



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE OCEANOGRÁFIA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DE FÓSFORO EM SEDIMENTOS DO
IGARAPÉ TUCUNDUBA E RIO GUAMÁ**

Trabalho apresentado por:

DAVID ANTONIO DE LIMA SILVA

Orientador: Msc. Rafael Fernando Oliveira Aquino (UFPA)

Coorientadora: Prof. Dr.^a Silvia Keiko Kawakami (UFPA)

BELÉM

2017



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE OCEANOGRÁFIA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DE FÓSFORO EM SEDIMENTOS DO
IGARAPÉ TUCUNDUBA E RIO GUAMÁ**

Trabalho apresentado por:

DAVID ANTONIO DE LIMA SILVA

BELÉM

2017

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca do Instituto de Geociências/SIBI/UFPA

Silva, David Antonio de Lima, 1989 -

Distribuição vertical de fósforo em sedimentos do igarapé Tucunduba e rio Guamá / David Antonio de Lima Silva. – 2017.

xiv, 30. : il. ; 30 cm

Inclui bibliografias

Orientador: Rafael Fernando Oliveira Aquino

Coorientadora: Silvia Keiko Kawakami

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Oceanografia, Belém, 2017.

1. Sedimentos fluviais – Igarapé Tucunduba (PA). 2. Sedimentos fluviais – Rio Guamá (PA). Oceanografia química. 3. Fósforo. I. Título.

CDD 22. ed. 551.354098115



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE OCEANOGRÁFIA**

**DISTRIBUIÇÃO VERTICAL DE FÓSFORO EM SEDIMENTOS DO
IGARAPÉ TUCUNDUBA E RIO GUAMÁ**

TRABALHO APRESENTADO POR:

DAVID ANTONIO DE LIMA SILVA

Como requisito parcial à obtenção do grau em Bacharel em Oceanografia

Data de Aprovação: / /

Banca Examinadora:

Msc. Rafael Fernando Oliveira Aquino – Orientador
(Mestre em Geoquímica – UFPA)

Prof. Silvia Keiko Kawakami – Co-orientadora
(Doutora em Oceanografia Química – UFPA)

Prof. Estanislau Luczynski – Membro
(Doutor em Energia – UFPA)

Prof. Silvana Veloso Sodré - Membro
(Doutora em Geoquímica Ambiental – UFPA)

À minha família!

AGRADECIMENTOS

À força maior que rege o universo e proporciona a existência da vida e de tudo o que conhecemos.

Aos meus familiares, por todo o apoio e incentivo. Principalmente minha avó Francisca, pela incrível pessoa que foi, mesmo com os problemas que a velhice traz, sempre manteve o bom humor, ensinando aos filhos e netos o que realmente importa na vida, o amor. Sempre à levarei em meus pensamentos e agradeço profundamente por ter feito parte da minha vida.

À minha mãe Ana, por todo o amor e carinho.

À minha co-orientadora professora Dr. Silvia Keiko Kawakami, pela oportunidade para a realização deste trabalho, pelo aprendizado que obtive durante este período e pelas broncas quando necessário.

Ao meu amigo e orientador Msc. Rafael Aquino, pela orientação, incentivo e amizade. Sempre proporcionando bons momentos ao longo dessa parceria. Que nossa amizade perdure.

À todos os amigos do Laboratório de Oceanografia Química (LOQ) principalmente Marina, Irla, Priscila e Emerson, pelos momentos bem humorados que compartilhamos.

Aos meus amigos de turma Pv, Cláudia, Tuka, Rayssa, Ananda, Ítalo e o namorado Geraldo, por todos os momentos que vivenciamos juntos durante a graduação, trabalhos, campos, laboratórios, fila do R.U, etc. Em todos esses anos de convivência aprendi muito com vocês e por um bom tempo fomos como uma família, vou lembrar com saudades dessa incrível época em minha vida. Que nossas amizades sempre existam. Obrigado!

Aos amigos que fiz ao longo da graduação, Marcos (Malandro), Fábio (Japa), Ivson, Simão, Antônio (Rasta), Otávio (Frejat), Pv Magno e Kleper. Foram muitas e boas histórias com vocês, amizades que espero sempre ter.

À todos os amigos que também irão defender o TCC, pelos almoços animados e troca de idéias.

À professora Dr. Sury Monteiro, por disponibilizar o Laboratório de Oceanografia Geológica e Geofísica marinha (LIOG) para a realização das análises granulométricas e por todo o apoio dado para que tudo desse certo.

Aos amigos estagiários do LIOG/LAPMAR, Ivson, Débora, Fabrício e Gabriela, pela grande ajuda nas análises de granulometria e pelos momentos de descontração em laboratório e nas disciplinas em que fizemos juntos, sou muito grato à vocês.

Ao professor Dr. José Augusto Corrêa, por disponibilizar o Laboratório de Análise Química para a utilização da centrífuga.

À todos que de alguma forma colaboraram para a minha formação acadêmica.

Por fim, à oceanografia.

“A vida é breve, mas cabe nela muito mais do
que somos capazes de viver”

José Saramago

RESUMO

O fósforo é um importante macronutriente sua disponibilidade no ambiente aquático ocorre por meio do intemperismo das rochas principalmente na forma de apatita e da ação antrópica, através do despejo de efluentes e fertilizantes no ambiente. Altas concentrações de fósforo podem indicar um possível processo de eutrofização do sistema aquático. Este estudo teve como objetivo avaliar as possíveis fontes e distribuição vertical de fósforo total, bem como a granulometria de sedimentos da foz do igarapé Tucunduba e margem esquerda do rio Guamá. Foram coletadas amostras de água para a determinação dos parâmetros hidroquímicos como: temperatura, pH, condutividade e sólidos totais dissolvidos, através de um analisador multiparâmetros. Para a extração do P-total, utilizou-se o método SEDEX e para a análise foi empregada a técnica espectrométrica do azul de molibdato, pelo fato de as formas de fósforo sedimentar extraídas estarem como ortofosfatos. Obteve-se maior concentração de fosforo total nos primeiros 5 cm dos sedimentos do Igarapé Tucunduba, já que este ecossistema apresenta grande influência antrópica através da emissão de efluentes em suas águas. Nos sedimentos do rio Guamá, obteve-se menor concentração de fósforo total na camada superficial em relação aos sedimentos do igarapé Tucunduba, devido a maior distância entre este ponto e os canais de drenagem da cidade de Belém. A análise granulométrica indicou um ambiente de elevada hidrodinâmica, porém a fração de sedimentos lamosos foi predominante.

Palavras-chave: Fósforo total. Sedimentos. Igarapé Tucunduba. Rio Guamá (PA).

ABSTRACT

Phosphorus is an important macronutrient. Its availability in the aquatic environment occurs through the weathering of rocks mainly in the form of apatite and anthropic action, through the disposal of effluents and fertilizers in the environment. High concentrations of phosphorus may indicate a possible eutrophication process of the aquatic system. This study had as objective to evaluate the possible sources and vertical distribution of total phosphorus, as well as the sediment granulometry of the mouth of the Tucunduba stream and the left bank of the Guamá river. Water samples were collected for the determination of the hydrochemical parameters as: temperature, pH, conductivity and total dissolved solids, through a multiparameter analyzer. For the extraction of the P-total, the SEDEX method was used and for the analysis the spectrometric technique of the molybdate blue was emitted, because the extracted sedimentary phosphorus forms are like orthophosphates. The highest concentration of total phosphorus in the first 5 cm of sediments of the Tucunduba Igarapé was obtained, since this ecosystem presents great anthropic influence through the emission of effluents in its waters. In the sediments of the Guamá River, lower concentrations of total phosphorus were observed in the surface layer in relation to the sediments of the Tucunduba stream, due to the greater distance between this point and the drainage channels of the city of Belém. The granulometric analysis indicated a high Hydrodynamics, but the fraction of lamoso sediments was predominant.

Keywords: Total phosphorus. Sediments. Igarapé Tucunduba. Guamá River (PA).

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo.....	6
Figura 2 - Mapa de localização dos pontos de coleta.....	10
Figura 3 - Amostragem do testemunho no igarapé Tucunduba.....	11
Figura 4 – Fluxograma do método granulométrico adotado.....	12
Figura 5 - Diagrama de Pejrup para os sedimentos do rio Guamá.....	16
Figura 6 - Diagrama de Pejrup para os sedimentos do igarapé Tucunduba.....	17
Figura 7 - Diagrama de Shepard para os sedimentos do rio Guamá.....	17
Figura 8 - Diagrama de Shepard para os sedimentos do igarapé Tucunduba.....	18
Figura 9 - Distribuição vertical das frações granulométricas do rio Guamá.....	18
Figura 10 - Distribuição vertical das frações granulométricas do igarapé Tucunduba.....	19
Figura 11 - Distribuição vertical do fósforo total em sedimentos do rio Guamá.....	20
Figura 12 - Distribuição vertical do fósforo total em sedimentos do igaraé Tucunduba.....	21

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Latitude e longitude dos pontos de coleta.	10
Tabela 2 - Parâmetros hidroquímicos.	15
Tabela 3 - Tabela comparativa das concentrações de P-total em outras regiões.	22

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

P-total - fósforo total

POP - fósforo orgânico particulado

PIP - fósforo inorgânico particulado

POD - fósforo orgânico dissolvido

PID - fósforo inorgânico dissolvido

P-orto - ortofosfatos

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	iv
AGRADECIMENTOS	v
EPÍGRAFE	vii
RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	x
LISTA DE TABELAS	xi
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	xii
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVOS.....	2
1.1.1 Objetivo geral.....	2
1.1.2 Objetivos específicos.....	2
1.1.3 Justificativa	3
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 COMPORTAMENTO DO FÓSFORO EM SEDIMENTOS.....	4
3 ÁREA DE ESTUDO	6
3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS GERAIS	6
3.1.1 Geologia	7
3.1.2 Relevo.....	7
3.1.3 Hidrografia.....	7
3.1.4 Vegetação.....	8
3.1.5 Clima.....	8
3.1.6 Aspectos Oceanográficos.....	8
4 MATERIAL E MÉTODOS	10
4.1 AMOSTRAGEM.....	10
4.2 ATIVIDADES LABORATORIAIS.....	11

4.2.1 Limpeza de material.....	11
4.2.2 Granulometria	11
4.2.3 Extração do fósforo total.....	13
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	14
5.1 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS	14
5.2 GRANULOMETRIA	15
5.3 FÓSFORO TOTAL	19
6 CONCLUSÃO.....	23
REFERÊNCIAS.....	24
APÊNDICE.....	29
APÊNDICE A – CURVA DE CALIBRAÇÃO DA EXTRAÇÃO DO FÓSFORO	
TOTAL	30

1 INTRODUÇÃO

Com o estabelecimento de grandes cidades as margens de corpos d'água como, por exemplo, rios e seus afluentes, a contaminação desses ambientes se tornou mais evidente em decorrência do despejo de efluentes domésticos e industriais lançados sem o tratamento adequado (*in situ*), o que pode modificar suas condições ambientais.

