UNIVERSIDADE DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE TECNOLOGIA E CIÊNCIAS
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE OCEANOGRAFIA E HIDROLOGIA

EDUARDO FRANKLIN CYPRIANO

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE MERCÚRIO NOS SEDIMENTOS DO COMPLEXO LAGUNAR DA BAIXADA DE JACAREPAGUÁ (RJ).

Rio de Janeiro – RJ
2009

EDUARDO FRANKLIN CYPRIANO

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE MERCÚRIO NOS SEDIMENTOS DO COMPLEXO LAGUNAR DA BAIXADA DE JACAREPAGUÁ (RJ).

Monografia apresentada ao Curso de Oceanografia do Instituto de Geociências da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, como requisito final para obtenção do grau de Bacharel em Oceanografia.

Orientador: Msc. DANIEL DIAS LOUREIRO

Professor Responsável: Prof. Dr. JOSÉ LAILSON BRITO JR.

Rio de Janeiro – RJ

2009

FICHA CATALOGRÁFICA

CYPRIANO, EDUARDO FRANKLIN.

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE MERCÚRIO NOS SEDIMENTOS DO COMPLEXO LAGUNAR DA BAIXADA DE JACAREPAGUÁ (RJ).

Rio de Janeiro, RJ – Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ, Instituto de Geociências, Departamento de Oceanografia e Hidrologia, 2009.

Monografia: Bacharelado em Oceanografia.

1. Mercúrio
2. Sedimentos
3. Complexo Lagunar da Baixada de Jacarepaguá, RJ
4. Geoquímica

I. Universidade do Estado do Rio de Janeiro – Instituto de Geociências – Faculdade de Oceanografia e Hidrologia.
II. TÍTULO

EDUARDO FRANKLIN CYPRIANO

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE MERCÚRIO NOS SEDIMENTOS DO COMPLEXO LAGUNAR DA BAIXADA DE JACAREPAGUÁ (RJ).

Monografia apresentada ao Curso de Oceanografia do Instituto de Geociências da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, como requisito final para obtenção do grau de Bacharel em Oceanografia.

Aprovado em 06 de Agosto de 2009

BANCA EXAMINADORA

_____

Prof. Dr. MARCOS ANTONIO DOS SANTOS FERNANDEZ
Universidade do Estado do Rio de Janeiro – Instituto de Geociências – Departamento de Oceanografia e Hidrologia

_____

Prof. Dr. RENATO CAMPELLO CORDEIRO
Universidade Federal Fluminense – Instituto de Química – Departamento de Geoquímica

_____

Prof. Dr. WILSON THADEU DO VALLE MACHADO
Universidade Federal Fluminense – Instituto de Química – Departamento de Geoquímica

Rio de Janeiro, RJ.
2009

“A minha família que sempre me apoiou em todos os momentos de minha vida, pelo aprendizado da humildade e pelo exemplo de amor e fé “.

AGRADECIMENTOS

A Deus.

À Natureza por existir e sempre me fascinar com suas maravilhas.

Aos Familiares

A minha querida mãe por todo amor, sempre me apoiando em todos os momentos de minha vida.

Ao meu avô Antônio que com sua sabedoria e conversas sempre despertou meu interesse pelas ciências;

A minha avó Laura por todo carinho.

As minhas irmãs Michele e Cristina pelo companheirismo.

Ao José Roberto pela confiança e incentivo em muitas de suas conversas.

Ao meu pai Ricardo, “Mãe” Leide e minha irmã Bárbara por todo apoio mesmo estando longe.

Aos Mestres

Ao grande Amigo e Orientador **Daniel Dias Loureiro**, pela iniciação aos estudos biogeoquímicos ambientais, apoio, incentivo, paciência, e por acreditar no meu potencial. Sem sua presença este trabalho não se realizaria.

Ao Professor Luiz Drude de Lacerda por confiar em meu orientador para realização deste trabalho, apoio, e utilização do laboratório de análises na Geoquímica da UFF.

Ao Professor Marcos Fernandez pelas conversas, amizade, esclarecimentos e empréstimos de materiais para a coleta.

Ao Professor Renato Campelo pelo empréstimo de equipamentos e materiais de suporte para a realização da coleta, e à utilização de seu laboratório para análises granulométricas

Ao Professor Marcelo Bernardes pelo empréstimo de equipamentos para realização da coleta.

Ao professor José Lailson Brito Jr. pela seriedade e responsabilidade junto a este trabalho, representando à UERJ.

Aos Amigos

Ao Marco Aurélio Paes pelo empréstimo do bote, motor e apoio.

Ao Pescador “Francês” pelas limpezas e manutenção do motor.

Aos amigos Soyla e Fernando pela participação em todas as etapas da coleta.

A Clarissa Lourenço primeiramente pelo grande apoio nas análises laboratoriais, e em seguida pela grande amizade construída.

Agradecimentos especiais aos amigos, também oceanógrafos, que incentivaram, motivaram e também criticaram ou alertaram através de “puxões de orelha” a importância de finalizar este trabalho. Tomás (To+), Tiago Miranda (Tiagão), Maria Antônia e Patrice, Tatiana Sciamarella (Tati), Carol, Camilinha, Gustavo e Mariana Oliveira (White Couple), Elaine, Natália, Gustavo Calderuccio, Fabio Mayo.

A todos os amigos e colegas da UERJ que ajudaram nesta caminhada

Apoio Técnico-Científico

Este estudo contou com o apoio do Projeto Milênio Proc. No. CNPq 420-050/2005-1.

“It is not possible to manage the marine environment, nor is it possible to predict the effects of any and every human activity on marine ecosystems. But it is possible to take pragmatic steps to protect the marine environment from excessive exploitation and damage.”

Royal Commission on Environmental Pollution, 2004.

RESUMO

O conhecimento da geoquímica de mercúrio em sedimentos nas lagoas costeiras permite avaliar alterações ambientais às quais estes ambientes estiveram ou estão submetidos, além de fornecer subsídios para trabalhos de monitoramento de impacto ambiental e medidas de intervenção. A Baixada de Jacarepaguá está situada na costa oeste do Estado do Rio de Janeiro e possui um Complexo Lagunar formado pelas lagoas de Jacarepaguá, Camorim, Tijuca e Marapendi. O crescimento da urbanização sem infra-estrutura adequada e outras atividades antrópicas modificaram por completo as características naturais do sistema lagunar, afetando sua qualidade ambiental, devido à descarga de rejeitos domésticos e industriais em seus corpos hídricos. Os objetivos deste estudo foram (i) avaliar a distribuição de mercúrio (Hg) nos sedimentos do sistema lagunar de Jacarepaguá, bem como seu comportamento a partir da influência de parâmetros como pH e Eh, Granulometria e Matéria Orgânica, e (ii) identificar as áreas preferenciais de acumulação deste elemento no sistema. Para tanto, foram realizadas cinco campanhas de amostragem de sedimento, com intuito de atingir uma maior representatividade do sistema lagunar, tendo sido coletadas 62 amostras da camada superficial (0–2 cm). Parâmetros físico-químicos tais como pH e Eh foram medidos *in situ.* No laboratório, foram obtidas as concentrações totais de mercúrio através do método de absorção atômica, o teor de matéria orgânica através da método gravimétrico, e a análise granulométrica foi determinada a partir do sedimentográfo CILAS 1064L. Os resultados indicaram que o Complexo Lagunar de Jacarepaguá tem características de um ambiente fortemente redutor, bem como revelam que os sedimentos superficiais deste sistema lagunar constituem uma fonte potencial de poluição de Hg.

ABSTRACT

Knowledgement on the geochemistry of mercury in coastal lagoon sediments allows for the evaluation of past and current environmental changes in addition, provides information for environmental monitoring and intervention actions. The Jacarepaguá costal plan are located in the western portion of the State of Rio de Janeiro. It includes a large coastal lagoon system comprising by the lagoons of Jacarepaguá, Camorim, Tijuca, and Marapendi. The urban development lacking the necessary infra-structure has modified the characteristics of the lagoon system completely, affecting its environmental quality due to sewage and industrial discharges. The objective of this study were: (i) to evaluate the distribution of mercury (Hg) in the lagoon's sediments and (ii) to identify the preferential areas of accumulation. Five field campaigns were conducted in order to obtain a large coverage of the system and 62 surface sediment (0–2 cm) samples were collected. Physico-chemical parameters such as pH and Eh were measured using conventional methods at real time (in-situ). At lab were obtained the total concentration of mercury by atomic absorption, organic mather content was determined by gravimetric method, and granulometry was characterized through CILAS 1064 L. Results indicated a choked type of lagoon and potential source of mercury to entire lagoon system.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1.1 – Diagrama conceitual do comportamento da atividade dos organismos em relação ao aumento da concentração de metais essenciais (A) e não essenciais (B). (Adaptado de Förstner & Wittmann, (1981)) **9**

FIGURA 1.4.1.1 – Ciclo biogeoquímico do mercúrio adaptado para os sistemas lagunares. (Adaptado de Lacerda, 1997; Tena, 1981 *apud* Ayres, 2004; Paraqueti, 2005) **16**

FIGURA 3.1 – Localização da área de estudo – Baixada de Jacarepaguá **23**

FIGURA 3.2 – Bacias e Sub-bacias hidrográficas da cidade do Rio de Janeiro. (Fonte: IPP – Instituto Municipal de Urbanismo Pereira Passos / Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, 2008) **25**

FIGURA 3.3 – Variação de Temperatura e Pluviosidade no período de 1976 a 1985. (Fonte: Laeta, 2008) **26**

FIGURA 3.1.1 – Formação do Complexo Lagunar de Jacarepaguá (Fonte Maia,1984) **28**

FIGURA 3.3.1 – Batimetria do Complexo Lagunar de Jacarepaguá. (Fonte: Adaptada de Rosman, 2002. – PENO 3393– COPPE/UFRJ) **33**

FIGURA 4.1.1 – Localização das estações de coleta **38**

FIGURA 4.1.2 – Imagem da embarcação utilizada nas campanhas **41**

FIGURA 4.1.3 – Sensores de pH e Eh utilizados em campo **41**

FIGURA 4.1.4 – Amostrador de fundo Ekman (montagem pré-lançamento) **42**

FIGURA 4.1.5 – Verificação da Integridade do sedimento (pós-lançamento) **42**

FIGURA 4.1.6 – Amostra sedimentar dentro do amostrador Ekman **42**

FIGURA 4.1.7 – Amostra sedimentar fora do amostrador Ekman **43**

FIGURA 4.2.1 – Procedimentos de tratamento e análise das amostras **44**

FIGURA 4.2.1.1 – Amostras submetidas ao Agitador Mecânico **45**

FIGURA 4.2.1.2 – Peneira 0,420 mm **46**

FIGURA 4.2.1.3 – Software “The Particle Expert V: 5.12” **46**

FIGURA 4.2.3.1 – (a) Estufa; (b) Graal para maceração; (c) Balança de precisão **48**

FIGURA 4.2.3.2 – Analisador Bacharach – COLEMAN-50 D **49**
FIGURA 5.1.1.1 – Distribuição espacial de pH obtidos no sistema lagunar **53**
FIGURA 5.1.2.1 – Distribuição espacial de Eh obtidos no sistema lagunar **56**
FIGURA 5.2.1- Distribuição Espacial do Teor de matéria orgânica (M.O) no sistema lagunar **60**
FIGURA 5.3.1 – Triângulo de Shepard, apresentando as características sedimentares do CLJ **65**
FIGURA 5.3.2- Frações granulométricas nas estações da Lagoa de Jacarepaguá **66**
FIGURA 5.3.3- Frações granulométricas nas estações da Lagoa da Tijuca **67**
FIGURA 5.3.4- Frações granulométricas nas estações da Lagoa de Marapendi ... **67**
FIGURA 5.3.5- Distribuição Espacial granulométrica no sistema lagunar **68**
FIGURA 5.4.1- Distribuição Espacial de mercúrio total (HgT) no sistema lagunar **71**
FIGURA 5.4.2 – Concentração de HgT no Complexo Lagunar (**CLJ**) em função da distância do Canal da Joatinga **72**
FIGURA 5.4.3 – Concentração de HgT na **Lagoa de Jacarepaguá** em função da distância do Canal da Joatinga **73**
FIGURA 5.4.4 – Concentração de HgT na **Lagoa da Tijuca** em função da distância do Canal da Joatinga **74**
FIGURA 5.4.5 – Concentração de HgT na **Lagoa de Marapendi** em função da distância do Canal da Joatinga **75**
FIGURA 5.5.1 – ACP dos parâmetros **79**
FIGURA 5.5.2 – ACP das amostras **79**

LISTA DE TABELAS

TABELA 1.1.1 – Emprego de metais nas principais indústrias **10**

TABELA 3.2.1 – Características da área de influencia direta da Bacia de Drenagem para as lagoas do CLJ. **32**

TABELA 3.3.1 – Características do Sistema Lagunar da Baixada de Jacarepaguá. (Fonte: SEMADS, 2001). **35**

TABELA 4.1.1 – Coordenadas em UTM (SAD 69) e Geográficas (WGS-84). **39**

TABELA 5.1.1.1 – Valores de pH encontrado nas diferentes lagoas **52**

TABELA 5.1.2.1 – Valores de Eh (mV) encontrados no sistema lagunar **55**

TABELA 5.2.1 – Valores percentuais de M.O obtidos no sistema CLJ **59**

TABELA 5.3.1 – Classificação do tamanho das partículas segundo GRADISTAT **62**

TABELA 5.3.2 – Valores médios percentuais (com mínimos e máximos) nas diferentes frações granulométricas apresentadas em cada lagoa do sistema **63**

TABELA 5.4.1 – Concentrações de Hg ($\eta g.g^{-1}$) nos sedimentos superficiais do CLJ **70**

TABELA 5.4.2 – Concentrações médias de HgT em $\eta g.g^{-1}$ (com mínimos e máximos) reportadas em outras literaturas ao longo da costa brasileira. **76**

TABELA 5.5.1 – Matriz de correlação dos parâmetros analisados **78**

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO 8
1.1 OS AMBIENTES COSTEIROS 8
1.2 LAGOAS COSTEIRAS 11
1.3 O PAPEL DO SEDIMENTO NOS AMBIENTES AQUÁTICOS 13
1.4 O MERCÚRIO NO MEIO AMBIENTE 14
1.4.1 Caracterização 14
1.4.2 Utilização e Toxidade 18
2. JUSTIFICATIVA E HIPÓTESE DO TRABALHO 20
2.1 OBJETIVOS 20
3. ÁREA DE ESTUDO 22
3.1 GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA 27
3.2 EVOLUÇÃO 29
3.3 MORFOMETRIA DO COMPLEXO LAGUNAR 33
4. METODOLOGIA 37
4.1 AMOSTRAGEM 37
4.2 LABORATÓRIO 44
4.2.1 Granulometria 45
4.2.2 Teor de Matéria Orgânica (M.O) 47
4.2.3 Mercúrio Total (HgT) 48
4.3 TRATAMENTO DOS DADOS 50
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO 51
5.1 VARIÁVEIS FÍSICO QUÍMICAS 52
5.1.1 pH 52
5.1.2 Eh 55
5.2 TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA 58
5.3 GRANULOMETRIA 62
5.4 MERCÚRIO TOTAL 70
5.5 ANÁLISE INTEGRADA 78

6. CONCLUSÃO 81
7. APOIO CIENTÍFICO 83
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 83

1 INTRODUÇÃO

1.1 OS AMBIENTES COSTEIROS

Os ambientes costeiros estão localizados na interface entre o continente e o oceano. Por estarem situados numa faixa de transição, sofrem influências de processos físicos, químicos e biológicos, marinhos e continentais.

A abundância de recursos naturais nestas regiões se torna um fator de importância estratégica para o desenvolvimento ocupacional e de atividades industriais. Por outro lado, a má utilização destes recursos tem causado alterações no equilíbrio destes ecossistemas, comprometendo o ciclo natural dos seus componentes e aumentando sua vulnerabilidade.

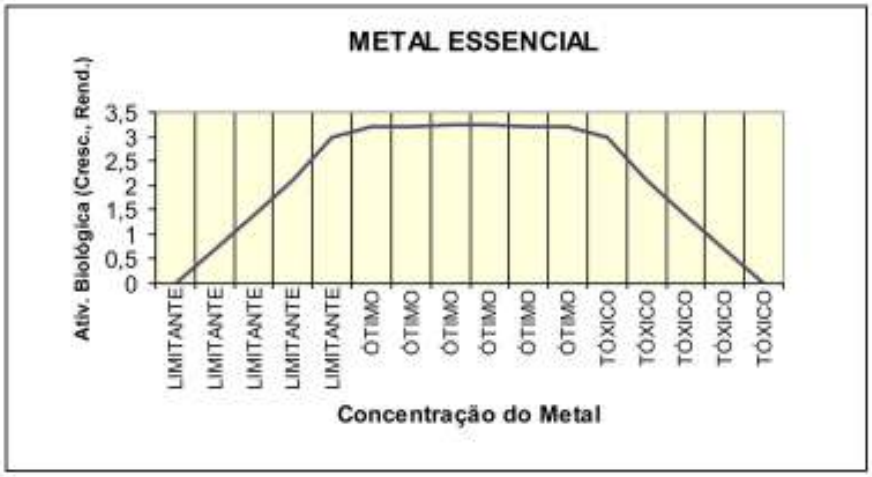
Estes sistemas apresentam uma grande capacidade de acumular materiais de origem continental e marinha e são fortemente afetados por eventos de maré (DASILVA *et al.,* 1996).

Dentre os principais contaminantes que se acumulam nos ambientes costeiros, os metais pesados merecem destaque, devido sua baixa degradabilidade e elevada toxidade para os organismos. Os metais são elementos que fazem parte da estrutura cristalina das rochas, juntamente com outros elementos, e estão amplamente distribuídas por toda a crosta terrestre. Constituem o maior grupo de elementos químicos da tabela periódica, e 7 (sete) deles fazem parte dos 10 (dez) elementos mais abundantes da crosta terrestre. São eles: Alumínio, Ferro, Cálcio, Sódio, Potássio, Magnésio e Titânio (GIDDINGS, 1973 *apud* FÖRSTNER & WITTMAN, 1981).

Diversos metais são importantes para a sobrevivência do homem, onde alguns são considerados essenciais nas funções bioquímicas e fisiológicas do corpo humano (Co, Fe, Mn, Mo, Ni, Se e V, Cu, Cr e Zn), porém, em altas concentrações

passam a ser tóxicos. Outros metais como Hg, Ag, As, Cd e Pb a níveis de exposição que podem ocorrer naturalmente no ambiente, são comprovadamente tóxicos, e, portanto são considerados não essenciais (GIDDINGS, 1973 *apud* FÖRSTNER & WITTMANN, 1981; MALM, 1986).

