

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO – UFPE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS – CTG  
DEPARTAMENTO DE OCEANOGRAFIA – DOCEAN  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
OCEANOGRAFIA – PPGO

Análise da concentração de fósforo em sedimentos dos rios  
Botafogo e Carrapicho, no sistema estuarino do Canal de Santa  
Cruz, Itamaracá, PE

FELIPE LIMA GASPAR

RECIFE

2009

FELIPE LIMA GASPAR

Análise da concentração de fósforo em sedimentos dos rios  
Botafogo e Carrapicho, no sistema estuarino do Canal de Santa  
Cruz, Itamaracá, PE

Dissertação apresentada ao curso de  
Pós-Graduação em Oceanografia da  
Universidade Federal de  
Pernambuco, como requisito parcial  
para obtenção do grau de mestre. Na  
área de concentração de  
Oceanografia Química.

Orientador: Prof. Dr. Manuel de Jesus Flores-Montes

RECIFE

2009

**Gaspar, Felipe Lima**

**Análise da concentração de fósforo em sedimentos dos rios Botafogo e Carrapicho, no sistema estuarino do Canal de Santa Cruz, Itamaracá, PE. / Felipe Lima Gaspar .**

**– Recife : O Autor, 2009.**

**77 folhas : il., fig., tab.**

**Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Oceanografia, 2009.**

**Inclui bibliografia e apêndice**

**1. Fracionamento de fósforo. 2. Sedimento de estuário. 3. Canal de Santa Cruz – Itamaracá – Pernambuco. I. Título.**

**551.46**

**CDU (2.ed.)**

**UFPE**

**551.46**

**CDD (22.ed.)**

**3C - 2009 - 050**

# FELIPE LIMA GASPAR

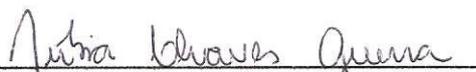
ANÁLISE DA CONCENTRAÇÃO DE FÓSFORO EM SEDIMENTOS DOS RIOS BOTAFOGO E CARRAPICHO, NO SISTEMA ESTUARINO DO CANAL DE SANTA CRUZ, ITAMARACÁ, PE.

DISSERTAÇÃO DEFENDIDA E APROVADA EM: 20 DE FEVEREIRO DE 2009.

## BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Manuel de Jesus Flores Montes  
Orientador  
Departamento de Oceanografia da UFPE



Prof.<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Núbia Chaves Guerra  
Titular  
Departamento de Oceanografia da UFPE

  
**Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Maria de Lourdes Souza Santos**

Titular  
Departamento de Engenharia de Pesca da UFPA

*Dedico esta dissertação aos meus pais:  
Esdras José Gaspar  
e  
Marlene Lima Gaspar  
Por todos os ensinamentos que constituíram tudo  
que sou nesta vida.*

## AGRADECIMENTOS

A realização desta dissertação só foi possível graças à colaboração de todos que fazem o laboratório de Oceanografia Química. Muito obrigado pela paciência, apoio, confiança e colaboração.

Agradeço ao Prof. Dr. Manuel de Jesus Flores Montes, além da amizade, pela orientação e todo o suporte prestado para a realização deste trabalho;

- à Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Kátia Muniz, pelas ajudas e ensinamentos nos momentos de dificuldade, que não foram poucos;

- ao Prof. Dr. Silvio Macêdo, pela amizade, disponibilidade e paciência incríveis, que não tenho palavras para resumir aqui;

- a todos que fazem o laboratório de oceanografia química: Iara C. Lins, Josiane Gomes Paulo, Rysoauria Keyla Travassos, Antonio Alves de Castro Neto, Elisa Pitanga e Gilson Alves do Nascimento Filho.

- à Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Maria de Lourdes Souza Santos, pela disponibilidade, ajuda prestada e pelos conhecimentos transmitidos, vitais para a elaboração deste trabalho;

- à Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Núbia Chaves Guerra, pela amizade, sempre prestativa e disposta a ajudar com informações importantes para o desenvolvimento deste trabalho.

- a todos os meus amigos de turma pela amizade e pelos poucos, mas intensos momentos de convivência, valeu galera! Ingrid, Marcus, Andrei, Aislan, Pedro, Carlos, Valdylene, Gisele, Raquel, Angela...

- a todos os técnicos e funcionários do departamento, pelo apoio e momentos de descontração nos corredores: Zinaldo, Beto, Mano, Edileusa, Ednaldo, Hermes, Joaquim, Myrna...

- ao CNPq pelo financiamento do projeto;

- à CAPES pela bolsa de mestrado;

- à minha namorada, Isabela Senra, pela paciência e apoio em todos os momentos desta etapa da minha vida,

- em especial aos meus pais pelos ensinamentos diários e exemplo de perseverança.

## RESUMO

A identificação das formas químicas do fósforo presente nos sedimentos é uma ferramenta útil na avaliação das possíveis fontes deste nutriente para as regiões estuarinas, além de possibilitar a identificação dos processos biogeoquímicos que controlam a disponibilidade do fósforo nos ambientes tropicais. Este trabalho refere-se à distribuição espacial e sazonal das frações biodisponível, orgânica e apatítica do fósforo, nos sedimentos dos estuários de dois rios, um considerado poluído (rio Botafogo), e outro sob menor influência de atividades antrópicas (rio Carrapicho), localizados no complexo estuarino do Canal de Santa Cruz (Itamaracá –PE). Também foram avaliadas as relações entre as concentrações de fósforo no sedimento, com a granulometria e os parâmetros físicos e químicos da água. As concentrações de fósforo no sedimento não sofreram variação sazonal definida e apresentaram correlação negativa com a salinidade, indicando que as maiores concentrações estão nas áreas de menor salinidade, e que o fósforo encontrado na região é de origem continental. Os teores de fósforo apresentaram correlação positiva com o conteúdo de silte-argila nos sedimentos, evidenciando a importância dos processos que ocorrem na superfície das partículas de sedimento para a retenção do fósforo e outras substâncias. A maior concentração de fósforo apatítico foi registrada na estação do Canal de Santa Cruz, com menor porcentagem de fósforo orgânico e biodisponível, indicando mineralização ao longo dos estuários e a troca entre o fósforo biodisponível e apatítico por influência do aumento de salinidade e pH. O estuário do rio Botafogo apresentou as maiores concentrações de fósforo orgânico, biodisponível e total, devido ao maior conteúdo de silte-argila dos sedimentos e à maior influência que este estuário recebe de atividades antrópicas, como o lançamento de efluentes domésticos, agrícolas, e de aquicultura.

**Palavras-chave:** fracionamento de fósforo, sedimento de estuário, Canal de Santa Cruz.

## ABSTRACT

The identification of phosphorus fractions in sediments is a useful tool for the assessment of potential sources of phosphorus to estuarine regions, and helps to understand the biogeochemical processes that control the availability of phosphorus in tropical areas. This study aimed to identify the spatial and seasonal distribution of the apatite, bioavailable and organic phosphorus fractions, in sediments of a polluted estuary (Botafogo river), and other considered as a background area (Carrapicho river), both located in the Santa Cruz Chanel estuarine complex (Itamaracá –PE). The relations between the concentration of phosphorus in sediments with the grain size and the physical and chemical properties of the overlying water were also evaluated. No significant seasonal variation of phosphorus fractions concentrations was observed. The salinity was negatively correlated with phosphorus concentrations, indicating continental origin of phosphorus, with the highest concentrations found in the low salinity areas. The phosphorus concentrations were positively correlated with the silt-clay fraction, suggesting the importance of the reactions in the surfaces of sediment particles for retention of phosphorus and other substances. The highest concentrations of apatite phosphorus was registered at Santa Cruz Channel sampling station, with lower percentages of bioavailable and organic phosphorus, indicating mineralization processes along the estuaries and the exchange between bioavailable and apatite phosphorus by the influence of salinity and pH increase. In the Botafogo river estuary were found the highest concentrations of organic, bioavailable and total phosphorus, due to the high silt-clay fraction in the sediments and the influence of antropic activities like the discharge of domestic, agricultural and aquiculture effluents.

**Keywords:** Phosphorus fractionation, estuarine sediment, Santa Cruz Channel.

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Páginas</b>
<b>Figura 1:</b> Mapa de Pernambuco com a localização de Itamaracá e foto de satélite da região de estudo.	24
<b>Figura 2:</b> Figura esquemática da área com as respectivas estações de coleta representadas pelos números de 1 a 6.	26
<b>Figura 3:</b> Amostrador de sedimentos do tipo van Veen.	27
<b>Figura 4:</b> Esquema da metodologia de extração sequencial de fósforo, proposta pelo “Standards, measurements and testing programme” (protocolo SMT), descrito por Pardo <i>et al.</i> (2004).	29
<b>Figura 5:</b> Sedimento padrão para extração sequencial de fósforo BCR 684 , “Standards measurements and testing (SMT) programme” da comissão européia.	31
<b>Figura 6:</b> Diagrama triangular para classificação de sedimentos proposto por Folk (1954).	32
<b>Figura 7:</b> Valores de salinidade nos meses de inverno e verão no rio Botafogo (E1, E2 e E3), canal de Santa Cruz (E4) e rio Carrapicho (E5 e E6).	34
<b>Figura 8:</b> Concentração de oxigênio dissolvido nos meses de inverno e verão no rio Botafogo (E1, E2 e E3), canal de Santa Cruz (E4) e rio Carrapicho (E5 e E6).	35
<b>Figura 9:</b> Valores de pH nos meses de inverno e verão no rio Botafogo (E1, E2 e E3), canal de Santa Cruz (E4) e rio Carrapicho (E5 e E6).	36
<b>Figura 10:</b> Concentrações de fosfato dissolvido nos meses de inverno e verão no rio Botafogo (E1, E2 e E3), canal de Santa Cruz (E4) e rio	36

Carrapicho (E5 e E6).

<b>Figura 11:</b> Valores do material em suspensão nos meses de inverno e verão no rio Botafogo (E1, E2 e E3); canal de Santa Cruz (E4) e rio Carrapicho (E5 e E6).	37
<b>Figura 12:</b> Estatística descritiva das concentrações de PA no sedimento das estações do rio Botafogo.	38
<b>Figura 13:</b> Estatística descritiva das concentrações de PA no sedimento das estações do canal de Santa Cruz e rio Carrapicho.	39
<b>Figura 14:</b> Estatística descritiva das concentrações de PINA do rio Botafogo.	40
<b>Figura 15:</b> Estatística descritiva das concentrações de PINA do canal de Santa Cruz e rio Carrapicho.	40
<b>Figura 16:</b> Estatística descritiva das concentrações de PO do rio Botafogo.	41
<b>Figura 17:</b> Estatística descritiva das concentrações de PO do canal de Santa Cruz e rio Carrapicho.	42
<b>Figura 18:</b> Estatística descritiva das concentrações de fósforo total do rio Botafogo.	43
<b>Figura 19:</b> Porcentagens das frações de fósforo da estação 1	43
<b>Figura 20:</b> Porcentagens das frações de fósforo da estação 2.	44
<b>Figura 21:</b> Porcentagens das frações de fósforo da estação 3	44
<b>Figura 22:</b> Porcentagens das frações de fósforo da estação 4	45
<b>Figura 23:</b> Porcentagens das frações de fósforo da estação 5	45
<b>Figura 24:</b> Porcentagens das frações de fósforo da estação 6.	46
<b>Figura 25:</b> Estatística descritiva das concentrações de fósforo total nas estações do Canal de Santa Cruz e rio Carrapicho	46

<b>Figura 26:</b> Análise dos componentes principais das frações de fósforo e dos parâmetros físicos e químicos da água.	48
<b>Figura 27:</b> Distribuição das estações de acordo com as concentrações das espécies de fósforo no sedimento e os parâmetros físicos e químicos da água.	48
<b>Figura 28:</b> Classificação sedimentológica de acordo com o diagrama de Folk para as estações do rio Botafogo	50
<b>Figura 29:</b> Classificação sedimentológica de acordo com o diagrama de Folk para as estações do canal de Santa Cruz e rio Carrapicho	50
<b>Figura 30:</b> Análise de componentes principais da granulometria e as concentrações das espécies de fósforo no sedimento.	51

## LISTA DE TABELAS

	Páginas
<b>Tabela 1:</b> Resultados de validação da metodologia utilizada, concentrações em $\mu\text{g.g}^{-1}$ . (PTs = corresponde ao fósforo total resultante da soma das frações PA, PINA e PO).	30
<b>Tabela 2:</b> Valores de r, produto da correlação de Pearson entre as frações de fósforo e os parâmetros físicos e químicos da água.	47
<b>Tabela 3:</b> Duas primeiras componentes da ACP entre as frações de fósforo e os parâmetros físicos e químicos da água.	49
<b>Tabela 4:</b> Valores de r, produto da correlação de Pearson entre as espécies de fósforo e as frações granulométricas.	52
<b>Tabela 5:</b> Concentrações de fósforo total e fracionado ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ ) em rios, estuários e lama de estação de tratamento de esgoto na Espanha, obtidos pelo protocolo SMT (sedimentos <0,062mm).	61
<b>Tabela 6:</b> Resultados dos valores médios e desvio padrão das concentrações de fósforo total no litoral sul da Bahia por Silveira (1999).	63

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

E1:	Estação 1
E2:	Estação 2
E3:	Estação 3
E4:	Estação 4
E5:	Estação 5
E6:	Estação 6
1-E:	Margem esquerda da estação 1
1-M:	Centro do rio da estação 1
1-D:	Margem direita da estação 1
2-E:	Margem esquerda da estação 2
2-M:	Centro do rio da estação 2
2-D:	Margem direita da estação 2
3-E:	Margem esquerda da estação 3
3-M:	Centro do rio da estação 3
3-D:	Margem direita da estação 3
4-E:	Margem esquerda da estação 4
4-M:	Centro do rio da estação 4
4-D:	Margem direita da estação 4
5-E:	Margem esquerda da estação 5
5-M:	Centro do rio da estação 5
5-D:	Margem direita da estação 5
6-E:	Margem esquerda da estação 6
6-M:	Centro do rio da estação 6
6-D:	Margem direita da estação 6
PINA	Fósforo inorgânico não apatítico
PA	Fósforo inorgânico apatítico
PO	Fósforo orgânico
PT	Fósforo total
SMT	“Standards measurements and testing (SMT) programme”
ANOVA	Análise de variância
ACP	Análise dos componentes principais
INMET-MA	Instituto Nacional de Meteorologia – Ministério da Agricultura

## LISTA DE APÊNDICES

	<b>Páginas</b>
<b>Apêndice 1:</b> Resultados da ANOVA entre as médias das concentrações dos períodos seco e chuvoso das espécies de fósforo.	74
<b>Apêndice 2:</b> Resultados da ANOVA entre as concentrações das frações de fósforo e conteúdo de silte-argila dos rios Botafogo e Carrapicho.	74
<b>Apêndice 3:</b> Classificação textural e grau de seleção dos sedimentos dos rios Botafogo, Carrapicho e Canal de Santa Cruz.	75
<b>Apêndice 4:</b> Resultado do peneiramento úmido seguindo a metodologia proposta por Suguio (1973).	76

# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>15</b>
1.1 CICLO DO FÓSFORO.....	16
1.2 JUSTIFICATIVA .....	19
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>21</b>
2.1 GERAL .....	21
2.2 ESPECÍFICOS .....	21
<b>3 DESCRIÇÃO DA ÁREA</b> .....	<b>22</b>
3.1 RIO BOTAFOGO .....	23
3.2 RIO CARRAPICHO .....	25
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>26</b>
4.1 AMOSTRAGEM .....	26
4.2 PLUVIOMETRIA .....	27
4.3 PARÂMETROS FÍSICOS E QUÍMICOS DA ÁGUA .....	27
<b>4.3.1 Salinidade</b> .....	<b>27</b>
<b>4.3.2 Oxigênio dissolvido</b> .....	<b>28</b>
<b>4.3.3 Potencial hidrogeniônico (pH)</b> .....	<b>28</b>
<b>4.3.4 Fosfato dissolvido</b> .....	<b>28</b>
<b>4.3.5 Material em suspensão</b> .....	<b>28</b>
4.4 SEDIMENTOS.....	28
<b>4.4.1 Fósforo no sedimento</b> .....	<b>28</b>
<b>4.4.2 Granulometria</b> .....	<b>31</b>
4.5 ESTATÍSTICA .....	32
<b>5. RESULTADOS</b> .....	<b>34</b>
5.1 PLUVIOMETRIA .....	34
5.2 PARÂMETROS FÍSICOS E QUÍMICOS DA ÁGUA .....	34
<b>5.2.1 Salinidade</b> .....	<b>34</b>
<b>5.2.2 Oxigênio disoolvido</b> .....	<b>35</b>
<b>5.2.3 Potencial hidrogeniônico</b> .....	<b>35</b>

<b>5.2.4 Fosfato dissolvido</b> .....	<b>36</b>
<b>5.2.5 Material em suspensão</b> .....	<b>37</b>
<b>5.3 CONCENTRAÇÕES DE FÓSFORO NO SEDIMENTO</b> .....	<b>37</b>
<b>5.3.1 Fósforo inorgânico apatítico (PA)</b> .....	<b>37</b>
<b>5.3.2 Fósforo inorgânico não apatítico (PINA)</b> .....	<b>39</b>
<b>5.3.3 Fósforo orgânico (PO)</b> .....	<b>40</b>
<b>5.4 FÓSFORO TOTAL E PORCENTAGENS DAS FRAÇÕES DE FÓSFORO</b> .....	<b>42</b>
<b>5.5 CONCENTRAÇÕES DE FÓSFORO E PARÂMETROS FÍSICOS E QUÍMICOS DA ÁGUA</b> .....	<b>47</b>
<b>5.6 CONCENTRAÇÕES DE FÓSFORO E GRANULOMETRIA</b> .....	<b>49</b>
<b>6 DISCUSSÃO</b> .....	<b>53</b>
<b>7 CONCLUSÃO</b> .....	<b>65</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>66</b>
<b>APÊNDICES</b> .....	<b>74</b>
<b>ANEXOS</b> .....	<b>77</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Os estuários ocupam menos de 10% da superfície dos oceanos, mas possuem um papel significativo nas áreas costeiras, por aprisionarem quantidades consideráveis de material dissolvido e em suspensão, funcionando assim como um filtro entre os domínios marinho e terrestre (Gebhardt, *et al.* 2005). Esses ambientes caracterizam-se por apresentar uma alta taxa de produção primária, mostrando-se, frequentemente, mais produtivos que quaisquer massas de água salgada e doce (Odum, 1971) devido ao grande intercâmbio de materiais bióticos e abióticos com outros ecossistemas, incluindo água, sais nutrientes, sedimentos, matéria orgânica e organismos (Yáñez-Arancibia, 1986).

As regiões estuarinas são importantes zonas de transferência de sedimento entre os ecossistemas marinho e fluvial; os acúmulos de sedimento que se formam conseqüentemente favorecem o acúmulo de contaminantes provenientes de atividades antrópicas (Ridgway & Shimmield, 2002).

O fósforo é um nutriente limitante em ambientes limnéticos, porém, em estuários não antropizados, este elemento encontra-se em quantidades suficientes para manter a produtividade primária, com propensão ao acúmulo nos sedimentos das regiões estuarinas, em virtude da tendência a precipitação do fósforo particulado, com o aumento de salinidade e pH (Reddy *et al.*, 1999; Owens & Walling, 2002; Katsaounos *et al.*, 2007)

Devido a essa tendência de acúmulo, e porque o fósforo apresenta um ciclo essencialmente endógeno já que não tem um componente importante na atmosfera, o teor de fósforo em sedimentos pode ser utilizado como parâmetro para se avaliar a entrada deste nutriente nos corpos hídricos, através do despejo de efluentes de aquicultura, industriais, agrícolas e domésticos, atividades ligadas ao crescente aumento populacional (Manahan, 2005; Reddy *et al.*, *op cit*; Rao & Berner, 1997).

Os estudos sobre a dinâmica do fósforo na água em microbacias hidrográficas, bem como de outros “contaminantes”, ajudam a estimar os impactos e suas conseqüências nos ecossistemas aquáticos. Além disso, são importantes ferramentas para despertar a consciência de que o uso e o manejo do solo e da aplicação de insumos, sejam eles industriais ou orgânicos, são fatores que determinam a qualidade da água e do ambiente (Pellegrini, 2005).

## 1.1 CICLO DO FÓSFORO

O fósforo atua como fator limitante na produção primária dos ecossistemas aquáticos continentais e pode conduzir à eutrofização, que gera modificações nas propriedades físicas, químicas e biológicas do meio, com perdas de produtividade e biodiversidade. O sedimento constitui um compartimento de suma importância na avaliação de intensidade e formas de impactos a que os ecossistemas aquáticos estão ou estiveram submetidos, pois realiza constantes trocas de nutrientes e outras substâncias poluentes ou não com a coluna d'água (Protazio *et al.*, 2004).

O ciclo do fósforo ocorre entre rochas, águas, solos, sedimentos e seres vivos. Esse ciclo é peculiar quando comparado aos grandes ciclos biogeoquímicos dos nutrientes como, por exemplo, o carbono e o nitrogênio, uma vez que o grande reservatório de fósforo são as rochas e, não, o ar (Odum *et al.* 1982).

Os grandes depósitos naturais de fósforo são provenientes de rochas fosfatadas, na sua maioria contendo minerais apatíticos, representados pela fórmula:  $Ca_5(X)(PO_4)_3$ , onde  $x = F^-$ ;  $OH^-$  ou  $Cl^-$ , podendo formar fluorapatita, hidroxiapatita ou clorapatita, respectivamente. A fosforita é uma variedade fibrosa da apatita, constituída de fosfato tricálcio de origem sedimentar, geralmente associada a carbonatos de cálcio e magnésio, óxidos de ferro e alumínio e traço de urânio. É amorfa ou criptocristalina, de consistência arenosa ou argilosa, ocorrendo em bandeamentos de folhelhos, calcários e arenitos (DNPM, 2001).

No Brasil, cerca de 80% das jazidas fosfatadas naturais são, em geral, de origem ígnea com presença acentuada de rocha carbonatítica e minerais micáceos com baixo teor de  $P_2O_5$ , expressão comercial para o conteúdo fosfático, enquanto, em termos mundiais, esse percentual está em torno de 17%.

Os principais depósitos de origem sedimentar do Brasil encontram-se no nordeste, principalmente em Pernambuco, podendo ainda ser encontrados em locais de outros estados, como Minas Gerais. A concentração de  $P_2O_5$  das jazidas situadas em Pernambuco é maior que em todos os outros depósitos identificados no país, com 21,09% de  $P_2O_5$  (DNPM, 2001).