O enriquecimento natural e antrópico em águas superficiais e sedimentos com nutrientes como, por exemplo, o fósforo e nitrogênio através de fontes pontuais e difusas pode conduzir a um desequilíbrio entre produção e consumo de biomassa, gerando condições prejudiciais ao ambiente aquático (Mansor 2005). O fósforo possui grande relevância nos sistemas biológicos devido à participação em processos fundamentais do metabolismo dos seres vivos, tais como: composição do material genético (DNA e RNA) armazenamento de energia (forma uma fração essencial da molécula de ATP) e estruturação da membrana celular, através dos fosfolipídios (Libes 2009).

Os fosfatos PO_4^{2-} e HPO_4^- são as principais espécies de fósforo dissolvido e biodisponíveis, e possuem função relevante na produtividade aquática e na qualidade de águas interiores, devido a influência nos fenômenos de eutrofização que contribui para o excessivo crescimento de algas, o que pode alterar a troca de matéria e energia entre os compartimentos (litosfera, hidrosfera e atmosfera) com a consequente deterioração dos mananciais (Rocha 2004). Em águas superficiais, o fósforo particulado está contido na biomassa dos organismos planctônicos. A disponibilidade do fósforo depende da reciclagem da biomassa pelas bactérias. Como consequência, as baixas concentrações de fosfatos, torna o fósforo um nutriente limitante e por isso é caracterizado como responsável pela eutrofização excessiva (House *et al.* 2001, Kormas & Papaspyrou 2004).

O processo global de ciclagem do fósforo inicia-se, principalmente, através do intemperismo sobre minerais fosfatados de rochas continentais e, também, através de fontes antropogênicas, pela lixiviação dos solos de terras cultivadas e pela emissão de esgotos, na forma de detergentes e dejetos industriais (Chester & Riley 1978).

O mineral apatita é a principal fonte natural de fósforo para o ambiente e engloba 95% do fósforo presente na crosta terrestre, os processos intempéricos atuantes sobre esse mineral acarretam na liberação de fosfatos, e estes são transportados para outros compartimentos (Paytan & Mclaughlin 2007). Outras fontes naturais, porém com uma menor contribuição são as deposições atmosféricas das partículas de poeira, aerossóis e cinzas vulcânicas (Odum & Barrett 2008).

Grande parcela do fósforo que transita na coluna d'água é depositada no compartimento sedimentar, principalmente sob a forma particulada, tanto a fração orgânica como a inorgânica. O comportamento do fósforo presente no sedimento, quanto a sua mobilização (dissolução) ou imobilização (precipitação), irá depender de vários fatores biológicos, químicos, físicos e físico-químicos, que geralmente ocorrem concomitantemente (Bostrom *et al.* 1988). Os sedimentos desempenham um papel de destaque na dinâmica funcional do meio pois participa de processos internos que incluem a ciclagem de nutrientes e decomposição da matéria orgânica e pode ainda armazenar informações sobre as formas e uso da bacia de drenagem (Fairbridge 1989).

A ação antrópica é responsável por disponibilizar fósforo para o meio, através do despejo de esgotos, rejeitos industriais e fertilizantes. A partir destas fontes, o fósforo poderá ser transportado nas formas particuladas e/ou dissolvidas através dos riachos, rios, água subterrânea e deposição atmosférica (seca ou úmida) para os estuários, lagos, baías e oceanos (Ruttenberg 2003).

Altas concentrações de nutrientes em águas residuárias domésticas são os maiores causadores da poluição nos corpos d'água e a situação torna-se mais séria em regiões de alta densidade populacional (Silva 2010). Sedimentos podem tornar-se um reservatório para nutrientes, em regiões onde há presença destes, principalmente devido a aportes antrópicos (Anderson & Mitsch 2006).

Nesse contexto se enquadra a bacia do igarapé Tucunduba, que recebe o lançamento de esgotos, tornando-se um ecossistema altamente antropizado, principalmente por se encontrar na região metropolitana de Belém, e o rio Guamá como possível ambiente de estoques naturais de fósforo por estar mais afastado dos canais de drenagem.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

➤ Investigar a relação da distribuição vertical do fósforo total com fontes antrópicas e naturais das áreas estudadas.

1.1.2 Objetivos específicos

➤ Determinar as concentrações e distribuição de fósforo total nos sedimentos do igarapé Tucunduba e rio Guamá;

- Relacionar as concentrações de fósforo com a granulometria dos sedimentos;
- Indicar as prováveis fontes antrópicas de fósforo para os sedimentos do igarapé Tucunduba.

1.1.3 Justificativa

Os sedimentos são importantes registros de processos químicos e biológicos que ocorrem em ecossistemas aquáticos, por tanto, a determinação do fósforo sedimentar pode servir como um indicador de um possível processo de eutrofização nestes ambientes.

Os teores de fósforo sedimentar podem ser correlacionados à produtividade primária local, bem como a atividade antrópica, como o aporte de esgoto doméstico (Freitas 2008).

Além, de sua relevância como macronutriente para os seres vivos, o interesse pelo ciclo do fósforo nas pesquisas deve-se à frequente escassez do elemento na forma biologicamente disponível, comparado a outros nutrientes, como o carbono. Isto explica por que em muitos ecossistemas de águas continentais o fósforo é o principal fator limitante da produtividade (Wetzel 2001).

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 COMPORTAMENTO DO FÓSFORO EM SEDIMENTOS

A produção de biomassa alimentada pela biodisponibilidade de fósforo resulta na deposição de matéria orgânica em solos e sedimentos, onde atua como fonte de combustível e nutrientes para as comunidades microbianas. A atividade microbiana nos solos e sedimentos, por sua vez, influencia fortemente a concentração e a forma química do fósforo incorporada no registro geológico (Ruttenberg 2003).

A distribuição de fósforo em ecossistema aquáticos e sedimentos, apresenta diferentes formas ou espécies químicas. Sendo o fósforo total, fósforo particulado e fósforo dissolvido as principais formas disponíveis na coluna d'água. O fósforo total (P-total) corresponde à somatória de todas as formas de fósforo presentes na amostra. O fósforo particulado corresponde à fração retida em filtro com diâmetro de 0,45 μm (Paytan & McLaughlin, op cit.) e englobam tanto o fósforo orgânico (P-particulado orgânico ou POP) e o inorgânico (P-particulado inorgânico ou PIP).

O POP faz parte das estruturas celulares dos organismos vivos ou mortos e de detritos e fezes. O PIP corresponde ao fosfato adsorvido aos materiais particulados em suspensão como as argilas, que são comuns em regiões tropicais. O fósforo dissolvido pode ser encontrado nas formas inorgânicas (P-dissolvido inorgânico ou PID) iônicas como PO_4^{3-} (fosfato), HPO_4^{2-} (ácido fosfórico), H_2PO_4^- (ortofosfato), além do H_3PO_4 (ácido fosfórico triprótico).

Tais formas correspondem aos chamados ortofosfatos (P-orto) e são as espécies prioritariamente assimiladas pelos organismos autotróficos aquáticos (fitoplâncton, macrófitas, entre outros) e por bactérias que podem ser transformadas em compostos orgânicos de fósforo (Stumm & Morgan 1996).

Há ainda o fósforo dissolvido na forma orgânica (P dissolvido orgânico ou POD) o qual é representado por compostos como nucleotídeos, coloides orgânicos e ésteres de fosfato de baixo peso molecular que são sintetizados por organismos vivos ou quando estão sendo decompostos (Cotner & Wetzel 1992).

Na coluna d'água, o fósforo orgânico particulado (POP) é a fração de maior concentração, uma vez que o fósforo inorgânico dissolvido (PID) é rapidamente assimilado pelo fitoplâncton e bactérias, compondo o POP. A decomposição e a excreção destes organismos irão converter a fração orgânica particulada em orgânica dissolvida (POD), a qual

será transformada em PID por mineralização. Grande parcela do fósforo que transita na coluna d'água é depositada nos sedimentos, principalmente sob a forma particulada, tanto a fração orgânica como a inorgânica (PIP) (Bostrom *et al.* 1988).

O fósforo refratário quando atinge a interface sedimento-água é simplesmente depositado. Neste grupo podem ser incluídos as apatitas detritais e o fósforo presente em minerais cristalinos. As fases particuladas do fósforo, que são reativas, são submetidas a diversos processos biogeoquímicos. Esses processos vão controlar a liberação para a coluna d'água ou retenção do fósforo no sedimento e uma vez depositado se torna parte do registro sedimentar. Os processos que controlam a liberação e retenção do fósforo nos sedimentos tem enorme importância na ciclagem biológica e, assim, um impacto significativo no ciclo do carbono global. Este controle pode ser em uma escala de tempo curta como, por exemplo, após a deposição do fósforo ele retorna para a coluna d'água, na forma biodisponível. Ou numa escala de tempo longa onde uma vez depositado o fósforo somente será liberado quando submetido ao regime de intemperismo (Ruttenberg 2003).