As figuras a seguir apresentam o comportamento de organismos em atividades biológicas como crescimento, rendimento, em relação ao aumento dos níveis de concentração dos metais essenciais e não essenciais.



(A)



(B)

FIGURA 1.1.1 – Diagrama conceitual do comportamento da atividade dos organismos em relação ao aumento da concentração de metais essenciais (A) e não essenciais (B) (Adaptado de Förstner & Wittmann, (1981)).

Existem indícios que comprovam a utilização de metais desde os tempos mais remotos para a confecção de instrumentos e ferramentas, mas foi a partir da revolução industrial que houve um aumento do uso nos processos industriais intensificando a contribuição antrópica ao aporte dos metais para o meio ambiente (DEAN *et al.,* 1972; Penna-França *et al.,* 1984; LACERDA *et al.,* 1990; BAIRD, 1998).

A utilização de metais nas principais indústrias se torna indispensável para o desenvolvimento da sociedade moderna onde a transformação de matérias-primas em produtos manufaturados contribuiu para o desenvolvimento do homem (DEAN *et al.,* 1972). A tabela a seguir apresenta o emprego dos metais nos principais setores industriais:

TABELA 1.1.1 – Emprego de metais nas principais indústrias.
(Adaptado de Dean *et al.,* 1972).

UTILIZAÇÃO DE METAIS NAS PRINCIPAIS INDÚSTRIAS	**METAIS**									
	Hg	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Pb	Ni	Sn	Zn
Fábricas de Papel e Madeira	**X**		X	X			X	X		X
Petroquímica e Química Orgânica	**X**	X	X		X		X		X	X
Álcalis, Cloro e Química Inorgânica	**X**	X	X		X		X		X	X
Fertilizantes	**X**	X	X	X	X	X	X	X		X
Refino de Petróleo		X	X	X	X		X	X		X
Siderurgia	**X**	X	X	X	X		X	X	X	X
Fundição de Metais Não-Ferrosos	**X**	X	X	X			X			X
Veículos Automotores, Galvanoplastia e Finalização de Aeronaves	**X**	X	X	X				X		

A contribuição antrópica de metais pesados se dá principalmente a partir de atividades como a mineração, fundição e refino dos metais, produção e fabricação de produtos metálicos comerciais, queima de combustível fóssil, uso de pigmentos, lixiviação de lixo e de depósitos de resíduos sólidos, e pode incorporar no meio ambiente diretamente nos corpos d'água costeiros, através do lançamento de rejeitos industriais, associados aos esgotos urbanos, atividades portuárias e de navegação (LOUREIRO, 2006).

Dentre os ambientes costeiros, as lagunas costeiras aparecem como feições comuns ao longo das costas da maior parte dos continentes e podem ser consideradas ambientes propícios para o estudo da evolução do aporte sedimentar de várias décadas e até centenas de anos, refletindo a história e a extensão da poluição que atuam na bacia de drenagem (RUIZ-FERNÁNDEZ, 2003).

1.2 LAGOAS COSTEIRAS

As lagoas costeiras são de maneira geral, pequenas e efêmeras com lâminas d'água geralmente rasas (alguns metros a poucas dezenas de metros), apresentando uma ou mais ligações com o mar. São ambientes formados pelo resultado da variação do nível do mar durante os sucessivos eventos de trans-regressão marinha (Holoceno/Pleistoceno), e dos processos marinhos de retrabalhamento dos sedimentos na forma de restinga arenosa, isolando parcialmente ou totalmente os corpos lagunares do oceano. Em conjunto, ocupam o correspondente a 13% dos ambientes costeiros do mundo, atingindo uma área total aproximada de 332.000 Km² (KJERFVE & MAGIL, 1989; KNOPPERS, 1994; KJERFVE & KNOPPERS, 1999).

As lagoas fazem sua troca hídrica com o mar por canais ou barras. A quantidade e tamanho destes canais e barras incluem uma grande faixa de variação dependendo diretamente do volume de água que flui entre eles em um certo intervalo de tempo. A variação, intensidade e freqüência das marés e a descarga de águas introduzidas pelos rios vai determinar a magnitude do volume de água. A troca hídrica com o mar também pode ocorrer através das águas subterrâneas, sendo mais significativas quando o canal encontra-se assoreado durante longos períodos, e/ou em casos que a barra da lagoa apresenta porosidade elevada (KJERFVE & MAGIL, 1989; ROSMAN, 1992; KJERFVE & KNOPPERS, 1999).

Segundo estes autores, as lagoas costeiras podem ser geomorfologicamente classificadas pelas características destes canais como:

a) Lagunas sufocadas: caracterizadas por possuírem apenas uma ligação estreita com o mar. Dissipam a força da maré dentro do canal, e sua dinâmica é definida essencialmente pelos ventos. Possuem alto potencial de acumulação de sedimentos devido à limitada troca de água com o oceano, e de eutrofização e poluição devido aos impactos antrópicos. Alto tempo de residência de suas águas.

b) Lagunas restritas: possuem normalmente dois ou mais canais de ligação que permanecem conectados com o mar em tempo integral. São mais submetidas à variação das marés do que as lagoas sufocadas.

c) Lagunas abertas: são caracterizadas pela presença de numerosas enseadas e a presença de um ou mais canais que permitem uma troca intensa da água da laguna com o oceano, resultando num menor tempo de residência da água.

De modo geral as lagoas costeiras podem ser caracterizadas como um ambiente de baixa energia hidrodinâmica. Possuem pequena taxa de renovação de águas, com longo tempo de residência, e o padrão de circulação também é pouco significativo, sendo seus principais movimentos de água forçados por ondas geradas pelos ventos, ou por correntes de maré (KJERFVE & MAGIL, 1989; FERNANDEZ, 1994; KJERFVE & KNOPPERS, 1999).

A composição da água nas lagoas costeiras depende de um conjunto de fatores naturais (pluviosidade, intemperismo das rochas, etc.), e antrópicos como os despejos de esgotos domésticos e industriais sem tratamento, e a agricultura e urbanização nos solos da bacia de drenagem, o que aumenta o grau de erosão e chegada de sedimentos aumentando a turbidez das águas (STUMM & MORGAN, 1981; KJERFVE & KNOPPERS, 1999).

São regiões de intensa acumulação de materiais, uma vez que se constituem como corpos receptores dos rios, o que produz efeitos notáveis do ponto de vista das propriedades geoquímicas. O aumento na chegada e deposição de sedimentos geralmente associado ao uso irracional do solo (desmatamento), e também a

poluição por lançamento de esgotos domésticos e resíduos industriais que ampliam o volume de matéria orgânica em seu interior, contribui para a degradação destes ambientes (FERNANDEZ, 1994; KJERFVE & KNOPPERS, 1999).

As lagoas costeiras desempenham ainda, um importante papel no ciclo hidrológico e no controle da transferência de metais pesados presentes nas águas fluviais para as águas oceânicas (KJERFVE & KNOPPERS, 1999).

1.3 O PAPEL DO SEDIMENTO NOS AMBIENTES AQUÁTICOS

Dentro de um ecossistema aquático, os sedimentos são formados por uma grande variedade de materiais orgânicos e inorgânicos de origem autóctone e alóctone. A composição e a distribuição dos sedimentos refletem a integração dos tipos de rocha na região, características da vegetação terrestre, características topográficas e meteorológicas, fatores químicos e biológicos, fatores limnológicos e/ou hidrológicos, incluindo o efeito do transporte de massas d'água (WARD, 1992). Através de estudos dentro deste compartimento é possível avaliar a evolução histórica dos ecossistemas aquáticos e dos terrestres adjacentes, além de identificar as alterações ambientais em que estes ambientes estiveram ou estão sendo submetidos. (NAUMANN, 1930 *apud* ESTEVES, 1998).

Estes compostos orgânicos e inorgânicos podem ser liberados novamente para a coluna d'água através da remobilização dos sedimentos, alterações na qualidade da água, e/ou formar compostos muito estáveis acumulando-se no sedimento e alcançando concentrações elevadas, e/ou até superiores aos níveis apresentados naturalmente pela crosta terrestre (nível de base ou background). (TESSIER *et al.,* 1979; PEREIRA FILHO, 1994; ESTEVES, 1998).

Nos ambientes lagunares a distribuição dos sedimentos é caracterizada pela geometria da bacia lagunar e os processos relativos que nela atuam como o aporte fluvial, ação de ventos, marés e ação biológica (REINECK & SING, 1980 *apud* SILVA, 2003).

De um modo geral, a ação de ventos, correntes de maré e ondas são mais intensas junto às margens predominando sedimentos mais grosseiros (areia), principalmente nas mais próximas à restinga. Nestas margens pode haver uma possível contribuição eólica. Nas margens mais internas, o sedimento pode apresentar-se com fácies lamosas. Isso se deve a ação do aporte fluvial e facilita a formação de manguezais. O fundo lagunar pode apresentar sedimento siltoso e argiloso devido ao afastamento das margens e por ter águas relativamente mais calmas (REINECK & SING, 1980 *apud* SILVA, 2003).

Os fatores supracitados fazem do sedimento um compartimento potencial indicador em avaliações dos níveis de contaminação ambiental.

1.4 O MERCÚRIO NO MEIO AMBIENTE

1.4.1 Caracterização

O mercúrio é um metal pesado que à temperatura ambiente se comporta como um metal líquido, extremamente volátil, oferecendo altos riscos de contaminação para o meio ambiente. Pode ser encontrado sob as condições ambientais predominantes da biosfera na sua forma elementar ou metálica (Hg^0), ou ser também encontrado na sua forma iônica associado a estruturas orgânicas ou inorgânicas, em dois estados de oxidação: o íon mercuroso (Hg^{+2}) e o íon mercúrico (Hg^{+2}), sendo este último, a forma mais estável (MOORE & RAMAMOORTHY, 1984; PARAQUETI, 2005).

O mercúrio se destaca dentre metais pesados por possuir características únicas, devido a suas propriedades químicas e físico-químicas sendo líquido à temperatura ambiente, apresenta alto potencial de expansão de volume uniforme numa larga faixa de temperatura, alta tensão superficial e alta condutividade elétrica (EPA, 2007). Ainda diferencia-se dos outros dois elementos do grupo II B da tabela periódica, o zinco (Zn) e o cádmio (Cd), pelo caráter acumulativo mantendo-se em diversos compartimentos ambientais, na biota, e na cadeia alimentar sob diversas

espécies químicas de reatividade diferente, possibilitando assim seu transporte ou migração para áreas adjacentes (MOORE & RAMAMOORTHY, 1984; FITZGERALD & LAMBORG, 2003; PARAQUETI, 2005).

Considera-se a existência de dois ciclos de transporte e distribuição de mercúrio para o meio ambiente: global e local. O ciclo global compreende as fontes naturais, e o ciclo local as fontes antrópicas, conforme destacado a seguir:

a) Ciclo Global (fontes naturais): Erupções vulcânicas, degaseificação da crosta terrestre, erosão e dissolução das rochas e a evasão oceânica. Os mais importantes minérios naturais de Hg são o cinábrio (HgS vermelho) e o metacinábrio (HgS preto), porém são encontrados em poucos lugares da superfície terrestre (PIRRONE *et al.,* 1986 *apud* PORCELLA, 1996; EPA 2007).

b) Ciclo Local (fontes antrópicas): Combustão de carvão, produção de cloro-soda, atividades de mineração, fundição, garimpo, incineração de lixo hospitalar, combustão de lixo doméstico, combustão de derivados de petróleo e o uso de tintas (PIRRONE *et al.,* 1986 *apud* PORCELLA, 1996; EPA 2007).

Este ciclo se completa através da introdução do mercúrio no ambiente terrestre e aquático devido à deposição natural ou precipitação atmosférica. A figura a seguir apresenta o ciclo biogeoquímico do mercúrio adaptado para os sistemas lagunares com os principais mecanismos de trocas envolvidos.

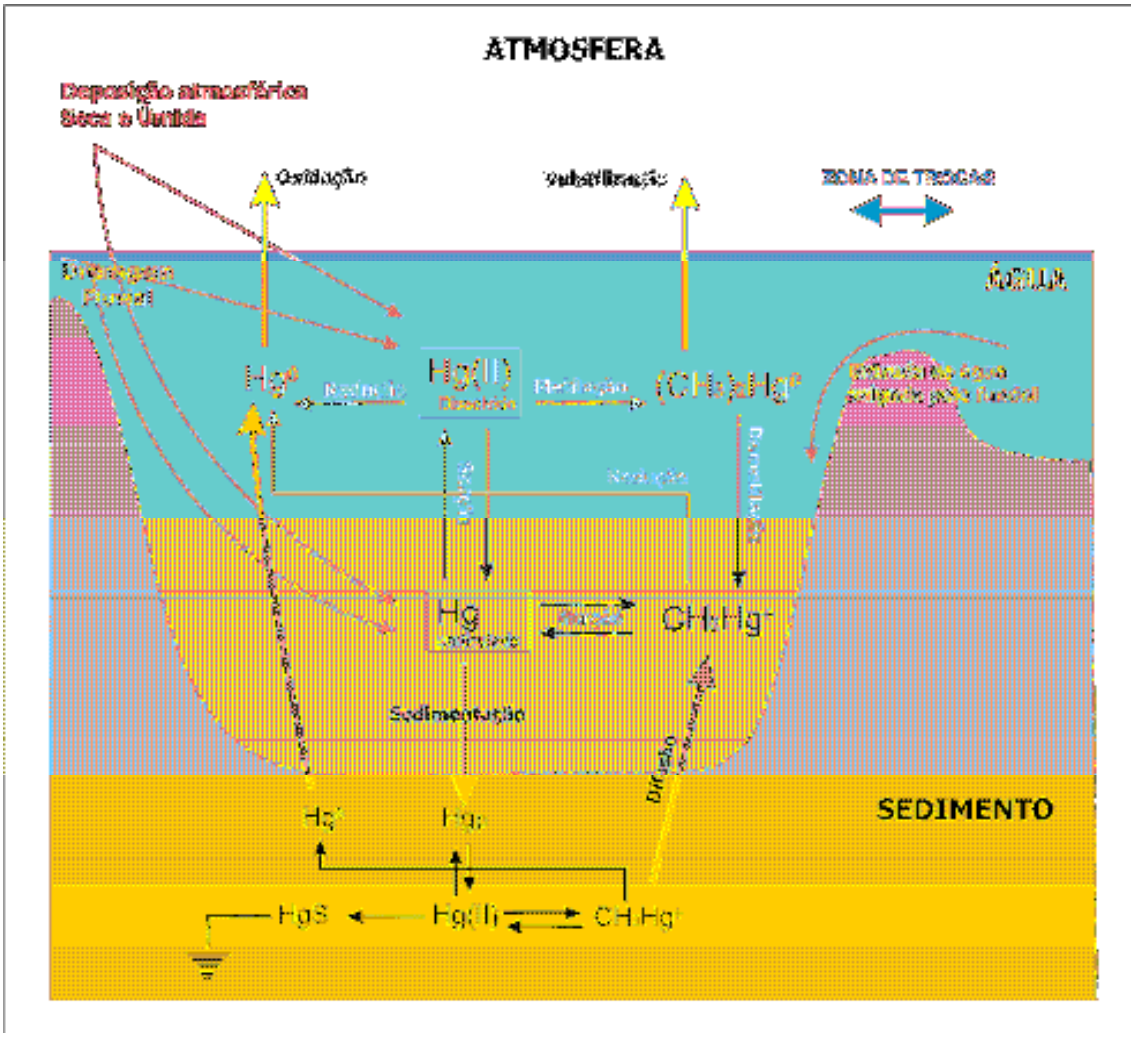


FIGURA 1.4.1.1 – Ciclo biogeoquímico do mercúrio adaptado para os sistemas lagunares. (Adaptado de Lacerda, 1997; Tena, 1981 *apud* Ayres, 2004; Paraqueti, 2005).

Os principais mecanismos que controlam a distribuição de mercúrio são os processos de metilação/demetilação, oxidação/redução, precipitação/dissolução e de sorção/desorção (LACERDA, 1997; TENA, 1981 *apud* AYRES, 2004; SANDERS, 2005; PARAQUETI, 2005).

Nota-se que o mercúrio lançado na atmosfera e carreado pelas drenagens fluviais é altamente reativo e disponível para metilação e acumulação pela biota depois de sua deposição em ambientes lagunares. Estas espécies de mercúrio se depositam principalmente como Hg^{+2} e Hg particulado. As formas inorgânicas se transformam principalmente por reações de oxidação/redução. O mercúrio

inorgânico Hg^{+2} é gerado pela oxidação do vapor de Hg por processos físico-químicos, em água e na presença de oxigênio. Esta oxidação é favorecida quando existem substâncias orgânicas no meio. Em condições redutoras apropriadas, ou por intervenção de bactérias em meio anaeróbio, o Hg^{+2} pode se reduzir para Hg^{o} (LACERDA, 1997).

O sedimento pode atuar como um sumidouro de mercúrio, bem como constituir uma fonte potencial, dependendo das condições geoquímicas deste compartimento, que uma vez contaminado, poderá causar danos à vida aquática por muitos anos. Nas camadas superiores, regiões biologicamente ativas, o Hg^{+2} é, em parte, metilado por bactérias bênticas a metilmercúrio $(CH^{3})Hg^{+}$, podendo se integrar na cadeia trófica através da biomagnificação e/ou se volatizar dando origem ao dimetilmercúrio $(CH^{3})^{2}Hg^{+}$) (TENA, 1981 *apud* AYRES, 2004; PARAQUETI, 2005). Ainda no sedimento, verifica-se uma correlação entre o diâmetro médio dos grãos e a concentração de mercúrio, apresentando em sedimentos de menor granulometria concentrações superiores, bem como associações à matéria orgânica, oxi-hidróxidos de ferro, e a sulfetos (MOORE & RAMAMOORTHY, 1984; MARINS, 1998). Kudo & Hart, (1974) *apud* Kudo, (1979) indicaram que o mercúrio contido no sedimento pode atingir concentrações da ordem de mil a dez mil vezes maiores do que as espécies presentes na água.