A partir das fontes naturais ou antrópicas, o fósforo carregado pelos corpos hídricos pode estar presente como fosfato particulado e ou dissolvido, nas formas orgânicas e inorgânicas, sendo transportado pela água até as regiões estuarinas.

Os ortofosfatos estão prontamente disponíveis para a assimilação pelo fitoplâncton, sendo também removidos da fase dissolvida por processos abióticos, como a precipitação química com alumínio, ferro e cálcio, este último formando a apatita (Berbel, 2008). A maior parte do fósforo proveniente de regiões continentais chega às áreas estuarinas e marinhas associada às estruturas cristalinas dos minerais, primariamente na forma de apatita. Nos solos, esses minerais podem ser mais ou menos inertes, dependendo da estrutura de suas moléculas que, em condições de anoxia e em ambientes redutores, podem sofrer novas transformações e tornar o fosfato apatítico disponível (Lukkari *et al.* 2007).

Quando o fósforo está na forma inorgânica dissolvida, esta pode variar de acordo com o pH e apresentar as seguintes espécies predominantes: em água doce com pH entre 3-6 ( $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ) e pH entre 8-10 ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ); na água do mar pH 7-8 ( $\text{HPO}_4^{2-}$ ) e pH 9-10 ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) (Jahnke, 1992). No ambiente marinho as três espécies iônicas estão presentes na seguinte proporção:  $\text{HPO}_4^{2-} > \text{PO}_4^{3-} > \text{H}_2\text{PO}_4^-$  (Manahan, 2005).

O fósforo inorgânico, uma vez em solução, pode ser retido fortemente por adsorção nas partículas de argilas. A dissolução do fósforo depositado vai depender de algumas características físico-químicas como pH e potencial redox do sedimento. Em regiões estuarinas anóxicas, o  $\text{Fe}^{3+}$  será reduzido para  $\text{Fe}^{2+}$ , liberando o fósforo depositado para a água intersticial, podendo migrar para a coluna d'água e voltar novamente ao ciclo (Reddy *et al.*, 1999; Andrieux & Aminot, 2001; Jin *et al.* 2006) através de mecanismos como bioturbação, turbulência e velocidade da água (Koski-Vähälä & Hartikainen 2001).

De forma geral, a dinâmica da disponibilidade de fósforo inorgânico na água ocorre em função dos processos físico-químicos de adsorção e dessorção, os quais controlam as transformações do fósforo particulado dos sedimentos no fósforo solúvel e vice-versa (Correll, 1998; Pant & Reddy, 2001; Koski-Vähälä & Hartikainen, 2001). Enquanto a adsorção depende de processos físicos, tamanho e enriquecimento das partículas e das propriedades

químicas do material erodido, mineralogia, tipo e estado químico dos grupos funcionais (Sharpley *et al.*, 1992), a dessorção é influenciada muito mais pelas condições geoquímicas do meio, como pH e potencial redox (Jin *et al.* 2006, Aminot & Andrieux, 1996; Koski-Vähälä & Hartikainen, *op cit*), teor em solução, consumo por microrganismos, entre outros (Correll, 1998).

A fração orgânica de fósforo encontrada em sedimentos estuarinos é resultado da contribuição de diferentes fontes; sua variabilidade de composição dificulta a identificação e quantificação de seus constituintes. Além disso, o fósforo orgânico é constantemente modificado em sua essência pelos processos de mineralização em trânsito na interface água-sedimento (Ruttenberg, 1992). O fósforo orgânico pode constituir uma importante fonte desse nutriente para os organismos através de sua mineralização, mediada pelas fosfatases, enzimas que catalisam a hidrólise de ésteres de fosfatos, liberando fosfato solúvel. Essas enzimas são produzidas pelas plantas e microrganismos do solo, e suas atividades podem ser influenciadas pelos diferentes atributos dos solos (Zhang *et al.* 2007).

A disponibilidade do fósforo orgânico para os organismos produtores depende do tamanho e da estabilidade das moléculas, da resistência à hidrólise, dos processos de mineralização por atividade microbiana e das condições ambientais de pH e potencial redox (Lukkari *et al.*, 2007). Os processos de decomposição, na água e nos sedimentos, primeiramente removem os compostos orgânicos mais instáveis, enriquecendo o material sedimentado e enterrado com carbono (Froelich *et al.* 1982, Berner *et al.* 1993). Uma parte do fósforo orgânico mantém-se presa em moléculas grandes e complexas de material húmico, sendo removida, em curto prazo, do ciclo do fósforo, e gradualmente transformado em fósforo apatítico, nas camadas mais profundas e anóxicas do sedimento, através da ação de microrganismos e processos químicos de redução (Pettersson *et al.*, 1988).

A capacidade assimilativa de um sistema particular com relação aos nutrientes é finita, e quantidades excessivas de nutrientes podem alterar a composição das espécies, a diversidade e a dinâmica das comunidades bióticas (Páez-Osuna *et al.*, 1998). Estudos sobre a meiofauna e a macrofauna bentônica, realizados no estuário do rio Botafogo, evidenciam o aumento na abundância de organismos resistentes, com perdas na biodiversidade,

características que indicam o comprometimento da região por efeitos da poluição orgânica sobre o estuário (Murolo, 2005; Carvalho, 2004).

A importância do sedimento como fonte ou depósito de fósforo está relacionada à qualidade e à quantidade desse nutriente no sedimento e os processos que afetam o seu equilíbrio na interface água/sedimento (Esteves, 1998). Portanto, é fundamental a determinação da relação entre a composição do sedimento e o fosfato a ele ligado, para avaliar o potencial deste compartimento em liberar fósforo para a fase aquosa (Protazio *et al.*, 2004).

A identificação das formas químicas do fósforo presente nos sedimentos é uma ferramenta útil na avaliação das possíveis fontes deste nutriente para o ambiente, além de possibilitar a identificação dos processos biogeoquímicos que controlam a disponibilidade do fósforo nas regiões estuarinas tropicais.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

A transferência do fósforo na interface água-sedimento é um assunto complexo que vem sendo estudado a partir de trabalhos como, por exemplo, o de Einsele & Mortimer (in: Golterman, 2001). A complexidade surge da interação entre os processos químicos, físicos e biológicos envolvidos na reciclagem do fósforo (Boström *et al.*, 1982). Atualmente, as interações entre sedimento e coluna d'água ainda não foram totalmente compreendidas (Reynolds, 1999), e a biodisponibilidade dos compostos de fósforo no sedimento para o crescimento de algas continua sendo um assunto que precisa muito ser estudado (Golterman, 2000). Além disso, alguns conceitos se tornaram obsoletos, dentre eles, o papel do sedimento nos ecossistemas aquáticos unicamente como “depósito” ou “fonte” de fósforo. É sabido que as concentrações de fósforo no sedimento e na água próxima ao fundo estão em equilíbrio dinâmico, cuja posição controla tanto a deposição quanto a liberação do fosfato e é determinada pela interação de vários fatores que podem mudar ao longo de diferentes escalas de tempo e espaço (Golterman, 1995).

A quantificação das concentrações de fósforo total é considerada um fator chave para a determinação dos níveis de eutrofização em ecossistemas aquáticos. Contudo, apenas o conhecimento das concentrações de fósforo total não é adequado para se averiguar o

risco associado a sua presença em cursos de água naturais. Isso porque o fósforo se encontra biodisponível em sua forma dissolvida, porém a literatura aponta que o fósforo particulado representa a maior fração das concentrações de fósforo total. Conseqüentemente, a estabilidade e as formas químicas do fósforo particulado, em associação com as condições ambientais, regulam a retenção e liberação dos fosfatos no sedimento e podem auxiliar na determinação do fósforo dissolvido na coluna d'água (Pardo *et al.*, 2003; House *et al.*, 1998; Jarvie *et al.*, 2005).

Para se obter um maior entendimento sobre a distribuição do fósforo nos ecossistemas aquáticos, deve-se dar ênfase à determinação de suas formas químicas no sedimento. Esse procedimento, chamado de fracionamento, busca efetuar a classificação das espécies de fósforo de acordo com as características físicas (tamanho, solubilidade), biológicas (biodisponibilidade) e principalmente químicas (energia de ligação e reatividade). Essas propriedades determinam o envolvimento do fósforo nos processos químicos, geológicos e biológicos (Katsaounos *et al.* 2007).

O estudo envolvendo os principais fatores que regulam a dinâmica do fósforo em sedimentos permitirá uma nova abordagem dos processos biogeoquímicos que ocorrem na região estuarina do Canal de Santa Cruz – PE, local considerado de grande importância sócio-econômica e estratégica para o Estado de Pernambuco, que vem sofrendo uma crescente exploração dos seus recursos hídricos através do despejo de efluentes agrários, industriais e domésticos.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 GERAL

Apresentar uma metodologia analítica para determinar o fósforo em sedimentos estuarinos e determinar a distribuição espacial e sazonal da concentração do fósforo nos sedimentos de dois estuários: um considerado poluído (Botafogo) e outro considerado controle (Carrapicho), no sistema Estuarino do Canal de Santa Cruz, fazendo parte do projeto “Análise da Qualidade Ambiental na Região Estuarina do Canal de Santa Cruz-PE: Determinação do Nível de Poluição e Índice Trófico”, financiado pelo CNPq.

### 2.2 ESPECÍFICOS

Determinar a distribuição espacial e sazonal das diferentes frações do fósforo particulado, encontrado no sedimento depositado ao longo dos estuários dos rios Botafogo, (definido como estuário poluído) e Carrapicho (estuário controle);

Determinar os parâmetros químicos e físicos da água (salinidade, oxigênio dissolvido, pH, material em suspensão e fosfato dissolvido);

Identificar as interações entre os teores das frações de fósforo sedimentar com os principais parâmetros físicos e químicos da coluna d'água;

Apontar as relações entre as concentrações das frações do fósforo e a granulometria dos sedimentos.

### 3. DESCRIÇÃO DA ÁREA

A Ilha de Itamaracá situa-se no litoral norte de Pernambuco, a 55km do Recife, capital do estado, entre as latitudes 7°34'00", 7°55'16" S e longitudes 34°48'48", 34°52'24" W (Figura 1). O Canal de Santa Cruz é um braço de mar que contorna a Ilha de Itamaracá, separando-a do continente. Recebe a descarga de vários rios, sendo os principais: Catuama, Carrapicho, Botafogo e Congo na parte norte, Igarassu e Paripe ao sul. Ao todo a bacia hidrográfica abrange cerca de 730 km<sup>2</sup> (Macêdo, 1974). A descarga fluvial desses rios, seguida da interação não-linear das marés com a morfobatimetria do canal, são os dois principais processos que governam a circulação residual ao longo do canal de Santa Cruz (Medeiros & Kjerfve, 1993), que possui uma extensão de 22km e larguras variáveis de 0,6 a 1,5km. Toda a área é muito rasa, com profundidades variando, na baixa-mar, em torno dos 4-5m e, muitas vezes, inferior a 2m (Flores-Montes, 1996).

Esta região é caracterizada por ter clima tropical do tipo Am', no sistema de Köppen, com transição para As', à medida em que se distancia da costa. A taxa de evaporação é inferior à de precipitação, havendo um balanço anual positivo (Flores-Montes *op cit*).

Os sedimentos do Canal de Santa Cruz, segundo Kempf (1970), dividem-se principalmente entre areia quartzosa e lama escura e redutora, com cheiro de gás sulfídrico. Fragmentos de conchas, às vezes bancos de ostras mortas e enterradas e restos de vegetais dos manguezais vizinhos, aparecem em proporções variadas. Blocos e lajes de pedras, provenientes do afloramento dos calcários Gramame, existem em certos pontos - extremidades SE da ilha de Itamaracá, Ponta do Seleiro e Ponta do Funil (Flores-Montes *op cit*).

A Formação Gramame, segundo Mabesoone & Alheiros (1991), apresenta-se dividida em três fácies: por calcarenitos e calcários arenosos, muito fossilíferos, na base, interdigitando-se com os fosforitos e, no topo, calcários biomicríticos argilosos, com fácies supramesolitoral, uma fosfática e uma marinha plena. As fácies basais apresentam calcarenito e calcários arenosos de coloração creme, biomicríticos muito fossilíferos. Já as fácies fosfáticas aparecem como calcários arenosos, argilosos e fosfatizados, com muitos fósseis de tamanho pequeno. A presença da Formação Gramame foi observada por Manso

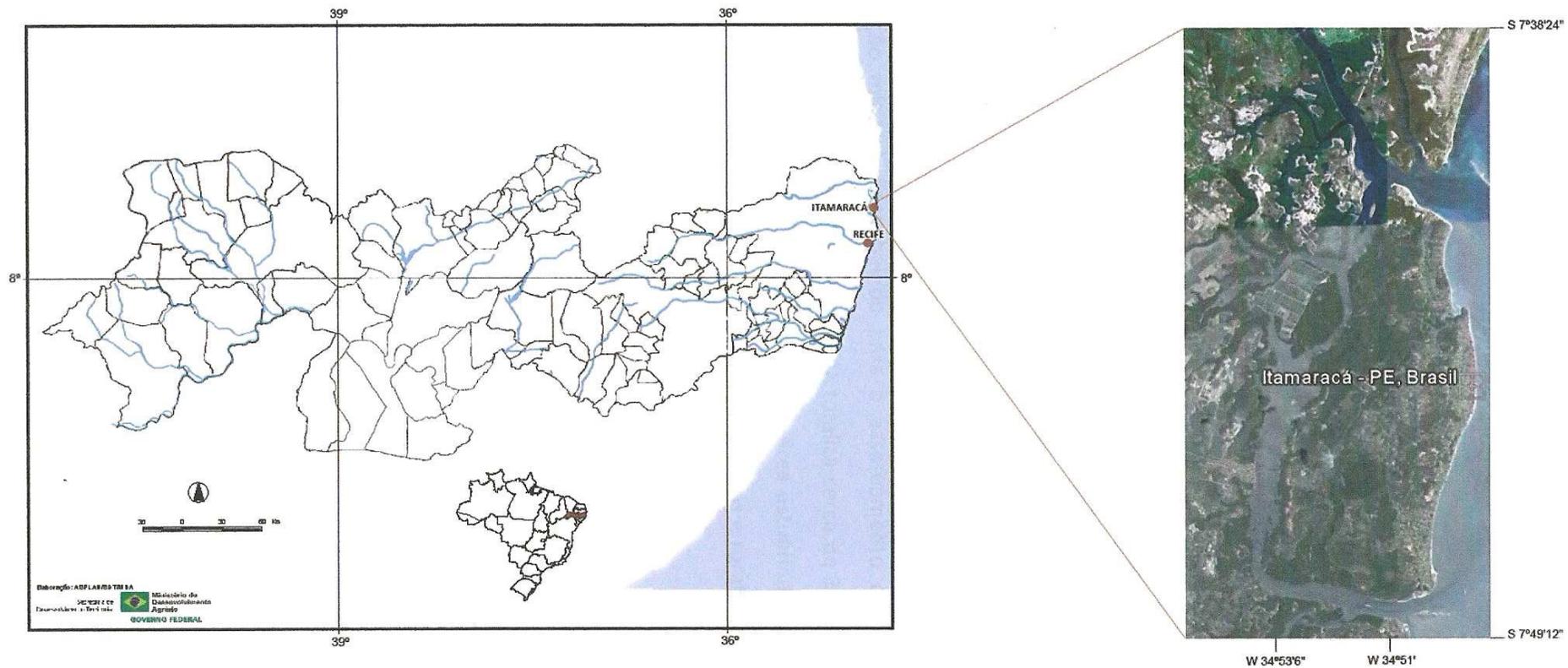
*et al.*, (1992) na Ilha de Itamaracá, estendendo-se por toda ala oeste e circundando os morros da Formação Barreiras.

Em Itamaracá ainda há a presença da Formação calcária Maria Farinha, com dois afloramentos importantes: no Pontal de Jaguaribe e na praia do Fortim. No pontal de Jaguaribe, corresponde a um calcário maciço sem macrofósseis. Na praia do Fortim, apresenta-se como um calcário cinza, formando um morro de 200m de extensão alongado aproximadamente na direção N-S (Manso *et al.*, *op cit*).

### 3.1. RIO BOTAFOGO

O rio Botafogo nasce no município de Araçoiaba, com o nome de rio Catucá. Segue na direção sudeste no trecho entre a nascente e a barragem do rio Botafogo, desenvolvendo a maior parte desse percurso em terrenos do Embasamento cristalino. A jusante desse reservatório toma a direção nordeste, na qual se mantém até a desembocadura no Canal de Santa Cruz (Melo, 2007).

A carga de poluentes da bacia é bastante elevada e provém não só dos núcleos populacionais, dotados de sistemas precários de coleta e resíduos domésticos, mas, sobretudo, das atividades agrícolas e das indústrias ali localizadas. A atividade agrícola de maior potencial poluidor na área é a cana-de-açúcar, praticada ao longo de toda a bacia. As atividades industriais presentes nas margens do rio Botafogo consistem em quatro indústrias químicas, uma indústria de produtos de matérias plásticas e uma usina de açúcar e álcool (CPRH, 2004). Mais recentemente, houve a implantação de fazendas de cultivo intensivo de camarão marinho, no trecho inferior do estuário, mediante o desmatamento, aterro e conversão de grandes áreas em viveiros de cultivo (Carvalho, 2004), que emitem os efluentes da produção nas águas do rio Botafogo.



**Figura 1:** Mapa de Pernambuco com a localização de Itamaracá e foto de satélite da região de estudo.  
 Fonte: BRASIL- Ministério do Desenvolvimento Agrário e Google Earth.

### 3.2 RIO CARRAPICHO

O rio Carrapicho pertence à bacia do rio Itapessoca, localizada na porção sul-oriental do município de Goiana, com uma área total de 12.584ha, representando 9,2% da superfície do litoral norte. Limita-se ao norte com a bacia do rio Goiana; ao sul, com a bacia dos rios Botafogo - Arataca e com o canal de Santa Cruz; a oeste, com a sub-bacia do Botafogo; e, a leste, com as microbacias da vertente atlântica.

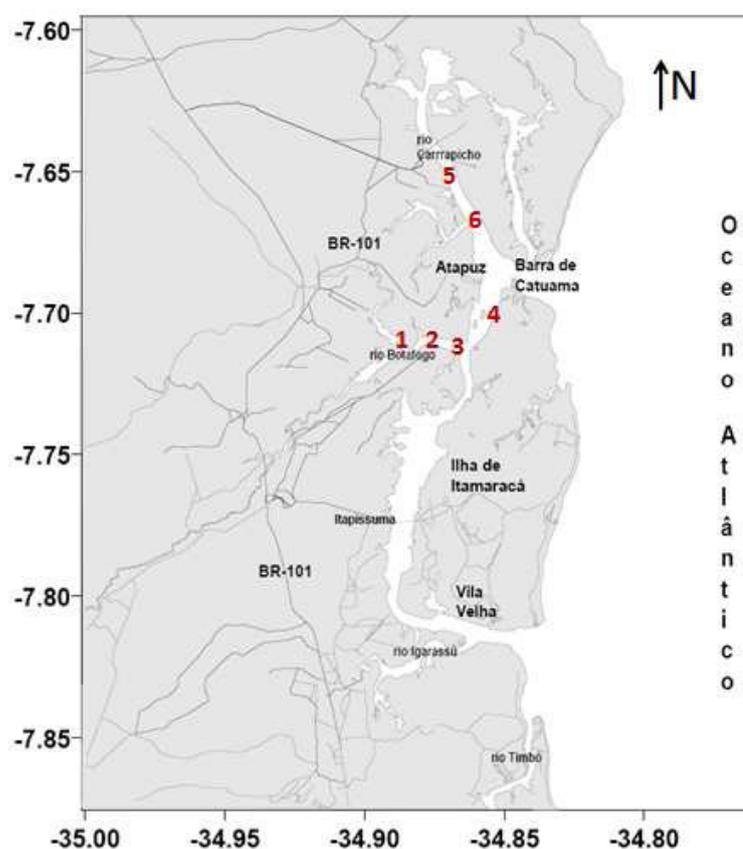
As atividades predominantes na bacia são as culturas de cana-de-açúcar, do coco e de outras frutíferas, a avicultura, a exploração de areia no baixo vale do rio Sirigi, bem como a extração de calcário para a produção de cimento (Ilha de Itapessoca) e de cal (Tejucupapo).

A esses problemas, acresce-se o da falta de recuperação das áreas degradadas pela extração mineral, contribuindo para o assoreamento dos rios e do próprio estuário. A área estuarina do rio Itapessoca totaliza cerca de 3.998ha e abriga flora e fauna variadas, constituindo, juntamente com a área estuarina do rio Goiana-Megaó, importante fonte de sustento das comunidades urbanas e rurais circunvizinhas (CPRH, 2004).

#### 4. MATERIAL E MÉTODOS

##### 4.1 AMOSTRAGEM

Foram realizadas coletas durante um ciclo sazonal, nos meses de junho, julho e agosto de 2007, correspondentes ao período chuvoso, e dezembro de 2007, janeiro e fevereiro de 2008, correspondentes ao período seco. Foram estabelecidas seis estações distribuídas ao longo do complexo estuarino do canal de Santa Cruz: três estações no rio Botafogo (E1, E2 e E3), uma estação no canal de Santa Cruz, próxima à barra de Catuama (E4) e duas estações localizadas no rio Carrapicho (E5 e E6) (Figura 2).



**Figura 2:** Figura esquemática da área com as respectivas estações de coleta representadas pelos números de 1 a 6.

Todas as amostras de água para as análises hidrológicas foram coletadas próximas ao fundo, por meio da garrafa oceanográfica de Niskin, durante a baixa-mar. As amostras foram acondicionadas em caixas térmicas com gelo, para evitar alteração, e congeladas em laboratório até o momento da fase analítica.

Para a coleta do sedimento superficial, foi utilizado um amostrador tipo van Veen (Figura 3). Em cada uma das seis estações foram coletados sedimentos na margem esquerda (E), margem direita (D) e no centro do estuário (M), resultando em três pontos de coleta por estação e um total de 18 amostras por expedição. O material coletado foi acondicionado em sacos plásticos identificados e armazenados em caixa térmica com gelo, para evitar alterações, e congelado em laboratório até o momento da fase analítica, quando foram secos em estufa e macerados.



**Figura 3:** amostrador de sedimentos do tipo van Veen.

## 4.2 PLUVIOMETRIA

Os dados pluviométricos foram obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia-Ministério da Agricultura (INMET-MA), fornecidos pela estação meteorológica do Curado, PE, localizada em 8°03'S - 34°55'W, à altitude de 6,9m.

## 4.3 PARÂMETROS FÍSICOS E QUÍMICOS DA ÁGUA

### 4.3.1 Salinidade

Os valores de salinidade foram obtidos através do método de Möhr-Knudsen, descrito por Strickland & Parsons (1972).