A composição mineral do meio influi fortemente na capacidade dos sedimentos de absorver e reter o fosfato. A presença de íons, alumínio, sulfeto, compostos orgânicos, carbonatos, além do pH e das concentrações de oxi-redução no meio, interferem na precipitação e imobilização dos fosfatos no ambiente aquático. Os íons do elemento ferro exercem o papel mais importante. A ação dos íons de ferro depende do seu estado de oxidação, que depende da concentração de oxigênio e do pH (Rivera 2003).

Os oxi-hidróxidos de ferro (FeOOH) são os compostos de maior competência na remoção dos íons fosfatos na coluna d'água em direção ao sedimento (Slomp *et al.* 1996). Para que ocorra a adsorção do fosfato é necessário um ambiente com condições oxidantes e um pH em torno de 7, situação esta favorável à formação da espécie oxidada de ferro (Fe³⁺), que forma os FeOOH. A remoção ou difusão do fósforo precipitado no sedimento ocorre em condições de anóxia ou mínimas concentrações de oxigênio (condições redutoras) (Reddy & DeLaune 2008).

Os íons fosfato e o Fe²⁺, uma vez dissociados na camada sedimentar, podem ser transportados através do fluxo difusivo da água intersticial para a camada superficial oxidada e liberados para a coluna d'água ou para profundidades elevadas, até a camada sedimentar anóxica (Schulz & Zabel 2006, Esteves 2011).

3 ÁREA DE ESTUDO

3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS GERAIS

A cidade de Belém, capital do estado do Pará, situa-se na confluência de rios da zona do estuário e delta do Amazonas e seus afluentes (Penteado 1968). Possui uma área de 720 km² e é recortada por cerca de 30 km de drenagens naturais, canalizadas ou não, que deságuam no Rio Guamá e na Baía do Guajará, sua região metropolitana está inserida no quadrante entre os paralelos 10° 10' S e 10° 30' S e os meridianos 48° 25' O e 48° 35' O, fazendo limite ao sul com o Rio Guamá, ao norte com a baía do Marajó até o extremo oriental da ilha do Mosqueiro e a oeste com as baías do Marajó, Guajará e Santo Antônio (CODEM 1975).

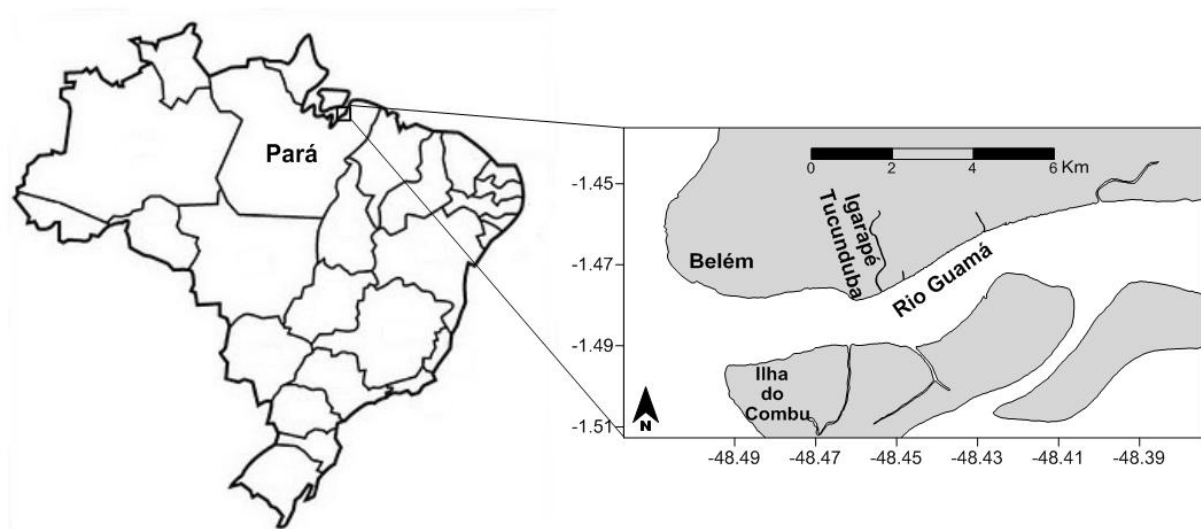


Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo.

Fonte: Do autor.

3.1.1 Geologia

De acordo com Araújo (2013), o município de Belém possui unidades litoestratigráficas argilo-arenosas e areno-argilosas caracterizadas como sendo de épocas mioceno-pliocênicas oriundas de fatores tectono-estruturais (falhas normais e transcorrentes).

Os sedimentos que representam o quaternário recente, correspondente ao holoceno, estão representados por sedimentos inconsolidados atuais e sub-atuais, constituídos por areias siltes e argilas.

3.1.2 Relevo

No município de Belém, a topografia é pouco variável e baixa, atingindo a altitude máxima de 25 m na ilha de Mosqueiro (SEPOF 2008). Nessa superfície, podem ser encontrados dois tipos de território, as planícies de várzea e a terra firme. As planícies de várzea possuem topografia entre 0 e 4 m acima do nível do mar e são naturalmente alagáveis (SUDAM 1979).

O relevo das imediações da Universidade Federal do Pará apresenta um desnível topográfico muito inferior, com 9 m à montante caindo para 3 m à jusante, segundo dados de curvas de nível fornecidos pela Prefeitura do Campus da UFPA (Ribeiro 1992).

3.1.3 Hidrografia

A rede hidrográfica do município de Belém é formada por furos, baías, rios e igarapés, que drenam inclusive o centro urbano de Belém. Os elementos hídricos de maior significado para o município são as baías do Guajará, Marajó, Sol e Santo Antônio, e os rios Guamá, Maguari, Murubira, Pratiqara e Aurá, além de inúmeros igarapés que deságuam nas drenagens principais formando uma drenagem bem distribuída do tipo dendrítica (Mercês 1997).

O rio Guamá antes de confluir com baía do Guajará, sofre uma inflexão para norte em uma extensão de 29 km, até a confluência do rio Maguari. No trecho que corre de leste para oeste, ao sul de Belém, a largura média do rio é de 2.450 m, ao passo que no trecho em direção ao norte é de 4.200 m (PMB 2001).

As várzeas estão presentes no entorno da baía do Guajará, do rio Guamá e dos baixos cursos dos igarapés que recortam a Região Metropolitana de Belém, sofrendo pequenas inundações diárias, que ocorrem pela influência das marés ou de índices pluviométricos

intensos (Ferreira 1995). De acordo com Morán (1990), a várzea de estuário diferencia-se dos outros tipos de várzea da Amazônia pela influência diária da água salina, das marés e pela riqueza aquática.

A área de estudo corresponde a um ecossistema de várzea estuarino, caracterizado como alto estuário, que sofre influência de marés (Morales 2015). A bacia do Tucunduba é uma das 14 bacias hidrográficas de Belém, localizada a sudeste da cidade, possui uma área aproximada de 1.055 ha, das quais 575 ha correspondem a áreas de várzea, o que representa 21,02% das áreas de várzea de Belém (DNOS 1974). Segundo Esteves (2011) o igarapé Tucunduba apresenta comportamento de corpo hídrico lótico.

3.1.4 Vegetação

De acordo com Lima (1956) a vegetação da área de estudo pode ser classificada em três tipos: várzea, típica de área inundável, floresta densa, associada aos terrenos mais elevados ditos terra-firme e floresta secundária associada a áreas desmatadas, que ocupa considerável distribuição na região. Na margem correspondente ao município de Belém, o que se observa é uma modificação em alto grau da vegetação natural por uma intensa e desordenada ocupação urbana (Silva 2006).

3.1.5 Clima

Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Afi, que corresponde a climas tropicais úmidos sem estação fria. Os índices de umidade relativa do ar raramente são menores que 70 %, oscilando em torno de 90 % (Bastos & Pacheco 2001).

A precipitação média anual é de 3158,20 mm, o período chuvoso tem seu início em dezembro e seu término em maio, o período menos chuvoso se estende de junho à novembro (Monteiro 2010). Os valores médios anuais de temperatura oscilam entre 29 e 34 °C, e as mínimas, entre 16 e 24 °C (Bastos & Pacheco 2001). As menores temperaturas médias ocorreram em fevereiro, um mês típico da estação chuvosa com elevada nebulosidade, e as mais elevadas ocorreram em outubro, que representa a transição entre o fim do período menos chuvoso e o início do período mais chuvoso (Moraes *et al.* 2005).

3.1.6 Aspectos Oceanográficos

A baía de Guajará e o rio Guamá fazem parte do estuário Guajará, inserido no estuário amazônico, que possui circulação uniforme, com tendência a homogeneidade vertical dos

parâmetros físicos e químicos da água entre a preamar e baixa-mar (Pinheiro 1987). O aporte de água doce, provinda principalmente dos rios Amazonas e Pará, praticamente evita a entrada de água salgada do oceano adjacente, fazendo com que a água da baía de Guajará tenha ao longo de todo o ano características oligohalinas, com salinidade entre 0-10 ‰ (Aviz *et al.* 2012). Na região estuda as marés são semi-diurnas com amplitude máxima de 2-3 m e correntes superficiais que alcançam 1,9-2,2 ms⁻¹. Os sedimentos de fundo são lamosos (cerca de 70 % da área) e arenosos, e ocorrem em bancos submersos (Gregório & Mendes 2009).