Mudanças nas condições ambientais como pH (potencial de formação de íons hidrogênio), e potencial redox também podem alterar a biodisponibilidade de mercúrio no ambiente. Os fenômenos alternados de fotossíntese e respiração de microorganismos contribuem para alterações na variação do pH. Já fenômenos relacionados ao aporte excedente de matéria orgânica, como input e degradação, contribuem para variações no potencial redox. O potencial redox é expresso pelo símbolo Eh, e significa a capacidade de uma solução doar ou receber elétrons afetando diretamente na solubilização dos metais. Ambientes com Eh positivo são considerados como um ambiente oxidante e ambientes com Eh negativo, ambiente redutor (FÖRSTNER & WITTMAN, 1981; SALOMONS & STIGLIANI, 1995; STUMM & MORGAN, 1996).

Niriagu, (1979) *apud* Niriagu (1992) relacionou as taxas de fluxo entre os diversos compartimentos ambientais, indicando que a maior parte do mercúrio transportado para os rios é depositada nas regiões estuarinas e nas plataformas continentais. Estes fluxos entre os continentes e o oceano envolvem principalmente o mercúrio inorgânico associado à matéria orgânica dissolvida ou particulada.

De uma forma geral, o comportamento do mercúrio no ambiente pode passar do sedimento para a fase aquosa, ser acumulado pela biota, perdido para atmosfera e transportado como material particulado para locais adjacentes ainda não contaminados (KUDO, 1984).

1.4.2 Utilização e Toxidade

O ciclo do mercúrio manteve-se em equilíbrio dinâmico na biosfera apesar da sua utilização pelo homem desde épocas remotas. Entretanto, nos últimos 50 anos, as emissões artificiais deste elemento aumentaram substancialmente, causadas pelo seu crescente uso em diversas atividades desenvolvidas pelo homem moderno (NIRIAGU & PACYNA, 1988 *apud* NIRIAGU, 1992)

É utilizado na confecção de lâmpadas, baterias, pilhas, retificadores, termômetros, barômetros, e também em pesticidas, inseticidas, fungicidas, bactericidas e tintas. Devido a sua característica de formar amálgamas com vários metais, ele também é aplicado na metalurgia, agricultura, farmacêutica, odontológica em obturações e principalmente na extração de ouro em áreas de garimpo (EPA, 2007; GONÇALVES, 1999; LACERDA & GONÇALVES, 2001;MELAMED & VILLAS BOAS, 1997; LACERDA, 2003).

Conforme já citado anteriormente, estas emissões artificiais (antrópicas) podem ser concentradas localmente através de descargas pontuais, tais como descargas de efluentes industriais e urbanos, ou podem ser de descargas difusas tais como as associadas à produção de energia, às queimadas, aos veículos automotores ou à incineração de lixo hospitalar e doméstico. (MELAMED & VILLAS BOAS, 1997; PARAQUETI, 2005).

Os compostos de mercúrio uma vez incorporados no ambiente através destas descargas (pontuais e difusas) representam um risco à saúde humana, devido a sua elevada toxidade, acúmulo e persistência. A contaminação de indivíduos podem se dar através da inalação de seus vapores (Hg metálico), ou principalmente através da ingestão de peixes contaminados (Hg orgânico), provocando danos permanentes ao cérebro, rins, fígado, terminações nervosas e musculares, e até mesmo, desenvolvimento fetal (GALVÃO & COREY,1987 *apud* PARAQUETI, 2005).

Foi constatada sua grande capacidade deletéria à saúde humana, após o primeiro acidente ambiental em 1956, ocorrido na Baía de Minamata – Japão. Este acidente resultou em milhares de pessoas contaminadas, além de mais de mil óbitos através do consumo de pescado (HARADA, 1995 *apud* HARADA 2005). Outros acidentes também despertaram atenções nos Estados Unidos, Iraque, Paquistão, Guatemala na década de 70 resultando em milhares de pessoas intoxicadas (CLARKSON, 1993).

No Brasil, diversos setores industriais utilizam o mercúrio em seus processos. Atividades como a mineração do ouro, indústria de cloro-soda, papel, eletrônica, farmacêutica, química, contribuíram para a contaminação dos mais diversos ambientes principalmente nas décadas de 70 e 80. Atualmente, apesar da redução destas atividades, somado às regulamentações do governo mais restritivas, as emissões antrópicas no Brasil ainda são elevadas (LACERDA, 1997; LACERDA, 2003).

Ambientes com característica deposicional, como as lagoas costeiras, se tornam vulneráveis a estes impactos, devido à intensa acumulação de materiais. Nestas regiões, a pesca artesanal é um recurso muito difundido pelas populações locais, e a contaminação de seu pescado por metais pesados como o mercúrio, constitui um alto risco sócio-econômico e ambiental.

Desta forma, o estudo do comportamento e distribuição do mercúrio nas lagoas costeiras, se mostra uma ferramenta importante na avaliação da qualidade ambiental deste ambiente.

2 JUSTIFICATIVA DO TRABALHO

A Baixada de Jacarepaguá possui um complexo lagunar que vem sofrendo uma intensa agressão ao seu ecossistema natural, em função da ocupação antrópica sem infra-estrutura urbana adequada e do lançamento de rejeitos industriais e domésticos em seus corpos hídricos.

O conhecimento do comportamento do mercúrio nos sedimentos das lagoas costeiras contribui para avaliar os níveis de contaminação ambiental, e fornece subsídios para trabalhos de monitoramento de impacto ambiental e possíveis medidas de intervenção no ambiente.

O uso do Hg como indicador da qualidade ambiental da costa brasileira confirma que, uma vez controladas as contaminações de Hg oriundo das indústrias de cloro-soda que utilizavam Hg em células eletrolíticas, as fontes difusas, principalmente os lixões e o esgotamento doméstico e urbano, são as atividades antrópicas que mais necessitam de controle e adequação ao desenvolvimento sustentável da região costeira brasileira (MARINS, 2004).

2.1 OBJETIVOS

Este trabalho visa avaliar a distribuição espacial da concentração do mercúrio total (Hg) nos sedimentos superficiais das lagoas de Jacarepaguá, Tijuca e Marapendi pertencentes ao Complexo Lagunar de Jacarepaguá (CLJ), situado na zona oeste da cidade do Rio de Janeiro, bem como contribuir para o conhecimento da geoquímica do mercúrio em lagoas costeiras do estado.

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Descrever a distribuição de mercúrio total nos sedimentos superficiais do CLJ.

- Avaliar a possível influência de algumas variáveis, como pH, Eh, Teor de Matéria Orgânica (M.O), e granulometria, nas concentrações de mercúrio;

- Avaliar as possíveis fontes e variáveis condicionantes da distribuição descrita;

- Identificar áreas preferenciais de acumulação de mercúrio para o sistema em questão.

3 ÁREA DE ESTUDOS

O litoral da região sudeste brasileira se estende do Sul do Espírito Santo ao Cabo de Santa Marta no Norte de Santa Catarina, e devido a sua proximidade com a Serra do Mar pode ser definido como sendo um litoral de escarpas cristalinas. A região litorânea do Estado do Rio de Janeiro pode ser dividida em dois macrocompartimentos, sendo o primeiro *litoral oriental* que compreende a região da Bacia de Campos, e o segundo *litoral sul* que compreende os Cordões Litorâneos que se estendem de Cabo Frio à Baía de Ilha Grande. O fato marcante deste último macrocompartimento é a existência de cordões litorâneos onde se desenvolveu um conjunto de lagunas em sua retaguarda (MUEHE & VALENTINI, 1998).

Cabe ressaltar que o Rio de Janeiro é um dos estados brasileiros que mais possui lagunas costeiras em seu território, onde ocorriam originalmente mais de 300. Muitas destas já desapareceram, parciais ou totalmente, devido ao aumento de cargas elevadas de materiais ao longo do crescimento da cidade (AMADOR, 1997).

Atualmente na cidade do Rio de Janeiro restam poucas lagoas costeiras, sendo as maiores a de Rodrigo de Freitas, Marapendi, Jacarepaguá e Tijuca. Estas três últimas, juntas, participam do complexo lagunar na Baixada de Jacarepaguá que está sendo avaliado neste estudo.

A Baixada de Jacarepaguá é um ambiente costeiro situado na planície litorânea da costa oeste do Estado do Rio de Janeiro à aproximadamente 40 km do centro do Rio de Janeiro. A bacia de drenagem do complexo lagunar tem como limites o maciço da Pedra Branca a oeste, o maciço da Tijuca a leste e o Oceano Atlântico ao sul. (Figura 3.1).



FIGURA 3.1 – Localização da área de estudo – Baixada de Jacarepaguá (Figura adaptada do Google Earth, 2009).

Está limitada geograficamente entre as os paralelos 22°55’S ao norte; 23°05’S ao sul; e pelos meridianos 43°18’30’’W a leste; e 43°32’30’’W a oeste (Datum WGS-84).

Com uma bacia de drenagem de cerca de 230 Km² abrange os bairros de Barra da Tijuca, Itanhangá, Joá, Recreio dos Bandeirantes, Grumari, Vargem Grande, Vargem Pequena, Camorim, Cidade de Deus, Jacarepaguá, Anil, Campinho, Curicíca, Freguesia, Gardênia Azul, Pechincha, Praça Seca, Tanque, Taquara e Vila Valqueire.

Os principais rios contribuintes da bacia de drenagem do complexo lagunar de Jacarepaguá possuem origem nas vertentes dos maciços da Pedra Branca e da Tijuca, e estão descritos abaixo de acordo com a respectiva lagoa receptora.

a) Lagoa de Jacarepaguá: Rio Marinho, Rio do Cortado, Rio Camorim, Rio Caçambê, Rio Pavuninha, Rio dos Passarinhos e Rio Arroio Pavuna.
b) Lagoa de Camorim: Rio Arroio Fundo, Rio Taquara e Rio Anil.
c) Lagoa da Tijuca: Rio das Pedras, Rio da Muzema e Rio do Itanhangá.
d) Lagoa de Marapendi: É a única que não possui contribuição de rios para seu sistema.

A figura a seguir apresenta as Bacias e Sub-bacias da cidade do Rio de Janeiro, estando nesta incluída a Bacia de Jacarepaguá abordada neste estudo.

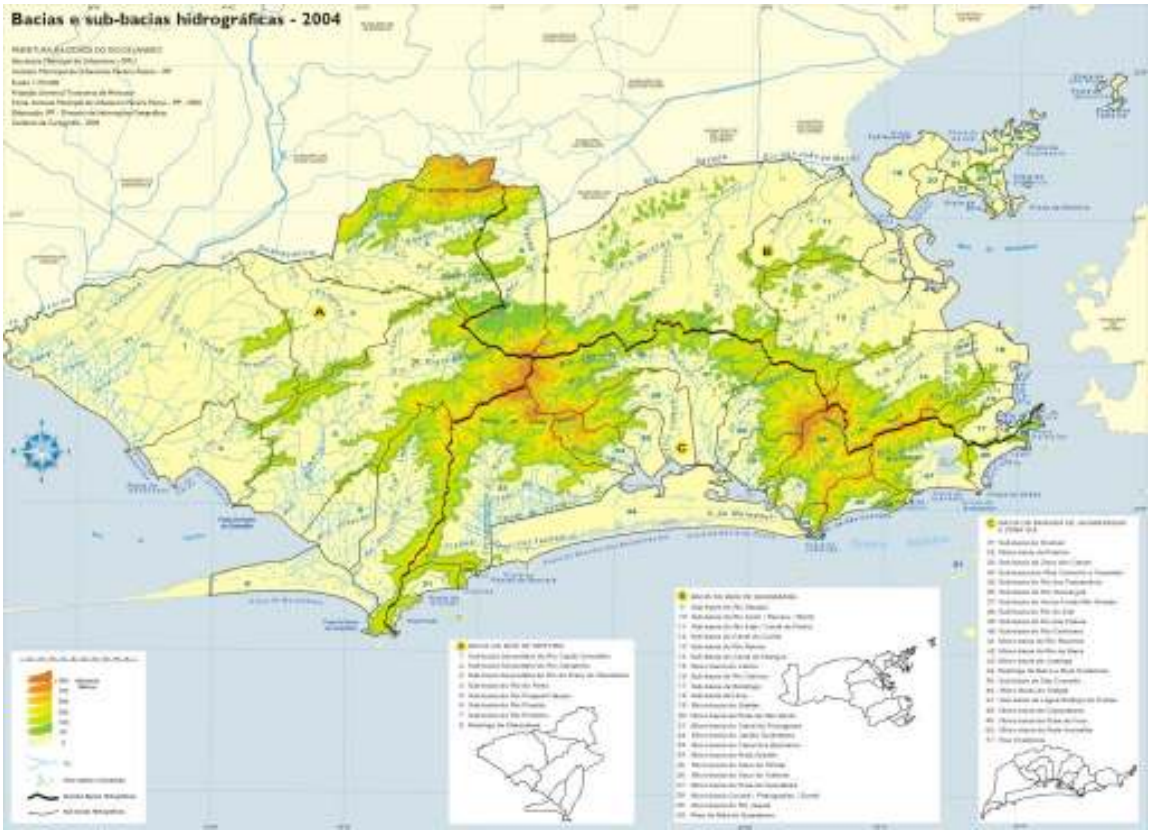


FIGURA 3.2 – Bacias e Sub-bacias hidrográficas da cidade do Rio de Janeiro. (Fonte: IPP – Instituto Municipal de Urbanismo Pereira Passos / Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro, 2008)

De acordo com a figura acima, pode-se observar que a Bacia da Baixada de Jacarepaguá compreende 14 Sub-bacias hidrográficas, drenando suas águas para as lagoas do sistema lagunar. As Sub-bacias 33, 34, 35, 36 e 37 estão interligadas à lagoa de Jacarepaguá. As Sub-bacias 38, 39, 40, 41, 42 e 43 interligadas à lagoa da Tijuca, e a Sub-bacia 44 à lagoa de Marapendi.

O clima da região pode ser definido como tropical quente e úmido, diferenciando-se em função do relevo da região, onde a conformação topográfica faz com que os ventos marítimos, com umidade elevada, atravessem a baixada e ao encontrar as encostas, defletem para maiores altitudes propiciando a precipitação pluvial (FERNANDES, 1991).

A figura a seguir apresenta os últimos dados climáticos obtidos na estação climatológica de Jacarepaguá, atualmente desativada, no período de 1975 a 1987, e fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia. Compreende dados de temperatura máxima, mínima, média compensada e pluviosidade (LAETA, T. 2008).

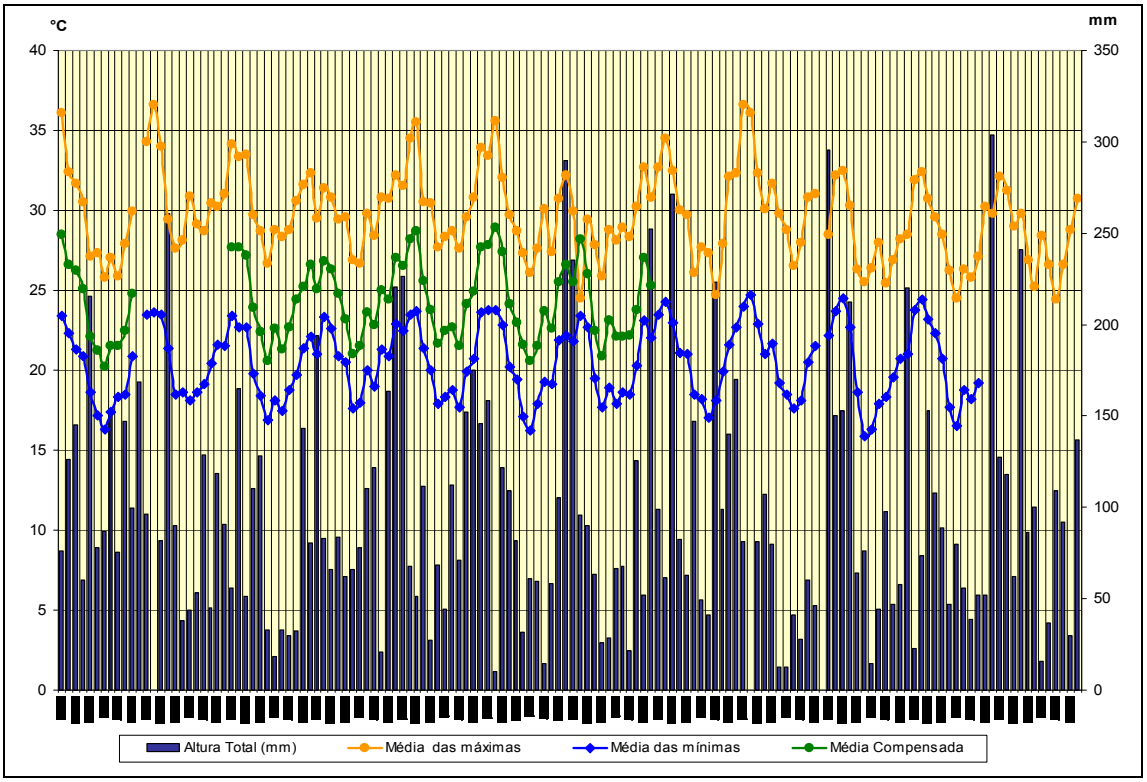


FIGURA 3.3 – Variação de Temperatura e Pluviosidade no período de 1976 a 1985. (Fonte: Laeta, 2008).

A precipitação anual média é de 1116 mm e a temperatura anual média é de 25 ºC.

Devido a um conjunto de fatores diferenciados como posicionamento das cristas, orientação da encosta, proximidade do mar e exposição à insolação, o maciço da Tijuca recebe uma precipitação anual de cerca de 10 a 20% superior ao maciço da Pedra Branca. Esta diferença representa cerca de 230 a 400 mm a mais de chuva por ano (INEA, 2008; LAETA, 2008).

3.1 GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA

As variações do nível do mar em relação à costa junto dos eventos transgressivos e regressivos mais recentes que ocorreram no período Quaternário (Holoceno/Pleistoceno) foram apontadas por vários autores como formadores da atual linha de costa brasileira e são responsáveis pela paisagem litorânea que se conhece hoje (RONCARATI & NEVES, 1976; MAIA*, et al.,*1984; KJERFVE & MAGIL, 1989; MUEHE & VALENTINI, 1998).

Estes movimentos regressivos e transgressivos do mar contribuíram para a formação de todo o complexo lagunar da Baixada de Jacarepaguá, originado inicialmente pelo afogamento de antigas bacias fluviais, seguido da formação de enseadas, baías, estuários e braços de mar, sendo posteriormente barrados por cordões litorâneos, formando as lagoas costeiras, conforme representado na figura abaixo (MAIA, *et al.,*1984; MUEHE & VALENTINI, 1998).