#### 4.3.2 Oxigênio dissolvido

Para determinação do oxigênio dissolvido, foram coletadas amostras de água em frascos tipo âmbar, estas foram fixadas em campo para posterior análise em laboratório. Os teores de oxigênio dissolvido na água foram determinados pelo método de Winkler modificado, descrito por Strickland & Parsons (1972).

#### 4.3.3 Potencial hidrogeniônico (pH)

O pH foi determinado em laboratório com um potenciômetro de bancada, utilizando as mesmas amostras coletadas para a determinação dos sais nutrientes dissolvidos na água.

#### 4.3.4 Fosfato dissolvido

As amostras para determinação do fosfato dissolvido foram analisadas segundo a metodologia descrita por Strickland & Parsons (1972).

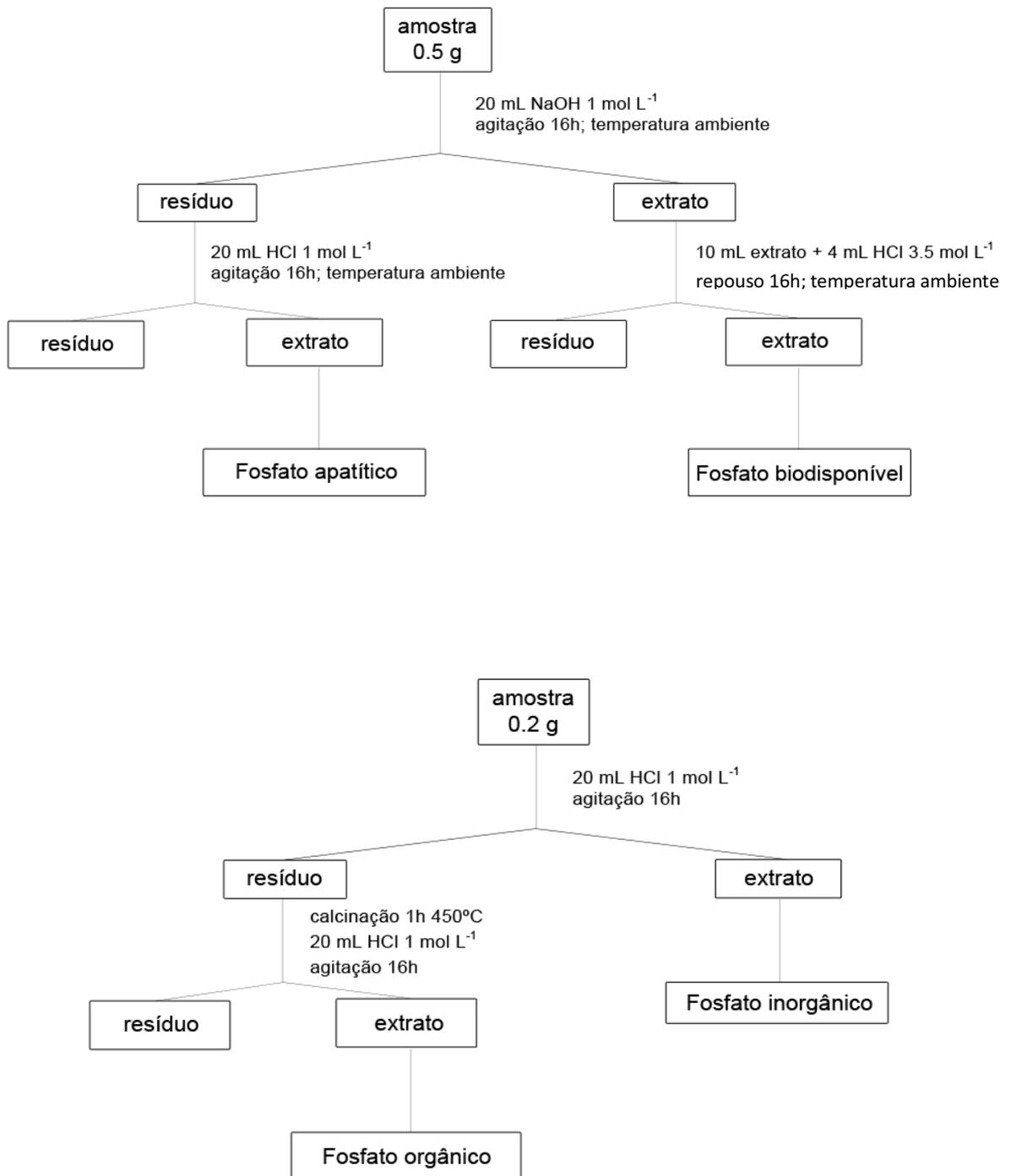
#### 4.3.5 Material em suspensão

O material em suspensão na água foi medido através do método gravimétrico descrito por Baumgarten *et al.* (1996).

### 4.4 SEDIMENTOS

#### 4.4.1 Fósforo no sedimento

A análise das frações químicas do fósforo no sedimento foi realizada utilizando-se o método proposto por Williams *et al.* (1976) modificado por Burrus *et al.* (1990) e descrito por Pardo *et al.* (2004), utilizado pelo “Standards, measurements and testing (SMT) programme” da comissão europeia (o processo analítico está esquematizado na Figura 4. Para calibração da metodologia foi utilizado o padrão de sedimento BCR 684 da SMT (Figura 5).



**Figura 4:** Esquema da metodologia de extração sequencial de fósforo, proposta pelo “Standards, measurements and testing programme” (protocolo SMT), descrito por Pardo *et al.*, (2004).

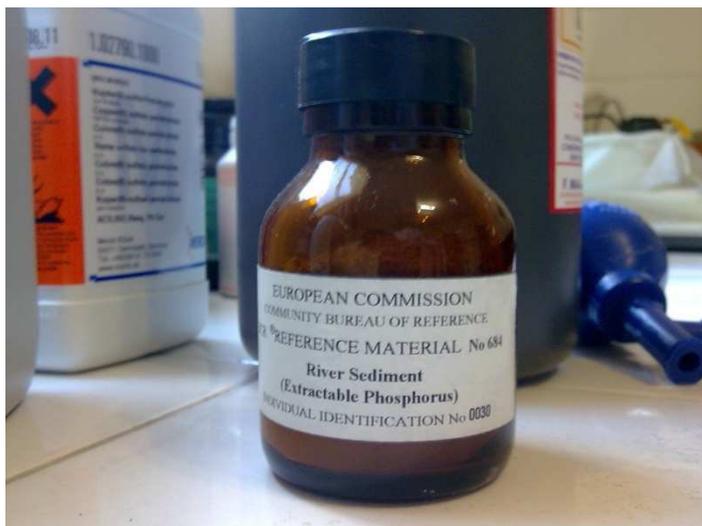
Os dados de validação da metodologia estão resumidos na Tabela 1, foram realizadas corridas analíticas utilizando o padrão de referência BCR 684, em três dias diferentes. O processo de validação foi realizado de acordo com as normas e recomendações da ANVISA, 2002.

**Tabela 1:** Resultados de validação da metodologia utilizada, concentrações em  $\mu\text{g.g}^{-1}$ . (PTs = corresponde ao fósforo total resultante da soma das frações PA, PINA e PO).

Conc. REF BCR 684		conc1	conc2	conc3	media	DP conc	precisão CV%	Exatidão %
536	<b>PA</b>	409.11	408.45	410.42	409.33	0.821	0.20	76.36
550	<b>PINA</b>	612.67	613.99	612.01	612.89	0.821	0.13	111.43
209	<b>PO</b>	250.34	245.40	248.69	248.14	2.054	0.82	118.73
1373	<b>PT</b>	1311.00	1297.82	1383.46	1330.76	37.653	2.82	96.92
1373	<b>PTs</b>	1272.13	1267.84	1271.14	1270.37	1.830	0.14	92.52

Os métodos de extração sequencial são operacionalmente definidos com base na reatividade da fração que se deseja extrair, espécie alvo, em relação a uma solução extratora conhecida (Ruttenberg, 1992). As frações de fósforo determinadas pelo método da SMT são:

- ✓ Fósforo inorgânico não apatítico (PINA): ligado a óxidos e hidróxidos de ferro, alumínio e manganês, consiste na fração considerada reativa e biodisponível.
- ✓ Fósforo apatítico: ocluso, ligado à estrutura cristalina dos minerais de cálcio, possui forte energia de ligação e é considerado pouco mobilizável.
- ✓ Fósforo orgânico: proveniente dos fosfolipídeos, fosfoproteínas, ATP, DNA, RNA, ácidos húmicos e mais uma série de compostos orgânicos provenientes da excreção e morte de animais, senescência de folhas, lançamentos de esgoto no corpo hídrico dentre outros.
- ✓ Fósforo total: calculado a partir da soma das três frações.

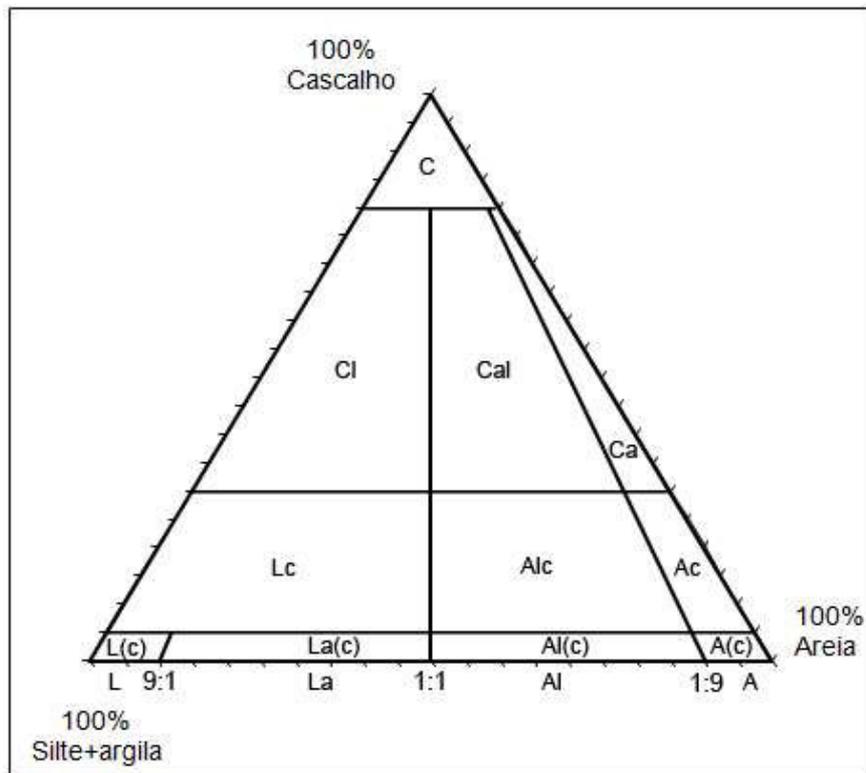


**Figura 5:** sedimento padrão para extração sequencial de fósforo BCR 684 da “Standards, measurements and testing (SMT) programme” da comissão europeia.

As concentrações do fósforo orgânico e inorgânico foram determinadas pelo método espectrofotométrico de Murphy & Riley (1962) descrito por Watanabe & Olsen (1965).

#### 4.4.2 Granulometria

A análise granulométrica foi realizada de acordo com a metodologia de fracionamento por peneiramento, descrita em Suguio (1973). Os dados obtidos foram processados estatisticamente com o programa Sysgran 3.0. Em seguida foi aplicada a classificação proposta por Folk, 1954, que se baseia, essencialmente, num diagrama triangular (Figura 6), em que são representados proporcionalmente os conteúdos percentuais em cascalho (>2mm), em areia (2mm a 0,062mm) e em lama (<0,062mm). Os diagrama triangulares de Folk foram plotados utilizando o programa Tri-Plot v1.4 desenvolvido por Graham & Midgley (2000).



C - cascalho; Ca - cascalho arenoso; Cal - cascalho areno-lamoso;  
 Cl - cascalho lamoso; L - lama; Lc - lama cascalhenta; L(c) - lama ligeiramente cascalhenta; La(c) - lama arenosa ligeiramente cascalhenta;  
 La - lama arenosa; A - areia; Al - areia lamosa; Alc - areia lamosa-cascalhenta; Al(c) - areia lamosa ligeiramente cascalhenta; Ac - areia cascalhenta; A(c) - areia ligeiramente cascalhenta

**Figura 6:** diagrama triangular para classificação de sedimentos proposto por Folk, (1954).

#### 4.5 ESTATÍSTICA

Foi realizada a análise estatística descritiva de cada ponto de coleta, mediana, máximo, mínimo e desvio padrão, representados graficamente por *box plots*.

Para verificar se houve diferença sazonal entre as concentrações das frações de fósforo durante o período amostral, foi utilizada a análise de variância ANOVA, comparando as médias do período seco e chuvoso de todas as estações. Também foi realizada a ANOVA para identificar se houve diferença significativa entre as concentrações das espécies de fósforo entre as estações do rio Botafogo, Canal de Santa Cruz e rio Carrapicho.

Foram realizadas duas análises de correlação de Pearson; a primeira, entre os parâmetros físicos, químicos e biomassa primária, com as espécies de fósforo sedimentar; a

segunda foi realizada entre as frações granulométricas dos sedimentos e as concentrações das espécies de fósforo sedimentar.

A análise exploratória multivariada dos dados foi feita através da análise de componentes principais (ACP). Foram utilizadas as concentrações das frações de fósforo sedimentar, com os parâmetros físicos e químicos da água.

Uma ACP utilizando as concentrações médias do verão das espécies de fósforo e as frações granulométricas do sedimento também foi realizada. Ambas foram feitas através da correlação momento-produto de Pearson e, em seguida, foram extraídos os autovetores e autovalores.

Os dados foram organizados em tabelas com o programa Excel 2007. Os gráficos de *box plot* e a ANOVA foram realizados com o programa Statistica 5.1. A correlação de Pearson e a análise de componentes principais foram realizadas com o NTSYSpc 2.1.

## 5. RESULTADOS

### 5.1 PLUVIOMETRIA

Os valores que representam a quantidade mensal de chuva durante o período chuvoso foram 390, 335 e 225 mm, em junho, julho e agosto, respectivamente (Anexo A).

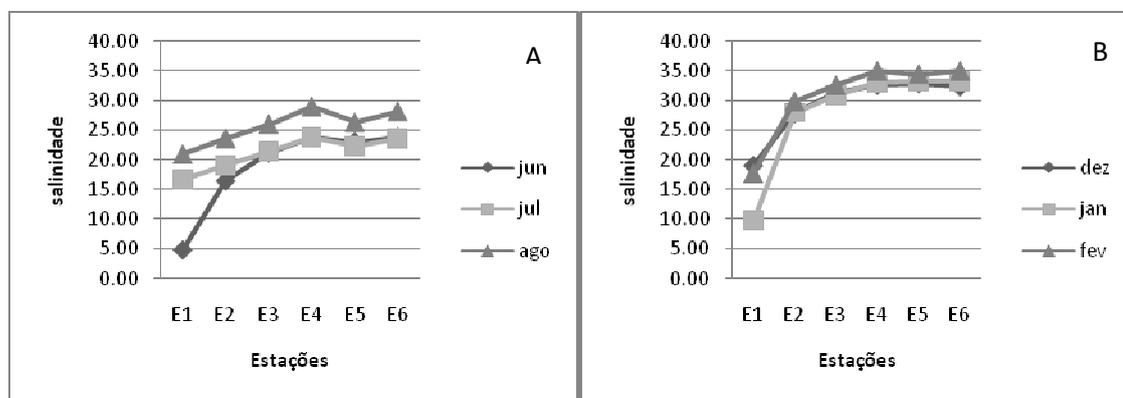
Os meses representativos do período seco apresentaram uma quantidade de chuva acumulada de 0, 90 e 30 mm, em dezembro de 2007, janeiro e fevereiro de 2008. (Anexos A e B).

### 5.2 PARÂMETROS FÍSICOS E QUÍMICOS DA ÁGUA

#### 5.2.1 Salinidade

O valor máximo de salinidade para o período chuvoso foi registrado na estação 4, com valor de 29,07, em agosto. O mínimo ocorreu na estação 1, no rio Botafogo, 4,78, no mês de junho. Para o período seco, o máximo encontrado ocorreu nas estações 4 e 6, com valores de 34,99, em fevereiro. O mínimo, de 9,69, foi registrado na estação 1 em janeiro (Figura 7).

O rio Botafogo apresentou salinidade mais baixa que o rio Carrapicho e a estação 4 do canal de Santa Cruz. O gradiente de salinidade do rio Botafogo pode ser expresso da seguinte maneira  $E1 < E2 < E3$  e, para o rio Carrapicho,  $E5 < E6$ . Esse fato é devido à distância relativa das estações ao local de entrada da água salgada, que ocorre através da barra de Catuama.

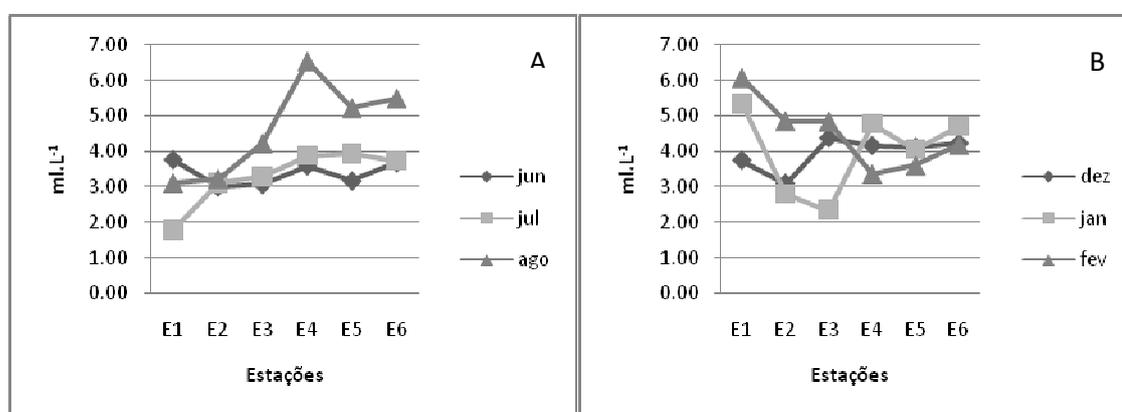


**Figura 7:** Valores de salinidade nos meses de inverno (A) e verão (B) no rio Botafogo (E1, E2 e E3), canal de Santa Cruz (E4) e rio Carrapicho (E5 e E6).

### 5.2.2 Oxigênio dissolvido

As estações do rio Botafogo apresentaram as menores concentrações de oxigênio dissolvido no período chuvoso; o valor mínimo registrado de  $1,77\text{ml.L}^{-1}$  ocorreu na estação 1 em julho. O máximo para o período foi encontrado na estação 4, com  $6,53\text{ ml.L}^{-1}$  em agosto (Figura 8).

No período seco, a máxima concentração de oxigênio dissolvido foi registrada na estação 1, com  $6,05\text{ ml.L}^{-1}$  em fevereiro; a concentração mínima para o período foi registrada na estação 3 em janeiro,  $2,33\text{ ml.L}^{-1}$ .

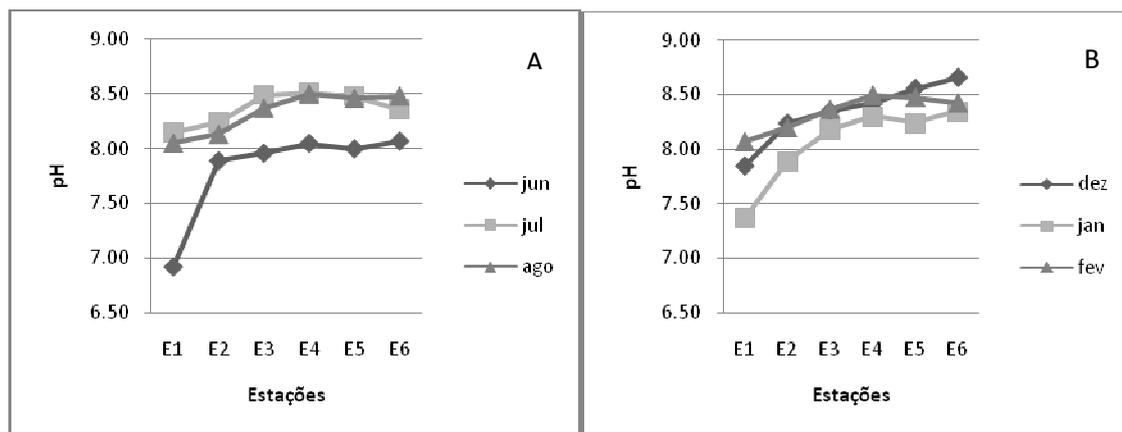


**Figura 8:** Concentração de oxigênio dissolvido nos meses de inverno (A) e verão (B) no rio Botafogo (E1, E2 e E3), canal de Santa Cruz (E4) e rio Carrapicho (E5 e E6).

### 5.2.3 Potencial hidrogeniônico

Os valores de pH acompanharam a distribuição da salinidade e foram menores no rio Botafogo nos dois períodos. O valor mínimo registrado no período chuvoso, 6,92, ocorreu na estação 1 em junho. O maior valor, 8,51, foi registrado em julho na estação 4 (Figura 9).

No período seco, o valor mínimo de 7,37 foi registrado na estação 1 em janeiro; o valor máximo de 8,66 ocorreu na E6 em dezembro.

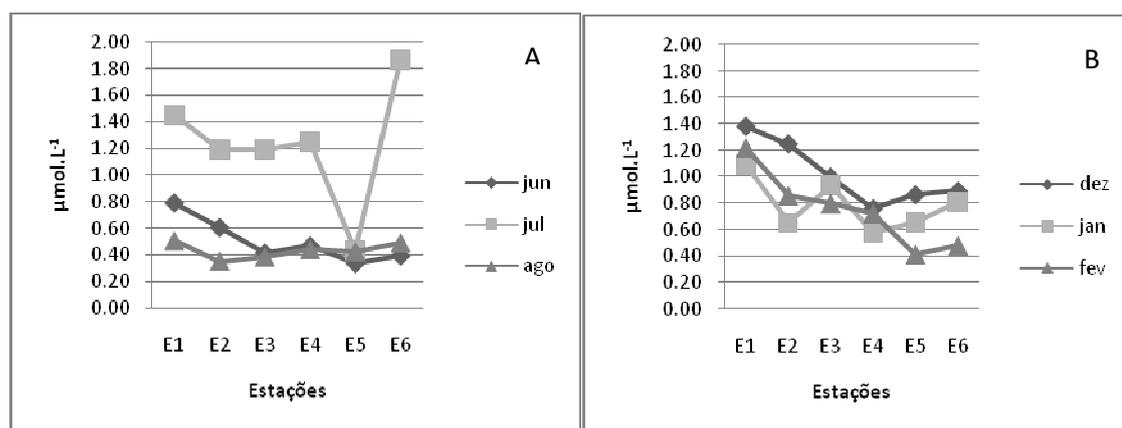


**Figura 9:** Valores de pH nos meses de inverno (A) e verão (B) no rio Botafogo (E1, E2 e E3), canal de Santa Cruz (E4) e rio Carrapicho (E5 e E6).