O pH das águas da Baía do Guajará está normalmente entre 6 e 7, valores de 4,5 podem ser encontrados em drenagens pequenas e não poluídas, sob influência de matéria orgânica (Mazzeo 1991). Nos igarapés Paracurí e Cumbu, Ribeiro (2002) verificou pH entre 5,0 e 5,5. A condutividade elétrica do rio Guamá é da ordem de 20 a 40 µS/cm, a expressão da sua água doce, o que também é reproduzido no igarapé Cumbú, enquanto nos canais interiores de Belém, devido a poluição, a condutividade pode alcançar valores maiores que 500 µS/cm (Ribeiro 2002).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 AMOSTRAGEM

As coletas de sedimentos foram realizadas no mês de outubro de 2016. Dois testemunhos foram amostrados, um na foz do Igarapé Tucunduba e outro na margem esquerda do Rio Guamá, ambos efetuados durante o estófo da maré vazante. Para coleta dos testemunhos, utilizou-se um tubo de PVC, previamente limpo (vide item 4.2.1), inserido até uma profundidade de aproximadamente 65 cm.

Posteriormente os testemunhos foram seccionados em porções de 5 cm, onde uma alíquota foi destinada para determinação do teor de fósforo total e outra para análise granulométrica. Os parâmetros hidroquímicos da água como pH, sólidos totais dissolvidos (g L^{-1}), condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$) e temperatura, foram observados *in situ* com auxílio de um analisador multiparâmetros (HANNA – Hi 991301).

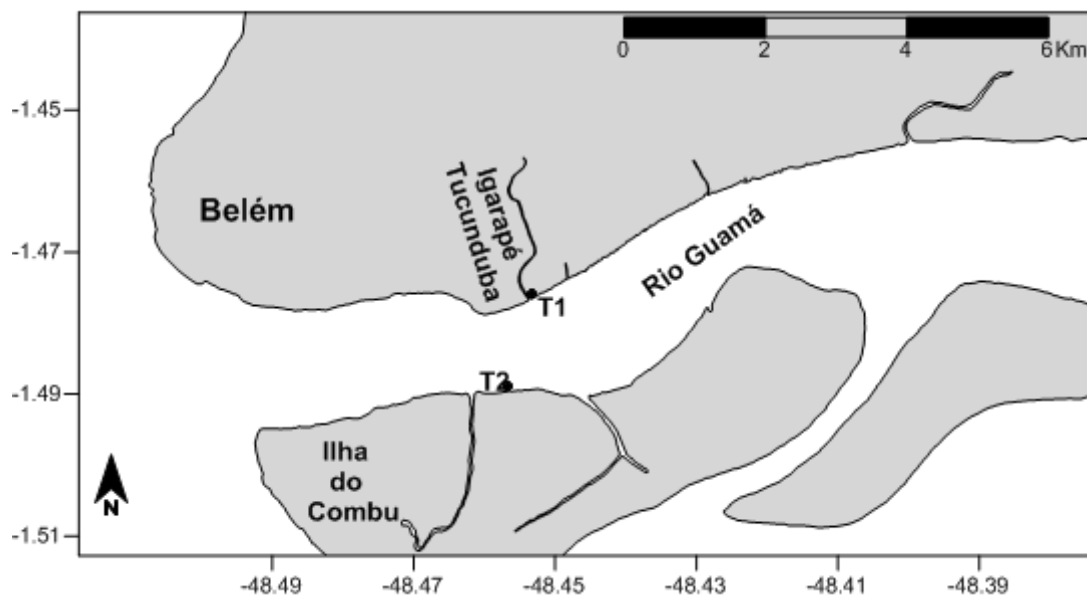


Figura 2 - Mapa de localização dos pontos de coleta.

Fonte: Do autor.

Tabela 1 - Latitude e longitude dos pontos de coleta.

Ponto	Latitude	Longitude
Tucunduba	1°.47'63.8''S	48°.45'35.3''W
Rio Guamá	1°.48'97.7''S	48°.45'84.3''W

Fonte: Do autor.



Figura 3 - Amostragem do testemunho no igarapé Tucunduba.

Fonte: Do autor.

4.2 ATIVIDADES LABORATORIAIS

4.2.1 Limpeza de material

Todos os materiais (vidrarias, porcelanas e plásticos) utilizados durante o preparo das soluções e de reagentes, extrações e análises dos extratos, assim como os materiais empregados para coleta e armazenagem das amostras foram previamente limpos com banho de HCl 10% (v/v) por um período de 24 a 72 h, para eliminar qualquer forma de fósforo que possa interferir nos resultados obtidos. Após o banho, os materiais foram lavados de 3 a 4 vezes com água destilada.

4.2.2 Granulometria

A análise granulométrica foi realizada através do método de peneiramento nos laboratórios LIOG e LAPMAR.

Inicialmente, a matéria orgânica foi removida das amostras de sedimento por imersão de Peróxido de Hidrogênio (H_2O_2) a 30%, de modo que, 100 g da amostra de sedimento foram colocados em béqueres e imersos a aproximadamente 20mL de H_2O_2 (30%), onde foram homogeneizadas com um bastão de vidro e, posteriormente, foi observado a necessidade de acrescentar mais H_2O_2 conforme descrito por Jackson (1958).

Após, a remoção da matéria orgânica as amostras foram lavadas com água deionizada para a remoção do excesso de Peróxido de Hidrogênio, em seguida, foram secas em estufa a

30°C. Após a desidratação, as amostras foram maceradas para posterior análise da granulometria.

As amostras foram separadas à úmido em uma peneira com abertura de 0.063mm. A areia foi separada e seca em estufa a 30°C, posteriormente, a fração arenosa foi pesada. Nas amostras lamosas (silte e argila) adicionou-se pirofosfato de sódio a 10%, para a suspensão da argila. As amostras foram centrifugadas por dois minutos a 1000 rpm, para a decantação da fração silte. O sobrenadante foi retirado (argila) e o material decantado foi seco e pesado, dessa forma, por diferença de peso foi obtido o teor de argila de cada amostra.

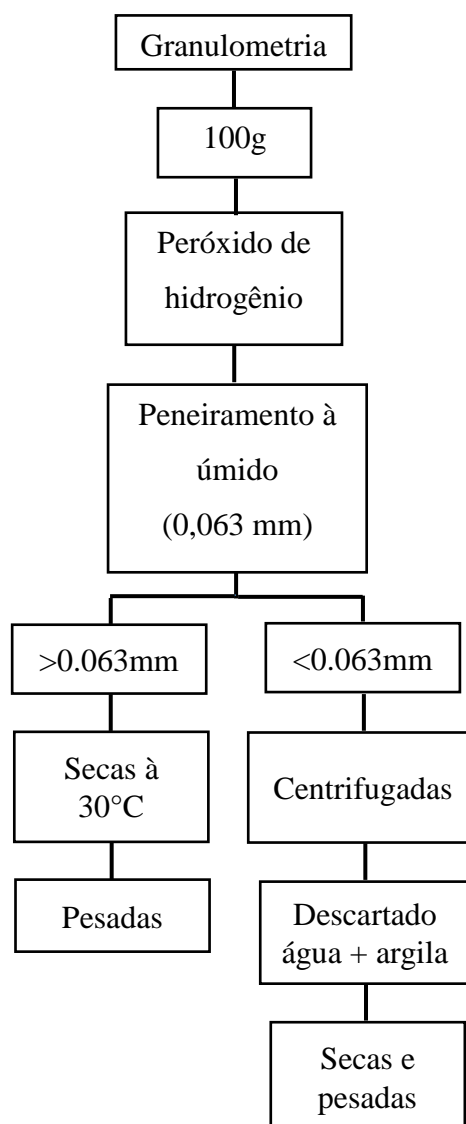


Figura 4 – Fluxograma do método granulométrico adotado.

Fonte: Do autor.

4.2.3 Extração do fósforo total

A extração do fósforo total foi realizada de acordo com o método modificado de Aspila *et al.* (1976). As amostras de sedimentos foram colocadas em cadinhos e calcinadas em mufla a uma temperatura de 550°C durante 1 hora 30 minutos, para a completa remoção da matéria orgânica. Depois de secas, pesou-se 0,5 g de sedimento para a extração com 50 mL de HCl a 1M. As amostras permaneceram em mesa agitadora por 16 horas contínua, posteriormente foram centrifugadas a 5.000 rpm durante 3 minutos e retirada a alíquota. O extrato foi filtrado em filtro de fibra de vidro com porosidade de 0.45 µm e diâmetro de 47 mm, para eliminar qualquer material particulado que possa vir interferir durante a leitura dos extratos no espectrofotômetro.

Posteriormente, para a análise dos extratos foi empregada a técnica espectrométrica do azul de molibdato, segundo a metodologia descrita por Hansen & Koroleff (1999). Mediu-se 10 mL do extrato já filtrado e aferiu-se até 50 mL com água deionizada. Posteriormente, para a análise foram adicionados 2 mL de ácido ascórbico e 2 mL da mistura de reagentes, após 20 minutos foi realizada a leitura da absorvância no espectrofotômetro a 880 nm.

A cada bateria de análises dos extratos foram confeccionados brancos e curvas de calibração para o controle analítico do método.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

Em análise das águas, a temperatura é um importante parâmetro a ser determinado, sua influência é refletida nos processos químicos e biológicos presentes em sistemas aquáticos.

A temperatura apresentou pouca variação, com maior valor de 29,6°C no rio Guamá e menor valor de 29,2°C no Tucunduba. Estes valores são característicos de águas estuarinas amazônicas. Paiva *et al* (2006) encontraram valores de temperatura semelhantes na baía do Guajará, variando entre 27,1° C e 33,7° C.

O pH é um fator importante na análise de água em virtude de poder influenciar tanto a composição de espécie química, como afetar a disponibilidade de nutrientes e a toxicidade de muitos elementos traços em ambiente (McNeely *et al.* 1979).