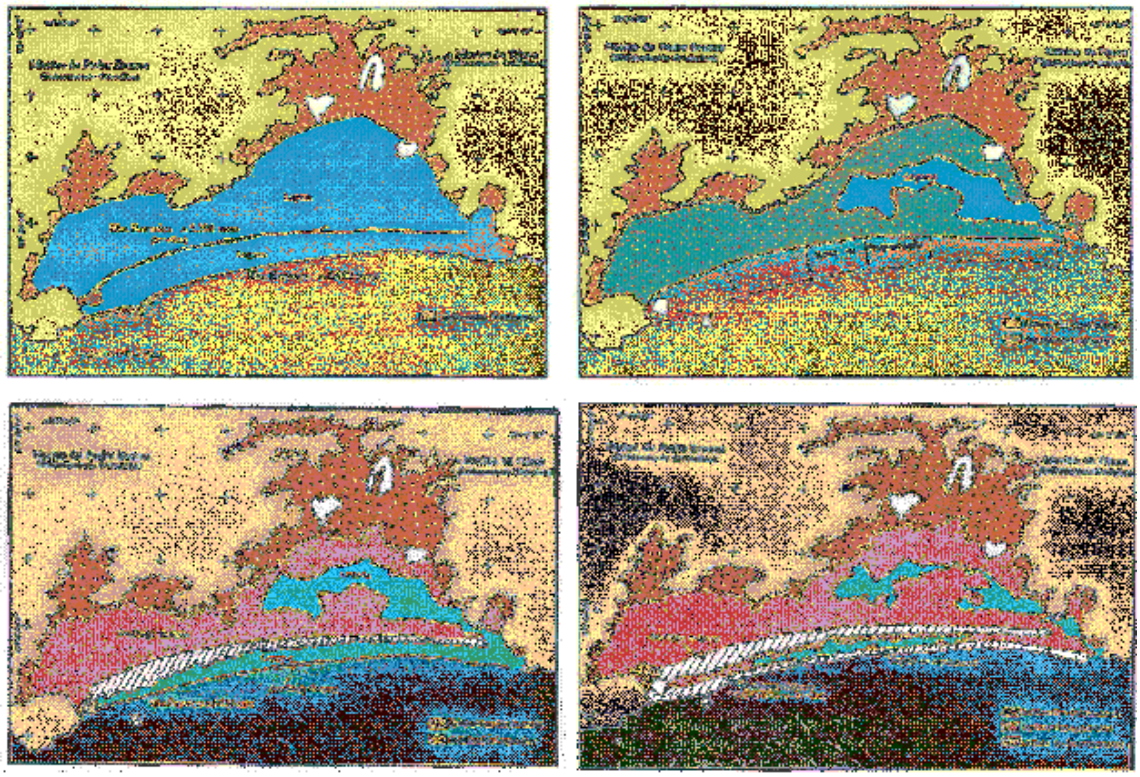


FIGURA 3.1.1 – Formação do Complexo Lagunar de Jacarepaguá.
(Fonte: Maia, 1984)

Segundo Roncarati & Neves, (1976) a geologia da baixada é dominada por rochas ígneas e metamórficas pré-cambrianas, e a planície dominada por sedimentos arenosos. Seu relevo pode ser dividido em quatro grandes feições descritas a seguir:

1. Montanhas – São formadas basicamente por rochas do embasamento cristalino. As vertentes abruptas nos flancos que envolvem a baixada a oeste, norte e leste, atingindo grandes altitudes como a Pedra da Gávea a leste com 852 metros e o Pico da Pedra Branca a oeste com 1025 metros.

2. Clinoplano Periférico – É a zona de transição entre o relevo de montanhas e as planícies paludiais. É uma superfície inclinada que converge para o centro da baixada.

3. Planícies Paludiais – Possuem uma topografia plana. A baixada de Jacarepaguá possui duas planícies paludiais, sendo uma mais extensa delimitada pelo clinoplano periférico e pela barreira alongada interna (restinga interna), e nela se encontram as lagoas de Jacarepaguá, Camorim e Tijuca. A outra planície paludial de menor extensão se delimita entre as barreiras alongadas interna e externa (restinga interna e externa), e nela se encontra a lagoa de Marapendi.

4. Barreiras Alongadas – Aparecem como obstáculos alongados entre o mar e as planícies paludiais. São construídas essencialmente, de areias depositadas por correntes litorâneas, sob forma de restinga.

3.2 EVOLUÇÃO

A Baixada de Jacarepaguá sofreu nas últimas décadas um grande crescimento populacional, como apontado pelos dados do IPP. No Censo de 2000, o total de habitantes de sua população era de 459.246, e no Censo de 1960 sua população era de 163.914, ou seja, sua população quase que triplicou de número em 40 anos (IPP, 2008).

Esse grande contingente populacional teve forte relação com a instalação das indústrias farmacêuticas na região, uma vez que esta necessita de grande demanda de mão-de-obra. Esse aumento populacional ocasionado pela indústria, muitas vezes vem acompanhado por construções de habitações irregulares, sem saneamento básico, tratamento de esgoto, e até mesmo em condomínios com licenças da prefeitura.

De uma forma negativa, o Complexo Lagunar de Jacarepaguá (CLJ) sofreu e continua sofrendo com este processo de urbanização. Ao longo dos últimos anos as lagoas do sistema serviram para receber o descarte de efluentes domésticos e industriais produzidos na Baixada de Jacarepaguá, modificando por completo suas principais características.

A ocupação das encostas e faixas marginais de rios e lagoas sem planejamento e infra-estrutura adequada, onde o despejo de esgoto e lixo se tornou uma prática comum, diminui a qualidade de suas águas interiores, e ainda aumenta a chegada de sedimentos, que diminui sua lâmina d'água e por vez, contribui para o assoreamento.

Para aqueles que moram às suas margens ou tem acesso ao espelho d'água lagunar é perceptível o crescente aparecimento de inúmeros sintomas da poluição, tais como:

- Alteração visível da paisagem;
- Aumento dos resíduos flutuantes;
- Mudanças freqüentes da coloração das águas;
- Afloramento do lodo orgânico (assoreamento);
- "Bloom" (florescimento) de microalgas;
- Crescente presença de macrófitas;
- Mau cheiro;
- Perda da biodiversidade;
- Comprometimento da balneabilidade das praias; entre outros.

A situação atual da Baixada de Jacarepaguá é de uma população residente estimada em 650.000 habitantes com produção diária cerca de 2.000 litros/segundo de esgoto que, de certa forma, têm como destino as lagoas. Deste fato redunda que do volume total de água que extravasa pelo Canal da Joatinga, compromete a balneabilidade da praia da Barra da Tijuca, constantemente imprópria desde o Quebra-Mar até quase a altura do Condomínio Barramares, além de outras áreas adjacentes (INEA, 2008; IPP, 2008).

Em 1995 já se estimava o lançamento diário de mais de 100 toneladas de fração sólida de esgoto no complexo lagunar, importante parcela na composição do lodo depositado no fundo lagunar. Com o funcionamento do emissário submarino, a partir de 2008, o lançamento de resíduos no complexo lagunar reduziu para pouco mais de 20 toneladas, ou seja, uma redução de mais de 80% da fração sólida de

esgoto lançada. Inicialmente a Estação de Tratamento de Esgotos da Barra da Tijuca (ETE) realizava seu lançamento de efluentes na área marítima sem nenhum tipo de tratamento. Esta medida foi justificada pelos órgãos de competência como necessária, a fim de minimizar o impacto ambiental nas lagoas do CLJ.

Além desta medida, algumas ações emergenciais, como “dragagens” foram aplicadas em 2006 e 2007 nas lagoas de Jacarepaguá e Tijuca e nos seus principais efluentes, com a justificativa de ser bastante eficaz em reverter o contínuo processo de perda de volume e espelho d'água atualmente em curso, restabelecendo as cotas de fundo, favorecendo as trocas de água entre as lagoas e o mar e, principalmente, controlando o acelerado processo de assoreamento.

Recentemente, foi lançado o Programa de Saneamento da Barra da Tijuca, Recreio dos Bandeirantes e Jacarepaguá (PSBJ), visando implantar um sistema completo de esgotamento sanitário em toda a região, e viabilizar a retirada dos esgotos inicialmente lançados no sistema lagunar de Jacarepaguá.

Em junho de 2009, a ETE da Barra da Tijuca foi reinaugurada, e atualmente está realizando tratamento preliminar de cerca de 1.400 Litros/segundo de esgoto, além de monitorar semanalmente as condições de balneabilidade das águas próximas a região do emissário submarino (CEDAE, 2009)

As lagoas da baixada de Jacarepaguá contam ainda com uma área de influência direta urbanizada de aproximadamente 89 Km², bem como uma área de influência direta natural de cerca de 86 Km². A tabela a seguir apresenta algumas destas principais características da bacia de drenagem para as lagoas do CLJ, abordadas neste estudo.

TABELA 3.2.1 – Características da área de influencia direta da Bacia de Drenagem para as lagoas do CLJ.

LAGOA	ÁREA LAGOA	ÁREA BACIA	ÁREA URBANA	ÁREA RURAL	ÁREA NATURAL
Lagoa de Jacarepaguá	**3,7**	60,9	35,8	- -	25,1
Lagoa da Tijuca	**4,8**	104,7	46,3	- -	58,4
Lagoa de Marapendi	**3,5**	8,9	6,6	- -	2,3
TOTAL		**174,5**	**88,7**	**- -**	**85,8**

Valores apresentados em Km².

As áreas de influência indireta correspondem às áreas restantes que não contribuem efetivamente com suas drenagens para o sistema lagunar.

3.3 MORFOMETRIA DO COMPLEXO LAGUNAR

As características batimétricas das Lagoas do Complexo de Jacarepaguá mostram cerca de 80% da área com profundidades inferiores a 2 metros, com máxima da ordem de 10 metros, conforme pode ser observado na figura abaixo.

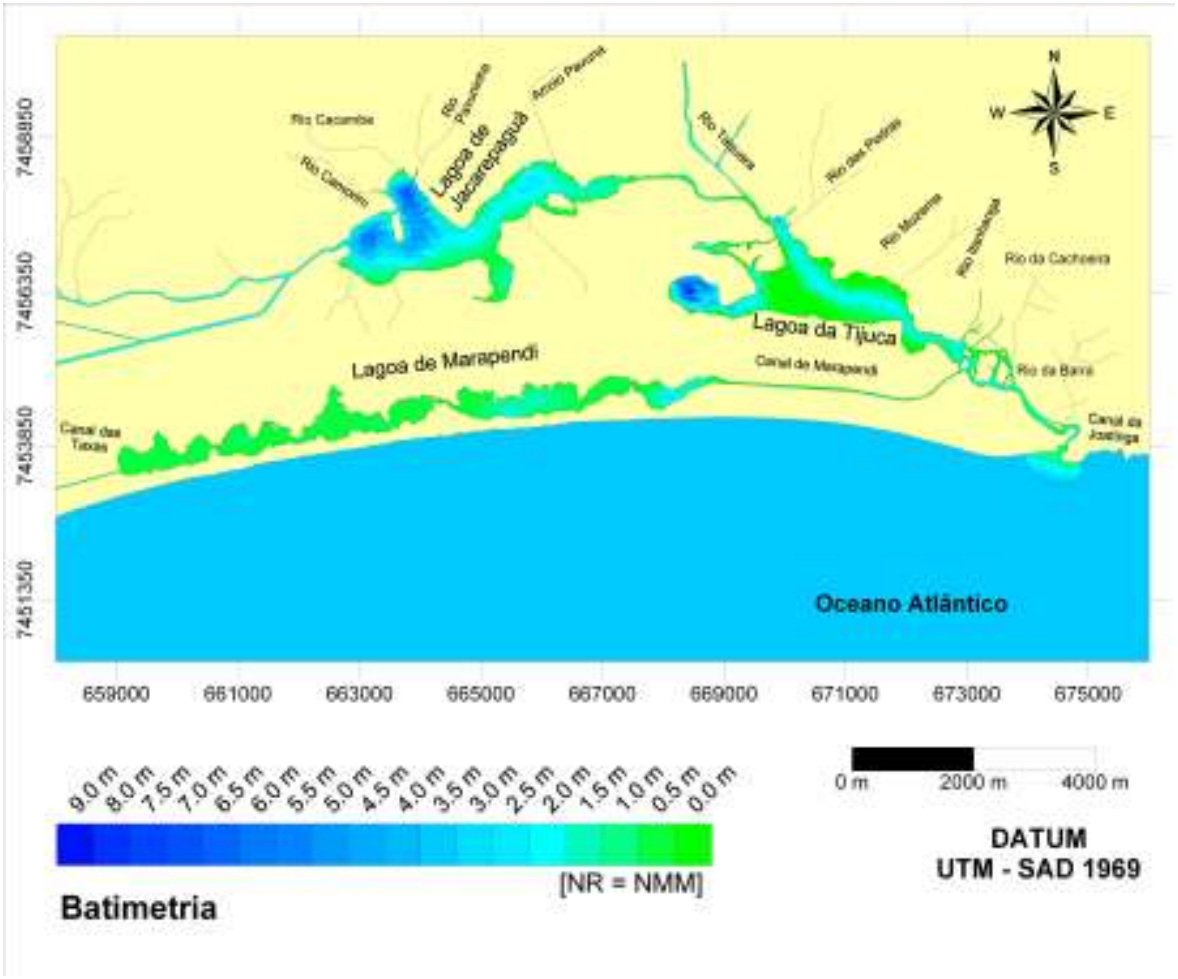


FIGURA 3.3.1 – Batimetria do Complexo Lagunar de Jacarepaguá.
(Fonte: Adaptada de Rosman, 2002. – PENO 3393– COPPE/UFRJ).

A lagoa de Jacarepaguá se localiza na parte mais interiorizada do complexo lagunar a oeste, e pode ser considerada relativamente rasa com profundidades médias de 3,30 m. Suas irregularidades batimétricas estão associadas principalmente com as dragagens que foram realizadas para aterros hidráulicos, entre os quais os do Riocentro, do Autódromo, do Aeroporto de Jacarepaguá, de condomínios residenciais e de centros comerciais, e variam de 6–11 m.

A lagoa de Camorim geormorfologicamente apresenta-se como um canal de ligação entre a lagoa de Jacarepaguá e a lagoa da Tijuca, e por isso não será abordada nos resultados apresentados neste estudo. Juntas (Jacarepaguá – Camorim – Tijuca), possuem uma extensão de aproximadamente 13 km, e um espelho d'água de 9,3 Km².

A lagoa da Tijuca possui a maior área com cerca de 4,8 Km². Está localizada na porção mais a leste do complexo lagunar estando localizada mais próxima do canal da Joatinga, onde se dá a principal entrada de água do mar para o sistema.

A lagoa de Marapendi estende-se ao longo do cordão litorâneo do Oceano Atlântico (restinga externa), e do cordão litorâneo que separa as outras lagoas mais interiores (restinga interna). Possui um comprimento em torno de 10 km, e 350 m de largura média, se dividindo em 7 compartimentos semelhantes a bolsões.

Está interligada a leste com a lagoa da Tijuca através do Canal de Marapendi. Este canal de origem artificial foi aberto na década de quarenta, visando a drenagem da região, e possui cerca de 4 km (EIA – PCRJ, 1998) Atualmente apresenta-se bastante deteriorado em virtude do grande volume de esgoto lançado em suas águas, bem como pelas alterações topográficas ocorridas em virtude do aterro das faixas marginais de proteção do canal, que são utilizadas por diversos condomínios como área de recreação ou vias para a passagem de veículos.

Na sua outra extremidade, a lagoa de Marapendi está interligada à Lagoinha através do canal das Taxas. É a única lagoa que não recebe de forma direta o fluxo dos rios proveniente das áreas dos maciços, recebendo drenagem fluvial através deste canal e/ou através do run-off superficial.

A tabela a seguir apresenta algumas características do sistema lagunar abordado neste estudo:

TABELA 3.3.1 – Características do Sistema Lagunar da Baixada de Jacarepaguá. (Fonte: SEMADS, 2001).

LAGOA	ÁREA (Km²)	PERÍMETRO (Km²)	ÁREA DE DRENAGEM (Km²)
Lagoa de Jacarepaguá	3,7	17,8	60,9
Lagoa da Tijuca	4,8	32,4	104,7
Lagoa de Marapendi	3,5	33,4	8,9
Lagoa de Camorim *¹	0,8	- -	- -
Lagoinha *²	0,7	- -	- -

*¹ Conforme dito anteriormente esta lagoa não será abordada nos resultados por apresentar-se geomorfologicamente como um canal de ligação entre a Lagoa de Jacarepaguá e Lagoa da Tijuca.

*² Não foram realizadas coletas nesta lagoa, e por este motivo não será abordada nos resultados apresentados.

De uma forma geral, pode ser visto como um sistema estrangulado (sufocado), atualmente fazendo sua troca hídrica com o mar somente através do canal da Joatinga a leste. A troca de água mediante ao regime de marés não é suficiente para renovar grande parte das águas das lagoas, prejudicando a qualidade de suas águas. O canal de Sernambetiba a oeste, atualmente fechado devido ao assoreamento, tem um papel fundamental no escoamento das águas provenientes do Maciço da Pedra Branca e da parte oeste da Baixada de Jacarepaguá. Seu fechamento provoca maior número de inundações em suas margens, e diminuição da qualidade das águas mais interiores. (ZEE *et al*, 1992 *apud* AMORIM, 2001).

O canal da Joatinga também contribui para diminuição da balneabilidade das regiões litorâneas adjacentes, onde o volume de águas das lagoas da Tijuca e Marapendi a cada ciclo de maré que atinge o mar alterem as condições naturais da região. Em função disto, a qualidade da água da praia da Barra da Tijuca vem sendo constantemente prejudicada (AMORIM, 2001).

Segundo Fernandes (1991), a extensão do canal da Joatinga e a dimensão de suas secções impedem a existência de um nível igual e sincrônico entre a lagoa e o mar, mesmo com a aceleração da velocidade da água em direção ao mar,

propiciando a ocorrência de uma defasagem. Segundo Marques (1987) *apud* Fernandes (1991), esta diferença é mais acentuada em épocas úmidas onde o nível da lagoa fica relativamente mais alto induzindo a hipótese de que haja um trânsito forçado de águas subterrâneas em direção à lagoa de Marapendi e, posteriormente ao mar.