#### 5.2.4 Fósforo dissolvido

A concentração máxima do fósforo dissolvido no período chuvoso foi encontrada na estação 6 em julho,  $1,86 \mu\text{mol.L}^{-1}$ ; a mínima concentração para o período ocorreu na estação 2 em agosto,  $0,35 \mu\text{mol.L}^{-1}$  (Figura 10).

Para o período seco, o valor máximo de  $1,38 \mu\text{mol.L}^{-1}$  foi registrado na estação 1 em dezembro; o valor mínimo foi encontrado na estação 5 em fevereiro,  $0,41 \mu\text{mol.L}^{-1}$ .

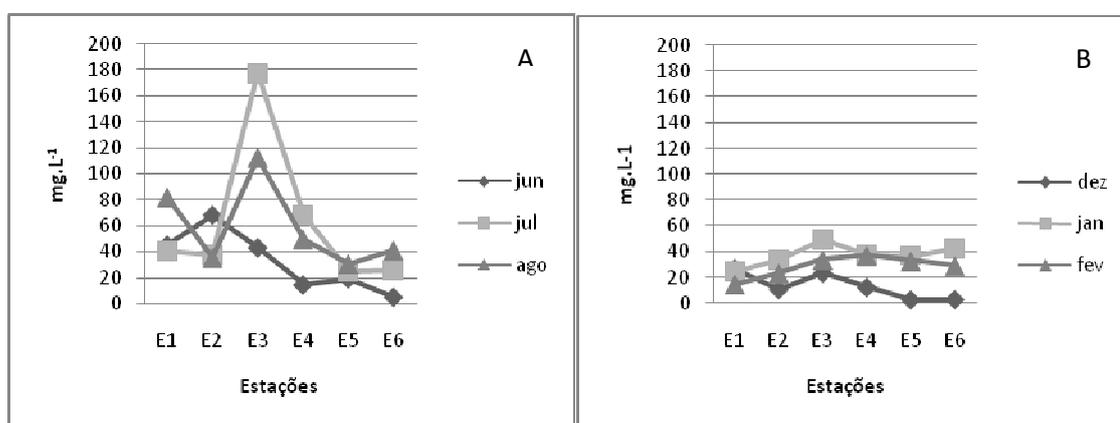


**Figura 10:** Concentrações de fósforo dissolvido nos meses de inverno (A) e verão (B) no rio Botafogo (E1, E2 e E3), canal de Santa Cruz (E4) e rio Carrapicho (E5 e E6).

### 5.2.5 Material em suspensão

Os valores de material em suspensão, de uma forma geral, foram mais elevados no rio Botafogo na estação 3. O valor máximo para o período chuvoso foi encontrado em julho,  $177,8 \text{ mg.L}^{-1}$ ; no período seco o máximo de  $49,2 \text{ mg.L}^{-1}$  ocorreu em janeiro (Figura 11).

Os valores mínimos ocorreram no rio Carrapicho. No período chuvoso o menor valor,  $5 \text{ mg.L}^{-1}$ , ocorreu na estação 6 em junho. No período seco, o menor valor foi registrado na estação 5 em dezembro,  $2,8 \text{ mg.L}^{-1}$ .



**Figura 11:** Valores do material em suspensão nos meses de inverno (A) e verão (B) no rio Botafogo (E1, E2 e E3); canal de Santa Cruz (E4) e rio Carrapicho (E5 e E6).

## 5.3 CONCENTRAÇÕES DE FÓSFORO NO SEDIMENTO

As frações de fósforo sedimentar não apresentaram variações sazonais definidas no período estudado, indicado pela análise de variância ANOVA que apresentou valores de  $p = 0,8552$ ;  $0,8289$  e  $0,9368$ , para o fósforo apatítico (PA), fósforo biodisponível (PINA), e fósforo orgânico (PO) respectivamente (Apêndice 1).

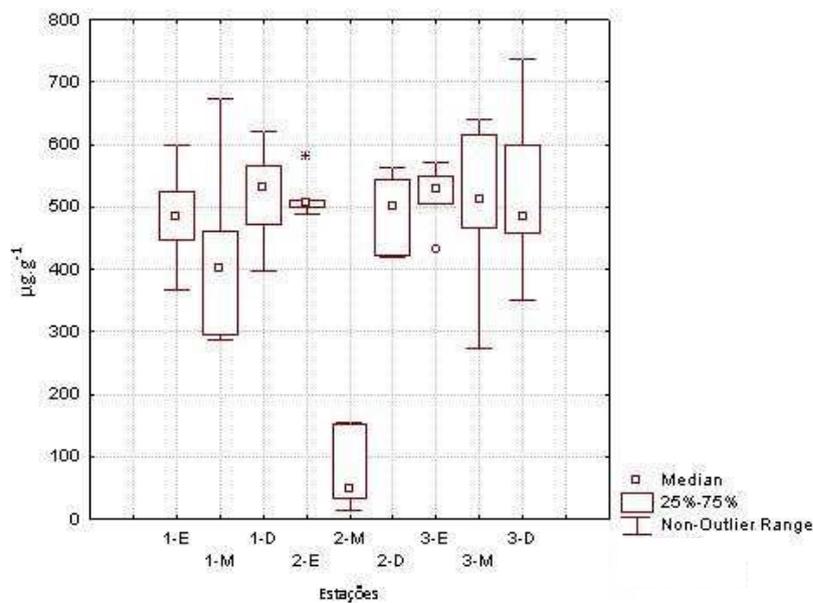
### 5.3.1 Fósforo inorgânico apatítico (PA)

No rio Botafogo, as concentrações do PA foram relativamente constantes, com as concentrações de todos os pontos de coleta muito próximas. O valor máximo de  $735,72 \mu\text{g.g}^{-1}$ , ocorreu na margem direita da estação 3 (3-D). Porém a maior mediana, que indica menor variação nas concentrações, foi encontrada na margem direita da estação 1 (1-D) com  $531,20 \mu\text{g.g}^{-1}$  (Figura 12). O valor mínimo para a área, ocorreu na estação 2 no ponto de

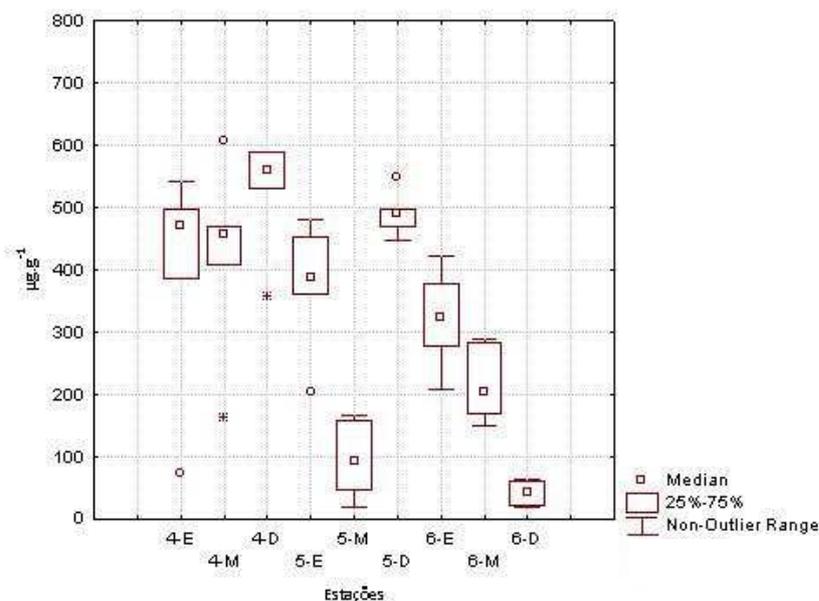
coleta no centro do rio (2-M), abaixo do limite de quantificação do método, e mediana de  $74,35 \mu\text{g.g}^{-1}$  (Figura 12).

A margem direita da estação 4 (4-D), do canal de Santa Cruz, apresentou a maior mediana de todas as estações estudadas,  $558,80 \mu\text{g.g}^{-1}$ . A menor, ocorreu no ponto de coleta no centro do canal (4-M), com valor de  $117,10 \mu\text{g.g}^{-1}$  (Figura 13).

Dentre as estações do rio Carrapicho, o ponto de coleta que apresentou as maiores concentrações foi a margem direita da estação 5 (5-D), com mediana de  $489,12 \mu\text{g.g}^{-1}$ . Os menores valores foram encontrados na margem direita da estação 6 (6-D), com mínimo de  $18,09 \mu\text{g.g}^{-1}$  e mediana de  $42,53 \mu\text{g.g}^{-1}$  (Figura 13).



**Figura 12:** Estatística descritiva das concentrações de PA no sedimento das estações do rio Botafogo (E=margem esquerda; M=centro do rio; D=margem direita).



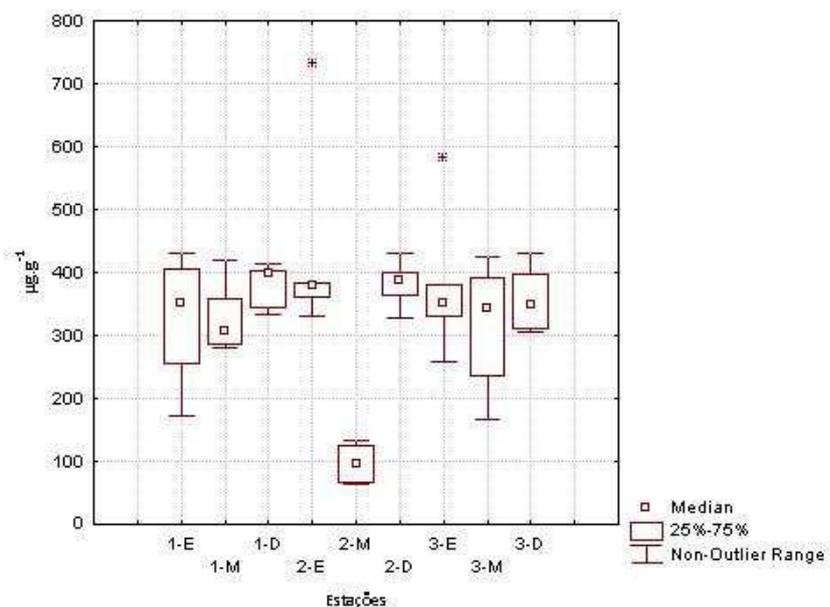
**Figura 13:** Estatística descritiva das concentrações de PA no sedimento das estações do canal de Santa Cruz e rio Carrapicho (E=margem esquerda; M=centro do rio; D=margem direita).

### 5.3.2 Fósforo inorgânico não apatítico (PINA)

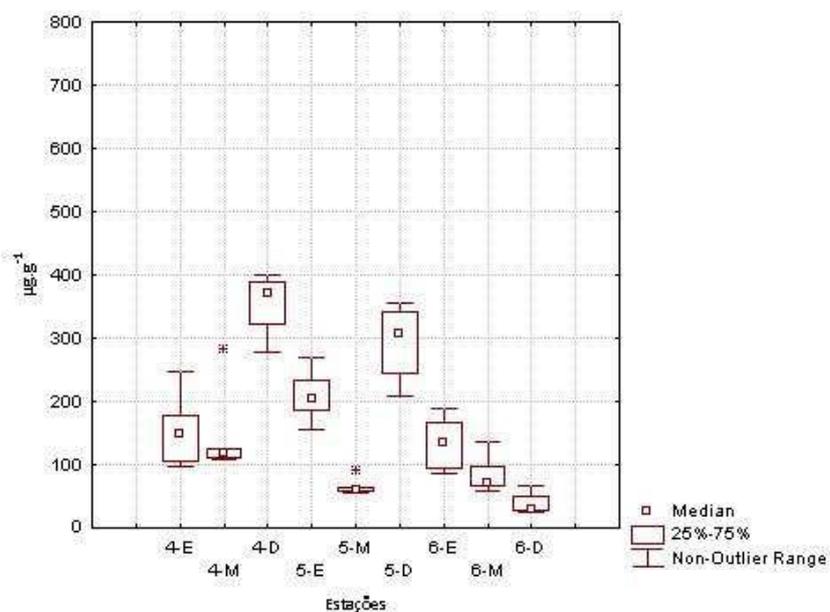
O rio Botafogo apresentou as maiores concentrações do fósforo inorgânico não apatítico (PINA). O maior valor de mediana foi encontrado na estação 1-D, com 398,09  $\mu\text{g.g}^{-1}$ . As concentrações mais altas registradas ocorreram nas estações 2-E e 3-E no mês de junho, com 732,99 e 581,18  $\mu\text{g.g}^{-1}$ , respectivamente. Os menores teores ocorreram na estação 2-M, que apresentou o valor mínimo de 65,09  $\mu\text{g.g}^{-1}$  e mediana de 94,79  $\mu\text{g.g}^{-1}$  (Figura 14).

A estação 4, localizada no canal de Santa Cruz, apresentou valores bem diferentes entre as margens e o meio do canal. A margem direita, mais abrigada, apresentou as maiores concentrações de PINA, com valor máximo de 399,02  $\mu\text{g.g}^{-1}$ , e mediana de 371,76  $\mu\text{g.g}^{-1}$ , teor bem próximo aos encontrados no rio Botafogo. A menor mediana ocorreu no meio do canal, com valor de 117,10  $\mu\text{g.g}^{-1}$  (Figura 15).

O rio Carrapicho apresentou as menores concentrações de PINA. As maiores concentrações foram encontradas na estação 5-D, com máximo de 355,65  $\mu\text{g.g}^{-1}$ , e mediana para os dois períodos de 306,39  $\mu\text{g.g}^{-1}$ . As menores concentrações ocorreram na estação 6-D, localizada próxima da foz do rio Sirigi. O valor mínimo encontrado foi de 24,78  $\mu\text{g.g}^{-1}$ , com mediana de 29,74  $\mu\text{g.g}^{-1}$  (Figura 15).



**Figura 14:** Estatística descritiva das concentrações de PINA do rio Botafogo. (E=margem esquerda; M=centro do rio; D=margem direita)



**Figura 15:** Estatística descritiva das concentrações de PINA do canal de Santa Cruz e rio Carrapicho. (E=margem esquerda; M=centro do rio; D=margem direita)

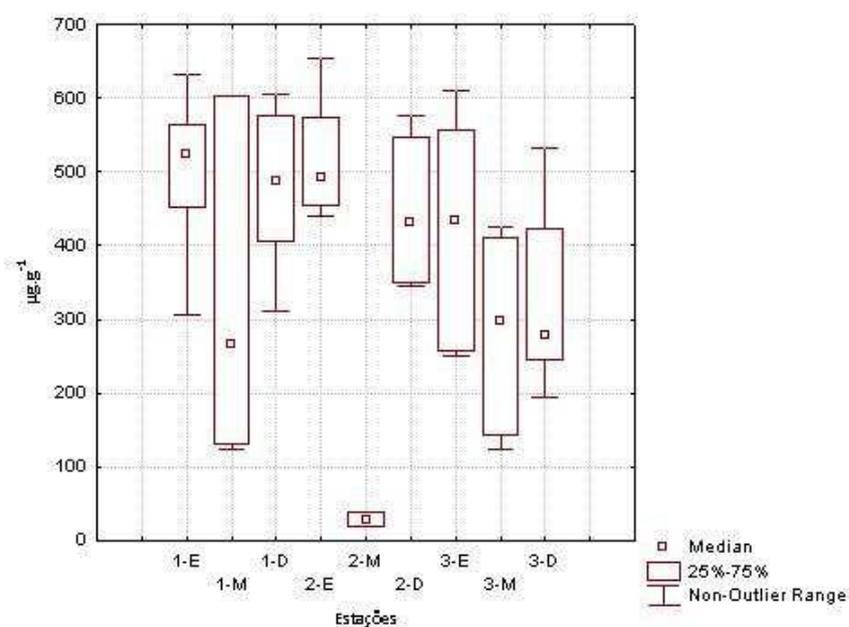
### 5.3.3 Fósforo orgânico (PO)

O valor de mediana mais elevado foi registrado na estação 1-E, com  $522,98 \mu\text{g.g}^{-1}$ . Por outro lado os picos de concentração de PO foram registrados nas estações 2-E ( $654,80 \mu\text{g.g}^{-1}$ ) e 3-E ( $581,18 \mu\text{g.g}^{-1}$ ), no mês de junho, margem com menor energia da maré e sob influência direta da drenagem dos efluentes de área utilizada para carnicultura (Figura 16). As menores concentrações do rio Botafogo foram encontradas na estação 2-M, com valor de

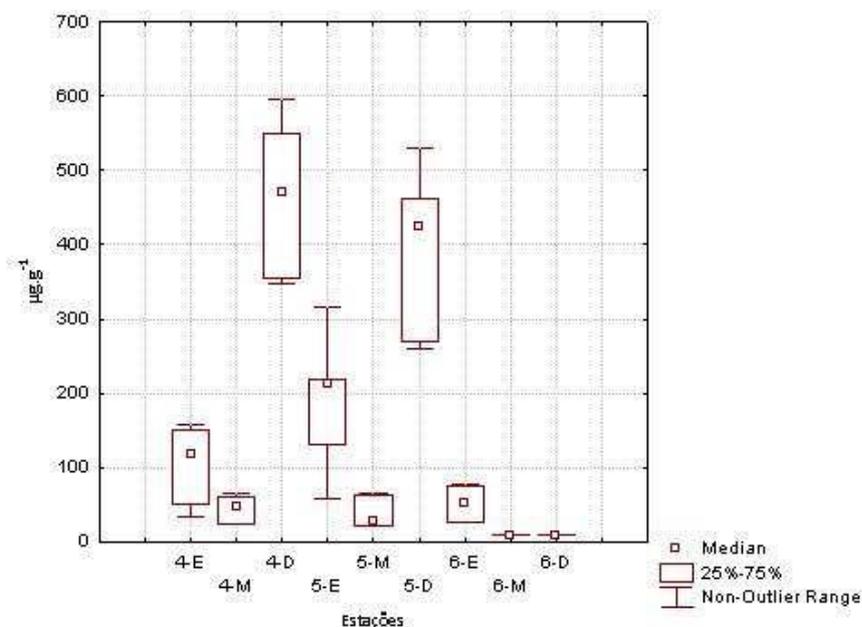
mediana de  $28,65 \mu\text{g.g}^{-1}$  (Figura 16). De uma forma geral, a estação 2-M apresentou os menores valores de todas as frações de fósforo para este estuário.

A estação 4 do canal de Santa Cruz apresentou as maiores concentrações na margem direita, com valor máximo de  $594,62 \mu\text{g.g}^{-1}$  e mediana de  $469,25 \mu\text{g.g}^{-1}$ . A margem direita apresentou as maiores concentrações de todas as frações de fósforo nesta estação. As menores concentrações foram encontradas na estação 4-M, com valor mínimo de  $24,35 \mu\text{g.g}^{-1}$  e mediana de  $47,28 \mu\text{g.g}^{-1}$  (Figura 17).

Os teores de fósforo orgânico no rio Carrapicho também foram mais elevados na estação 5-D, com concentração máxima de  $528,71 \mu\text{g.g}^{-1}$  e mediana de  $424,83 \mu\text{g.g}^{-1}$ . As menores concentrações foram encontradas nas estações 6-D e 6-M, com os valores de todas as amostragens abaixo do limite de detecção do método (Figura 17).



**Figura 16:** Estatística descritiva das concentrações de PO do rio Botafogo. (E=margem esquerda; M=centro do rio; D=margem direita)



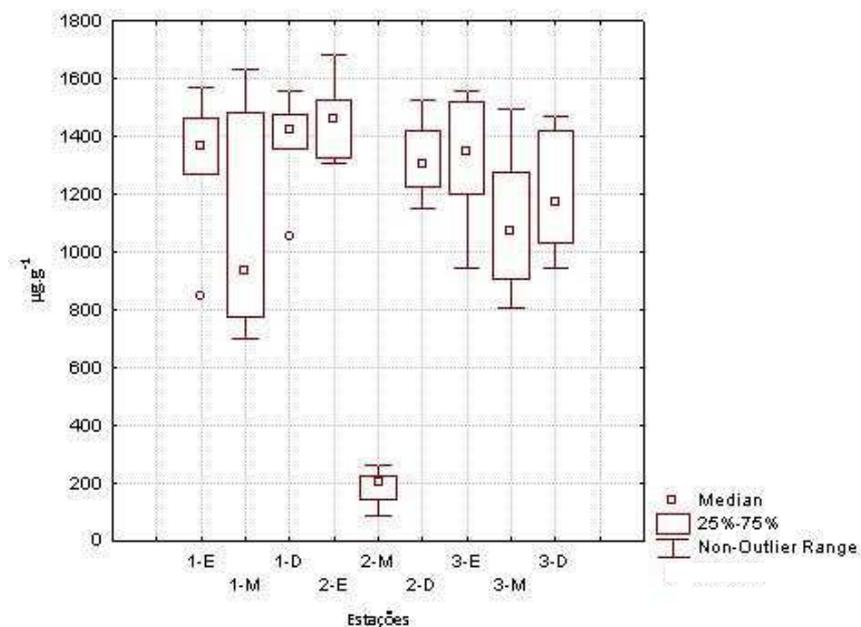
**Figura 17:** Estatística descritiva das concentrações de PO do canal de Santa Cruz e rio Carrapicho. (E=margem esquerda; M=centro do rio; D=margem direita)

#### 5.4 FÓSFORO TOTAL E PORCENTAGENS DAS FRAÇÕES DE FÓSFORO

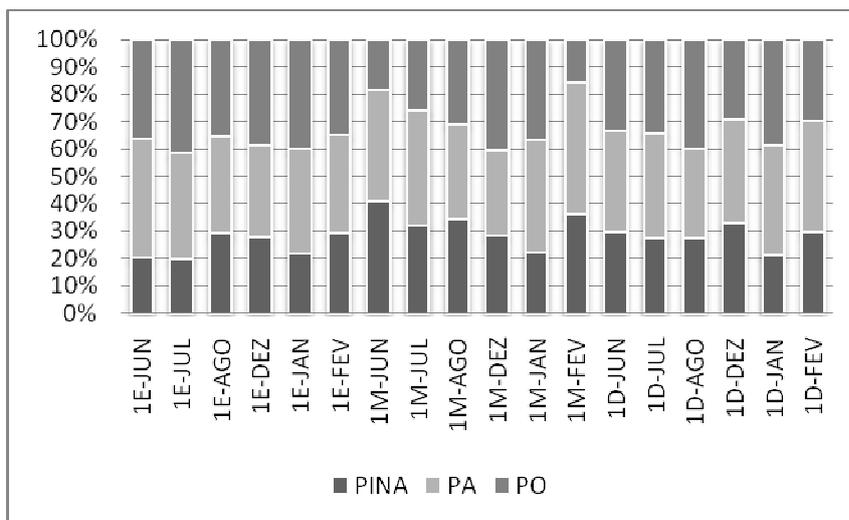
As estações do rio Botafogo, de uma forma geral, apresentaram as maiores concentrações de fósforo total. O fósforo inorgânico (PINA+PA) representou entre 60-70% do fósforo total das estações do rio Botafogo ao longo de todo período estudado, e o fósforo orgânico contribuiu com aproximadamente 30-40% do fósforo total. A estação 2-E apresentou a maior mediana para este rio, com valor de 1457,73  $\mu\text{g.g}^{-1}$  (Figura 18).