Os valores de pH obtidos foram ligeiramente ácidos, os quais variaram de 6,90 no Tucunduba e de 6,31 no rio Guamá. Sioli (1985) afirma que as águas amazônicas são ligeiramente ácidas à ácidas. Morales *et al.* (2015), em estudo realizado na foz do igarapé Tucunduba, afirmam que os valores de pH podem variar em função das características geoquímicas da área, da presença de efluentes líquidos com elevada carga orgânica e presença de ácidos orgânicos. Paiva *et al.* (2006) apresentaram valores semelhantes a este estudo.

O ambiente aquático natural favorece a presença dos íons $H_2PO_4^{4-}$ e HPO_4^{2-} , que se encontram amplamente distribuídos em solução com pH ligeiramente ácido (6 – 7) (Stumm & Morgan 1970). De acordo com estes autores o pH em águas naturais normalmente apresenta condições de neutralidade e tende a ser ligeiramente ácido, que leva a formação de complexos entre PO_4 e Fe ou Al. A precipitação destes elementos e a adsorção de PO_4^3 em polifosfatos, óxidos e hidróxidos são provavelmente os principais mecanismos responsáveis pela retenção de fósforo nos sedimentos (Stumm & Morgan, op cit.).

A retenção de P nos sedimentos e a redução da sua concentração na água intersticial têm sido relacionadas ao aumento do potencial redox na superfície dos sedimentos (Davis *et al.*, 1975).

A condutividade elétrica é um parâmetro hidroquímico controlada pelo tipo de rocha onde está implantada a bacia fluvial. Constitui uma das variáveis mais importantes para o ambiente aquático, visto que pode fornecer importantes informações sobre o metabolismo aquático, como sobre fenômenos importantes que ocorram na bacia. Os valores de

condutividade elétrica podem ajudar a detectar fontes poluidoras nos ecossistemas aquáticos (Santos 1997).

A condutividade elétrica e os sólidos totais dissolvidos apresentaram valores diretamente proporcionais. Morales *et al.* (2015) afirmam que estes dois parâmetros são bastante sensíveis, de grande utilidade na identificação de pequenas alterações nas características elétricas de corpos hídricos. O maior valor foi de $0,86 \mu\text{S cm}^{-1}$ registrado no Tucunduba e o menor valor de $0,73 \mu\text{S cm}^{-1}$ no rio Guamá. Segundo Morales *et al* (op. cit) maiores valores na condutividade elétrica podem estar associados com o lançamento de efluentes e resíduos sólidos.

A concentração máxima dos valores de sólidos totais dissolvidos foi de $0,44 \text{ g L}^{-1}$ registrada no Tucunduba e a mínima foi de $0,34 \text{ g L}^{-1}$ observada no rio Guamá. Santos *et al.* (2014) obtiveram valores que variaram entre $0,01 \text{ mg L}^{-1}$ e 40 mg L^{-1} durante o período chuvoso, este autor afirma que algumas das características das águas continentais é a alta concentração de sólidos totais dissolvidos e a presença de partículas suspensas que contribuem para turvação na água, essa particularidade se encontra no Estuário Guajará e na foz rio Guamá o que deixa suas águas barrentas. Segundo Morales *et al.* (2015) em termos de sólidos totais dissolvidos, pode-se inferir que a água do Igarapé Tucunduba apresenta uma maior carga de poluentes iônicos em comparação à água do Rio Guamá.

A tabela 2 apresenta os parâmetros hidroquímicos das águas superficiais do igarapé Tucunduba e rio Guamá.

Tabela 2 - Parâmetros hidroquímicos.

Ponto	Temperatura (°C)	pH	STD (g L¹)	Condutividade (mS cm⁻¹)
Tucunduba	29,2	6,90	0,44	0,86
Rio Guamá	29,6	6,31	0,37	0,73

Fonte: Do autor.

5.2 GRANULOMETRIA

A granulometria sofreu moderada variação ao longo dos testemunhos. No rio Guamá a fração granulométrica de areia variou entre 2,25 a 15,15%. Enquanto, no Tucunduba a variação foi de 3,75 a 17,21%. A fração silte foi predominante em todos os intervalos dos testemunhos, com variações entre 71,95 a 85,60% no rio Guamá e 73,95 a 89,35% no Tucunduba.

Segundo o diagrama de Pejrup (1988), a hidrodinâmica na região de estudo variou de alta a muito alta, com predominância de hidrodinâmica muito alta. Isso pode ser comprovado pelos baixos teores de argila presentes nos sedimentos do rio Guamá e igarapé Tucunduba.

Segundo Pinheiro (1987) em zonas com forte hidrodinâmica pode ocorrer a deposição de areias mais grosseiras, em zonas de correntes mais fracas e moderadas ocorre deposição de areias finas a silicosas e em áreas mais protegidas como as margens, ocorre o depósito de sedimentos finos (siltico-argilosos).

A fração de lama (silte + argila) apresentou maiores teores no rio Guamá (93,3%). No Tucunduba a maior fração foi de silte + areia (90,5%). De acordo com o diagrama de Pejrup (1988), os sedimentos do rio Guamá foram classificados nos grupos III-D, IV-C e IV-D, sendo caracterizado com uma hidrodinâmica de elevada intensidade (figura 5). Apesar de ser um ambiente com alta energia a configuração granulométrica do rio Guamá ao longo do testemunho sugere menor hidrodinâmica neste ponto em relação ao Tucunduba, devido os maiores teores de silte e argila. Os sedimentos do Tucunduba foram classificados nos grupos IV-C e IV-D, portanto apresenta elevada hidrodinâmica, com maiores teores de areia em relação ao rio Guamá (figura 6).

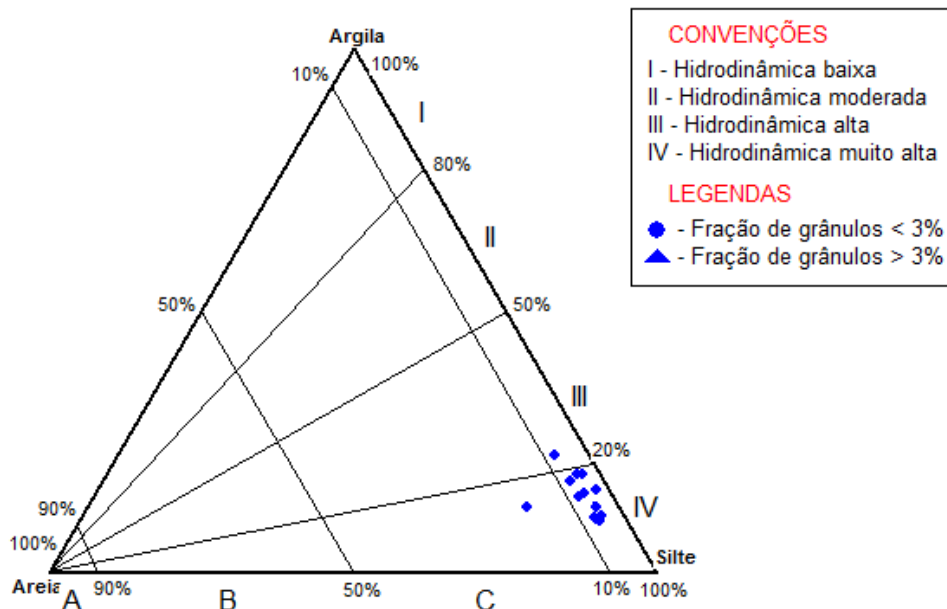


Figura 5 - Diagrama de Pejrup para os sedimentos do rio Guamá.

Fonte: Do autor.

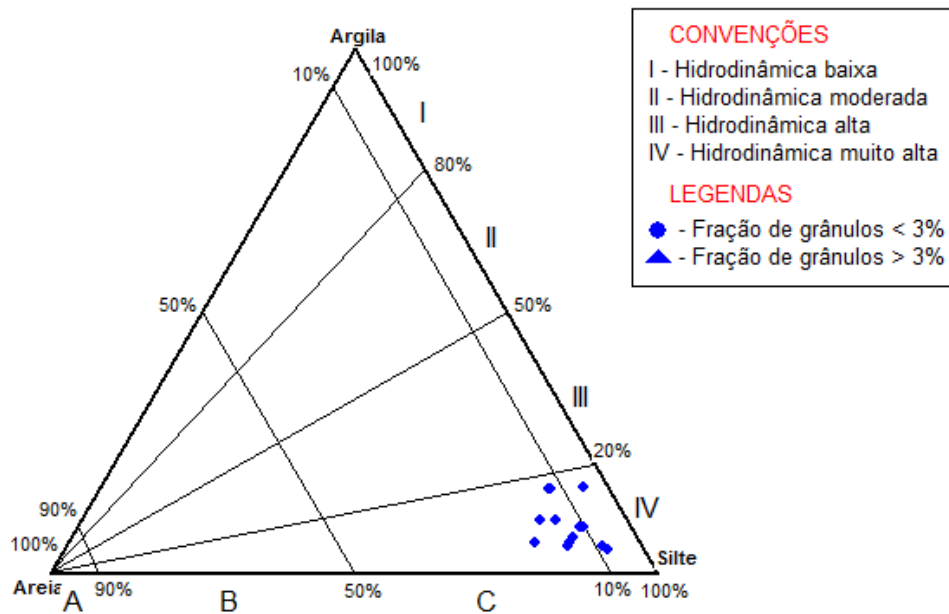


Figura 6 - Diagrama de Pejrup para os sedimentos do igarapé Tucunduba.
Fonte: Do autor.

A partir da classificação do diagrama de Shepard (1954) foi possível identificar as classes granulométricas silte argiloso, silte arenoso e silte, distribuídas nos sedimentos do rio Guamá e igarapé Tucunduba, conforme mostram as figuras 7 e 8. A distribuição das frações granulométricas mostraram homogeneidade. Ainda, de acordo com o Diagrama de Shepard, os sedimentos do rio Guamá e do igarapé Tucunduba foram predominantemente siltosos, com variação de silte argiloso a silte arenoso.