4 METODOLOGIA

A seguir estão descritos os procedimentos da amostragem, do campo, e laboratório, bem como as metodologias que foram empregadas para a determinação dos parâmetros geoquímicos abordados no trabalho.

4.1 AMOSTRAGEM

Foram executadas cinco campanhas para a caracterização da área de estudo. As estações foram previamente selecionadas, de forma a representar uma cobertura completa de todo o sistema, bem como coincidir com suas principais drenagens da bacia hidrográfica.

As campanhas foram realizadas a partir de um barco a motor nos dias 16 e 24 de junho, 02 julho e 02 de setembro de 2006 e 02 de outubro de 2007. Ao todo, foram recolhidas amostras de sedimento superficial do fundo lagunar em 62 estações.

A figura 4.1.1 a seguir apresenta a localização das estações de coleta:

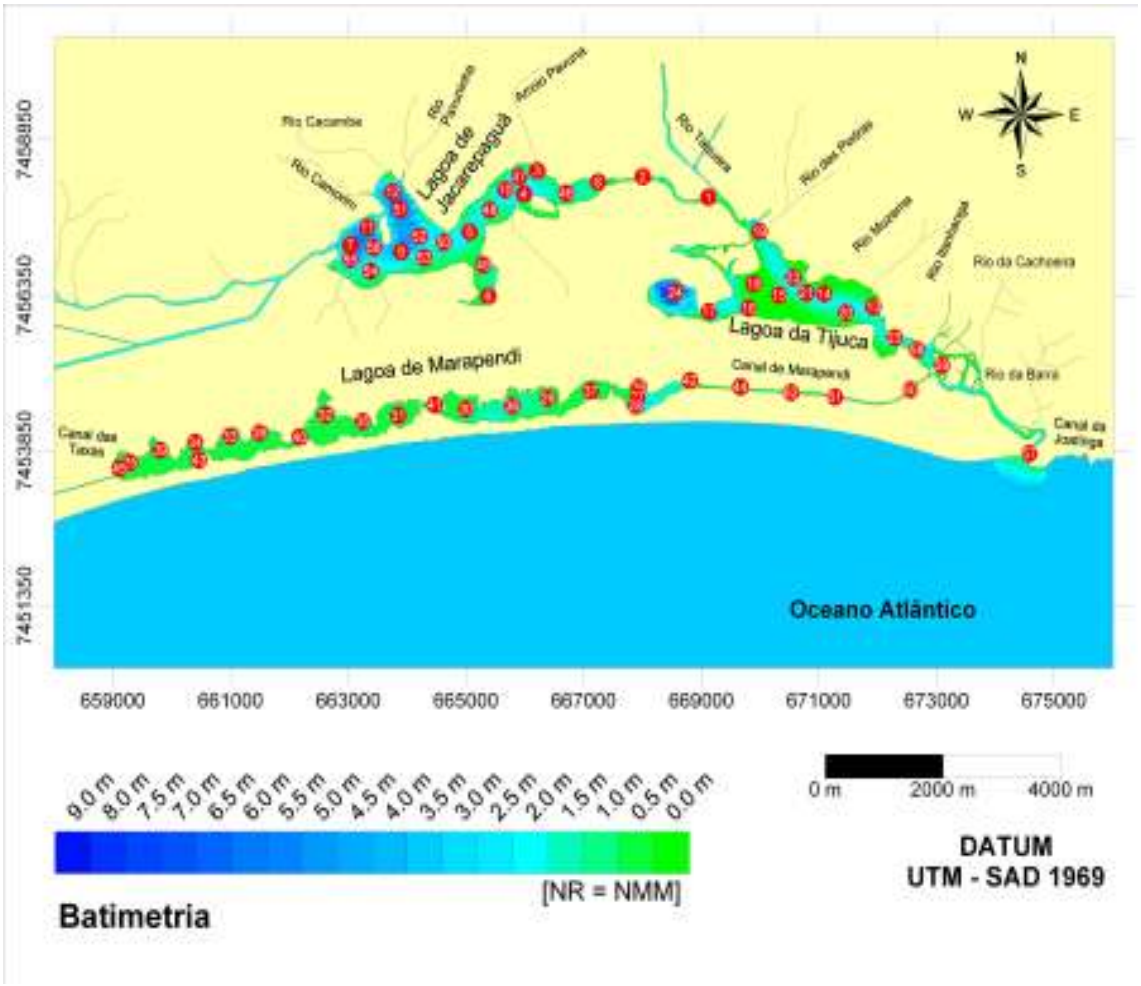


FIGURA 4.1.1 – Localização das estações de coleta.

As coordenadas das estações foram posicionadas com auxílio de um GPS portátil - Garmim, e estão representadas na tabela abaixo:

TABELA 4.1.1 – Coordenadas em UTM (SAD 69) e Geográficas (WGS-84).

ESTAÇÕES	Universe Transverse Mercator		World Geodetic System	
	UTM – SAD 1969		WGS – 1984	
	NORTE – N	LESTE – L	SUL – S	OESTE – W
CLJ 01	7457926	669119	22º 58' 43.52"	43º 21' 02.18"
CLJ 02	7458263	668005	22º 58' 32.98"	43º 21' 41.42"
CLJ 03	7458355	666213	22º 58' 30.63"	43º 22' 44.37"
CLJ 04	7457981	665982	22º 58' 42.87"	43º 22' 52.34"
CLJ 05	7457368	665062	22º 59' 03.13"	43º 23' 24.40"
CLJ 06	7456338	665382	22º 59' 36.50"	43º 23' 12.77"
CLJ 07	7457163	663034	22º 59' 10.51"	43º 24' 35.52"
CLJ 08	7458172	667249	22º 58' 36.21"	43º 22' 07.93"
CLJ 09	7457055	663902	22º 59' 13.72"	43º 24' 05.01"
CLJ 10	7458050	665667	22º 58' 40.74"	43º 23' 03.42"
CLJ 11	7457445	663325	22º 59' 01.24"	43º 24' 25.42"
CLJ 12	7458014	663751	22º 58' 42.59"	43º 24' 10.68"
CLJ 13	7456164	671925	22º 59' 39.77"	43º 19' 22.96"
CLJ 14	7456375	671091	22º 59' 33.22"	43º 19' 52.33"
CLJ 15	7456355	670320	22º 59' 34.15"	43º 20' 19.39"
CLJ 16	7456143	669805	22º 59' 41.23"	43º 20' 37.39"
CLJ 17	7456089	669129	22º 59' 43.24"	43º 21' 01.10"
CLJ 18	7456532	669894	22º 59' 28.56"	43º 20' 34.42"
CLJ 19	7457376	669990	22º 59' 01.08"	43º 20' 31.38"
CLJ 20	7456069	671457	22º 59' 43.03"	43º 19' 39.35"
CLJ 21	7456386	670785	22º 59' 32.97"	43º 20' 03.07"
CLJ 22	7456636	670560	22º 59' 24.93"	43º 20' 11.07"
CLJ 23	7455672	672288	22º 59' 55.63"	43º 19' 10.02"
CLJ 24	7456398	668562	22º 59' 33.40"	43º 21' 21.13"
CLJ 25	7453659	659293	23º 01' 05.72"	43º 26' 45.57"
CLJ 26	7454871	667937	23º 00' 23.26"	43º 21' 42.48"
CLJ 27	7454715	667915	23º 00' 28.34"	43º 21' 43.19"
CLJ 28	7454570	667882	23º 00' 33.07"	43º 21' 44.29"
CLJ 29	7454694	666395	23º 00' 29.58"	43º 22' 36.56"
CLJ 30	7454518	665000	23º 00' 35.80"	43º 23' 25.48"
CLJ 31	7454415	663848	23º 00' 39.56"	43º 24' 05.89"
CLJ 32	7454423	662613	23º 00' 39.73"	43º 24' 49.27"
CLJ 33	7454080	660989	23º 00' 51.45"	43º 25' 46.17"
CLJ 34	7453981	660399	23º 00' 54.87"	43º 26' 06.85"
CLJ 35	7454321	663243	23º 00' 42.83"	43º 24' 27.10"
CLJ 36	7454573	665784	23º 00' 33.73"	43º 22' 57.97"
CLJ 37	7454812	667124	23º 00' 25.48"	43º 22' 11.00"
CLJ 38	7454134	661488	23º 00' 49.52"	43º 25' 28.66"
CLJ 39	7453858	659804	23º 00' 59.08"	43º 26' 27.70"
CLJ 40	7454067	662169	23º 00' 51.46"	43º 25' 04.72"

ESTAÇÕES	Universe Transverse Mercator		World Geodetic System	
	UTM – SAD 1969		WGS – 1984	
	NORTE – N	LESTE – L	SUL – S	OESTE – W
CLJ 41	7454587	664470	23º 00' 33.74"	43º 23' 44.12"
CLJ 42	7454977	668813	23º 00' 19.50"	43º 21' 11.76"
CLJ 43	7453695	660464	23º 01' 04.15"	43º 26' 04.46"
CLJ 44	7454875	669667	23º 00' 22.50"	43º 20' 41.73"
CLJ 45	7453567	659109	23º 01' 08.78"	43º 26' 52.00"
CLJ 46	7457998	666706	22º 58' 42.06"	43º 22' 26.92"
CLJ 47	7458263	665904	22º 58' 33.73"	43º 22' 55.18"
CLJ 48	7457726	665404	22º 58' 51.37"	43º 23' 12.53"
CLJ 49	7456840	665295	22º 59' 20.21"	43º 23' 16.01"
CLJ 50	7457199	664623	22º 59' 08.78"	43º 23' 39.75"
CLJ 51	7457731	663888	22º 58' 51.75"	43º 24' 05.76"
CLJ 52	7457299	664209	22º 59' 05.68"	43º 23' 54.32"
CLJ 53	7456956	664295	22º 59' 16.79"	43º 23' 51.17"
CLJ 54	7456740	663380	22º 59' 24.14"	43º 24' 23.22"
CLJ 55	7456922	663033	22º 59' 18.35"	43º 24' 35.47"
CLJ 56	7457116	663436	22º 59' 11.90"	43º 24' 21.39"
CLJ 57	7453805	674576	23º 00' 55.46"	43º 17' 48.92"
CLJ 58	7455475	672667	23º 00' 01.89"	43º 18' 56.63"
CLJ 59	7455223	673095	23º 00' 09.92"	43º 18' 41.50"
CLJ 60	7454833	672553	23º 00' 22.80"	43º 19' 00.37"
CLJ 61	7454714	671271	23º 00' 27.14"	43º 19' 45.34"
CLJ 62	7454785	670527	23º 00' 25.11"	43º 20' 11.50"

Além do geo-referenciamento das estações, outros dados puderam ser obtidos em campo como **pH** utilizando-se um pHmetro INGOLD-206; potencial de oxi-redução "**Eh**" através de um potenciômetro portátil com eletrodo de vidro combinado; e em alguns casos, a profundidade da lâmina d'água com linha sonda.

As amostras de sedimento superficial foram coletadas com auxílio de um amostrador de fundo tipo ***Ekman***. Após o lançamento e recolhimento do amostrador de fundo, e verificação da integridade do sedimento, foi selecionada somente a área central e superficial da amostra, uma vez que este amostrador apresenta sua estrutura metálica. Esta medida se torna necessária a fim de evitar a contaminação das amostras destinadas à análise de mercúrio. Para a camada superficial (0–2 cm) de sedimento retirado, utilizou-se uma colher de plástico, e este, posteriormente armazenado em sacos plásticos previamente identificados e dotados de zip-lock. Simultaneamente à retirada desta camada, sensores de **pH** e **Eh** foram aplicados no sedimento e seus resultados anotados em uma planilha de campo. Estas amostras

foram armazenadas e conservadas em isopor com gelo durante a coleta até sua chegada ao laboratório de Geoquímica da UFF. Algumas fotos das coletas estão apresentadas nas figuras a seguir:



FIGURA 4.1.2 – Imagem da embarcação utilizada nas campanhas.



FIGURA 4.1.3 – Sensores de pH e Eh utilizados em campo.



FIGURA 4.1.4 – Amostrador de fundo Ekman (montagem pré-lançamento).



FIGURA 4.1.5 – Verificação da Integridade do sedimento (pós-lançamento).



FIGURA 4.1.6 – Amostra sedimentar dentro do amostrador Ekman.



FIGURA 4.1.7 – Amostra sedimentar fora do amostrador Ekman.

4.2 LABORATÓRIO

No laboratório as amostras de sedimento superficial foram separadas de acordo com a lagoa correspondente e posteriormente congeladas. No momento da análise, as amostras foram descongeladas e fracionadas para análise, granulométrica, de mercúrio total (HgT), e análise de matéria orgânica.

Os procedimentos que foram adotados nas amostras para o tratamento e análises estão resumidos no diagrama a seguir:

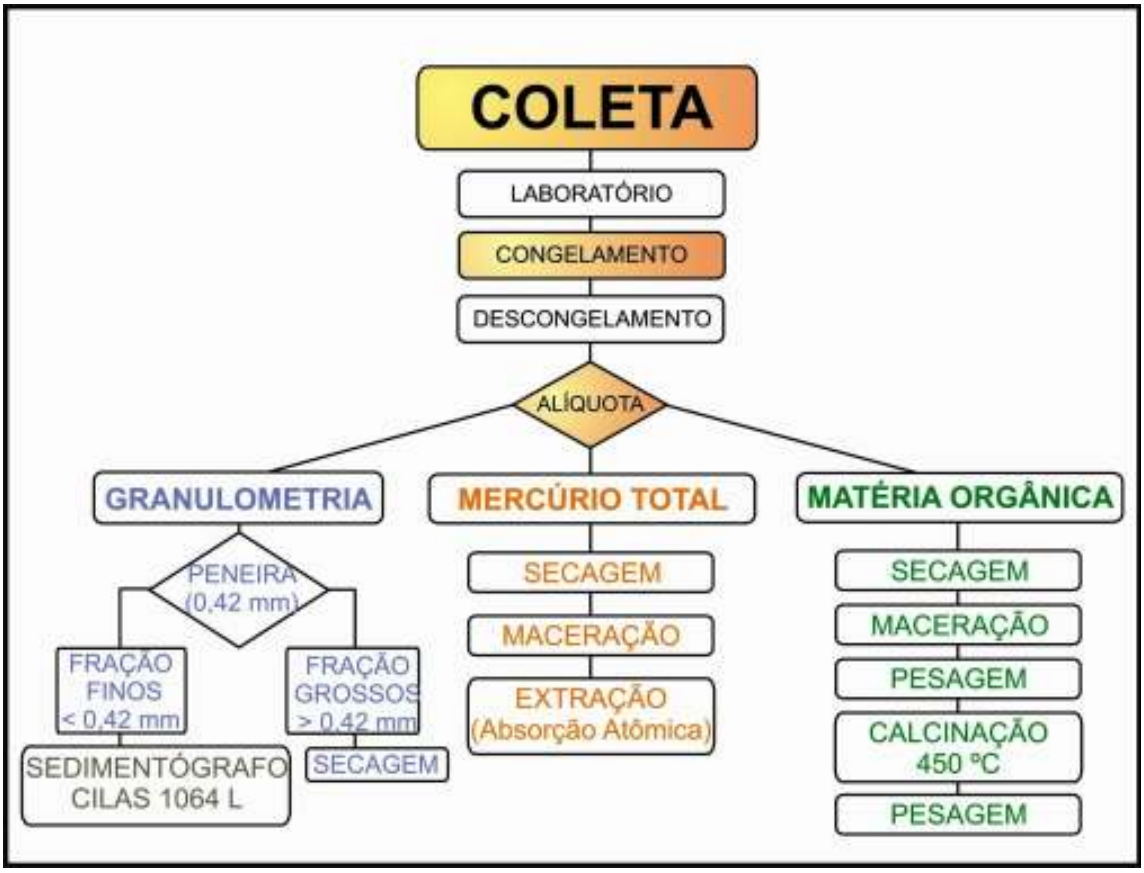


FIGURA 4.2.1 – Procedimentos de tratamento e análise das amostras.

Estes procedimentos estão descritos detalhadamente nos sub-itens a seguir, em função de cada um dos parâmetros analisados.

4.2.1 Granulometria

As análises granulométricas foram realizadas no Laboratório de Sedimentologia do Departamento de Geoquímica, na Universidade Federal Fluminense.

As amostras de sedimento foram analisadas geoquimicamente, considerando todos os componentes aderidos, como lama, matéria orgânica, carbonatos, sais, entre outros.

Primeiramente, as amostras úmidas foram “atacadas” quimicamente com **Hexametaortofosfato de Sódio** numa razão 40mg/L com intuito de desagregar completamente partículas aderidas ao sedimento. Em seguida a esta preparação, as mesmas foram submetidas a uma agitação durante 48 horas em agitador mecânico, conforme pode ser observado na figura a seguir.



FIGURA 4.2.1.1 – Amostras submetidas ao Agitador Mecânico

A caracterização dimensional da fração fina foi feita através do sedimentógrafo **CILAS® Particle Size Analyzer 1064 L**. O princípio granulométrico do CILAS® 1064L está baseado em medir o tamanho das partículas, ou mais especificamente, a distribuição dos diferentes tamanhos de partículas em uma amostra através da difração de raio laser. Detectam o espalhamento frontal, lateral e posterior.

As amostras úmidas foram diluídas com água deionizada e inseridas na entrada principal do equipamento, utilizando-se de uma peneira primária de 0,420mm (Figura 4.2.1.2), devido a capacidade analítica do equipamento ser menor que 500mm. Desta forma, é considerado que toda a fração fina representa as partículas menores que 0,420mm.



FIGURA 4.2.1.2 – Peneira 0,420 mm

Cada amostra foi analisada pelo equipamento durante o período mínimo de 5 minutos, e os resultados obtidos pelo software do equipamento (Figura 4.2.1.3), são apresentados em percentagem de volume por cada dimensão especificada.