A fração do fósforo apatítico (PA) foi, de uma forma geral, superior à fração do PINA, com exceção do ponto de coleta 2-M, que possui a granulometria essencialmente composta por areia média e grossa (Figuras 19 e 20). Nesta estação, a fração do PINA, na maioria dos meses, predominou sobre as demais. Cabe destacar a estação 3, onde o PA foi responsável por mais de 40% do fósforo total, devido a uma menor contribuição relativa do PO (25-30%) nesta estação (Figura 21).

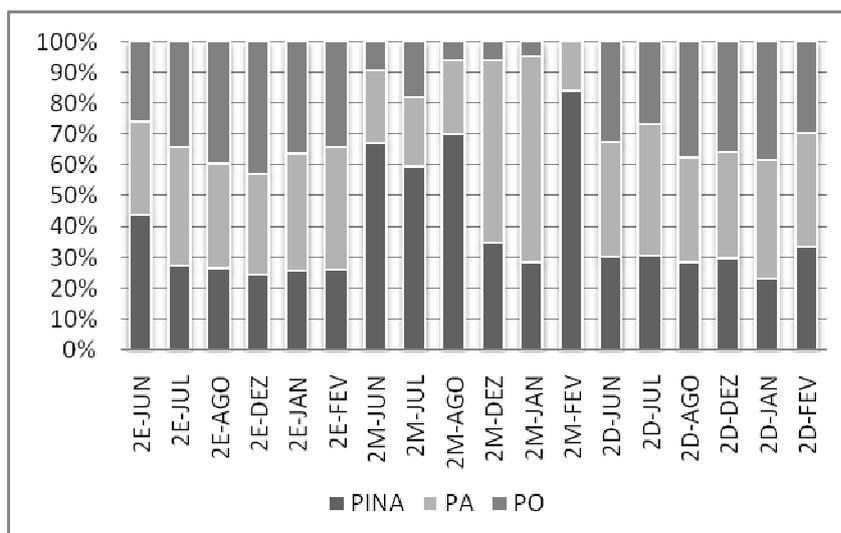
A contribuição da fração do fósforo inorgânico não apatítico (PINA), que representa a fração biodisponível do fósforo no sedimento, oscilou entre 20 e 30%. A soma do PINA+PO, que representa o fósforo potencialmente biodisponível, representou cerca de 60 a 65% do fósforo particulado presente nos sedimentos do rio Botafogo, com algumas exceções nas estações 2M e 3M.



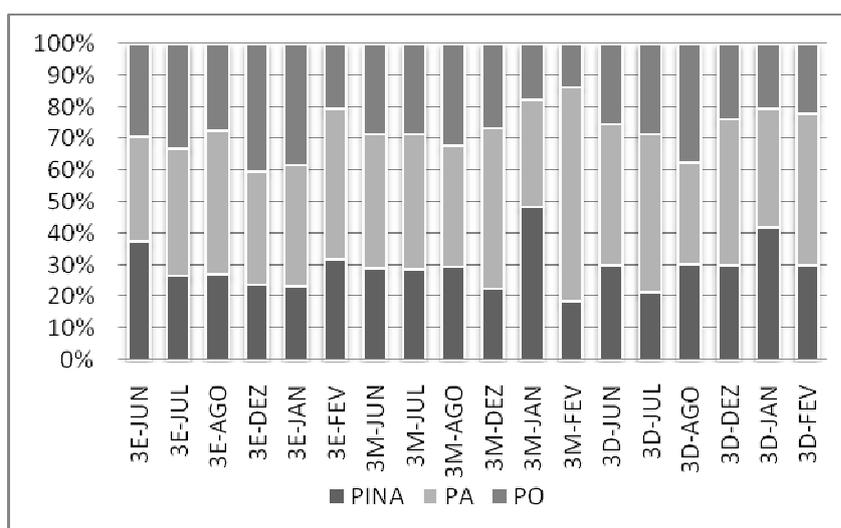
**Figura 18:** Estatística descritiva das concentrações de fósforo total do rio Botafogo. (E=margem esquerda; M=centro do rio; D=margem direita)



**Figura 19:** porcentagens das frações de fósforo da estação 1 (E=margem esquerda; M=centro do rio; D=margem direita).

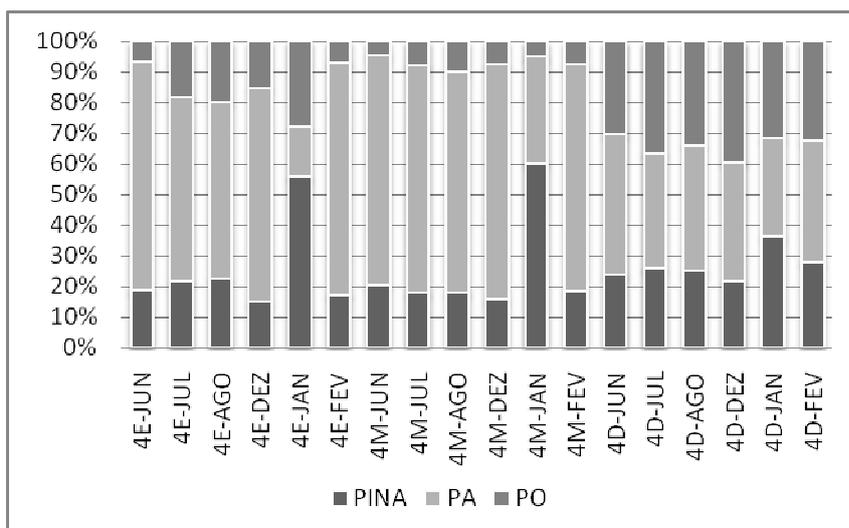


**Figura 20:** Porcentagens das frações de fósforo da estação 2. (E=margem esquerda; M=centro do rio; D=margem direita)



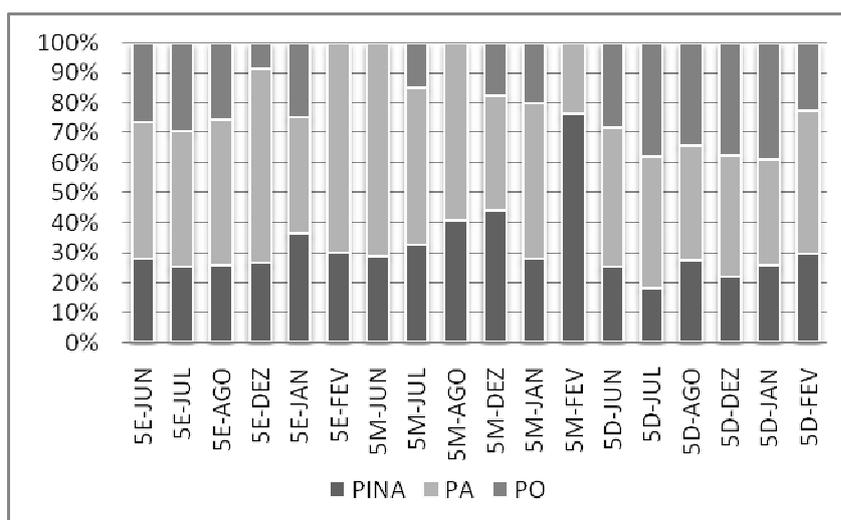
**Figura 21:** Porcentagens das frações de fósforo da estação 3 (E=margem esquerda; M=centro do rio; D=margem direita).

A estação 4 do canal de Santa Cruz apresentou predominância do PA sobre as demais frações de fósforo, representando entre 60 e 70%, nos pontos de coleta da margem esquerda e no centro do canal (Figura 22). Na margem direita essa porcentagem cai, e a contribuição do PA para o fósforo total é em torno de 40%, com o fósforo potencialmente biodisponível (PINA+PO) representando aproximadamente 60% do fósforo total, com predominância do PO sobre o PINA. A estação 4-D apresentou as maiores concentrações do fósforo total, com mediana para os dois períodos de  $1411,13\mu\text{g.g}^{-1}$ .



**Figura 22:** Porcentagens das frações de fósforo da estação 4 (E=margem esquerda; M=centro do rio; D=margem direita).

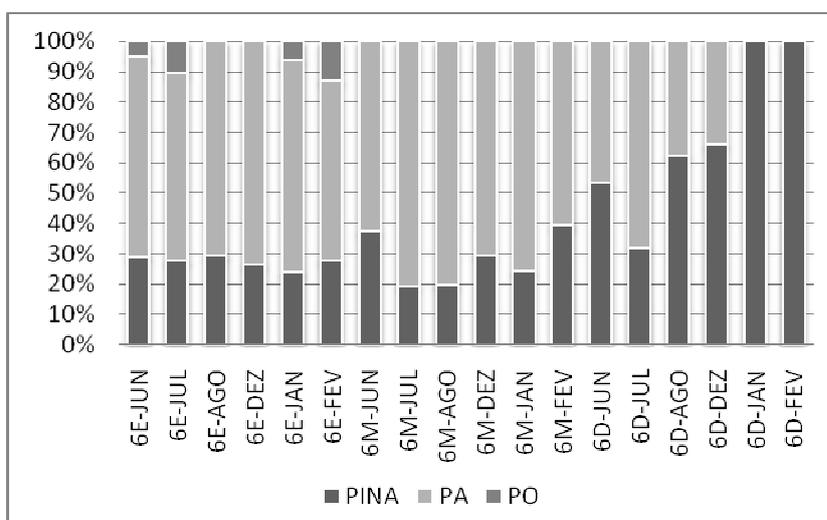
No rio Carrapicho, a fração de fósforo predominante foi o PA, responsável por aproximadamente 50% do fósforo total da estação 5-E e 5-M. A fração do PINA contribuiu com aproximadamente 25-35%. O ponto de coleta do centro do canal na estação 5 apresentou as menores porcentagens do fósforo orgânico; alguns valores foram abaixo do limite de quantificação do método. A margem direita apresentou as maiores porcentagens do PO na estação, aproximadamente 35%, e as menores do PINA, 25% (Figura 23).



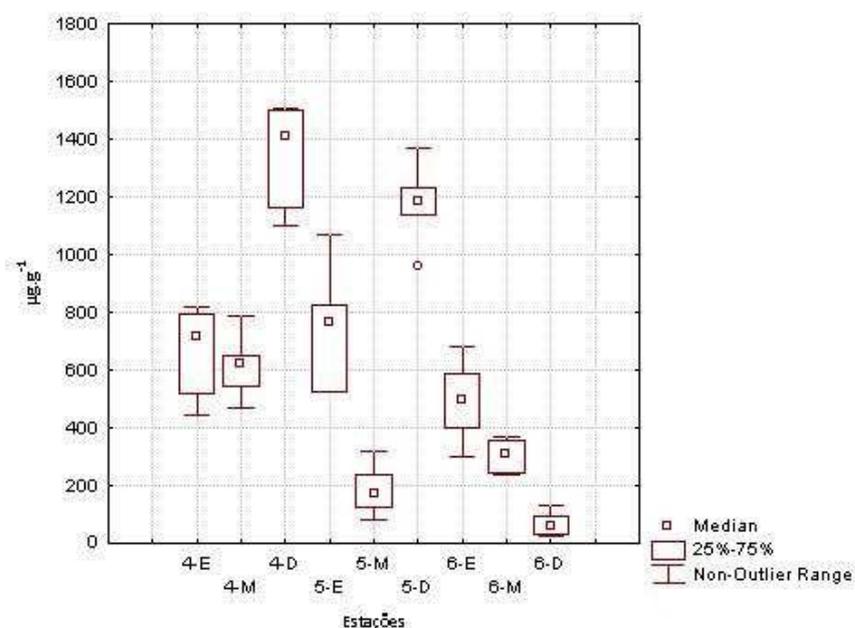
**Figura 23:** porcentagens das frações de fósforo da estação 5 (E=margem esquerda; M=centro do rio; D=margem direita).

As estações 6-E e 6-M apresentaram aproximadamente 20 a 30% do fósforo total representado pelo PINA, e entre 70 e 80% de fósforo apatítico (PA). A margem direita apresentou predominantemente a fração PINA. Nos meses de janeiro e fevereiro, as menores concentrações das frações PA e PO ficaram abaixo do limite de quantificação do método (Figura 24).

As concentrações de fósforo total no rio Carrapicho foram mais elevadas nas estações 5-D e 6-E, com medianas de 1187,39 e 499,80  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , respectivamente (Figura 25).



**Figura 24:** porcentagens das frações de fósforo da estação 6. (E=margem esquerda; M=centro do rio; D=margem direita)



**Figura 25:** estatística descritiva das concentrações de fósforo total nas estações do Canal de Santa Cruz e rio Carrapicho (E=margem esquerda; M=centro do rio; D=margem direita).

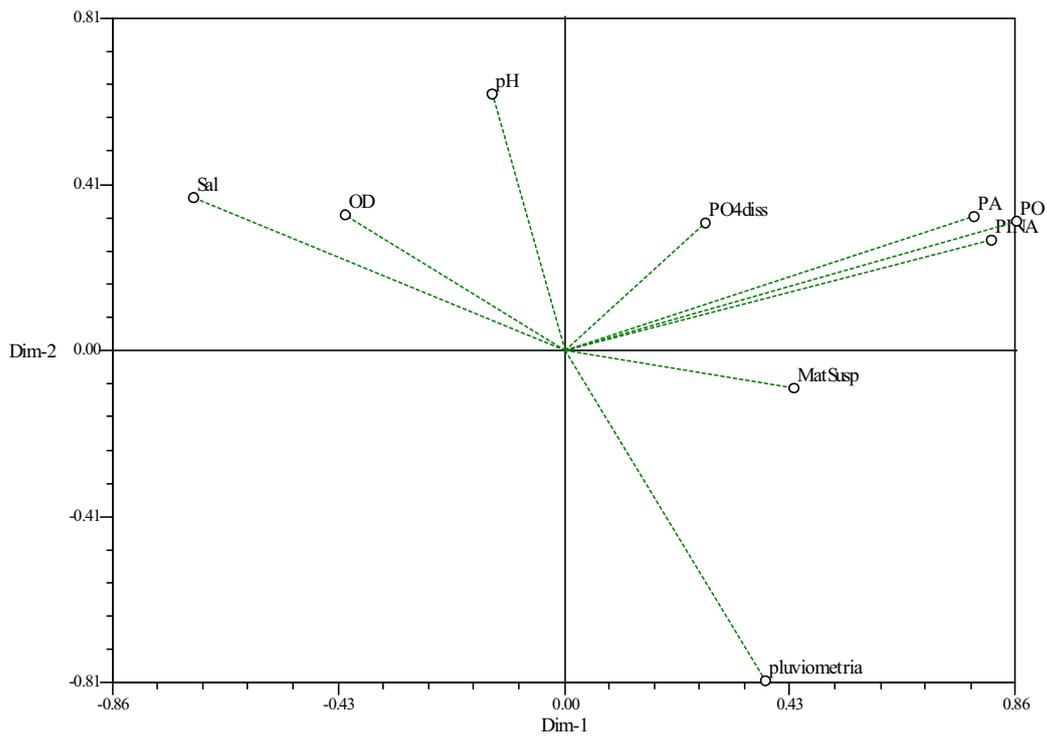
## 5.5 CONCENTRAÇÕES DE FÓSFORO E PARÂMETROS FÍSICOS E QUÍMICOS DA ÁGUA

As estações do rio Botafogo apresentaram as maiores concentrações das frações de fósforo, quando comparadas às estações do rio Carrapicho e Canal de Santa Cruz. Todas as frações do fósforo se relacionaram negativamente com a salinidade, indicando que as maiores concentrações de P no sedimento, estão nas estações de menor salinidade e que o material fosfático encontrado nos estuários dos dois rios tem origem continental (Tabela 2). O fosfato dissolvido na água tem uma correlação positiva maior com o fósforo apatítico e o orgânico (Tabela 2).

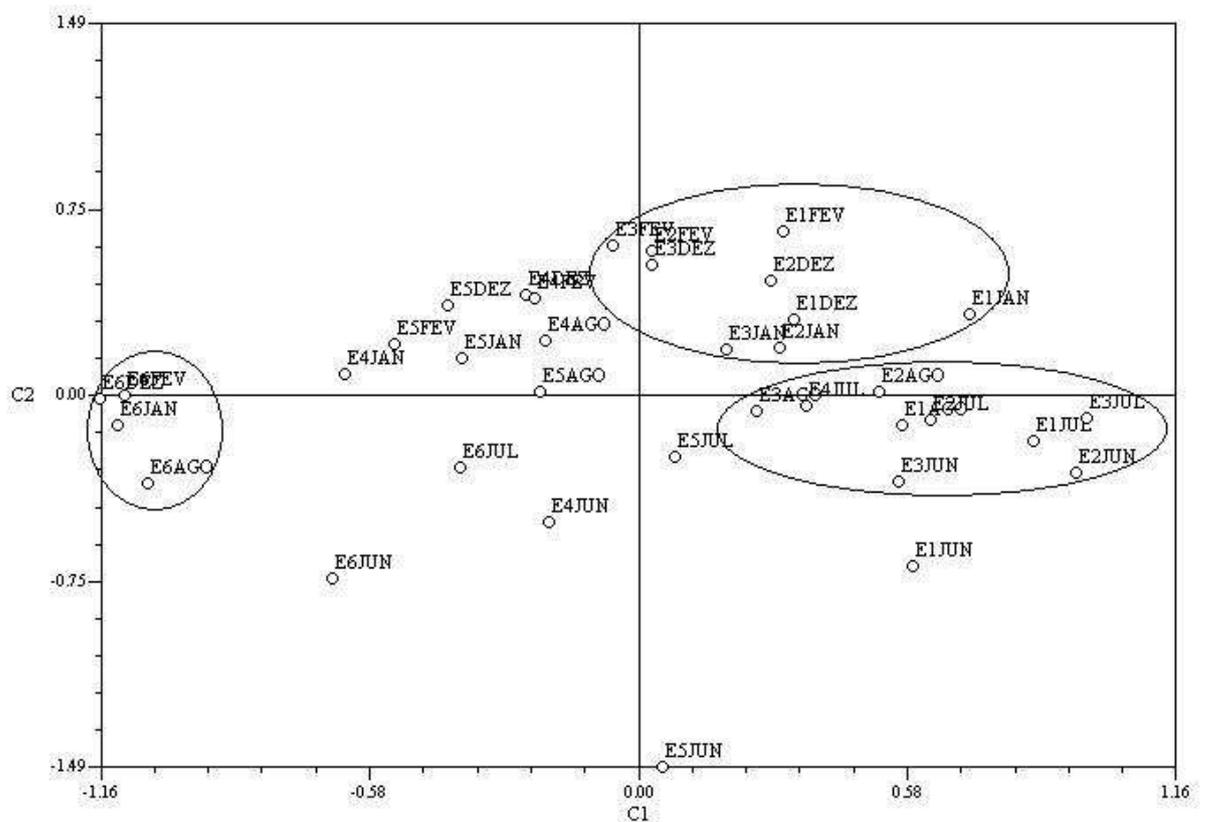
A análise de componentes principais, nos dois primeiros vetores, explica 53,18% da variância observada. O primeiro vetor explica 34,64% da variância total dos dados e correlaciona positivamente as frações de fósforo entre si, com o material em suspensão, fosfato dissolvido e pluviometria. Também demonstra correlação negativa entre as espécies de fósforo com a salinidade, pH e oxigênio dissolvido (Figura 26 e Tabela 3), indicando que as maiores concentrações estão nas estações que recebem menor influência da água salgada. É possível observar o agrupamento das estações 1, 2 e 3 próximas das concentrações de fósforo nos meses de verão; no inverno percebe-se a influência do material em suspensão nas estações do rio Botafogo. A estação 6 aparece isolada na maior parte das observações, pois apresentou as menores concentrações de todas as espécies de fósforo ao longo do ano (Figura 27).

**Tabela 2:** valores de r, produto da correlação de Pearson entre as frações de fósforo e os parâmetros físicos e químicos da água.

	PINA	PA	PO
PINA	1		
PA	<b>0.6239</b>	1	
PO	<b>0.8092</b>	<b>0.7340</b>	1
Salinidade	<b>-0.3914</b>	<b>-0.3581</b>	<b>-0.4842</b>
Oxigênio dissolvido	-0.2453	-0.1477	-0.2286
pH	-0.0158	0.0107	-0.0315
PO <sub>4</sub> dissolvido	0.0720	0.2217	0.1856
Material em suspensão	0.2733	0.2602	0.2295
pluviometria	0.0585	0.0647	0.0125



**Figura 26:** Análise dos componentes principais das frações de fósforo e dos parâmetros físicos e químicos da água.



**Figura 27:** Distribuição das estações de acordo com as concentrações das espécies de fósforo no sedimento e os parâmetros físicos e químicos da água.