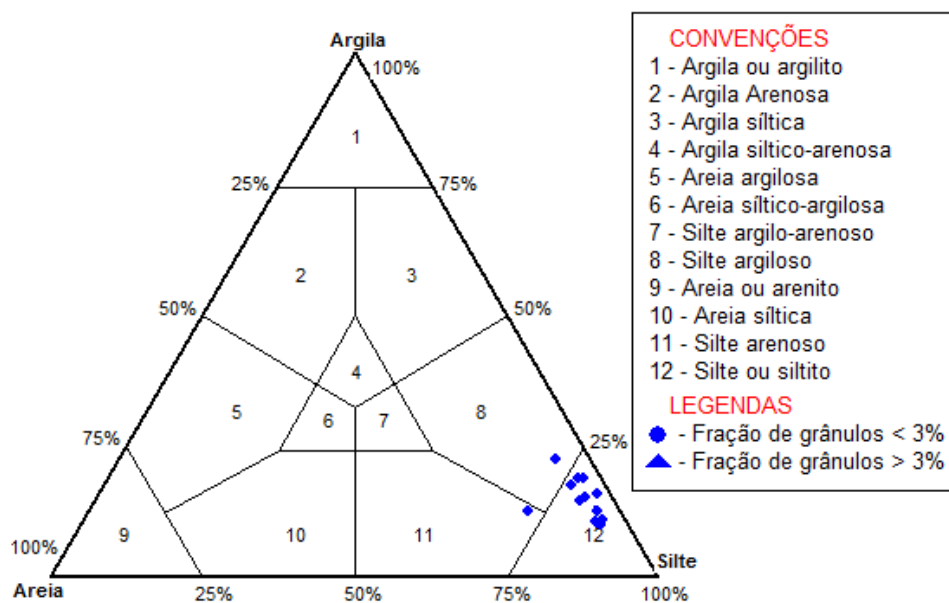


Figura 7 - Diagrama de Shepard para os sedimentos do rio Guamá.
Fonte: Do autor.

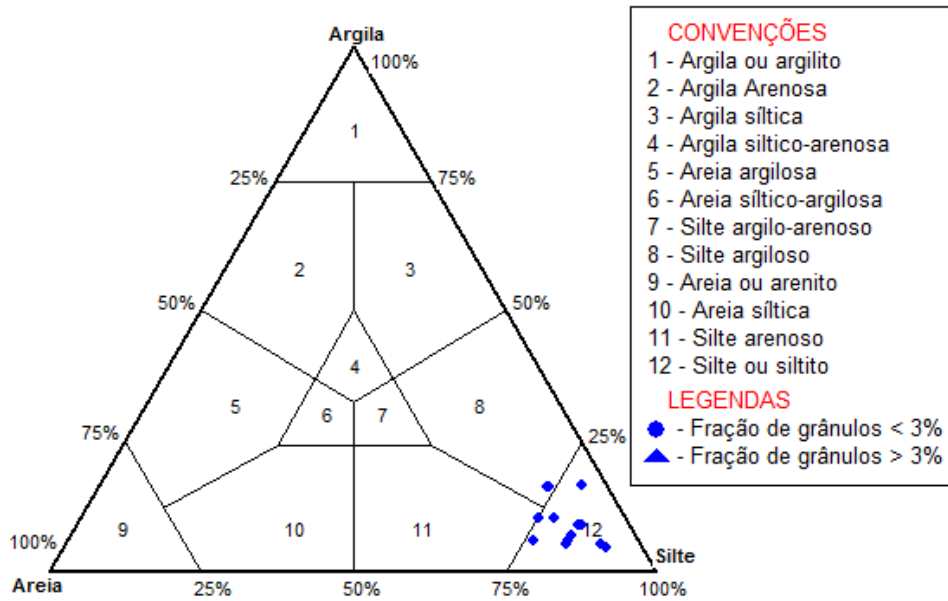


Figura 9 - Diagrama de Shepard para os sedimentos do igarapé Tucunduba.
 Fonte: Do autor.

A distribuição granulométrica ao longo dos testemunhos apresentou os maiores teores de areia no intervalo de 0 – 5 cm, nas camadas abaixo é possível observar a diminuição destes teores, conforme pode ser observado nas figuras 9 e 10. A relação entre a fonte dos sedimentos e os agentes que os dispersam (descarga fluvial, maré e ondas) contribui para as características sedimentares de uma região estuarina (Batista Neto *et al.* 2004).

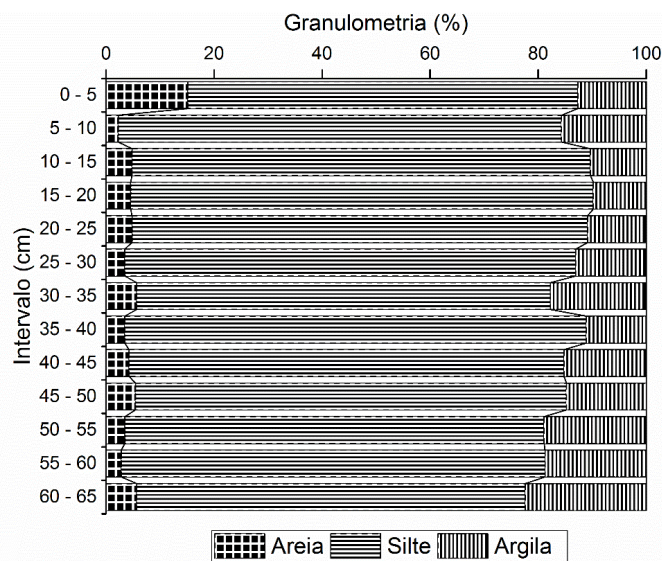


Figura 10 - Distribuição vertical das frações granulométricas do rio Guamá.
 Fonte: Do autor.

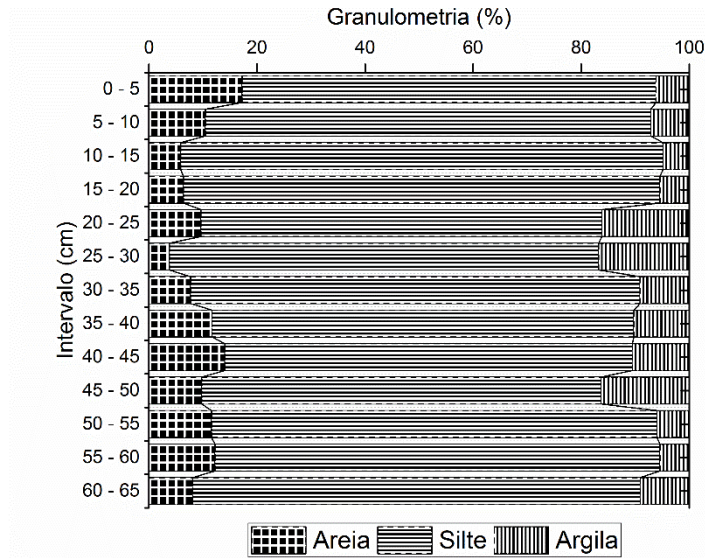


Figura 11 - Distribuição vertical das frações granulométricas do igarapé Tucunduba.
Fonte: Do autor.

Segundo Pinheiro (1987), ambiente dominado por marés possibilita a deposição de sedimentos mais finos. Os teores de silte foram predominantes nos sedimentos marginais do igarapé Tucunduba e rio Guamá, portanto sugere-se que próximo às margens a hidrodinâmica seja menor em relação ao canal principal, propiciando a deposição de sedimentos lamosos.

Gregório e Mendes (2005), caracterizaram o canal central do rio Guamá como tendo maiores teores de sedimentos arenosos, enquanto que na margem a predominância é de sedimentos lamosos.

5.3 FÓSFORO TOTAL

No testemunho do igarapé Tucunduba, os teores de P-total variaram de 19,4 (10-15 cm) a 49,7 $\mu\text{mol g}^{-1}$ (0-5 cm) com média de 28,3 $\mu\text{mol g}^{-1}$ e predominância das frações granulométricas silte e areia. Enquanto, no testemunho do rio Guamá, a variação foi de 18,3 $\mu\text{mol g}^{-1}$ (15-20 cm) a 48,8 $\mu\text{mol g}^{-1}$ (45-50 cm) com média de 30,408 $\mu\text{mol g}^{-1}$ e predominância das frações silte e argila

A máxima concentração de fósforo total foi obtida no testemunho do igarapé Tucunduba, no intervalo entre 0–5 cm, conforme mostra a figura 11. Sugere-se que estes valores estão associados ao despejo de efluentes não tratados neste sistema aquático. De acordo com Mazzeo (1991) nas proximidades dos canais de drenagem do Tucunduba se localizam indústrias de couro que despejam efluentes contaminados como metais pesados e

detergente industrial. Santos *et al.* (2014) afirmam que os valores de fósforo encontrados no rio Guamá, possuem contribuição de esgotos domésticos.

A distribuição vertical de P-total nos testemunhos do Tucunduba e rio Guamá, mostraram grandes variações. Segundo Oliveira *et al.* (2011) as diferenças de concentração de P-total, ao longo do testemunho, podem ser atribuídas à quantidade de fósforo disponível no período da sedimentação ou de migração do mesmo ao longo do perfil. O fósforo encontrado pode ser resultado de um carregamento externo com retenção nos sedimentos, como resultado do transporte microbiano e dos processos químicos (Tong *et al.* 2005).

Nos sedimentos do rio Guamá os maiores valores de P-total foram nos intervalos entre 45-50 e 50-55cm, 48,8 e 41,1 $\mu\text{mol g}^{-1}$, respectivamente (figura 12). Nos intervalos entre 0-5 e 5-10 cm, este testemunho apresentou menores concentrações em relação ao Tucunduba, podendo indicar menor influência antrópica nesta área, já que este ponto encontra-se mais distante dos canais de drenagem da cidade de Belém, sugerindo aporte natural de fósforo total nestes sedimentos, proveniente dos detritos da vegetação (mata ciliar). Carvalho (2002), em estudo realizado na Baía do Guajará, destaca a importância da diluição de poluentes nessas águas, já que amostras coletadas próximo aos canais de drenagem de Belém apresentaram concentrações mais elevadas do que as amostras coletadas em pontos mais distantes.

