesozooplankton in the Muriá creek, Pará, Brazil. *Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Cienc. Nat.* 4, 149-164.

Lima, M.W., Alves, M.A.M.S., Santos, M.L.S., Ribeiro, A.M., Santos, E.T., Nunes, D.M. 2014. Influência do Ciclo de Maré na Variação dos Parâmetros Físico Químicos no Estuário do Rio Curuçá, Nordeste Paraense. *Bol. Téc. Cient. CEPNOR*, 14, 09 - 15.

Lima, M.W., Santos, M.L.S., Montelo, D.J., Nunes, D.M., Alves, I.C.C., Silva, M.S.F. 2015. Análise temporal da composição granulométrica de um estuário amazônico, Pará, Brasil. *Sci. Plena* 11, 1-11.

Marins, R.V., Paula Filho, F.J., Rocha, C.A.S. 2007. Geoquímica de fósforo como indicadora da qualidade ambiental e dos processos estuarinos do rio Jaguaribe - costa nordeste oriental brasileira. *Quim. Nova* 30, 1208-1214.

Meng, J., Yao, P., Yu, Z., Bianchi, T. S., Zhao, B., Pan, H., Li, D. 2014. Speciation, bioavailability and preservation of phosphorus in surface sediments of the Changjiang Estuary and adjacent East China Sea inner shelf. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 144, 27-38.

Pardo, P., Rauret, G., López-Sánchez, J. F. 2004. Shortened screening method for phosphorus fractionation in sediments: a complementary approach to the standards, measurements and testing harmonised protocol. *Anal. Chim. Acta.* 508, 201-206.

Pejrup, M. 1988. The triangular diagram used for classification of estuarine sediments a new approach. In: Boer, P.L., Van Gelder, A., Nio, S.D. *Tide-Influenced Sedimentary Environments and Facies*. D. Reidel, Dordrecht. 289-300p.

Pereira, T.S., Moreira Í.T.A., Oliveira, O.M.C., Rios, M.C., Filho, W.A.C.S., Almeida, M., Carvalho, G.C. 2015. Distribution and ecotoxicology of bioavailable metals and As in surface sediments of Paraguaçu estuary, Todosos Santos Bay, Brazil. *Mar. Poll. Bull.* 99, 166–177.

Pimentel, M.A.S.; Oliveira, I S.; Rodrigues, J.C.M. 2012. Dinâmica da paisagem e risco ambiental na ilha de Caratateua, Distrito de Belém-PA. *Rev. Geonorte* 1, 624 – 633.

Robertson, B.M., Stevens, L.M. 2013. New River Estuary – Fine Scale Monitoring of Highly Eutrophic Arms 2012/2013. Report prepared by Wriggle Coastal Management for Environment Southland, 35p.

Santos, E.S., Jennerjahn, T., Leipe, T., Medeiros, P.R.P., Souza, W.F.L., Knoppers, B.A. 2013. Origem da matéria orgânica sedimentar no delta-estuarino do Rio São Francisco, AL/SE – Brasil. *Geochim. Brasiliensis* 27, 37-48.

Santos, J.M., Santos, L.O., Costa, J.A.S., Menezes, L.C.S., Holanda, F.S.R., Bellin, I.C. 2015. Caracterização Geoquímica Orgânica e Inorgânica de Sedimentos de Manguezais do Estuário São Francisco, Sergipe. *Rev. Virtual Quim.* 7, 2139-2153.

Shepard, F.P. 1954. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. *J. Sedim. Research* 24, 151-158.

Singh, G., Chauhan, R., Ranjan, R.K., Prasad, M.B., Ramanathan, AL. 2015. Phosphorus dynamics in mangroves of India. *CUR. SCI.* 108, 1874-1881.

Song, Y., Choi, M.S., Lee, J.Y., Jang, D.J., 2014. Regional background concentrations of heavy metals (Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Pb) in coastal sediments of the South Sea of Korea. *Sci. Total Environ.* 482–483, 80–91.

Suguio, K. 1973. *Introdução a Sedimentologia*. Edgar Blunhen, São Paulo: EDUSP, 371p.

- Vicente, M.A.F., Melo, G.V., Baptista Neto, J.A., Oliveira, A.S. 2016. Phosphorus fractionation distribution in Guapimirim estuary: SE Brazil. *Spri. Plus* 5, 1-11.
- Wang, L., Ye, M., Li, Q., Zou, H., Zhou, Y. 2013. Phosphorus speciation in Wetland sediments of Zhujiang (Pearl) River estuary, China. *Chin. Geogra. Sci.* 23, 574-583.
- Wang, Q., Li, Y. 2010. Phosphorus adsorption and desorption behavior on sediments of different origins. *J. Soils Sed.* 10, 1159–1173.
- Williams, J.D.H., Jaquet, J.M., Thomas, R.L. 1976. Forms of phosphorus in the surficial sediments of Lake Eire. *J. Fish. Res. Board Can.* 33, 413-429.
- Yang, B., Cao, L., Liu, S.M., Zang, G.S. 2015. Biogeochemistry of bulk organic matter and biogenic elements in surface sediments of the Yangtze River Estuary and adjacent sea. *Mar. Poll. Bull.* 96, 471-484.
- Zhang, B., Fang, F., Guo, J., Chen, Y., Li, Z., Guo, S. 2012. Phosphorus fractions and phosphate sorption-release characteristics relevant to the soil composition of waterlevel-fluctuating zone of three gorges reservoir. *Ecol. Eng.* 40, 153–159.
- Zhang, Y., Gao, X., Wang, C., Chen, C.T.A., Zhou, F., Yang, Y. 2016. Geochemistry of phosphorus in sediment cores from Sishili Bay, China. *Mar. Poll. Bull.* 113, 552–558.
- Zhu, B., Wang, Z., Zhang, X. 2012. Phosphorus fractions and release potential of ditch sediments from different land uses in a small catchment of the upper Yangtze River. *J. Soils Sed.* 12, 278–290.
- Zhu, Y., Zhang, R., Wu, F., Qu, X., Xie, F., Fu, Z. 2013. Phosphorus fractions and bioavailability in relation to particle size characteristics in sediments from Lake Hongfeng, Southwest China. *Environ. Earth Sci.* 68, 1041–1052.
- Zhuang, W., Gao, X., Zhang, Y., Xing, Q., Tosi, L., Qin, S. 2014. Geochemical characteristics of phosphorus in surface sediments of two major Chinese mariculture areas: The Laizhou Bay and the coastal waters of the Zhangzi Island. *Mar. Poll. Bull.* 83, 343–351.