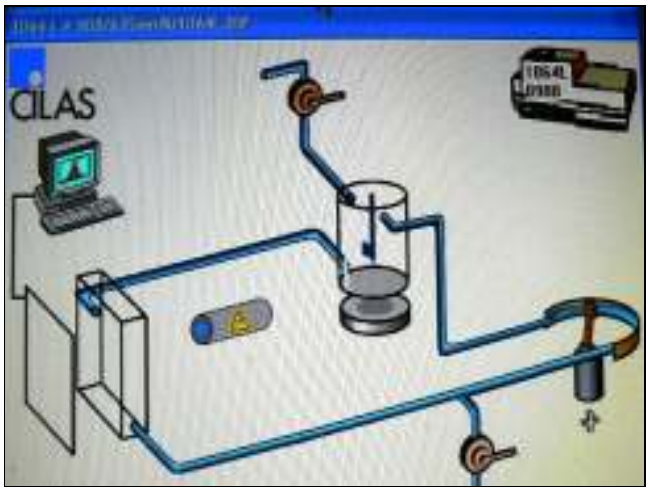


FIGURA 4.2.1.3 – Software “The Particle Expert V: 5.12”

As frações grosseiras de cada amostra, retidas na peneira primária de 0,420mm foram colocadas em recipientes previamente pesados, e levadas para secagem em estufa a 60º C durante 5 dias.

Toda informação assim obtida através do equipamento, foi usada para caracterização textural através da obtenção de parâmetros estatísticos de Folk & Ward (1957) usando o software **GRADISTAT 4.0©** (*Grain Size Analysis Program - A Grain Size Distribution and Statistic Package for the Analysis of Unconsolidated Sediments by Sieving or Laser Granulometer,* desenvolvido por Simon Blott - Dept of Geology, Royal Holloway, University of London), disponível na internet (http://www.kpal.co.uk/gradistast.htm). A partir deste programa foi obtida a divisão granulométrica de cada amostra, a distribuição amostral, e a classificação do material presente na amostra, representada pelo Triângulo de Shepard.

4.2.2 Teor de Matéria Orgânica (M.O)

A determinação do teor de matéria orgânica (M.O) seguiu o método descrito por Hoskins (2002). O método consiste na calcinação de cerca de 3g do material seco (sedimento), em cadinhos de porcelana a uma temperatura aproximada de 450º durante 24 horas. Todo o material foi pesado em balança analítica com precisão ao décimo de miligrama. A diferença de peso antes e depois da combustão determina, em valores percentuais, o teor de matéria orgânica uma vez que se trata de um método gravimétrico.

A fórmula aplicada foi:

Teor de matéria orgânica = ((P^1 sed – P^2 sed) X 100) / P^1 sed

Onde:

P^1 sed = massa em gramas de sedimento antes da combustão (inicial).

P^2 sed = massa em gramas de sedimentos após a combustão (final).

4.2.3 Mercúrio Total (HgT)

A concentração total de HgT foi obtida a partir da digestão (abertura das amostras) descrita na metodologia de Loring & Rantala (1991) e UNEP (1995). Os materiais que entraram em contato com as amostras ou reagentes utilizados para as análises foram descontaminados em banhos sucessivos por 24 horas de EXTRAN 10% e ácido nítrico 10%. Os reagentes utilizados nas análises pertencem à marca MERCK, com grau de pureza P.A.

Após o descongelamento das mesmas amostras, uma outra alíquota foi retirada e colocada em béqueres de 200 mL. Este material foi levado para uma estufa a 60° C onde permaneceu durante cerca de 5 (cinco) dias para completa evaporação da água, e posterior maceração (Figura 4.2.3.1).



(a) (b) (c)

FIGURA 4.2.3.1 – (a) Estufa; (b) Graal para maceração; (c) Balança de precisão.

Após a maceração das amostras, com o auxilio de uma balança de precisão de (microgramas), uma alíquota de 3g (gramas) foi retirada e colocada em um erlenmeyer de 125 mL. Ainda nesta etapa foi adicionada uma solução de 20 mL de água régia 50% (HNO3: HCl: H2O, 1:3:4), em duplicata para cada amostra, sendo posteriormente levadas para a capela durante o período de 1 hora em banho maria a 60°C com condensador do tipo dedo frio.

A leitura da concentração de mercúrio pode ser obtida a partir do analisador **BACHARACH** modelo COLEMAN-50 D, que utiliza a técnica de espectrofotometria de absorção atômica por arraste de vapor frio (Figura 4.2.3.2).

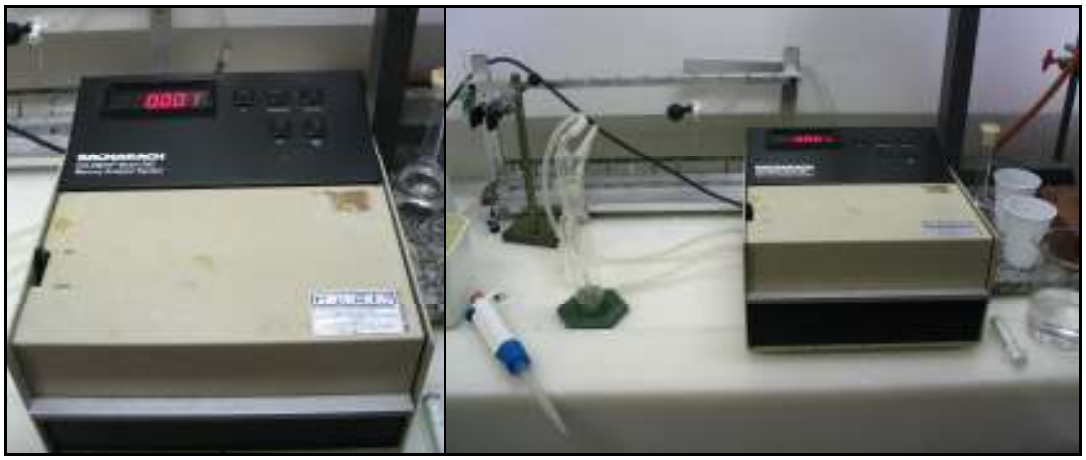


FIGURA 4.2.3.2 – Analisador Bacharach – COLEMAN-50 D.

Nesta etapa de leitura das amostras, ainda foi necessário adicionar em cada amostra, 5 mL de uma solução de cloreto estanoso ($SnCl_2$) para redução do Hg^{2+} (iônico) para Hg^0, que é gasoso. A bomba do aerador acoplada ao equipamento faz circular o ar em sistema fechado através da solução contendo o mercúrio em sua forma reduzida. O vapor do metal é carreado por um fluxo de ar para uma célula de absorção e a leitura da concentração, obtida.

A validação das medidas nas amostras pode ser comparada junto da análise simultânea com sedimento de referência "**San Joaquim**", de 1,4 $\mu g.g^{-1}$, e a determinação do limite de detecção analítico através do desvio padrão obtido na leitura dos brancos analíticos.

4.3 TRATAMENTO DOS DADOS

Os resultados obtidos através das metodologias anteriormente descritas, passaram por análises estatísticas multivariadas a fim de identificar os possíveis comportamentos e contribuir na interpretação dos dados. Estas análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa XLSTAT-Pro 7.0©.

Primeiramente foi testada a normalidade dos dados, onde a maioria não apresentou uma distribuição normal, tornando-se necessária aplicação de análises não paramétricas.

Com o objetivo identificar se existem ou não diferenças significativas nos teores de HgT entre as lagoas do CLJ foi realizado o teste de Mann-Whitney, sendo adotado o nível de significância de 95% (p = 0,05).

Por último, ainda foi aplicada a Análise de Componentes Principais (ACP) utilizando-se da correlação não paramétrica de Spearman. O objetivo deste teste foi indicar associações, similaridades e/ou algum comportamento entre as estações, utilizando os dados de pH, Eh, M.O, HgT e granulométricos.

A partir destes resultados, foram elaboradas tabelas, gráficos e figuras utilizando-se dos softwares EXCEL e SURFER 8.0©.

É importante ressaltar que, quando da utilização do software SURFER, foram gerados inicialmente grid's individuais para cada lagoa do sistema lagunar em função do parâmetro considerado, e posteriormente o agrupamento para a configuração final da imagem. Os grids foram gerados desta maneira para que não houvesse interferência entre os conjuntos de dados durante a gridagem.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A caracterização sedimentológica das amostras superficiais recolhidas passou pela avaliação de pH, Eh, teor de matéria orgânica, granulometria e concentração de mercúrio total nas Lagoas de Jacarepaguá, Tijuca e Marapendi, principais do complexo lagunar.

Os resultados obtidos deste trabalho estão divididos conforme tópico a seguir:

I) Variáveis Físico-Químicas
   a. pH
   b. Eh
II) Matéria Orgânica
III) Granulometria
IV) Mercúrio Total (HgT)
V) Análise Integrada

5.1 VARIÁVEIS FÍSICO-QUÍMICAS

Conforme já dito anteriormente, as determinações de pH e Eh dos sedimentos superficiais foram efetuadas no campo através de sensores aplicados simultaneamente à coleta das amostras.

5.1.1 pH

Os resultados obtidos de pH (valores médios, desvios padrão, máximos e mínimos) estão representados na tabela 5.1.1.1 a seguir, de acordo com a lagoa correspondente.

TABELA 5.1.1.1 – Valores de pH encontrado nas diferentes lagoas.

JACAREPAGUÁ		TIJUCA		MARAPENDI	
MÉDIA	6,67	**MÉDIA**	6,93	**MÉDIA**	6,86
DESVIO PADRAO	0,27	**DESVIO PADRAO**	0,23	**DESVIO PADRAO**	0,28
MÁXIMO	7,08	**MÁXIMO**	7,39	**MÁXIMO**	7,62
MÍNIMO	6,19	**MÍNIMO**	6,51	**MÍNIMO**	6,53

Em relação aos resultados de pH a lagoa de Jacarepaguá apresentou valores médios relativamente baixos (6,67±0,27), com valor máximo de 7,08 e mínimo de 6,19, indicando um meio levemente ácido. Este comportamento pode estar associado à distância que ela está situada em relação ao canal da Joatinga – canal de entrada efetiva de águas salinas para o sistema lagunar –, e ao assoreamento atual do canal de Sernambetiba, impedindo uma troca mais eficiente entre suas águas. Este comportamento pode ainda estar refletindo a influência marinha através da entrada de água pelo lençol freático.

A lagoa de Marapendi e a lagoa da Tijuca apresentaram valores médios pouco mais elevados (6,86±0,28 e 6,93±0,23, respectivamente), mas ainda assim, com características próximas à neutralidade para o sistema lagunar. A lagoa da

Tijuca apresentou valor máximo de 7,39 e mínimo de 6,51, e a lagoa de Marapendi, valor máximo de 7,62 e mínimo de 6,53.

Para a lagoa da Tijuca, a proximidade e influência direta das águas salinas através do canal da Joatinga, e ainda para a lagoa de Marapendi a proximidade da barra arenosa entre a lagoa e o mar, e a influência das águas salinas indiretamente através do canal de Marapendi (interligado à lagoa da Tijuca), podem ter contribuído com os valores médios mais elevados nestas duas lagoas citadas.

A figura 5.1.1.1 a seguir representa graficamente a distribuição espacial de pH em todo o sistema lagunar de acordo com os resultados obtidos em cada estação.

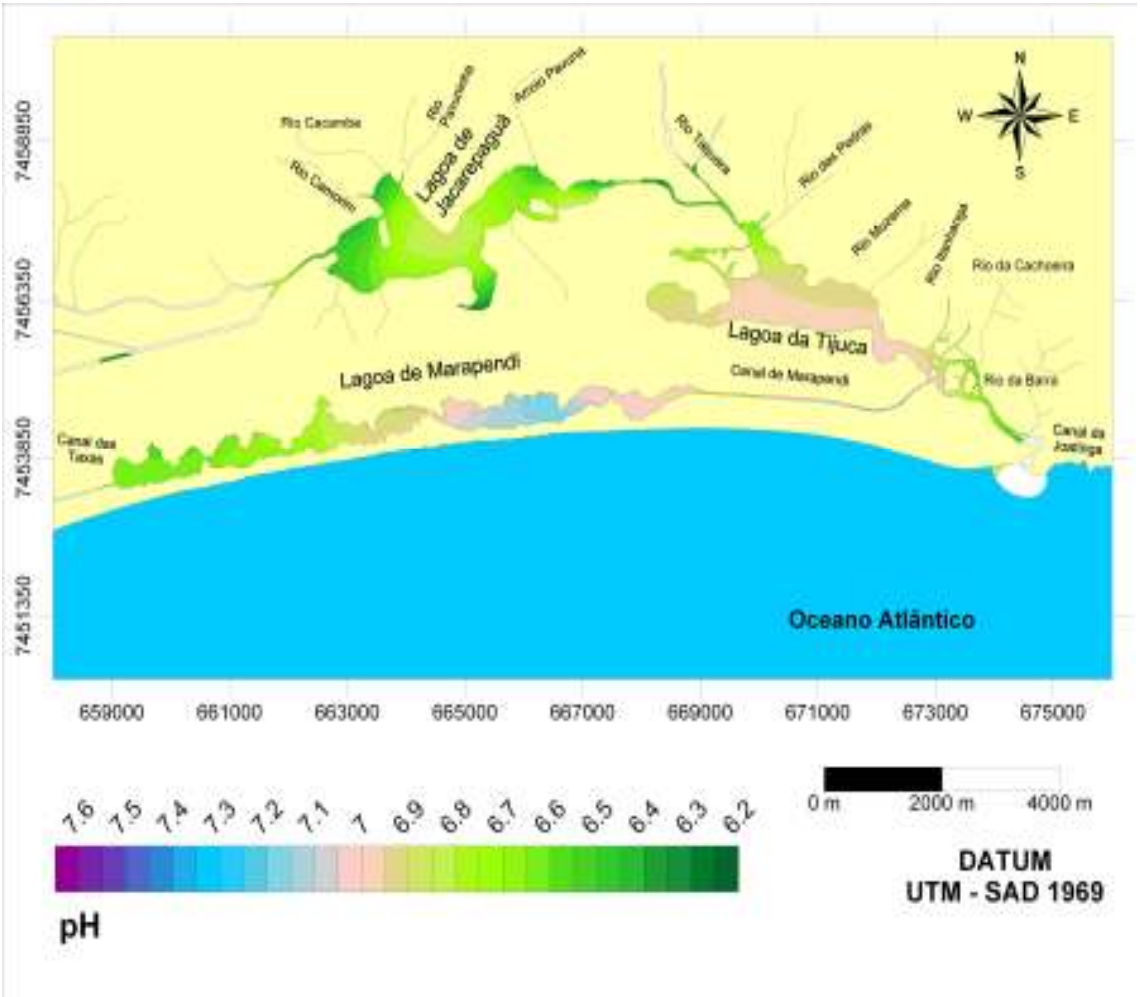


FIGURA 5.1.1.1 – Distribuição espacial de pH obtidos no sistema lagunar.

Analisando esta figura em conjunto com a figura 4.1.1 (Localização das estações de coleta), pode-se observar que os baixos valores de pH apresentados na lagoa de Jacarepaguá (pH < 6,50), se encontram nas estações 03; 04; 06; 08; 11 e 12.

Considerando os valores compreendidos entre 6,50<pH<6,90, encontramos na lagoa da Tijuca as estações 01; 15; 17; 19; 60 e 61, e na lagoa de Marapendi as estações 25; 27; 31; 32; 33; 34; 37; 38; 39; 40; 43; 44 e 45. Nota-se a possibilidade de estes menores valores estarem associados a regiões de baixa circulação hidrodinâmica (regiões mais abrigadas), uma vez que seus principais movimentos de água são forçados pelos ventos e as correntes de maré.

Ainda é possível observar um ligeiro gradiente com os menores valores na porção oeste do sistema, o que poderia estar associado à distância em que elas se encontram do canal da Joatinga.

Estes menores valores de pH podem estar relacionados com a acidez das camadas superficiais do sedimento devido aos processos de oxidação dos sulfetos de ferro (FeS), principalmente nas frações mais lábeis.

5.1.2 Eh

De uma forma geral, o potencial redox possui forte relação com o aporte excedente de matéria orgânica, onde pequenas variações na entrada (input), e degradação podem alterar o comportamento e a biodisponibilidade de mercúrio no ambiente. (FÖRSTNER & WITTMAN, 1981).

Os resultados obtidos de Eh (valores médios, desvios padrão, máximos e mínimos) estão representados na tabela 5.1.2.1 a seguir, de acordo com a lagoa correspondente e expressos em mV.

TABELA 5.1.2.1 – Valores de Eh (mV) encontrados no sistema lagunar.

JACAREPAGUÁ	
MÉDIA	-344,82
DESVIO PADRAO	22,85
MÁXIMO	-278,00
MÍNIMO	-380,00

TIJUCA	
MÉDIA	-274,68
DESVIO PADRAO	144,78
MÁXIMO	20,00
MÍNIMO	-403,00

MARAPENDI	
MÉDIA	-351,10
DESVIO PADRAO	44,36
MÁXIMO	-208,00
MÍNIMO	-398,00

De acordo com os resultados de Eh apresentados na tabela anterior, pode-se notar que as lagoas de Jacarepaguá e Marapendi apresentaram todos os valores negativos, característicos de um ambiente redutor. Os valores médios obtidos para a lagoa de Jacarepaguá foram (-345±23,0 mV) com máximo de -278 e mínimo de -380, e para a lagoa de Marapendi (-351±44,3 mV), com máximo de -208 e mínimo de -398.

A lagoa da Tijuca apresentou valores médios menos redutores se comparados com as duas outras lagoas (-274±144.0 mV) com máximo de +20 e mínimo de -403. A explicação neste caso se deve aos valores positivos obtidos nas regiões mais próximas ao canal da Joatinga, onde ocorre entrada principal de água salina para o sistema.

A figura a seguir representa graficamente a distribuição espacial de Eh em todo o sistema lagunar de acordo com os resultados obtidos em cada estação.