**Tabela 3:** duas primeiras componentes da ACP entre as frações de fósforo e os parâmetros físicos e químicos da água.

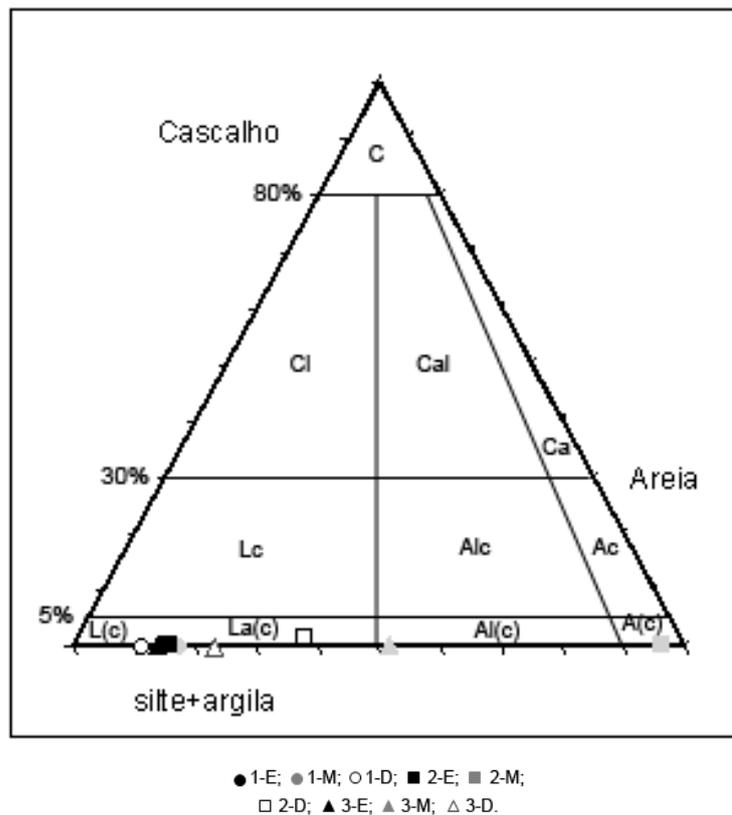
	C1	C2
PINA	<b>0.8144</b>	0.2704
PA	<b>0.7802</b>	0.3285
PO	<b>0.8630</b>	0.3169
Sal	<b>-0.7050</b>	0.3710
OD	<b>-0.4169</b>	0.3295
pH	-0.1368	<b>0.6262</b>
PO4diss	0.2682	0.3098
MatSusp	<b>0.4374</b>	-0.0904
pluviometria	0.3848	<b>-0.8029</b>

## 5.6 CONCENTRAÇÕES DE FÓSFORO E GRANULOMETRIA

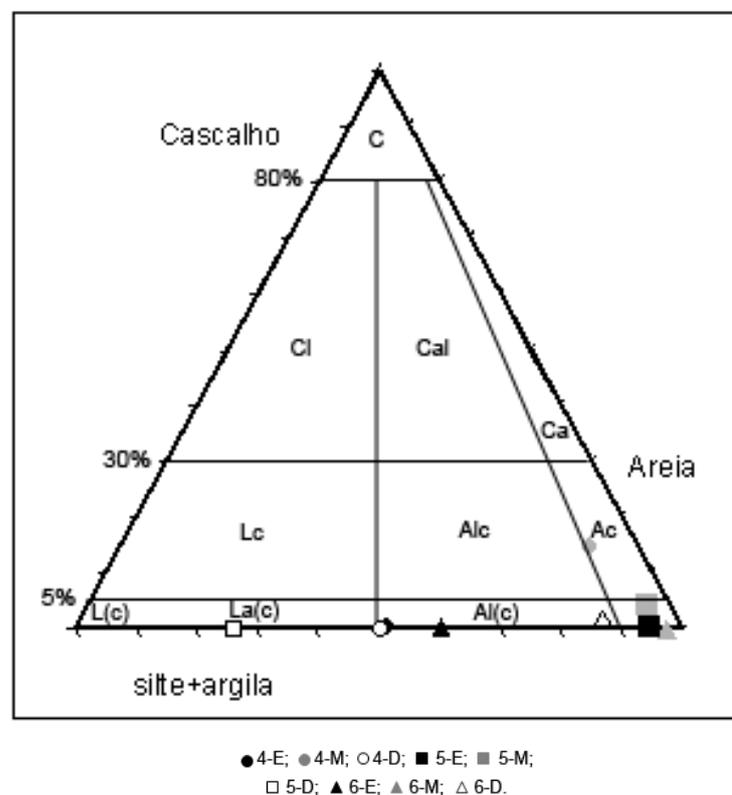
As amostras das estações localizadas no rio Botafogo apresentaram diferença significativa no conteúdo de sedimentos finos (silte-argila) quando comparadas com as do rio Carrapicho, segundo o resultado da ANOVA  $p = 0,0142$  (Apêndice 2).

A porcentagem da fração  $<0,062\text{mm}$  no rio Botafogo foi máxima na estação 1-D, com 88,46%, e mínima na estação 2-M, que apresentou 3,54% desta fração (Figura 28 e Apêndices 3 e 4). Das nove amostras coletadas no rio Botafogo, sete são enquadradas como compostas por lama e lama arenosa, e apenas a estação 2-M, próxima da foz do rio Arataca, é composta por areia ligeiramente cascalhenta, enquanto a estação 3-M, localizada na foz do rio Botafogo é composta por areia lamosa (Figura 28). Quanto ao grau de seleção, os sedimentos do rio Botafogo são moderadamente selecionados com exceção da estação 2-D que apresentou sedimento pobremente selecionado, a classificação textural e o grau de seleção estão resumidos no Apêndice 3.

As estações do canal de Santa Cruz e do rio Carrapicho apresentaram composição granulométrica essencialmente arenosa (Figura 29 e Apêndice 3). Apenas a estação 5-D é composta por lama arenosa moderadamente selecionada. As margens das estações 4, 5 e o ponto 6-M são compostos respectivamente por areia lamosa ligeiramente cascalhenta e areia ligeiramente cascalhenta, moderadamente selecionadas (Figura 29). Os pontos 4-M, 5-M e as margens da estação 6 foram classificados quanto ao grau de seleção como pobremente selecionados (Apêndice 3).



**Figura 28:** diagrama de Folk para as estações do rio Botafogo (E=margem esquerda; M= centro do rio; D= margem direita).

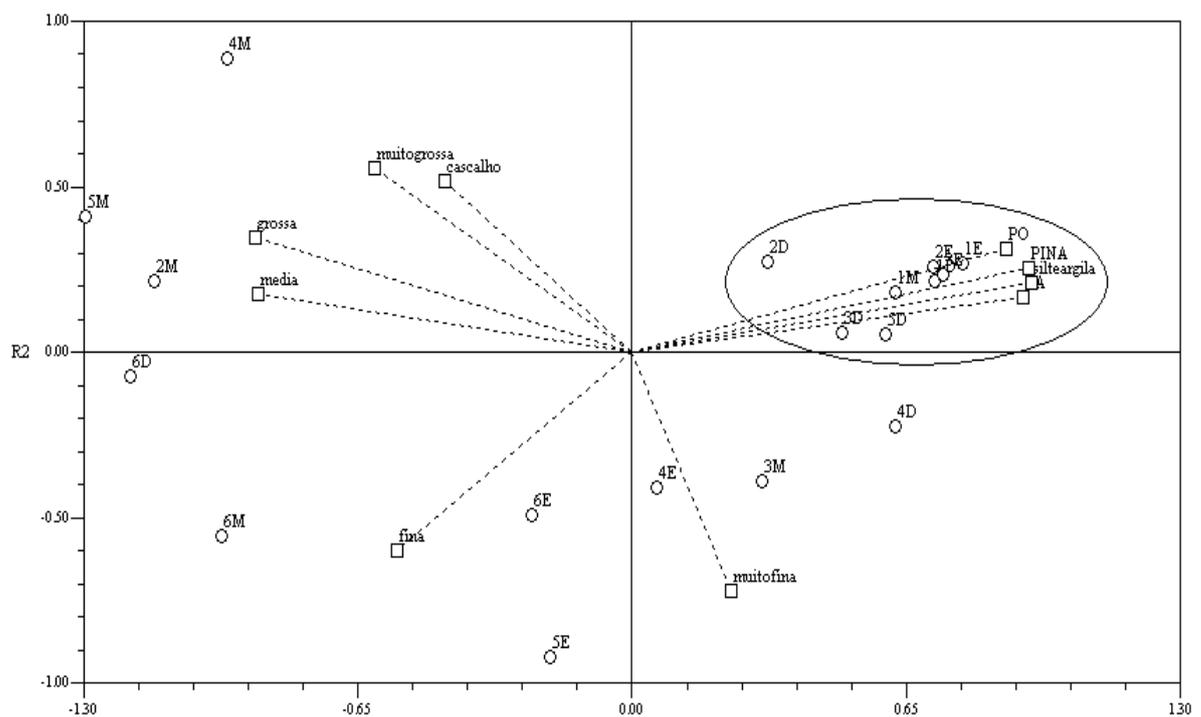


**Figura 29:** diagrama de Folk para as estações do canal de Santa Cruz e rio Carrapicho (E=margem esquerda; M= centro do rio; D= margem direita).

A maior porcentagem da fração <0,062mm foi encontrada na estação 5-D, com 74,01%; já a menor foi na estação 6-M, que recebe o rio Sirigi, com apenas 2,54% (Apêndices 3 e 4).

As concentrações de todas as espécies de fósforo estão relacionadas positivamente com a fração <0,062mm através da análise de correlação de Pearson ( $r = 0,9084$ ;  $0,8609$  e  $0,8898$ ) para o fósforo inorgânico não apatítico (PINA), inorgânico apatítico (PA) e orgânico (PO), respectivamente. A fração de areia muito fina <0,125>0,062 apresenta correlação positiva com o (PA)  $r = 0,2162$ , muito pouco com o (PINA)  $r = 0,0595$  e negativa com o PO,  $r = -0,0945$  (tabela 4).

O gráfico da análise de componentes principais demonstra a forte ligação da fração silte/argila com as espécies de fósforo e indica as estações onde as concentrações das espécies de fósforo estiveram mais elevadas. A estação 1, as margens das estações 2 e 3 no rio Botafogo e a estação 5 margem direita no rio Carrapicho aparecem bem agrupadas, com a estação 4D próxima desse grupo, no gráfico da ACP (Figura 30). Os dois primeiros vetores explicam 77,78% da variação observada. O primeiro vetor explica 59,33% da variação e correlaciona positivamente as espécies de fósforo entre si com o conteúdo de silte/argila.



**Figura 30:** Análise dos componentes principais da granulometria e as concentrações das espécies de fósforo no sedimento.

**Tabela 4:** Valores de r, produto da correlação de Pearson entre as espécies de fósforo e as frações granulométricas.

	PINA	PA	PO
PINA	1		
PA	<b>0.9317</b>	1	
PO	<b>0.9369</b>	<b>0.8203</b>	1
cascalho	-0.2479	-0.0968	-0.3338
muito grossa	-0.4017	-0.3926	-0.3948
grossa	-0.7519	-0.8334	-0.6469
media	-0.7924	-0.8655	-0.6724
fina	-0.6214	-0.5520	-0.6169
muito fina	0.0595	0.2162	-0.0945
silte/argila	<b>0.9084</b>	<b>0.8609</b>	<b>0.8898</b>

A análise de variância - ANOVA para as concentrações de fósforo, apresentou diferenças significativas para todas as frações de fósforo estudadas, entre os estuários dos rios Botafogo e Carrapicho,  $p < 0,05$  (Apêndice 2).

## 6 DISCUSSÃO

O Canal de Santa Cruz é uma região que recebe influência de vários rios e da água salgada que entra pelas barras de Orange e Catuama, sendo considerado um complexo estuarino, e funciona como um ambiente de transição para os sedimentos de origem continental trazidos pelo fluxo dos rios, cuja permanência na área irá depender da intensidade das forças hidrodinâmicas locais. A deposição de sedimentos em regiões estuarinas favorece o acúmulo de contaminantes e nutrientes, ligados às atividades antrópicas desenvolvidas nas bacias de drenagem dos rios.

O Canal de Santa Cruz por ser um “braço de mar”, recebe grande influência marinha, indicada pelos maiores valores de salinidade que foram registrados, sendo considerado um ambiente polihalino a euhalino.

O rio Botafogo está localizado mais distante da barra de Catuama, e recebe maior fluxo continental, apresentando um padrão de salinidade que variou de oligohalino a mesohalino no estuário superior, polihalino no estuário médio, e de polihalino a euhalino na foz. Formando um ambiente de dissipação de energia hidrodinâmica, através do encontro da água fluvial e marinha.

O rio Carrapicho é menos caudaloso que o Botafogo, e apresentou valores de salinidade que o caracterizam como polihalino a euhalino, indicando grande influência da água salgada que entra pela barra de Catuama, o que torna a área sujeita a uma maior energia hidrodinâmica dos ciclos diários das marés.

Na estação situada no Canal de Santa Cruz, os sedimentos foram compostos por aproximadamente 50% de areia e 50% de sedimentos finos nas margens, enquanto, no meio do canal, há o predomínio da areia cascalhenta, característica que indica maior energia hidrodinâmica em relação às margens.

O grau de seleção é um parâmetro que classifica os sedimentos de acordo com a maturidade textural, ele descreve as mudanças texturais que um sedimento sofre, desde a desagregação das rochas, erosão e transporte, até a deposição. O grau de seleção é

calculado como o desvio padrão da distribuição dos grãos em torno de um valor médio, através de ajuste matemático proposto por Folk e Ward (1957).

Nas margens do canal de Santa Cruz, próximo a barra de Catuama, os sedimentos são moderadamente selecionados, indicando moderado retrabalhamento a partir da rocha de origem, ou estão sedimentados há algum tempo, sob influência hidrodinâmica dentro do estuário. Já os sedimentos encontrados no meio do canal, são pobremente selecionados, imaturos, indicando um processo de sedimentação em ambiente de maior energia hidrodinâmica.

O rio Botafogo é composto principalmente por sedimentos finos, compostos por cerca de 80% de silte-argila ( $< 0,062\text{mm}$ ), indicando um local de menor energia hidrodinâmica, propício para o assentamento das partículas finas do sedimento. Devido a certa maturidade textural dos sedimentos, na maioria moderadamente selecionados, é provável que estejam longe da rocha de origem ou sujeitos à ação hidrodinâmica dentro da região estuarina, por conta de um maior tempo de residência no estuário do rio Botafogo.

Os sedimentos do rio Carrapicho são arenosos, a maioria apresenta aproximadamente 10% de silte-argila. A areia é moderadamente selecionada, com tendência a ser pobremente selecionada em direção à foz, que apresentou o sedimento composto pelas frações mais grossas de areia, indicando um ambiente de alta energia, de difícil sedimentação de partículas finas, composto por sedimentos pouco retrabalhados.

O fósforo apresenta uma tendência a acumular-se nos sedimentos das regiões estuarinas, em virtude da precipitação do fósforo particulado, com o aumento de salinidade e pH. Esse fato associado ao seu ciclo, que ocorre entre as rochas, a água e os seres vivos, com pouca contribuição de um componente gasoso, contribui para que o fósforo em sedimentos possa ser utilizado como parâmetro para se avaliar a entrada deste nutriente nos corpos hídricos por atividades antrópicas (Reddy *et al.*, 1999; Owens & Walling, 2002; Katsaounos *et al.*, 2007).

O fósforo é um nutriente limitante em águas continentais, que pode estar presente na forma dissolvida e/ou particulada na água. O fósforo particulado pode ser classificado basicamente em três formas, dependendo da sua disponibilidade e origem.

O fósforo biodisponível (PINA) é composto pelo fósforo reativo solúvel, e o fósforo ligado a óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, presos através de ligações iônicas nas superfícies dos colóides ou associados ao carbono orgânico. O fósforo apatítico (PA), que se encontra ocluso, ligado à estrutura cristalina dos minerais de cálcio, possui forte energia de ligação e é considerado pouco mobilizável. O fósforo orgânico (PO) é proveniente dos fosfolipídeos, fosfoproteínas, ATP, DNA, RNA, ácidos húmicos e mais uma série de compostos orgânicos provenientes da excreção e morte de animais, senescência de folhas, lançamentos de esgoto no corpo hídrico dentre outros. (Reddy *et al.*, 1999)

As maiores concentrações de fósforo total, biodisponível e orgânico estiveram diretamente relacionadas ao maior conteúdo silte-argila, devido aos processos de retenção dos fosfatos nas superfícies das partículas de sedimento através de ligações iônicas. Em partículas maiores, como as de areia, esses fosfatos são facilmente retirados pelas correntes de fundo em contato com o sedimento, que os remobilizam de volta para a coluna d'água, como observado por Andrieux *et al.* (2001) e Katsaounos *et al.* (2007).

A relação entre a retenção dos fosfatos e o tamanho das partículas do sedimento é bem estabelecida e está de acordo com os trabalhos de Carrol (1958); Parfitt (1989); Aller *et al.* (1986); Rao & Berner (1997) e Slomp *et al.* (1998), que evidenciam a importância dos processos superficiais nas partículas de sedimento. Os sedimentos finos compostos por silte-argila, carregados negativamente, se agregam através de ligação iônica na superfície das partículas, com cátions como  $K^+$ ,  $Na^+$  e  $NH_4^+$ , estabilizando as estruturas dos colóides, carregados positivamente ao final do processo. Por conta da sua estrutura e da grande área de superfície em relação à massa, os sedimentos ricos em silte-argila possuem uma forte tendência a atrair substâncias químicas presentes na água, como os íons fosfato. Dessa forma, as argilas e os colóides representam um importante papel no transporte e na transformação de resíduos biológicos, substâncias orgânicas, gases e outros poluentes na água (Manahan, 2005).

Quanto menor a partícula, maior a relação de área/volume e conseqüentemente a disponibilidade de sítios reativos específicos, possibilitando uma maior capacidade em reter moléculas de fosfatos no sedimento.

Para o fósforo apatítico, o tamanho da partícula de sedimento não é o fator principal na regulação do processo de retenção, uma vez que o fosfato está ocluído na matriz dos minerais sedimentados, como observado por Andrieux & Aminot (2001). Os resultados obtidos neste trabalho estão de acordo com os observados por este autor, pois foram encontradas concentrações consideráveis de fósforo apatítico na região do rio Carrapicho, composta pelas frações mais grossas dos sedimentos, que está sob influência da Formação Gramame, acarretando uma maior presença do fósforo apatítico em relação ao fósforo total nesta área.

O rio Botafogo apresentou as maiores concentrações de fósforo total, e de todas as frações de fósforo, principalmente na região à montante do estuário, que sofre maior influência do despejo de efluentes urbanos, agrícolas e das atividades de aquicultura. Estes resultados estão de acordo com o observado por Katsaounos *et al.*, (2007), que também relataram tal influência nas concentrações de fósforo total e orgânico do rio Louros, na Grécia.

No rio Carrapicho, as concentrações de fósforo total ficaram muito abaixo das encontradas no rio Botafogo, devido a uma menor presença de fontes pontuais e difusas, como efluentes domésticos e/ou agrícolas, que disponibilizam fósforo inorgânico (PINA+PA) para o ambiente, como observado por Katsaounos *et al.* (2007) e Smil, (2000). O fósforo orgânico, segundo estes autores, está pouco relacionado com as fontes pontuais e difusas, porém, neste trabalho, foi observada certa influência dessas fontes na distribuição espacial do fósforo orgânico na região de estudo, com as concentrações mais elevadas no estuário do rio Botafogo.

Além disso, existe uma diferença significativa no conteúdo de silte-argila entre os dois rios, sendo mais abundante no rio Botafogo que no Carrapicho. Na área deste estudo, o conteúdo da fração silte-argila foi o fator que mais influenciou na distribuição espacial das concentrações de fósforo nos sedimentos.

Isto fica bem evidente através da distribuição de fósforo na estação 2 do rio Botafogo, esta área recebe o aporte do rio Arataca, aumentando o fluxo de água doce, o que influencia a granulometria dos sedimentos no centro desta estação, que é composto por 96% de areia, e apresentou as menores concentrações de fósforo para este rio.

Na margem direita do estuário superior do rio Botafogo, foi registrada a maior mediana para o fósforo apatítico (PA) deste rio. Esse resultado indica a influência da presença de fontes contínuas de fósforo como lançamentos de efluentes domésticos e da lixiviação de ambientes agrícolas, com pouca variação sazonal das concentrações. Segundo Katsaounos *et al.*, (2007); Owens & Walling, (2002) e Smil, (2000), as fontes pontuais estão pouco relacionadas com o fósforo orgânico. Porém, nas estações do estuário superior e médio do rio Botafogo, também foram registradas as maiores concentrações de fósforo orgânico.

Os fosfatos lixiviados das plantações, provenientes de adubação, chegam aos rios em sua maior parte como PINA, fração biodisponível (Smil, 2000; Owens & Walling, 2002), que ao entrar em contato com a água salgada, pode induzir por afinidade iônica a troca do fosfato ligado a óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio por sais de cálcio, aumentando a contribuição do fósforo apatítico com o aumento da salinidade (Paludan & Morris, 1999; Owens & Walling, 2002).

As maiores concentrações de PINA foram registradas no rio Botafogo, na região do estuário superior, que está sob influência do fósforo lixiviado de solos agrícolas e de efluentes domésticos. Também foram encontradas altas concentrações na região do estuário médio e inferior, que estão sob influência das atividades desenvolvidas à montante do rio e aos efluentes da carcinicultura.

A foz do rio Botafogo, tanto nas margens quanto no meio do rio, apresentou maior porcentagem do fósforo apatítico (PA) em relação à concentração de fósforo total, em torno de 5% a mais no estuário inferior do que no superior. Acompanhado de um decréscimo na contribuição do fósforo orgânico em direção à foz, também em torno de 5%. Isto indica o processo de mineralização do fosfato orgânico ao longo do estuário do rio Botafogo.

Em ambientes poluídos, o fósforo orgânico de fácil degradação representa aproximadamente 5% do fósforo orgânico total, segundo o trabalho de Zhang *et al.* (2008), que comparou lagos sob diferentes condições de poluição na China. Esta porcentagem está compatível com os resultados obtidos neste trabalho para o rio Botafogo, onde foi possível observar uma diferença de 5% da contribuição de fósforo orgânico em relação ao apatítico em direção à foz.

A distribuição do fósforo orgânico lábil e moderadamente lábil é maior em áreas não poluídas, indicando que em áreas poluídas a composição das moléculas de fósforo orgânico é mais estável, principalmente ligada aos compostos húmicos, que levam mais tempo para serem remineralizados, como proposto Zhang *et al.* (2008) e Reddy *et al.* (1999).

A remineralização de alguns compostos de fósforo orgânico é muito lenta e ocorre gradualmente nas camadas subsuperficiais e anóxicas dos sedimentos, que não estão em contato com a coluna d'água, e dependem das condições de pH, potencial redox e, principalmente, da ação de fosfatases microbianas ou produzidas no sistema radicular de algumas plantas, para serem disponibilizados (Pettersson *et al.*, 1988; Lukkari *et al.*, 2007; Zhang *et al.*, 2007). Isto pode explicar a pequena taxa de redução do fósforo orgânico entre o estuário superior e inferior do rio Botafogo.

As áreas com maior quantidade de sedimentos arenosos apresentaram os valores menores de fósforo orgânico, como a foz do rio Carrapicho, com quase todos os resultados abaixo do limite de quantificação do método. Enquanto as concentrações obtidas nos outros pontos de coleta, compostos principalmente por sedimento arenoso, à montante do rio Botafogo, no canal de Santa Cruz e à montante do rio Carrapicho, foram significativas, com algumas exceções, indicando que a “matéria orgânica” pode encontrar-se associada às partículas maiores do sedimento, adsorvida ou em forma de biofilmes de bactérias, como proposto por Andrieux *et al.* (2001), Reddy *et al.* (1999) e Lukawska-Matuszewska & Bolalek (2008).