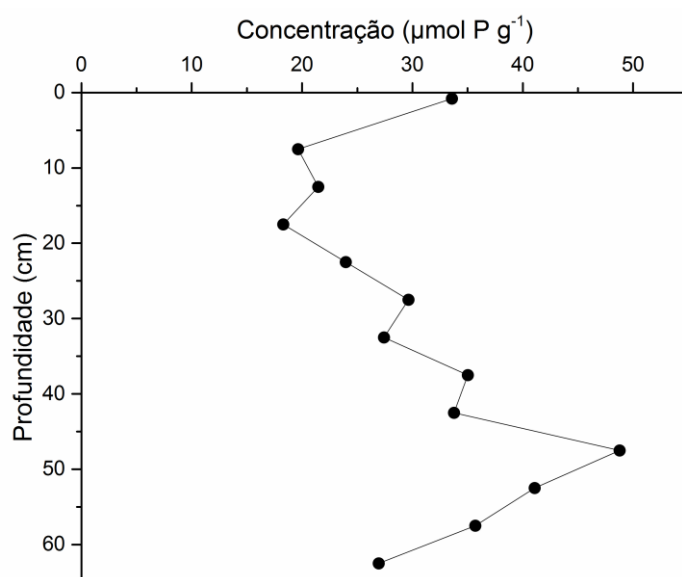


Figura 12 - Distribuição vertical do fósforo total em sedimentos do rio Guamá.

Fonte: Do autor.

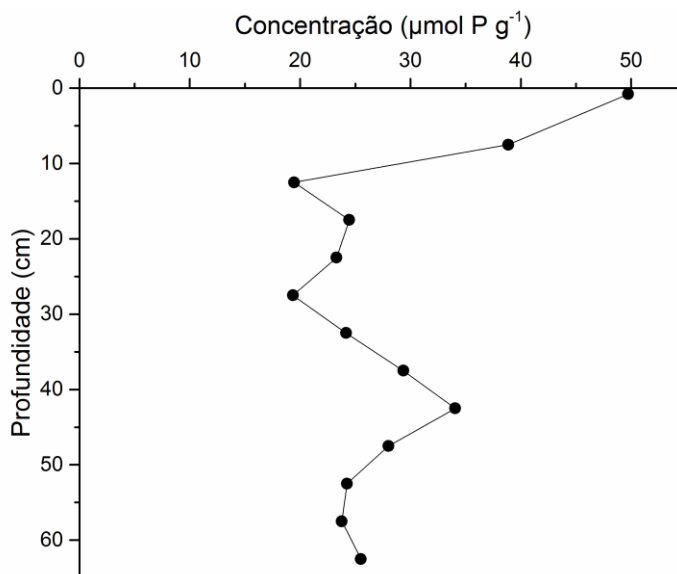


Figura 13 - Distribuição vertical do fósforo total em sedimentos do igaraé Tucunduba.
Fonte: Do autor.

De acordo com Barcellos (2005), os maiores teores de fósforo total localizam-se, preferencialmente, nas regiões submetidas a uma menor hidrodinâmica de correntes. Pode-se sugerir que os maiores valores no rio Guamá apresentem relação com a menor hidrodinâmica neste ponto se comparado ao Tucunduba.

De acordo com Vidal (2006), a distribuição vertical das concentrações de nutrientes é resultante basicamente das diferentes granulometrias ao longo dos testemunhos, e das propriedades sedimentares do fosfato aliadas às da matéria orgânica.

Andrieux & Aminot (2001) observaram em um estuário na França, o comportamento do fósforo retido nas partículas de sedimento de menor granulometria (silte e argila), por outro lado, em frações granulométricas maiores como areia, esses fosfatos são facilmente retirados pelas correntes de fundo em contato com o sedimento, que os remobilizam de volta para coluna d'água.

Os valores de fósforo total entre os testemunhos não apresentaram estreita relação com a granulometria dos sedimentos mais finos, já que a maior concentração de P-total foi encontrada em sedimentos mais grosseiros localizados no topo do testemunho do igaraé Tucunduba. Desta forma, os altos valores de fósforo total nesta porção do testemunho, como discutido anteriormente, podem estar associados ao grande despejo de esgotos neste ambiente fortemente antropizado e, também, a forte presença de cálcio que pode imobilizar o fósforo na camada sedimentar (Mazzeo 1991, Golterman 2004).

A distribuição, composição e origem do fósforo sedimentar, bem como da matéria orgânica, em ambientes estuarinos, ocorre em função das características gerais de cada estuário em particular, determinadas por fatores relacionados à sua própria gênese e morfologia, e condições hidrodinâmicas, físico-químicas, biológicas, climáticas e de aportes de materiais locais (Barcellos 2005).

Tabela 3 - Tabela comparativa das concentrações de P-total em outras regiões dada em $\mu\text{mol g}^{-1}$.

Local	P-total (Mínimo)	P-total (Máximo)	Referência
Baía de Guanabára/RJ	4,24	25,52	Oliveira et al, 2011
Foz do rio Amazonas	1,5	10,8	Santos et al, 2010
Canal de Bertioga/SP	7,0	38,1	Mahiques et al., 1997
Rio Barigui/PR	1,5	52,1	Froehner e Martins, 2088
Estuário de Santos-São Vicente/SP	0,3	80,6	Siqueira, 2003
Igarapé Tucunduba	19,4	49,7	Presente estudo
Rio Guamá	18,3	48,8	Presente estudo

Fonte: Do autor.

6 CONCLUSÃO

No igarapé Tucunduba, as atividades antrópicas como o lançamento de efluentes domésticos e industriais, parecem ser responsáveis pelo aporte de fósforo neste ecossistema, visto que as maiores concentrações nos sedimentos superficiais ocorreram neste ponto, enquanto que, no rio Guamá as concentrações de P-total apresentaram relação com o aporte natural deste nutriente, já que é uma área mais preservada devido a sua distância da cidade de Belém.

A distribuição vertical do fósforo total entre os dois testemunhos, não apresentou relação com as menores frações granulométricas dos sedimentos da área estudada, uma vez que o elevado suprimento de cálcio contribuiu fortemente para a imobilização do fósforo na camada sedimentar.

De acordo com o diagrama de Pejrup (1988), a análise granulométrica indicou que a deposição dos sedimentos ocorreu em ambientes de alta hidrodinâmica, influenciados provavelmente pela ação das correntes de maré. Porém, o elevado teor de frações lamosas, indica que estas áreas se mostraram propícias à deposição de sedimentos siltsos.

REFERÊNCIAS

- Anderson C. J., Mitsch W. J. 2006. Sediment, carbon, and nutrient accumulation at two 10-year-old created riverine marshes. *Wetlands*, **26**(3):779-792.
- Andrieux L. F., Aminot A. 2001. Phosphorus forms related to sediment grains size and geochemical characteristics in French coastal areas. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **52**(5):617-629.
- Araújo A. C. R. 2013. Geomorfologia urbana como subsídio para o planejamento ambiental na Bacia Hidrográfica da Estrada Nova, Belém-Pa. *Revista Eletronica do Programa de Pós-Graduação em Geografia*, **8**(2):133159. Disponível em: <<http://revistas.ufpr.br/geografar/article/view/32999/21617>>. Acesso em: 20 Mar. 2017.
- Aspila K. I., Agemian H., Chau A. S. Y. 1976. A semi-automatic method for determination of inorganic, organic and total phosphates in sediments. *Analyst*, **101**(1):187-197.
- Aviz D.E., Carvalho I.L.R., Rosa Filho, J.S. 2012. Spatial and temporal changes in macrobenthic communities in the Amazon coastal zone (Guajará Estuary, Brazil) caused by discharge of urban effluents. *Scientia Marina*, **76**(2):381- 390.
- Baptista Neto J. A., Sichel, S. E., Ponzi V. R. A. 2004. *Introdução à geologia marinha*. Rio de Janeiro, Interciência, 279 p
- Barcellos R.L., Berbel G.B.B., Braga E.S., Furtado V.V. 2005. Distribuição e características do fósforo sedimentar no Sistema Estuarino Lagunar de Cananéia – Iguape, estado de São Paulo, Brasil. *Geochimica Brasiliense*, São Paulo, **19**(1):22-36. Disponível em <<http://www.ppegeo.igc.usp.br/index.php/geobras/article/viewFile/10210/9519>>. Acesso em: 10 mar. 2017.
- Bostrom B., Andersen J. M., Fleischer S., Jansson M. 1988. Exchange of phosphorus across the sediment-water interface. *Hydrobiologia*, **170**(1):229-244.
- Carvalho Z. L. 2002. *Caracterização geoquímica de sedimento de fundo nas proximidades do Distrito de Icoaraci – PA*. DS Mestrado em Geologia e Geoquímica, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém-PA, 75p.
- Companhia de Desenvolvimento da Área Metropolitana de Belém (CODEM). 1975. *Plano de desenvolvimento da grande Belém: metodologia, estudos básicos, prognósticos de desenvolvimento*. v.1, 623p.
- Chester R. & Riley J.P. 1978. *Chemical oceanography*. London, A.Press, 508p
- Cotner J. B. & Wetzel R. G. 1992. Uptake of dissolved inorganic and organic phosphorus compounds by phytoplankton and bacterioplankton. *Limnology and Oceanography*, **37**(2):232-243.
- Esteves F. 2011. *Fundamentos de limnologia*, 3 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 826p.
- Fairbridge R.W. 1989. Crescendo Events in sea-level changes. *Journal of Coastal Research*, **5**(1), ii-vi.