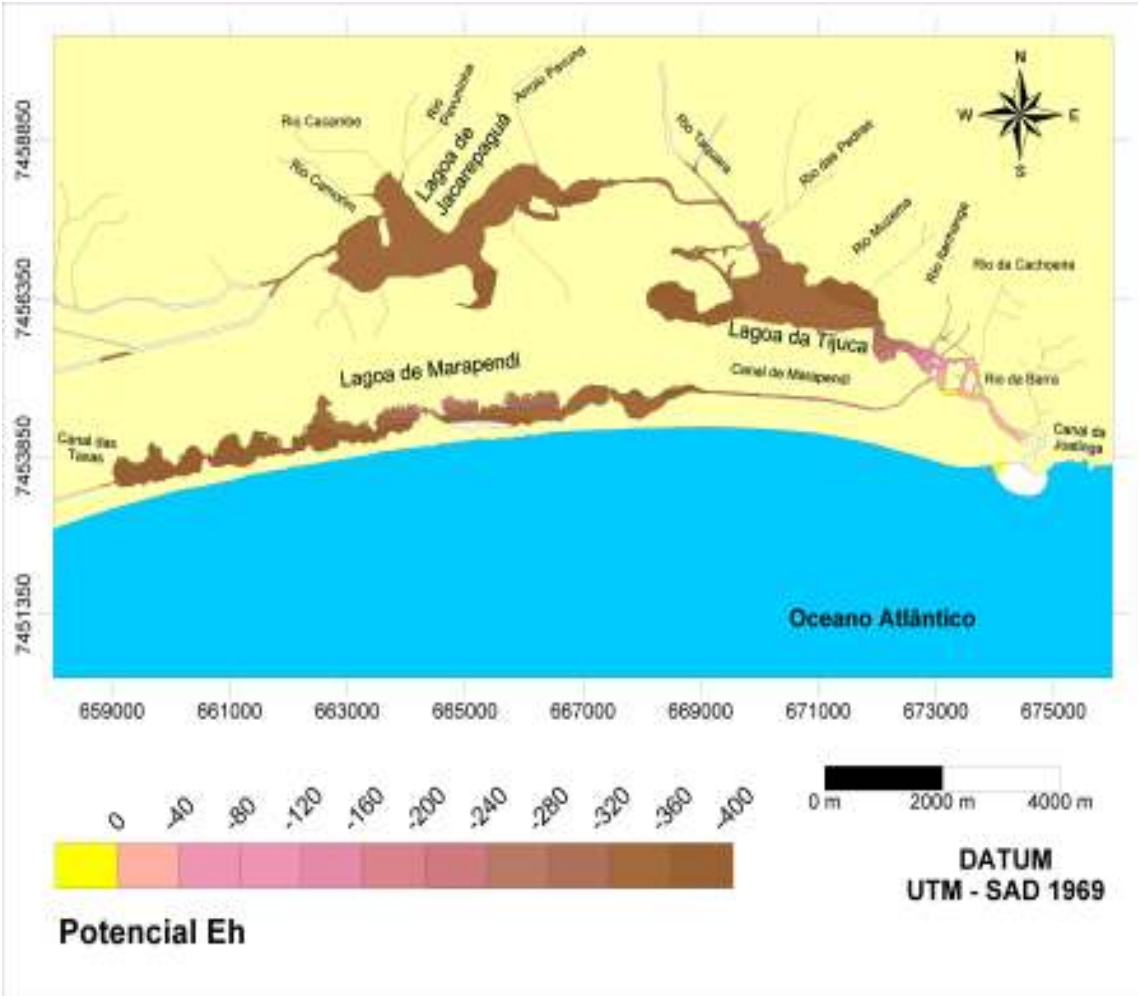


FIGURA 5.1.2.1 – Distribuição espacial de Eh obtidos no sistema lagunar.

Nota-se uma predominância de valores entre -280 e -400 em todo o sistema lagunar, caracterizando um ambiente fortemente redutor.

Analisando esta figura novamente em conjunto com a figura 4.1.1 (Localização das estações de coleta), pode-se observar de uma forma geral, que apenas as estações 57, 58, 59, 60, 61 e 62, mais próximas do canal da Joatinga, apresentaram valores de Eh acima de -280, e em alguns casos, até mesmo positivos (estações 57 e 59).

Conforme já dito anteriormente, estes valores podem estar associados ao fluxo de entrada de água salina através deste canal para o sistema, bem como a predominância de sedimento arenoso, nestas amostras.

Isoladamente as estações 09 e 41, para as lagoas de Jacarepaguá e Marapendi, respectivamente, também apresentaram valores de Eh abaixo de -280.

5.2 TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA

As substâncias húmicas formam a principal fração da matéria orgânica presente em sedimentos recentes nos ambientes deposicionais, contribuindo com cerca de 30% para o conteúdo de MO (FÖRSTNER & WITTMANN, 1981). O mesmo poderá se aplicar ao Complexo Lagunar de Jacarepaguá, visto que, este sistema tem-se comportado como um clássico ambiente deposicional, e ainda poder ser classificada como uma “laguna restrita” se avaliarmos seu comportamento nas últimas décadas, a uma “laguna sufocada”, atualmente (KJERFVE & MAGIL, 1989).

As substâncias húmicas têm características estruturais que contribuem para a sua interação com outras substâncias, entre as quais os metais alterando a sua especiação, mobilidade geoquímica e acessibilidade aos organismos vivos (FÖRSTNER & WITTMANN, 1981; NISSENBAUM & SWAINE, 1976 *apud* RAMALHOSA *et. al.,* 2005). Têm uma elevada tendência para formar complexos com cátions metálicos e podem coordenar cátions dissolvidos ou mesmo os que fazem parte da estrutura das partículas minerais. Por outro lado, os cátions metálicos tanto podem ser coordenados pelas substâncias húmicas quando estas estão dissolvidas, como quando as mesmas estão adsorvidas em partículas de argila e de óxidos metálicos. A maior parte das substâncias húmicas presentes em ambientes lagunares são ácidos fúlvicos, aos quais os metais se associam rapidamente e, portanto, o comportamento dos metais nestes meios pode ser em parte controlado por elas (FÖRSTNER & WITTMANN, 1981).

De uma forma geral, a matéria orgânica presente em sedimentos lacustres conserva informações sobre sua origem, condições de formação, transporte e deposição.

A tabela a seguir, apresenta os valores percentuais de matéria orgânica (M.O), obtidos de acordo com a laguna correspondente.

TABELA 5.2.1 – Valores percentuais de M.O obtidos no sistema CLJ.

JACAREPAGUÁ	
MÉDIA	19%
DESVIO PADRAO	6%
MÁXIMO	26%
MÍNIMO	8%

TIJUCA	
MÉDIA	21%
DESVIO PADRAO	5%
MÁXIMO	26%
MÍNIMO	3%

MARAPENDI	
MÉDIA	16%
DESVIO PADRAO	7%
MÁXIMO	26%
MÍNIMO	3%

Na lagoa de Jacarepaguá, os teores de matéria orgânica variaram de 8 a 26% com teor médio de 19±6%.

Para as lagoas da Tijuca e Marapendi, os teores de matéria orgânica variaram de 3 a 26% com teor médio de 21±5%, e de 3 a 26% com teor médio de 16±7%, respectivamente.

De uma forma geral, a lagoa de Marapendi apresentou os menores teores médios de matéria orgânica nos sedimentos superficiais do CLJ, seguidos da lagoa de Jacarepaguá e Tijuca, que apresentaram teores médios relativamente maiores.

A figura 5.2.1 a seguir apresenta a distribuição espacial do teor de matéria orgânica no Complexo Lagunar de Jacarepaguá (CLJ).

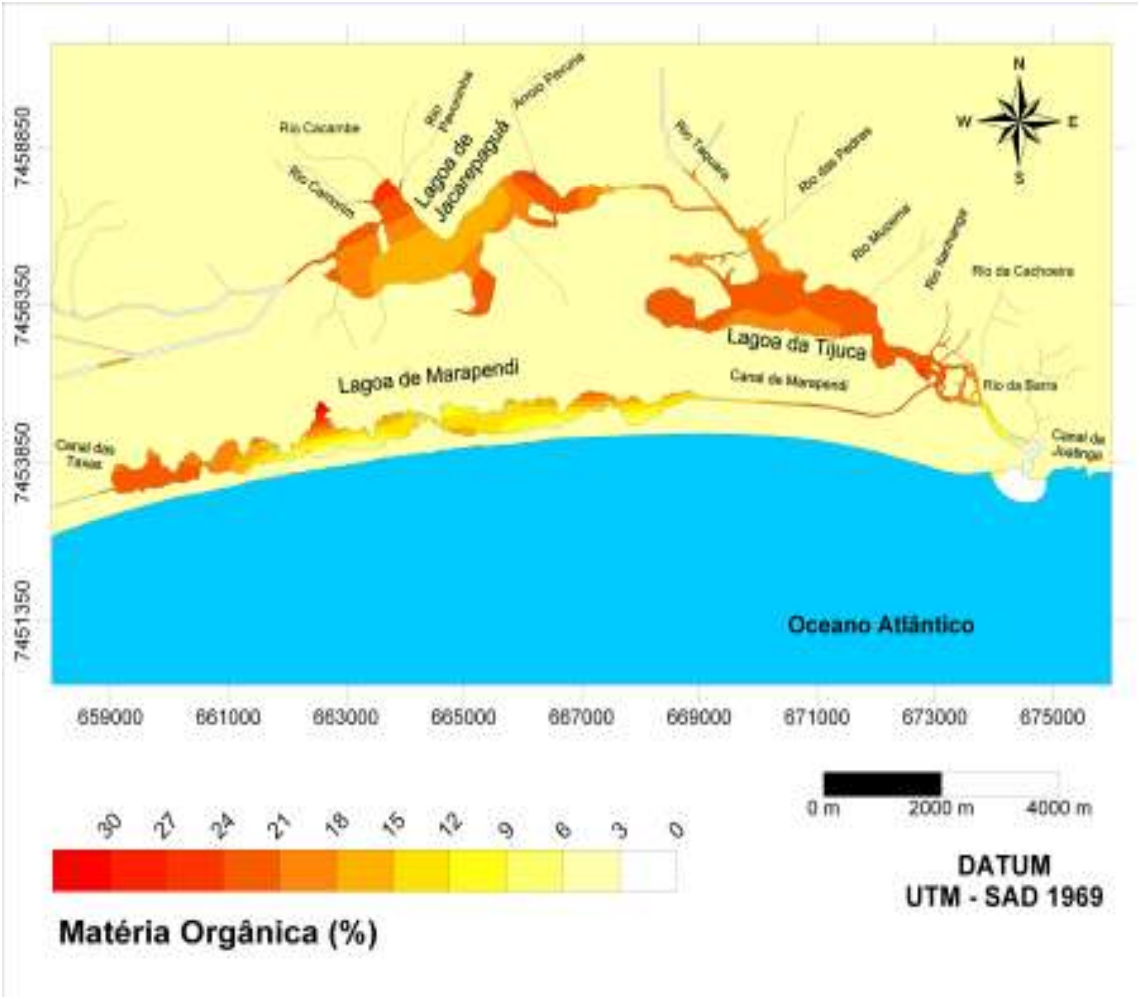


FIGURA 5.2.1- Distribuição Espacial do Teor de matéria orgânica (M.O) no sistema lagunar.

Analisando a figura acima em conjunto com a figura 4.1.1 (Localização das estações de coleta), pode-se observar que, para a lagoa de Jacarepaguá as seguintes estações apresentaram teores maiores que 15% de matéria orgânica: CLJ 03; 04; 05; 06; 07; 08; 11; 12; 46; 47; 49; 51; 52; 54 e 55. Na lagoa da Tijuca todas as estações apresentaram teores maiores que 15%, e na lagoa de Marapendi as estações CLJ 25; 26; 30; 31; 32; 33; 34; 37; 39; 43 e 45.

Verifica-se na figura acima que as lagoas de Jacarepaguá, e principalmente lagoa da Tijuca (porção mais interiorizada do sistema), apresentaram maiores teores de matéria orgânica, se comparados com a lagoa de Marapendi.

Pode-se observar que os teores máximos encontrados na lagoa de Jacarepaguá encontram-se nas estações CLJ 03; 46 e 47 (26%, 26% e 25%, respectivamente), situadas proximamente à saída do rio Arroio Pavuna, e nas estações CLJ 06; 11; 12; 49; 51 e 55, tendo em comum a baixa circulação hidrodinâmica, uma vez que, se encontram em regiões mais interiorizadas e/ou mesmo abrigadas.

Já na lagoa da Tijuca, conforme já dito anteriormente, todas as estações apresentaram teores maiores que 15%. A baixa lâmina d'água nesta lagoa, baixa circulação hidrodinâmica, e a entrada da carga orgânica e efluente domésticos sem tratamento através dos rios Taquara, das Pedras, Muzema e Itanhangá contribuem, de uma forma geral, para este comportamento.

Na lagoa de Marapendi, nota-se que a porção mais oeste deste sistema apresentou seus maiores teores de matéria orgânica, possivelmente devido a influencia do Canal das Taxas. Pode-se verificar ainda que, nas estações com forte influência marinha, junto ao cordão arenoso ao longo da extensão desta lagoa, ou mesmo próxima ao Canal da Joatinga, os teores de matéria orgânica variaram de 2 a 15%.

Estudos realizados nas lagoas de Jacarepaguá, Tijuca e Marapendi, bem como nos rios e canais de sua bacia hidrográfica, indicaram que esta região encontra-se sob forte influência de águas ricas em matéria orgânica, oriundas de fontes urbanas e/ou industriais (FERNANDES, 1991; FERRÃO-FILHO *et. al.,* 2002;)

Ao longo do ciclo anual, a combinação desta águas ricas em matéria orgânica, combinadas com a insolação, são responsáveis pelo desenvolvimento dos "blooms" (florescimento) de fitoplâncton e desenvolvimento de macrófitas, aumentando a biomassa orgânica em suas águas, e posteriormente nos sedimentos superficiais (FERRÃO-FILHO *et. al.,* 2002, INEA, 2009) .

5.3 GRANULOMETRIA

Os resultados apresentados nesta análise granulométrica seguiram a escala de tamanho das partículas adotada no software GRADISTAT, adaptadas segundo Udden (1914) e Wentworth (1922), e estão apresentadas na tabela abaixo.

TABELA 5.3.1 – Classificação do tamanho das partículas segundo GRADISTAT.

GRADISTAT	
Classificação	**mm**
Areia Média	0,420 – 0,250
Areia Fina	0,250 – 0,125
Areia Muito Fina	0,125– 0,063
Silte Muito Grosso	0,063 – 0,031
Silte Grosso	0,031 – 0,016
Silte Médio	0,016 – 0,008
Silte Fino	0,008 – 0,004
Silte Muito Fino	0,004 – 0,002
Argila	Inferior a 0,002

A tabela 5.3.2 a seguir apresenta os valores médios percentuais nas frações granulométricas – areia média, areia fina, areia muito fina, silte muito grosso, silte grosso, silte médio, silte fino, silte muito fino e argila –, e os percentuais mínimos e máximos encontrados em cada fração granulométrica para cada lagoa.

TABELA 5.3.2 – Valores médios percentuais (com mínimos e máximos) nas diferentes frações granulométricas apresentadas em cada lagoa do sistema.

CLASSIFICAÇÃO	LAGOA DE JACAREPAGUÁ	LAGOA DA TIJUCA	LAGOA DE MARAPENDI
Areia Média	**1** (0 – 4)	**0**	**3** (0 – 11)
Areia Fina	**9** (0 – 27)	**2** (0 – 12)	**18** (0 – 77)
Areia Muito Fina	**13** (2 – 21)	**12** (5 – 31)	**12** (5 – 19)
Silte Muito Grosso	**24** (19 – 33)	**24** (20 – 35)	**25** (4 – 38)
Silte Grosso	**20** (14 – 27)	**21** (12 – 25)	**19** (2 – 29)
Silte Médio	**15** (8 – 24)	**17** (7 – 21)	**13** (2 – 21)
Silte Fino	**8** (4 – 16)	**11** (4 – 14)	**6** (1 – 11)
Silte Muito Fino	**4** (1 – 7)	**5** (2 – 8)	**2** (0 – 5)
Argila	**1,1** (0,5 – 2,1)	**7** (4 – 10)	**3** (1 – 9)

* Valores apresentados em percentuais (%)

De uma maneira geral, pode-se observar que os sedimentos superficiais no Complexo Lagunar de Jacarepaguá (CLJ) mostraram maior predominância de sedimentos finos (<0,063), tendo como sua fração principal de “silte muito grosso” (entre 0,063 e 0,031 mm), seguidos das frações “siltes grossos”, “siltes médios” e “areias muito finas”.

Nota-se que a Lagoa de Marapendi apresentou os maiores teores nas frações granulométricas “areia média” e “areia fina” no sistema lagunar, e que ainda, as Lagoas de Jacarepaguá e Marapendi apresentaram teores relativamente mais altos nestas mesmas frações, se comparada com a lagoa da Tijuca. Este padrão de distribuição possivelmente está relacionado com a influência do sistema praial, que é mais relevante nas lagoas de Marapendi.

Nas frações granulométricas “areia muito fina” e “siltes” (muito grosso, grosso, médio, fino e muito fino), de uma forma geral, todas as lagoas apresentaram comportamentos similares, indicando que não existe uma grande variação nestas frações granulométricas.

A lagoa da Tijuca apresentou maiores teores nas frações de “argila”, se comparada com as lagoas de Jacarepaguá e Marapendi. Já a lagoa de Jacarepaguá apresentou menores teores nesta fração do que as lagoas de Marapendi e Tijuca.

É possível ainda verificar que as lagoas de Jacarepaguá e Tijuca apresentaram, em geral, sedimentos mais finos (siltoso e argiloso), possivelmente em conseqüência da entrada de material em suspensão através do aporte fluvial. Vale lembrar que a lagoa da Tijuca possui a maior área de drenagem para o sistema (104,7 Km²), o que possivelmente contribuiu com este comportamento mais siltoso e argiloso de todo o complexo lagunar.

Na figura 5.3.1 estão representadas as características granulométricas dos sedimentos superficiais em cada uma das estações analisadas, segundo o Triângulo de Shepard.