A foz do rio Carrapicho está mais afastada das fontes conhecidas de fósforo orgânico, além de apresentar maior energia hidrodinâmica resultante do fluxo das marés, e sedimento arenoso. Dessa forma, está menos sujeita ao aporte, e à permanência das moléculas de fósforo orgânico no sedimento do que o rio Botafogo, que apresentou as maiores concentrações dessa fração ao longo do período estudado.

Na estação situada no canal de Santa Cruz (E4), na margem esquerda e no meio do canal o fósforo apatítico representou maior percentual, entre 60-70%, em relação ao fósforo total. Apesar de a margem direita apresentar uma menor contribuição relativa do PA, foi ela o ponto de coleta com maior mediana das concentrações de fósforo apatítico, dentre todas as estações avaliadas.

A maior contribuição do fósforo apatítico em relação ao biodisponível e ao orgânico nas estações do Canal de Santa Cruz, rio Carrapicho e foz do rio Botafogo, além da alta concentração de PA no Canal de Santa Cruz estão ligadas, principalmente, com a localização próxima à barra de Catuama. O aumento da salinidade e do pH induzem a troca do fosfato ligado a óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio por sais de cálcio, aumentando assim a contribuição do fosfato apatítico nas estações com maior influência marinha (Paludan & Morris, 1999; Owens & Walling, 2002).

Isto foi observado nas estações com maior influência marinha no rio Carrapicho e Canal de Santa Cruz, onde o maior valor de oxigênio dissolvido nessas estações, também contribuiu para o aumento no tempo de permanência do fósforo apatítico no sedimento. Uma vez que a disponibilização do fósforo sedimentado para a coluna d'água está ligado a condições de anoxia e ambientes redutores, onde os microorganismos anaeróbicos irão atuar na mobilização das moléculas de fósforo entre as frações apatítica e biodisponível, como descrito nos trabalhos de Kim *et al.* (2003) e Lukkari *et al.* (2007).

A elevada concentração, nos sedimentos, de fósforo apatítico e total no ponto de coleta do Canal de Santa Cruz, próximo da barra de Catuama, foi influenciada pelo crescente aumento dos efluentes que aportam nos estuário dos rios Botafogo, Arataca e Congo, que deságuam no canal, e à crescente substituição das matas ciliares e do manguezal dos rios e estuários próximos, como nos rios Botafogo e Congo, para a implantação de agricultura e aquicultura. Esse processo causa o aumento nas concentrações de fósforo no ambiente e a diminuição do tempo de residência da água no estuário, intensificando o fluxo durante a baixa-mar, o que favorece a exportação do fósforo para a região marinha adjacente, como verificado por Salcedo & Medeiros (1995), Tappin (2002) e Pagliosa *et al.* (2005).

A diferença sazonal das concentrações de fósforo total, e das frações de fósforo, não foi significativa ( $p > 0,05$ ). Também não houve modificação nas proporções das frações de fósforo em relação ao fósforo total, durante o período estudado. Esses resultados estão de acordo com o encontrado por Berbel (2008), que relatou resultados semelhantes na avaliação sazonal do fósforo sedimentar no complexo estuarino de Cananéia – São Paulo.

Variações sazonais nas concentrações de fósforo são mais evidentes em regiões temperadas, onde a temperatura varia bastante entre o inverno e o verão. Quanto maior a

temperatura, maior a atividade microbiana e, conseqüentemente, maior a decomposição da matéria orgânica, disponibilizando fósforo inorgânico para os sedimentos e a coluna d'água nos períodos de verão, como relatado nos trabalhos de Kemmou *et al.* (2006), Vicente *et al.* (2003), Eckert *et al.* (2003), Owens & Walling (2002), House *et al.* (1998) e Smayda (1990), em estuários e lagos de regiões temperadas.

A pluviometria não apresentou relação direta com as concentrações de fósforo nos sedimentos, indicando que, apesar do período chuvoso estar relacionado a uma maior concentração de fosfato dissolvido na água, o maior fluxo de água doce ressuspende os sedimentos depositados e dificulta a deposição das partículas trazidas pelo rio, como relatado por Boynton & Kemp (2000) e Cerco (2000).

A correlação positiva entre as frações de fósforo e o material em suspensão, por não ser significativa, indica que as concentrações das espécies de fósforo nas áreas avaliadas, apesar de sofrerem influência do material em suspensão de origem continental recente, são principalmente oriundas da sedimentação gradual que ocorre ao longo dos anos.

Esse fenômeno dá-se através de processos de adsorção/dessorção, como a coprecipitação com a calcita, no caso do PA; da precipitação com o carbono orgânico dissolvido nos estuários, para o PINA; e da deposição de material vegetal e dos metabólitos finais produzidos por seres vivos, para o PO. Há ainda as fontes de fósforo conhecidas próximas das estações estudadas, como o lançamento de efluentes domésticos, cultivo de cana-de-açúcar com substituição da mata ciliar, e a carcinicultura, como observado nos trabalhos de Katsaounos *et al.* (2007), Lukkari *et al.* (2007), Owens & Walling (2002), Reddy *et al.* (1999) e House *et al.* (1998).

A baixa relação das concentrações de fósforo no sedimento com o fosfato dissolvido está de acordo com os resultados encontrados por Boynton & Kemp (2000) e Cerco (2000), que atribuíram esta relação, à quantidade e à velocidade das reações a que os fosfatos estão submetidos na coluna d'água. Além disso, o trabalho de Pagliosa *et al.* (2005), através da comparação de estuários poluídos e não poluídos em Santa Catarina, relata que em estuários poluídos a distribuição espacial do fósforo nos sedimento não apresentou relação com os parâmetros físico-químicos da água nem com a biomassa fitoplanctônica, enquanto nos rios não urbanizados essa relação foi evidente. Isso sugere que a região dos rios

Botafogo, Carrapicho e Canal de Santa Cruz está recebendo pressão das atividades antrópicas.

O fosfato apatítico apresentou a maior relação com o fosfato dissolvido, o que pode ser devido à contribuição dos fosfatos provenientes da Formação Gramame para a região de influência do canal de Santa Cruz, como anteriormente relatado por Macêdo & Costa (1982) e Passavante (1979). Porém, para se ter uma idéia real da contribuição dos fosfatos da Formação Gramame para esta área, são necessários estudos de fracionamento de fósforo no material em suspensão, para se tentar identificar as possíveis fontes que contribuem para a entrada de nutrientes no ambiente, como proposto por Walling *et al.* (2001) e Owens & Walling (2002).

As concentrações de fósforo total e fracionado, encontradas nos estuários dos rios Botafogo, Carrapicho e do Canal de Santa Cruz, são baixas quando comparadas aos resultados das concentrações obtidas através do protocolo SMT, em sedimentos de rios na região de Barcelona-Espanha, descritas por Pardo *et al.* (2004), e em outras regiões do país, como o rio Barbaña, que recebe efluentes industriais, domésticos e de agricultura; o estuário de Vigo, que também recebe influência de efluentes industriais próximos à cidade de Moaña; descritos no trabalho de Medeiros *et al.* (2005), que estão resumidos na Tabela 5.

**Tabela 5:** Concentrações de fósforo total e fracionado ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ ) em rios, estuários e lama de estação de tratamento de esgoto na Espanha, obtidos pelo protocolo SMT (sedimentos  $<0,062\text{mm}$ ).

	Pardo et al., 2004				Medeiros <i>et al.</i> , 2005.			rio Barbaña (RS)
	Amostras coletadas na região de Barcelona				Estuário de Vigo			
	B3/10/88	B3/12/86	B6/12/86	T5/12/85	(MS1)	(MS2)	(MS3)	
PT	3974	1915	13639	4166	8500	10200	5800	12000
PI	3383	1483	12107	3752	6100	7000	3700	7400
PO	266	127	778	332	2400	2800	2200	4900
PA	2146	1126	4929	1980	4100	3800	2300	4800
PINA	1007	329	6949	1657	2100	3100	1500	2300

Através da comparação entre os resultados descritos para rios na Espanha e os obtidos neste trabalho, pode-se identificar que a maioria dos valores de fósforo orgânico do trabalho de Pardo *et al.* (2004) são inferiores aos encontrados para a região estuarina dos rios Botafogo, Carrapicho e Canal de Santa Cruz, indicando que estas áreas recebem grande quantidade de matéria orgânica proveniente de diversas fontes, como dos mangues da região, que aumentam a concentração de nutrientes, da taxa de sedimentação e retenção

de partículas, resultando em aumento nas concentrações de fósforo no sedimento, podendo ser considerado um impacto positivo, e dos aportes via efluentes domésticos, agrícolas e da carcinicultura.

Quando comparadas as concentrações de fósforo total obtidas neste trabalho e as dos rios e estuários da Espanha, estas são menores, estando a distribuição relativa das frações de fósforo do rio Botafogo, próximas às dos sedimentos estuarinos MS1, MS2 e MS3. Esses resultados indicam que os impactos na região estuarina dos rios Botafogo, Carrapicho e Canal de Santa Cruz ainda são menores, quando comparados aos rios e estuários da Espanha, que recebem há muito mais tempo o impacto das atividades humanas, contribuindo para a degradação gradual da qualidade dos ambientes aquáticos.

Em países mais industrializados, o aumento das concentrações de fósforo está relacionado ao período de desenvolvimento urbano e agrário. Provavelmente esse aumento nas concentrações de fósforo é devido ao uso excessivo de fósforo na agricultura (Cloern, 2001). A agricultura é um dos principais fatores que afetam o fluxo do fósforo do continente para o mar. Estimativas mostram que o fluxo global de fósforo para o mar aumentou três vezes depois do desenvolvimento da agricultura (Howarth *et al.*, 1995).

No Brasil, os trabalhos que utilizam a metodologia do protocolo SMT são escassos. As concentrações obtidas no trabalho de Protazio *et al.* (2004), em sedimentos superficiais, no estuário considerado poluído do rio Bacanga - Maranhão, que está submetido a represamento, e as águas estão sendo utilizadas para a diluição de esgoto doméstico, apresentou teores de PT, PA, PINA e PO de 454,3; 101,7; 83,8 e 268,8  $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ , respectivamente, porém não foram informados dados sobre a granulometria das amostras. São valores baixos, principalmente das frações inorgânicas (PINA + PA), quando comparados aos valores encontrados nos rios Botafogo e Canal de Santa Cruz, uma vez que a região analisada neste trabalho recebe grande influência de fontes naturais e antrópicas de fósforo.

Mesmo sendo considerado poluído, o estuário do rio Bacanga apresentou concentrações de fósforo nos sedimentos compatíveis com as do rio Carrapicho e Canal de Santa Cruz, indicando que as diferenças entre diferentes estuários irão depender da origem das fontes (naturais ou antrópicas), da morfologia de cada estuário e da hidrodinâmica local.

Através da comparação dos resultados obtidos para a região estudada no presente trabalho, com os resultados obtidos por outros métodos analíticos no Brasil. Como o trabalho desenvolvido por Marins *et al.* (2007) no estuário do rio Jaguaribe, que utilizou a metodologia descrita por Berner & Rao (1994), onde os resultados variaram entre o mínimo de  $77,5 \mu\text{g.g}^{-1}$  e o máximo de  $157,1 \mu\text{g.g}^{-1}$ , com uma tendência de aumento das concentrações de fósforo total em direção à foz. Esses valores estão abaixo dos encontrados para todas as áreas abordadas neste estudo.

As concentrações de fósforo total em manguezais do litoral sul da Bahia, com menor histórico de fontes antrópicas de nutrientes, em estudo realizado por Silveira (1999), estão resumidas na Tabela 6. O método analítico empregado foi o de Ruttenberg (1992).

**Tabela 6:** Resultados dos valores médios e desvio padrão das concentrações de fósforo total ( $\mu\text{g.g}^{-1}$ ) no litoral sul da Bahia por Silveira (1999).

área	N	média	DP
Canavieiras	3	413,93	110,39
Cabralia	3	361,02	78,13
Caravelas	3	466,13	8,30
Conceição da Barra	3	536,86	60,46

Esses valores são inferiores aos encontrados no rio Botafogo e são aproximados apenas às concentrações de fósforo da foz do rio Carrapicho e canal de Santa Cruz.

Para a baía de Guanabara, no Rio de Janeiro, que recebe uma carga de esgotos domésticos de  $17\text{m}^3/\text{s}$ , o equivalente a uma carga orgânica de 465 toneladas diárias, as concentrações encontradas por Borges (2006), através da metodologia de Aspila *et al.* (1976), com valores médios ( $n=8$ ) de  $657 \mu\text{g.g}^{-1}$  na estação menos abrigada e  $974 \mu\text{g.g}^{-1}$  e  $1286 \mu\text{g.g}^{-1}$  nas estações próximas à vegetação de mangue.

A região da baía de Guanabara é bem diferente da abordada neste estudo, que é um estuário. Também se deve considerar a diferença nos padrões de circulação, temperatura da água, a presença de fontes naturais de fósforo e a metodologia utilizada.

A elevada concentração de fósforo total nas áreas avaliadas neste estudo é indicativa de aportes antrópicos e naturais de fósforo, visto que estuários poluídos possuem a

tendência de servir como depósitos de fósforo, enquanto estuários não poluídos atuam como fontes de fósforo para as águas costeiras adjacentes, como relatado por Pratska *et al.* (1998) e Reddy *et al.* (1999).

Estudos sobre a dinâmica do fósforo em lagos de países desenvolvidos identificaram um decréscimo nas concentrações de fósforo na água, após a remoção das fontes pontuais conhecidas de fósforo. No entanto, após certo tempo, as concentrações voltaram a subir, devido à influência das fontes difusas de fósforo, que mantiveram as concentrações elevadas na água. Essa manutenção das concentrações de fósforo na água foi atribuída à remobilização do fósforo sedimentado para a coluna d'água, através de processos de oxirredução, à atividade microbiana e ao potencial de equilíbrio das concentrações de fósforo que, ao diminuir a concentração na água, iniciou o processo de liberação do fósforo para a coluna de água, e não mais de retenção, do fósforo no sedimento, de acordo com os trabalhos de Zhou *et al.* (2000), Foy *et al.* (2003) e Reddy *et al.* (1999).

Levando isso em consideração, pode-se afirmar que o sedimento é uma fonte potencial de fósforo para o ambiente mesmo após cessarem os aportes conhecidos. Por estar sob influência de atividades econômicas consideradas de grande importância, esse ambiente demanda novos estudos sobre a quantificação e identificação dos aportes, da dinâmica e dos fluxos biogeoquímicos dos nutrientes. Esse tipo de trabalho, nesta e em outras regiões estuarinas tropicais, tem o intuito de compreender cada ambiente e auxiliar na proposta de medidas mitigatórias dos danos ambientais ligados a essas atividades, através da diminuição e reutilização de recursos, uma vez que o fósforo presente nos efluentes domésticos e de carcinicultura é o mesmo que o agricultor paga caro para aplicar na agricultura como fertilizante.

## CONCLUSÃO

1. O rio Botafogo apresentou as maiores concentrações de fósforo total, fósforo biodisponível e orgânico, em consequência de maiores aportes pontuais e difusos, como lançamento de efluentes e processos de lixiviação de solos agrícolas;
2. A composição dos sedimentos influenciou na distribuição das concentrações de fósforo, com as maiores concentrações registradas nos locais de maior teor de sedimentos siltico-argilosos;
3. A variação dos teores de fósforo total e fracionado, entre os rios Botafogo e Carrapicho, foi influenciada pela diferença significativa da granulometria dos sedimentos que constituem a região estuarina dos dois rios;
4. A baixa correlação das concentrações de fósforo nos sedimentos com os parâmetros físico-químicos da água indica que a região estudada está sob influência de aportes significativos de nutrientes oriundos de atividades antrópicas;
5. Todas as frações do fósforo se relacionaram negativamente com a salinidade, indicando que as maiores concentrações de fósforo no sedimento estão nas estações de menor salinidade e que o material fosfático encontrado nos estuários dos dois rios tem origem continental;
6. Nas áreas com maior salinidade e pH do Canal de Santa Cruz e rio Botafogo foram registradas as maiores porcentagens relativas de fósforo apatítico para a concentração de fósforo total;
7. Não houve variação sazonal significativa nas concentrações do fósforo total nem na porcentagem relativa das frações de fósforo na região avaliada;
8. As concentrações de fósforo nos sedimentos sofrem influência da composição das rochas e dos aportes resultantes das atividades antrópicas, sendo assim, o rio Botafogo apresentou indicativos de forte influência da ocupação urbana e agrícola no local.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLER, R. C., MACKIN, J. E., COX, R. T. **Diagenesis of Fe and S in Amazon inner shelf muds : apparent dominance of Fe reduction and implications for the genesis of ironstones.** Continental Shelf Research, v. 6 , p. 263-289, 1986.

AMINOT, A. & ANDRIEUX, F. **Concept and determination of exchangeable phosphate in aquatic sediments.** Water Research, v. 30, p. 2805 – 2811, 1996.

ANDRIEUX-LOYER, F. & AMINOT, A. **Phosphorus forms related to sediment grain size and geochemical characteristics in French coastal areas.** Estuarine Coastal and Shelf Science, v. 52, p. 617-629, 2001.

ANVISA. Guia de boas práticas de bioequivalência. Volume 1 / Módulo 2 – Etapa Analítica, 2002.

ASPILA, K. I., AGEMIAN, H., CHAU, A. S. Y. **A semi-automated method for the determination of inorganic, organic and total phosphate in sediments.** Analyst, v. 101, p. 187-197, 1976.

BAUMGARTEN, M.G.Z, ROCHA, J.M.B, NIECHENSKI, L.F. **Manual de análises em oceanografia química.** Rio Grande: FURG, 132 p. 1996.

BERBEL, G.B.B. **Estudo do fósforo sedimentar e de suas especiações químicas em dois sistemas costeiros e Plataforma Continental Sudeste (Brasil) e Baía do Akmirantado (região antártica) considerando suas relações biogeoquímicas.** 2008. Tese (Doutorado em Ciências, área de Oceanografia Química e Geológica)- Universidade de São Paulo – USP-SP, 2008.

BERNER, R.A. & RAO, J.-L. **Phosphorus in sediments of the Amazon river and estuaries: implications for the global flux of P to the sea.** Geochim. Cosmochim. Acta, v. 58, p. 2333-2339, 1994.

\_\_\_\_\_, R. A., K. C. RUTTENBERG, INGALL, E. D., RAO, J.-L. **The nature of phosphorus burial in modern marine sediments.** In: WOLLAST, R.; MACKENZIE, F. T.; CHOU, L. [eds.], **Interactions of C, N, P and S Biogeochemical Cycles and Global Change.** Springer Verlag, 1993, p. 365-378.

BORGES, A. de C. **Dinâmica do fósforo em sedimentos de manguezal em um gradiente de degradação da vegetação.** 66p. Dissertação (Mestrado em Geoquímica Ambiental) Universidade Federal Fluminense, 2006.

BOSTRÖM, B., JANSSON, M., FORSBERG, C. **Phosphorus release from lake sediments.** Arch. Hydrobiol. Beih. Ergeb. Limnol. v. 18, p. 5–59, 1982.

BOYNTON, W.R. & KEMP, W.M. **Influence of river flow and nutrient loads on selected ecosystem processes.** In: HOBBIÉ, J. E. (ed.). **Estuarine science: a synthetic approach to research and practice** Washington, DC. : Island Press, p. 269-298, 2000.

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

CARROLL, D. **The role of clay minerals in the transportation of iron.** Geochim. Cosmochim. Acta, v. 14, p. 1-27, 1958.

CARVALHO, P.V.V. da C. **Avaliação do Impacto dos efluentes na Carcinicultura sobre a comunidade de Macroinvertebrados Bentônicos em Área de Manguezal no Canal de Santa Cruz (Itamaracá – PE, Brasil).** 2004. 106p. Dissertação (Mestrado em Biologia Animal) – CCB- Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2004.

CERCO, C. F. **Chesapeake Bay eutrophication model.** In: HOBBIÉ, J. E. (ed.). *Estuarine science: a synthetic approach to research and practice* Washington, DC. : Island Press, 2000. p. 363-404.

CLOERN, J.E. **Our evolving conceptual modelo f the coastal eutrophication problem.** Marine Ecology Progress Series. v. 210, p. 223-253, 2001.

CORRELL, D. L. **The role of phosphorus in the eutrophication of receiving waters: A review.** Journal of Environmental Quality, Madison, v.27, p.261-266, 1998.

CPRH. **Relatório de Monitoramento de Bacias Hidrográficas do Estado de Pernambuco.** Cap. 3.1 2004. Disponível em <[HTTP://www.cprh.pe.gov.br/frme-index-secao.asp?idsecao=30](http://www.cprh.pe.gov.br/frme-index-secao.asp?idsecao=30)>. Acesso em: 05 Jan. 2009.

DNPM, **Balanço Mineral Brasileiro 2001.** Disponível em: <[http://www.dnpm.gov.br/mostra\\_arquivo.asp?IDBancoArquivoArquivo=361](http://www.dnpm.gov.br/mostra_arquivo.asp?IDBancoArquivoArquivo=361)>. Acesso em: 20, Dez. 2008.

ESTEVES, F.A. **Fundamentos de limnologia.** 2 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. 601p.

ECKERT, W., DIDENKO J., URI E., ELGAR D., **Spatial and temporal variability of particulate phosphorus fractions in seston and sediments of Lake Kinneret under changing loading scenario.** Hydrobiologia, v. 494, p. 223–229, 2003.

FLORES-MONTES, M.J. **Varição nictemeral do fitoplâncton e parâmetros hidrológicos no Canal de Santa Cruz, Itamaracá-PE.** 199p. Dissertação (Mestrado em Oceanografia Biológica) Universidade Federal de Pernambuco, CTG – UFPE. Recife, 1996.

\_\_\_\_\_, M.J. ; MACÊDO, S.j. ; L, K. M. ; LINS, I. C. **Varição nictemeral do fitoplâncton e elementos nutrientes no Canal de Santa Cruz, Itamaracá-PE-Brasil.** Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco, Recife-PE, v. 26, n. 1, p. 13-26, 1998.

FOLK, R.L. **The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary rock nomenclature.** In: SUGUIO, K. *Introdução à sedimentologia.* São Paulo: Edgard Blucher/Edusp, 1973. 317p.