- Ferreira C. F. 1995. Produção do espaço urbano e degradação ambiental: um estudo sobre a várzea do igarapé do Tucunduba (Belém-Pará). DS Mestrado, Departamento de geografia Universidade de São Paulo, São Paulo, 68p.
- Freitas F. S. 2008. Distribuição do fósforo (p) em sedimentos recentes da baía do almirantado, península Antártica. Tese de Bacharelado em Oceanografia, Centro de Estudos do Mar, Universidade Federal do Pará, Pontal do Paraná. 13p.
- Froehner S. & Martins R.F. 2008. Avaliação da composição química de sedimentos do rio Barigüi na região metropolitana de Curitiba. *Química Nova*, **31**(8):2020-2026.
- Gregório A.M.S & Mendes A.C. 2009. Characterization of sedimentary deposits at the confluence of two tributaries of the Para River estuary (Guajara Bay, Amazon). *Continental Shelf Research*, **29**(3):609-618.
- Gregório A. M. S.& Mendes A. C. 2009. Batimetria e Sedimentologia da baía de Guajará, Belém, Estado do Pará, Brasil. *Amazônia (Banco da Amazônia. 2005)*, **5**(9):53-72.
- Hansen H. P. & Koroleff F. 1999. Determination of nutrients *In*: Grasshoff K., Kremling K., Ehrhardt M. (eds.) *Methods of Seawater Analysis*, Wiley-VCH, **2**(1)159-228.
- House W. A.& Leach D. V., Armitage P. D. 2001. Study of dissolved silicon and nitrate dynamics in a freshwater stream. *Water Research*, **35**(11):2749-2757.
- Jackson M. L. 1958. *Soil chemical analysis: advanced course*. Madison: University of Wisconsin, 894p.
- Kormas K. A.& Papaspyrou, S. 2004. Growth of marine bacterioplankton on river and seawater dissolved organic carbon in a Mediterranean coastal system. *Cahiers De Biologie Marine*, **45**(1):55-64.
- Libes S. M. 2009. *Introduction to Marine Biogeochemistry*. 2nd ed. Elsevier, 965p.
- Lima, R. 1956. *A Agricultura da várzea do estuário do Amazonas*. (IAN – Boletim Técnico, 33) 19p.
- Mahiques M. M., M. G. Tessler., A. Hoshika., Y. Mishima., K. Suguio & K. Kawana. 1997. Infra-annual Variations in the Characteristics of the Organic Matter from Bertioga Channel, Southeastern Brazil. *In*: ABEQUA, 6th Congress of the Brazilian Association on Quaternary Research. Abstracts, Curitiba. *Anais*. p. 94-98.
- Mansor M. T. C. 2005. *Potencial de poluição de águas superficiais por fontes não pontuais de fósforo na bacia hidrográfica do Ribeirão do Pinhal, Limeira/SP*. PhD Thesis, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 171p.
- Mazzeo T.E. 1991. *Avaliação ambiental das vias de drenagem da região metropolitana de Belém (PA) quanto à distribuição dos elementos Ca, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb e Zn*. DS Mestrado, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém-PA, 141 p.
- Mc Neely., Neimanis V. P., Dwyer L. 1979. *Water quality soucerbook*. A guide to water quality parameters. Ottawa, Inland Water Directorate, Water Quality Branch, 89p.

- Mercês S. *Relatório ambiental da região metropolitana de Belém- RMB*. Belém: COHAB, 1997.
- Moraes B. C. *et al.* 2005. Variação espacial e temporal da precipitação no estado do Pará. *Acta Amazônica*. **35**(2):207-214.
- Morales G. P., Santos L. F. M., Ferreira Y. A., Dourado Junior O. C., Vera M. A. P. 2015. Análise dos Parâmetros físico-químicos da Água em Função do Comportamento da Maré: um estudo de caso no igarapé Tucunduba, Belém/Pa. *Enciclopédia Biosfera*, Belém, **11**(5):117-138.
- Morán E. F. 1990. *A ecologia das populações da Amazônia*. Petrópolis, Vozes, 367 p.
- Odum E. P. & Barrett G. W. 2008. *Fundamentos de ecologia*. São Paulo, Cengage Learning, 612p.
- Oliveira S. F., Falheiro P. F., Macedo C. L. S., Silva F. T. Figueiredo A. G. 2011. Análise da distribuição de fósforo no sedimento em testemunho da baía de Guanabara, RJ. *In*: SGB, 10º Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário- ABEQUA, Armação do Buzios. *Anais*.
- Paiva R. S., Eskinazi-leça E., Passavante J. Z O. Silva-Cunha M. G. G., Melo N. F. A. C. 2006. Considerações ecológicas sobre o fitoplâncton da baía do Guajará e foz do rio Guamá, Pará, Brasil. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais*, Belém, **1**(2):133-146.
- Paytan A. & McLaughlin K. 2007. *The oceanic phosphorus cycle*. Irvine, Chemical Reviews, 5767p.
- Penteado, A. R. 1968. *Belém: estudo de geografia urbana*, Belém, Editora da UFPA, 2 v.
- Pinheiro R. V. L. 1987. *Estudo hidrodinâmico e sedimentológico do estuário Guajará- Belém (PA)*. DS M, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 185p.
- Pinheiro R.V.L. 1987. *Estudo hidrodinâmico e sedimentológico do estuário Guajará-Belém (PA)*. DS M, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 164p.
- Prefeitura Municipal de Belém (PMB). 2001. *Plano estratégico municipal para assentamentos subnormais*. Parte II: Diagnóstico Institucional do Município de Belém-Pará. Belém: SEGEP.
- Reddy K. R. & DeLaune R. D. 2008. *Biogeochemistry of wetlands: science and applications*. CRC Press, 774 p.
- Ribeiro H.M.C. 1992. *Avaliação atual da qualidade das águas superficiais dos lagos Bolonha e Água Preta situados na área fisiográfica do Utinga (Belém-Pa)*. DS M, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 205p.
- Ribeiro K. T. S. 2002. *Qualidade sanitária da água em área de influência de duas bacias hidrográficas e saúde humana em Belém-Pa*. PhD Thesis, Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, Universidade Federal do Pará, Belém, 280p.

- Rivera E. A. C. 2003. *Modelo para compreender o processo de eutrofização em um reservatório de água*. DS M, Curso Pós Graduação em Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas-SP, 152p.
- Rocha J. C., Rosa A. H., Cardoso A. A. 2004. *Introdução à química ambiental*. 1ª ed. São Paulo: Bookman.
- Ruttenberg K.C. 2003. The global phosphorus cycle. In: Holland H.D., Turekian K. K. *Treatise on geochemistry*, Irvine, Elsevier publishers, v. 8, 13: 583-643.
- Santos M. T. P. 1997. *Avaliação ambiental da matéria orgânica degradada nos canais de drenagem na região metropolitana de Belém (Pará)*. DS M, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 118p.
- Santos M. L. S., Holanda P., Pereira I., Rodrigues S., Pereira J. A. R., Mesquita K. 2014. Influência das condições da maré na qualidade de água do rio Guamá e baía do Guajará. *Boletim Técnico Científico do CEPNOR*, Belém, **14**(1):17-25.
- Santos *et al.* 2010. Avaliação das formas de fósforo nos sedimentos superficiais da Plataforma Continental do Rio Amazonas. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, **10**(4):589-596.
- Schulz H. D. & Zabel M. 2006. *Marine geochemistry*. Springer-Verlag, 583 p.
- Secretaria de Estado de Planejamento Orçamento e Finanças (SEPOF). Diretoria de Pesquisas e Informações Sócio-Econômicas 2008. *Estatística municipal*, 52p.
- Silva D. E. V. 2006. *Variações espaço temporais das associações macrobentônicas em áreas sujeitas à contaminação ambiental no estuário Guajará, Belém, Pará*. DS M, Programa de Pós-Graduação em Biologia Ambiental, Universidade Federal do Pará, Bragança, 108p.
- Sioli H. 1985. *Amazônia: fundamentos da ecologia da maior região de florestas tropicais*. Petrópolis, Editora Vozes.
- Siqueira G.W. 2003. *Estudo dos teores de metais pesados e outros elementos em sedimentos superficiais do sistema estuarino de Santos (Baixada Santista- São Paulo) e da plataforma continental do Amazonas (Margem Continental Norte)*. PhD Thesis, Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 327p.
- Slomp C. P., Epping E. H. G., Helder W., Raaphorst W. V. 1996. A key role for ironbound phosphorus in authigenic apatite formation in North Atlantic continental platform sediments. *Journal of Marine Research*, **54**(6):1179-1205.
- Stumm W. & Morgan J. J. 1996. *Aquatic chemistry: chemical equilibria and rates in natural waters*. [S.l.], John Wiley & Sons, 1022 p.
- Stumm W.; Morgan J.J. 1970. *Aquatic chemistry: an introduction emphasizing chemical equilibria in natural waters*. New York, Wiley-Interscience. 583 p.
- Superintendência de Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM). 1979. A ação da Sudam no Saneamento da Amazônia. In: 10º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária, Rio de Janeiro. *Anais*.

Tong Y., Lin G. F., Ke X., Liu F. P., Zhu G. W., Gao G. *et al.* 2005. Comparison of microbial community between two shallow freshwater lakes in middle Yangtze basin, East China. *Chemosphere*, **60**(1):85-92.

Vidal R. M., Becker H. 2006. Distribuição de manganês, ferro, matéria orgânica e fosfato nos sedimentos do Manguezal do rio Piranji, Ceará. Fortaleza, *Arq. Ciên. Mar*, Fortaleza, **39**(1):34-43.

Wetzel R. G. 2001. *Limnology of lake and river ecosystems*. 3rd ed. San Diego, CA, Academic Press, 1006p.

APÊNDICE

APÊNDICE A – CURVA DE CALIBRAÇÃO DA EXTRAÇÃO DO FÓSFORO TOTAL.