\_\_\_\_\_, R.L. & WARD, W.C. **Brazos river bar : a study of significance of grain size parameters.** In: SUGUIO, K. **Introdução à sedimentologia.** São Paulo: Edgard Blucher/Edusp, 1973. 317p.

FOY, R.H., LENNOX, S.D., GIBSON, C.E. **Agriculture or urban? Changing perspectives on the importance of urban phosphorus inputs as the cause of enrichment of Lough Neagh.** Science of the Total Environment, v. 310, p. 87-99, 2003.

FROELICH, P.N., BENDER, M. L., LUEDTKE, N. A., HEATH, G. R., DEVRIES, T. **The marine phosphorus cycle.** American Journal of Science v. 282, p. 474-511, 1982.

GEBHARDT, A.C.; SCHOSTER, F.; GAYE-HAAKE, B.; BEESKOW, B.; RACHOLD, V.; UNGER, D.; ITTEKOT, V. **The turbidity maximum zone of the Yenisei River (Siberia) and its impact on organic and inorganic proxies.** Estuarine, Coastal and Shelf Science. v.65, p. 61-73, 2005.

GOLTERMAN, H. L. **Phosphate release from anoxic sediments or “What did Mortimer really write?”** Hydrobiologia, v. 450, p. 99–106, 2001

\_\_\_\_\_, H. L. **Fractionation and bioavailability of phosphates in lacustrine sediments: a review.** Limnetica, v. 20, p. 15–29, 2000.

\_\_\_\_\_, H. L. **The labyrinth of nutrient cycles and buffers in wetlands: results based on research in the Camargue (Southern France).** Hydrobiologia, v. 315, p. 39–58, 1995.

GRAHAM, D.J., MIDGLEY, N.G. **Graphical representation of particle shape using triangular diagrams: an Excel spreadsheet method.** Earth Surface Processes and Landforms, v. 25, n.13, p. 1473-1477, 2000.

HOUSE, W. JICKELLS, T., EDWARDS, A., PRASKA, K., DENISON, F. **Reactions of phosphorus with sediments in fresh and marine waters.** Soil use and Management v. 14, p. 139-146, 1998.

HOWARTH, R.W., JENSEN, H.S., MARINO, R., POSTMA, H. **Transport to and processing of P in near-shore and oceanic waters.** In: TIESSEN, H. (Ed.), **Phosphorus en the global Environment.** Chichester: John Wiley and Sons, p. 323-345, 1995.

JAHNKE, R.A. **O ciclo do fósforo.** In: BUTCHER, S.S; CHARLSON, R.J.; ORIAN, G.H.; WOLFE, G.V. **Global Biogeochemical Cycles.** Academic press, 1992. p. 301-313.

JARVIE, H.P., JURGENS, M.D., WILLIAMS, R.J., NEAL, C., DAVIES, J.J.L., BARRETT, C., WHITE, J. **Role of river bed sediments as sources and sinks of phosphorus across two major eutrophic UK river basins: the Hampshire Avon and Herefordshire.** Journal of Hydrology, v. 304, p. 51–74, 2005.

JIN, X., WANG, S., PANG, Y., WU, F. C. **Phosphorus fractions and the effect of pH on the phosphorus release of the sediments from different trophic areas in Taihu Lake, China.** Environmental Pollution, v. 139, p. 288-295, 2006.

KATSAOUNOS, C. Z., GIOKAS D. L., VLESSIDIS A. G., KARAYANNIS M. I. **Identification of longitudinal and temporal patterns of phosphorus fractionation in river sediments by non-parametric statistics and pattern recognition techniques.** *Desalination*, v. 213, p. 311–333, 2007.

KEMMOU, S., DAFIR, J., WARTITI, M., TAOUFIK M. **Seasonal Variations and Potential Mobility of Sediment Phosphorus in the Al Massira Reservoir, Morocco.** *Water Qual. Res. J. Canada*, v. 41, n. 4, p. 427-436, 2006.

KEMPF, M. **Nota preliminar sobre os fundos costeiros da região de Itamaracá (Norte do Estado de Pernambuco, Brasil).** *Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco*. v. 9/11, p. 95-110, 1970.

KIM, L., CHOI, E., STENSTROM M. K. **Sediment characteristics, phosphorus types and phosphorus release rates between river and lake sediments.** *Chemosphere*, v. 50, p. 53–61, 2003.

KOSKI-VÄHÄLÄ, J. & HARTIKAINEN, H. **Assessment of the risk of phosphorus loading due to resuspended sediment.** *Journal of Environmental Quality*, Madison, v. 30, p. 960-966, 2001.

LUKAWSKA-MATUSZEWSKA, K. & BOLALEK, J. **Spatial distribution of phosphorus forms in sediments in the Gulf of Gdank (southern Baltic Sea).** *Continental Shelf Research*, v. 28, p. 977-990, 2008.

LUKKARI K., HARTIKAINEN, H., LEIVUORI, M. **Fractionation of sediment phosphorus revisited. I: Fractionation steps and their biogeochemical basis.** *Limnology and Oceanography: Methods*. v. 5, p. 433–444, 2007.

MABESOONE, J.M., ALHEIROS, M.M., **Notas explicativas dos mapas. Recife, UFPE.** In: **Revisão geológica da faixa sedimentar costeira de Pernambuco, Paraíba e parte do Rio Grande do Norte.** Série B: Estudos e Pesquisas, v.10, p. 21-31, 1991.

MACÊDO, S. J. de, MONTES, M. de J. F. & LINS, I. C., **Características abióticas da área.** In: H. M. BARROS, E. ESKINAZI-LEÇA, S. J. MACÊDO & T. LIMA (eds.), **Gerenciamento participativo de estuários e manguezais.** Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2000. p. 7-25.

\_\_\_\_\_, S.J. & COSTA, K.M.P. **Estudo ecológico da região de Itamaracá, Pernambuco-Brasil. XXIII. Condições hidrológicas do estuário do Rio Botafogo.** *Trabalhos Oceanográficos da Universidade Federal de Pernambuco*, Recife, v.17, p. 81-122, 1982.

\_\_\_\_\_, S.J. **Fisioecologia de alguns estuários do Canal de Santa Cruz, (Itamaracá-PE).** 1974. 121p. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Geral) Departamento de Fisiologia Geral do Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

MANAHAN, S.E. **Environmental Chemistry**, 8 ed. Boca Raton: CRC Press, 2005. 816p.

MANSO, V.A.V., LIMA FILHO, M.F., OLIVEIRA, A.T. **Macrozoneamento costeiro do Litoral de Pernambuco – Folha Itamaracá – SB.25-Y-C-VII**. Relatório técnico. Recife, 1992. Laboratório de Geologia e Geofísica Marinha – LGGM. Dept. de Engenharia de Minas – DEMINAS – UFPE/CPRH.

MARINS, R. V., FILHO, F. J. DE P., ROCHA, C. A. S. **Geoquímica de fósforo como indicadora de qualidade ambiental e dos processos estuarinos do rio Jaguaribe – costa nordeste oriental brasileira**. Química Nova, v. 30, n. 5, p. 1208-1214, 2007.

MEDEIROS, C. & KJERFVE, B. **Hydrology of a tropical Estuarine System: Itamaracá, Brazil**. Estuarine, Coastal Shelf Science. v. 36, p. 495-515, 1993.

MEDEIROS, J. J. G., CID, B. P., GÓMEZ, E. F. **Analytical phosphorus fractionation in sewage sludge and sediment samples**. Anal. Bioanal. Chem., v. 381, p. 873–878, 2005.

MELO, A.A.S. **Nutrientes dissolvidos e biomassa primária nos estuários dos rios Botafogo e Carrapicho – PE**. 2007. 93p. (Mestrado em Oceanografia Química) Universidade Federal de Pernambuco, CTG – UFPE. Recife, 2007.

MMA. **Ministério do Meio Ambiente**. Macrodiagnóstico da Zona Costeira do Brasil, Brasília, 1996. 277p.

MUROLO, P.P. de A. **Utilização da maiofauna bentônica no monitoramento de cultivo do camarão *Litopenaeus vannamei***. 2005. 72p. Dissertação (Mestrado em Biologia Animal) Universidade Federal de Pernambuco – CCB – UFPE. Recife, 2005.

MURPHY, I. & RILEY, S.P. **A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters**. Analytica Chimica Acta. v. 27, p. 31-36, 1962.

ODUM, W. E, MCIVOR, C.C., SMITH, T.J., **The ecology of the mangroves of south Florida: a community profile**. U.S. Fish and Wildlife Service, Office of Biological Services, Washington, D.C. FWS/OBS - 81/24, 144p, 1982.

ODUM, E.P. **Fundamentos de ecologia**. 4. Ed. Lisboa: Fundação Calouste Gulbekian, 1971. 937p.

OWENS, P.N., WALLING, D.E. **The phosphorus content of fluvial sediment in rural and industrialised river basins**. Water Research, v. 36, p. 685-701, 2002.

PAGLIOSA, P. R., FONSECA, A., BOSQUILHA, G., BRAGA, E., BARBOSA, F. **Phosphorus dynamics in water and sediments in urbanized and non-urbanized rivers in Southern Brazil**. Marine Pollution Bulletin, v. 50, p. 965-974, 2005.

PALUDAN, C., MORRIS, J. T. **Distribution and speciation of phosphorus along a salinity gradient in intertidal marsh sediments**. Biogeochemistry, v. 45, p. 197-221, 1999.

PANT, H. K. & REDDY, K. R. **Phosphorus sorption characteristics of estuarine sediments under different redox conditions.** Journal of Environmental Quality, Madison, v.30, p.1474-1480, 2001.

PARDO, P., RAURET, G., LÓPEZ-SÁNCHEZ J.F. **Shortened screening method for phosphorus fractionation in sediments A complementary approach to the standards, measurements and testing harmonised protocol.** Analytica Chimica Acta, v. 508, p. 201–206, 2004.

\_\_\_\_\_, P., RAURET, G., LOPEZ-SANCHEZ, J.F. **Analytical approaches to the determination of phosphorus partitioning patterns in sediments.** Journal of Environmental Monitoring, v. 5, p. 312–318, 2003.

PARFITT, R.L. **Phosphate reactions with natural allophane, ferrihydrite, and goethite.** Journal of Soil Science, v. 40, p. 359–369, 1989.

PASSAVANTE, J.Z.O. **Produção primária do fitoplâncton do Canal de Santa Cruz (Itamaracá-Pernambuco).** 1979. Tese. 171p. (Doutorado em Oceanografia Biológica) Universidade de São Paulo – Instituto Oceanográfico. São Paulo, 1979.

PELLEGRINI, J. B. R. **Fósforo na água e no sedimento na microbacia hidrográfica do Arroio Lino – Agudo – RS.** 2005. Dissertação. 85p. (Mestrado em Ciências do Solo) Universidade Federal de Santa Maria – RS. Santa Maria, 2005.

PETTERSSON, K., BOSTRÖM, B., JACOBSEN, O.-S. **Phosphorus in sediments: speciation and analysis.** Hydrobiologia, v. 170, p. 91-101, 1988.

PRASTKA, K., SANDERS, R., JICKELS, T. **Has the role of estuaries as sources or sink of dissolved inorganic phosphorus changed over time? Results of a Kd study.** Marine Pollution Bulletin v. 36, p. 718–728, 1998.

PROTAZIO, L., TANAKA, S. M.C. N., CAVALCANTE, P. R. S. **Avaliação de procedimentos de extração sequencial de fósforo em sedimento.** Analytica, n. 8, p.35-41, 2004.

RAO, J.-L., BERNER, R.A. **Time variations of phosphorus and sources of sediments beneath the Chang Jiang (Yangtze River).** Marine Geology, v. 139, p. 95-108, 1997.

REDDY, K.R.; KADLEC, R.H.; FLAIG, E.; GALE., P.M. **Phosphorus retention in streams and wetlands: A review.** Critical Reviews in Environmental Science and Technology, v. 29, p. 83–146, 1999.

REYNOLDS, C. S. **Metabolic sensitivities of lacustrine ecosystems to anthropogenic forcing.** Aquatic Science, v. 61, p. 183–205, 1999.

RIDGWAY, J.R.; SHIMMIELD, G. **Estuaries as Repositories of Historical Contamination and their impact on Shelf Seas.** Estuarine Coastal and Shelf Science, v. 55, p. 903-928. 2002.

RUTTENBERG, K. C. **Development of a sequential extraction method for different forms of phosphorus in marine sediments.** *Limnology and Oceanography*, v. 37, p. 1460-1482, 1992.

SALCEDO, I.H.; MEDEIROS, C. **Phosphorus transfer from tropical terrestrial to aquatic systems – mangroves.** In: TIESSEN, H. (Ed.), **Phosphorus in the global Environment.** Chichester: John Wiley and Sons, 1995. p. 347-362.

SHARPLEY, A. N.; SMITH, S. J.; JONES, O. R. **The transport of bioavailable phosphorus in agricultural runoff.** *Journal of Environmental Quality*, Madison, v. 21, p. 30-35, 1992.

SILVEIRA, I.M.O. **Phosphor in den Sedimenten der brasilianischen Mangroven- und Schelfgebiete zwischen 15°S und 20°S.** 1999. Tese (Doutorado em Geociências) Universidade de Hamburgo – Departamento de Geociências. Hamburgo, 1999. Disponível em: [www.sub.uni-hamburg.de/opus/volltexte/1999/96/html/index.htm](http://www.sub.uni-hamburg.de/opus/volltexte/1999/96/html/index.htm).

SLOMP, C.P., MALSCHAERT, J.F.P, VAN RAAPHORST, W. **The role of adsorption in sediment-water exchange of phosphate in North Sea continental margin sediments.** *Limnology and Oceanography*, v. 43, n. 5, p. 832-846, 1998.

SMAYDA, T. **The influence of lime and biological activity on sediment pH, redox and phosphorous dynamics.** *Hydrobiologia*, v.192, p. 191-203, 1990.

SMIL, V. **Phosphorus in the environment: Natural Flows and Human Interferences.** *Annual Review of Energy and the Environment*, v. 25, p. 53-88, 2000.

STRICKLAND, J. D. H. & PARSONS, T. R. **A manual of seawater analysis.** *Bull. Fish. Res. Board of Can.* v. 125, p. 1-205, 1972.

SUGUIO, K. **Introdução à Sedimentologia.** São Paulo: Edgard Blucher/Edusp, 317p, 1973.

TAPPIN, A.D. **An examination of the fluxes of nitrogen and phosphorus in temperate and tropical estuaries: Current estimates and uncertainties.** *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v.55, p. 885-901, 2002.

VICENTE, I. DE., SERRANO, L., AMORES, V., CLAVERO, V., CRUZ-PIZARRO, L. **Sediment phosphate fractionation and interstitial water phosphate concentration in two coastal lagoons (Albuferas de Adra, SE Spain).** *Hydrobiologia*, v. 492, p. 95–105, 2003.

WALLING, D.E., RUSSELL, M.A., WEBB, B.W. **Controls on the nutrient content of suspended sediment transported by British rivers.** *The Science of the Total Environment*. v. 266, p.113-123, 2001.

WATANABE, F.S., OLSEN, S.R. **Test of an ascorbic acid method for determining phosphorus in water and NaHCO<sub>3</sub> extracts from soil.** Soil Science Society Proceedings, v. 29, p. 677-678, 1965.

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

YÁÑEZ-ARANCIBIA, A. **Ecologia de La zona costeira.** México: A.G.T Editor, 1986. 189p.

ZHANG, T.; WANG, X.; JIN, X. **Variations of alkaline phosphatase activity and P fractions in sediments of a shallow Chinese eutrophic lake (Lake Taihu).** Environmental Pollution, v. 150, p. 288-294, 2007.

ZHANG, R.; WU, F.; LIU, C.; FU, P.; LI, W.; WANG, L.; LIAO, H.; GUO, J. **Characteristics of organic phosphorus fractions in different trophic sediments of lakes from the middle and lower reaches of Yangtze River region and Southwestern Plateau, China.** Environmental Pollution, v. 152, p. 366-372, 2008.

ZHOU, Q.X., GIBSON, C.E., FOY, R.H. **Long-term Changes of nitrogen and phosphorus loadings to a large lake in north-west Ireland.** Water Research, v. 34, n. 3, p. 922-926, 2000.

## APÊNDICES

**Apêndice 1:** resultados da ANOVA entre as médias das concentrações dos períodos seco e chuvoso das espécies de fósforo.

	<b>Fontes de variação</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F =</b>	<b>(p) =</b>
<b>PINA</b>	Tratamentos	1	796.732	796.732	0.0443	0.8289
	Erro	34	611.75 e+03	17992.76		
<b>PA</b>	Tratamentos	1	922.099	922.099	0.0311	0.8552
	Erro	34	100.74 e+04	29630.12		
<b>PO</b>	Tratamentos	1	256	256	0.006	0.9368
	Erro	34	145.65 e+04	42839.62		

**Apêndice 2:** resultados da ANOVA entre as concentrações das frações de fósforo e conteúdo de silte-argila dos rios Botafogo e Carrapicho.

	<b>FONTES DE VARIÇÃO</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>QM</b>	<b>F =</b>	<b>(p) =</b>
<b>PINA</b>	Tratamentos	1	137.50 e+03	137.50 e+03	14.8682	0.0023
	Erro	13	120.22 e+03	9247.88		
<b>PA</b>	Tratamentos	1	135.43 e+03	135.43 e+03	5.507	0.0338
	Erro	13	319.71 e+03	24593.35		
<b>PO</b>	Tratamentos	1	280.02 e+03	280.02 e+03	8.9669	0.0101
	Erro	13	405.97 e+03	31228.54		
<b>% silte- argila</b>	Tratamentos	1	6103.041	6103.041	7.8897	0.0142
	Erro	13	10056.11	773.547		

**Apêndice 3:** Classificação textural e grau de seleção dos sedimentos dos rios Botafogo, Carrapicho e canal de Santa Cruz.

(E=margem esquerda; M= meio do rio; D= margem direita)

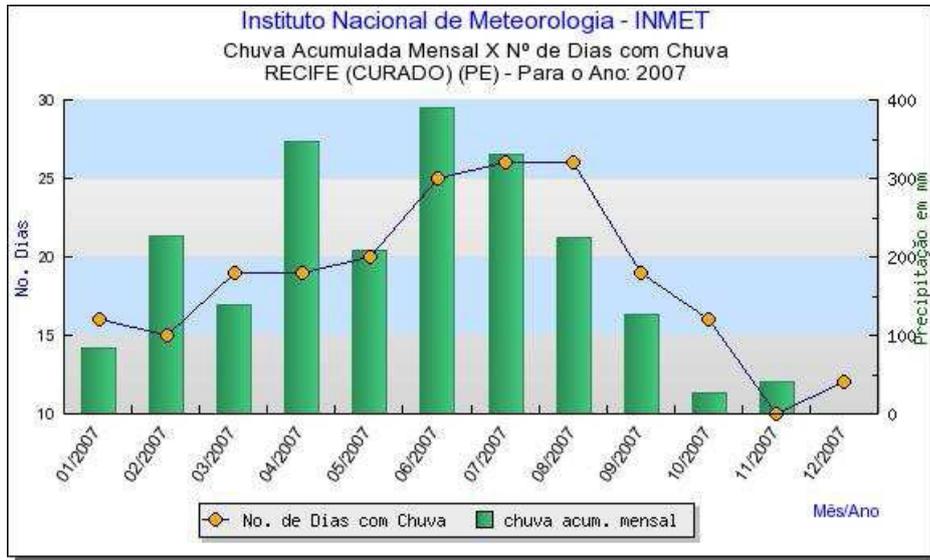
	<b>Estação</b>	<b>Classificação textural</b>	<b>Grau de seleção</b>
Rio Botafogo	1-E	Silte grosso	Moderadamente selecionado
	1-M	Silte grosso	Moderadamente selecionado
	1-D	Areia muito fina	Moderadamente selecionado
	2-E	Silte grosso	Moderadamente selecionado
	2-M	Areia média	Moderadamente selecionado
	2-D	Areia muito fina	Pobrememente selecionado
	3-E	Silte grosso	Moderadamente selecionado
	3-M	Areia muito fina	Moderadamente selecionado
	3-D	Silte grosso	Moderadamente selecionado
Canal de Santa Cruz	4-E	Areia muito fina	Moderadamente selecionado
	4-M	Areia grossa	Pobrememente selecionado
	4-D	Areia muito fina	Moderadamente selecionado
Rio Carrapicho	5-E	Areia muito fina	Moderadamente selecionado
	5-M	Areia média	Pobrememente selecionado
	5-D	Silte grosso	Moderadamente selecionado
	6-E	Areia muito fina	Pobrememente selecionado
	6-M	Areia média	Moderadamente selecionado
	6-D	Areia média	Pobrememente selecionado

**Apêndice 4:** Resultado do peneiramento úmido segundo a metodologia proposta por Suguio, 1973.  
(E=margem esquerda; M= meio do rio; D= margem direita)

Estações	cascalho >2mm	areia					lama <0,062	
		muito	grossa	grossa	média	fina		muito fina
		<2>1	<1>0,5	<0,5>0,25	<0,25>0,125	<0,125>0,062		
Rio Botafogo	1-E	0	0.13	0.87	3.5	3.98	6.35	85.17
	1-M	0	0.26	1.81	3.15	6.25	6	82.53
	1-D	0	0.18	0.7	0.98	2.76	6.92	88.46
	2-E	0.29	0.22	1.11	4.32	4.86	5.26	83.94
	2-M	0.4	2.01	32.08	57.77	3.77	0.43	3.54
	2-D	1.63	3.09	5.92	10.04	10.86	7.49	60.97
	3-E	0.33	0.2	0.74	1.88	3.21	7.55	86.09
	3-M	0.42	0.29	0.73	2.03	9.76	38.78	47.99
	3-D	0	0.52	1.85	3.18	4.93	12.54	76.98
Canal de Santa Cruz	4-E	0.45	0.31	2	5.76	8.4	34.57	48.51
	4-M	14.79	10.51	24.21	27.43	9.64	5.42	8
	4-D	0	0.14	1.12	2.34	4.78	41.82	49.8
Rio Carrapicho	5-E	1.96	0.41	0.47	0.72	32.29	52.1	12.05
	5-M	4.63	12.65	26.23	30.56	18.38	3.69	3.86
	5-D	0	0.1	1.71	3.04	3.7	17.44	74.01
	6-E	0.31	0.33	3.04	12.3	21.11	23.42	39.49
	6-M	0.12	0.62	13.1	35.95	43.02	4.65	2.54
	6-D	0.33	1.46	31.3	42.3	16.63	2.42	5.56

ANEXOS

**ANEXO A:** Gráfico da chuva acumulada mensal x Número de dias com chuva, do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, para o ano de 2007.



**ANEXO B:** Gráfico da chuva acumulada mensal x Número de dias com chuva, do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, para o ano de 2008.