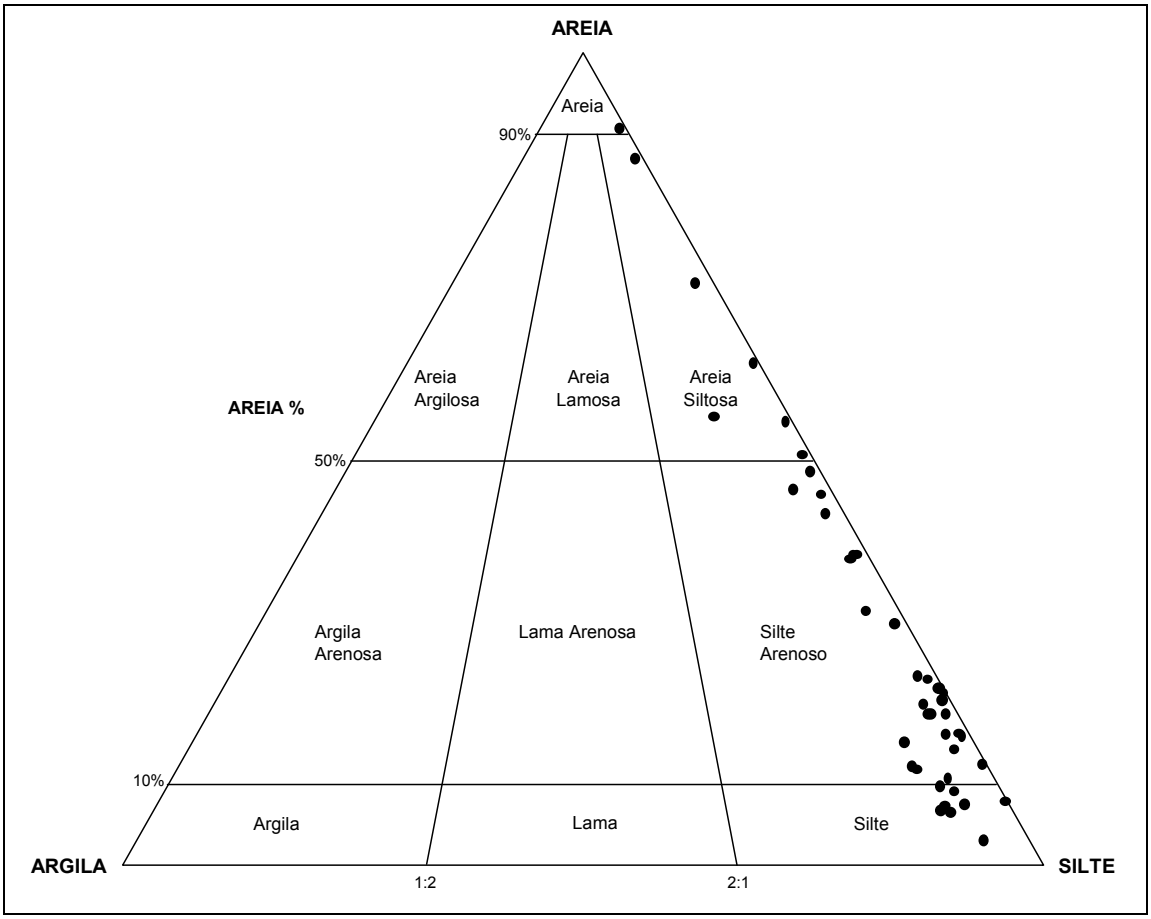


FIGURA 5.3.1 – Triângulo de Shepard, apresentando as características sedimentares do CLJ.

De acordo esta distribuição, verifica-se que a fração predominante na maioria das estações esteve compreendida na classe “silte arenoso”, com algumas pequenas variações, tendendo para as frações próximas nas classes “silte”, “silte arenoso”, “areia siltosa”, e “areia”.

Os gráficos a seguir, apresentam em valores percentuais as porções granulométricas obtidas em cada uma das estações, de acordo com sua respectiva lagoa.

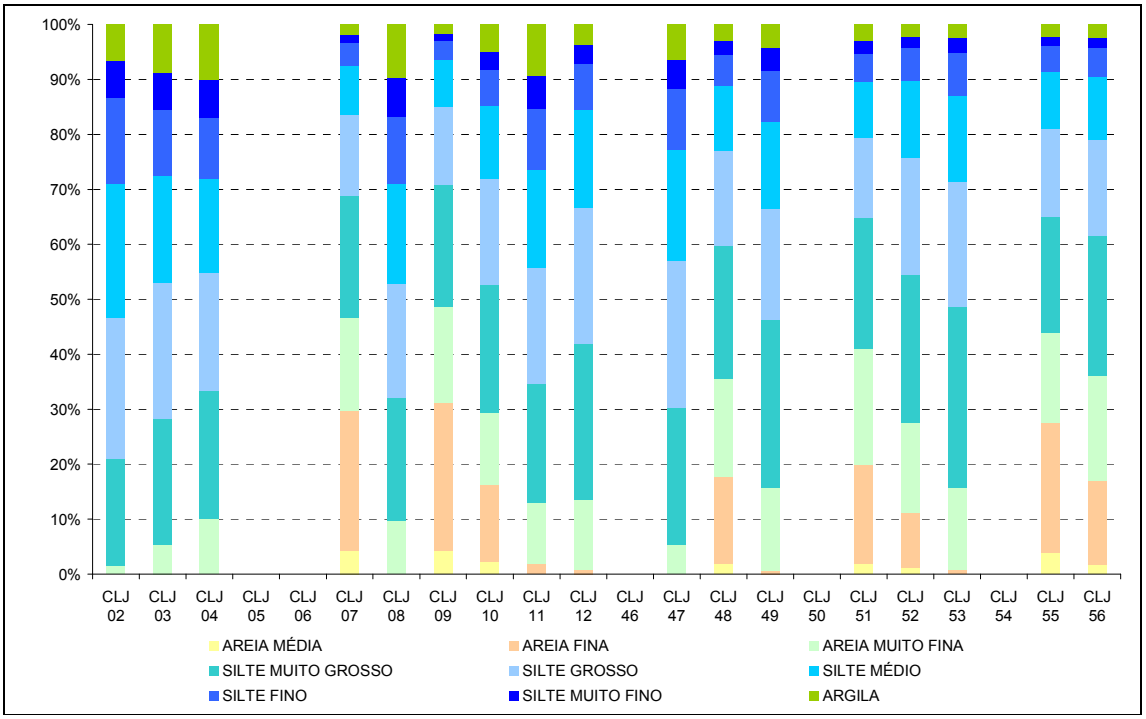


FIGURA 5.3.2- Frações granulométricas nas estações da Lagoa de Jacarepaguá**.**

Na lagoa de Jacarepaguá pode-se notar a predominância dos sedimentos “siltosos” em cada estação, apresentando ainda relativa participação nas frações “arenosas” (areia média, areia fina e areia muito fina).

Verifica-se que os maiores percentuais na fração “arenosa” podem ser encontrados nas estações CLJ 07, 09, 10, 48, 51, 55 e 56. A fração “argila” esteve presente em todas as amostras analisadas, atingindo cerca de 10% do total da amostra em alguns casos.

Os gráficos abaixo apresentam os resultados das frações granulométricas obtidas nas lagoas da Tijuca e Marapendi.

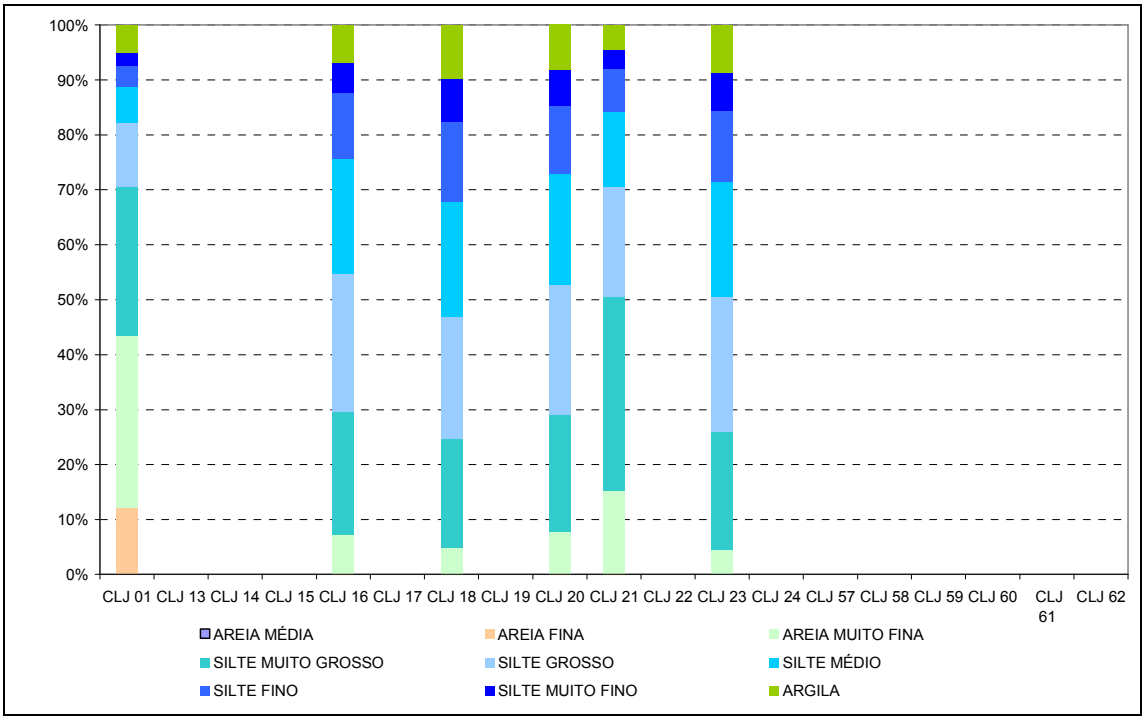


FIGURA 5.3.3- Frações granulométricas nas estações da Lagoa da Tijuca.

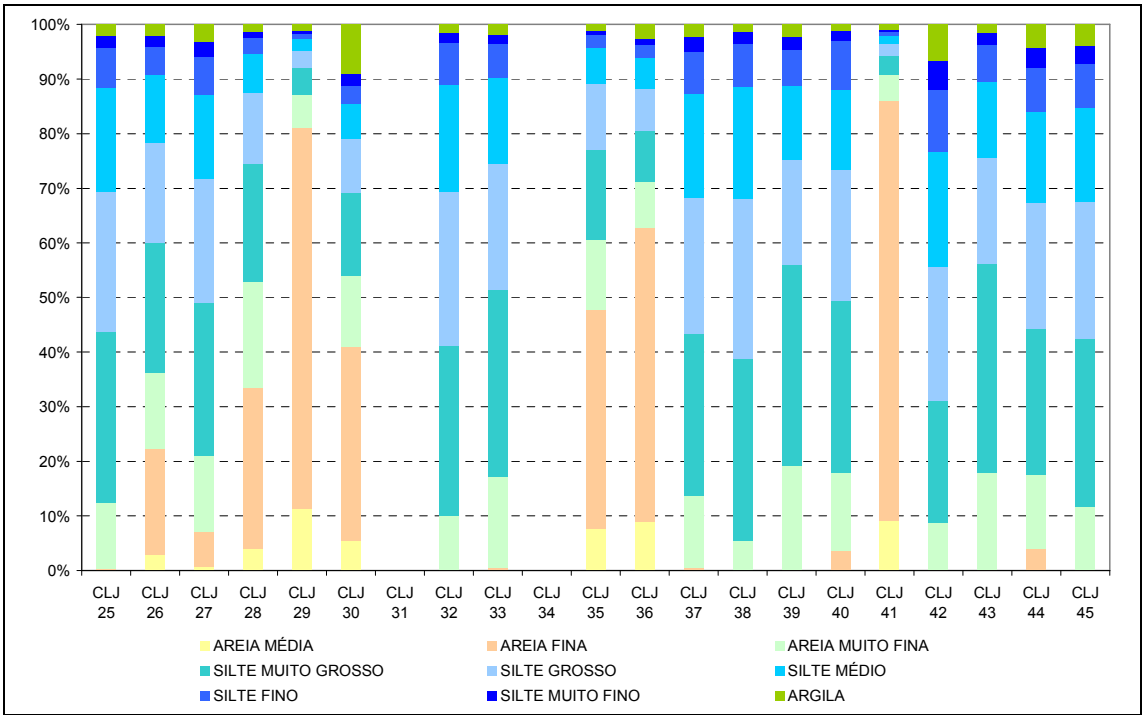


FIGURA 5.3.4- Frações granulométricas nas estações da Lagoa de Marapendi

Na lagoa da Tijuca, os resultados mostraram novamente uma predominância nas frações dos “siltes”, seguidos da “argila” em cada estação. Conforme já dito anteriormente, estes valores podem estar associados às descargas de sedimentos finos através do aporte fluvial. Nas amostras analisadas, foram verificados os menores percentuais na fração arenosa, se comparada com as outras lagoas do sistema. Já na lagoa de Marapendi, fica bem evidenciada a maior predominância na fração arenosa, chegando a atingir em algumas amostras cerca 90% do percentual total.

A distribuição espacial dos sedimentos superficiais no CLJ, segundo a dimensão das partículas, está apresentada na figura a seguir:

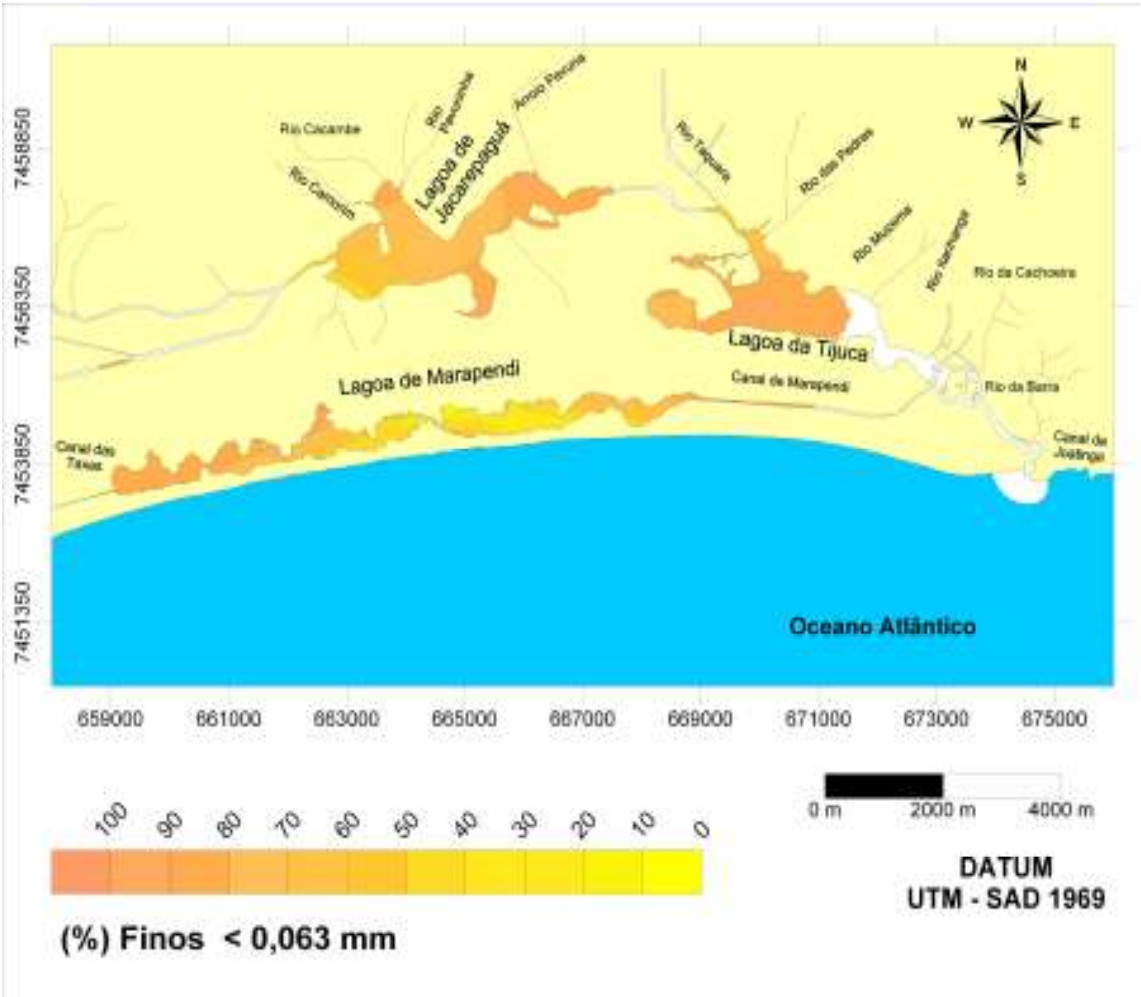


FIGURA 5.3.5- Distribuição Espacial granulométrica no sistema lagunar.

As distribuições das frações arenosas (superior a 0,063 mm), e frações finas “siltes e argila” (inferiores 0,063 mm), são complementares entre si, ou seja, nas zonas onde foram encontrados os maiores percentuais arenosos, haverá menores percentuais de frações finas, e vice-versa.

É possível observar a predominância de sedimentos finos ao longo de todo o Complexo Lagunar. As lagoas de Jacarepaguá e Tijuca, situadas na restinga interna, apresentaram os maiores percentuais de finos, seguidos da lagoa de Marapendi, que apresentou seus maiores teores de finos na porção oeste, indicando mais uma vez a influência do canal das Taxas, e na parte interior do canal de Marapendi.

De uma forma geral, os maiores percentuais de finos podem ser encontrados nas regiões mais abrigadas, tipicamente deposicionais, de menor circulação hidrodinâmica, com influência de rios e canais. Nas regiões centrais das lagoas, nota-se que este percentual de finos foi reduzido, podendo indicar maior mobilidade dos finos devido as forçantes hidrodinâmicas e meteorológicas que atuam na região.

5.4 MERCÚRIO TOTAL (HgT)

A determinação de Hg em sedimentos superficiais de fundo constitui-se num importante referencial para a avaliação da poluição de ambientes aquáticos por metais pesados (SILVA, 1997).

Os resultados obtidos de HgT (valores médios, desvios padrão, máximos e mínimos) estão representados na tabela 5.4.1 a seguir, de acordo com a lagoa correspondente.

TABELA 5.4.1 – Concentrações de Hg ($\eta g.g^{-1}$) nos sedimentos superficiais do CLJ.

JACAREPAGUÁ		TIJUCA		MARAPENDI	
MÉDIA	173,5	**MÉDIA**	171,9	**MÉDIA**	176
DESVIO PADRAO	167,8	**DESVIO PADRAO**	183,5	**DESVIO PADRAO**	176
MÁXIMO	560,4	**MÁXIMO**	640,3	**MÁXIMO**	601,7
MÍNIMO	13,9	**MÍNIMO**	10,4	**MÍNIMO**	16,3

De acordo com a tabela acima, pode-se observar que a lagoa de Jacarepaguá apresentou concentrações médias de 173,5±167,8 $\eta g.g^{-1}$, com máxima de 560 $\eta g.g^{-1}$, e mínima de 14 $\eta g.g^{-1}$. A lagoa da Tijuca apresentou concentrações médias de 171,9±183,5 $\eta g.g^{-1}$, com máxima de 640 $\eta g.g^{-1}$, e mínima de 10,4 $\eta g.g^{-1}$, e a lagoa de Marapendi concentrações médias de 176±176 $\eta g.g^{-1}$, tendo como máxima concentração da ordem de 601,7 $\eta g.g^{-1}$, e mínima de 16,3 $\eta g.g^{-1}$.

A figura a seguir apresenta a distribuição espacial de mercúrio HgT no Complexo Lagunar de Jacarepaguá.

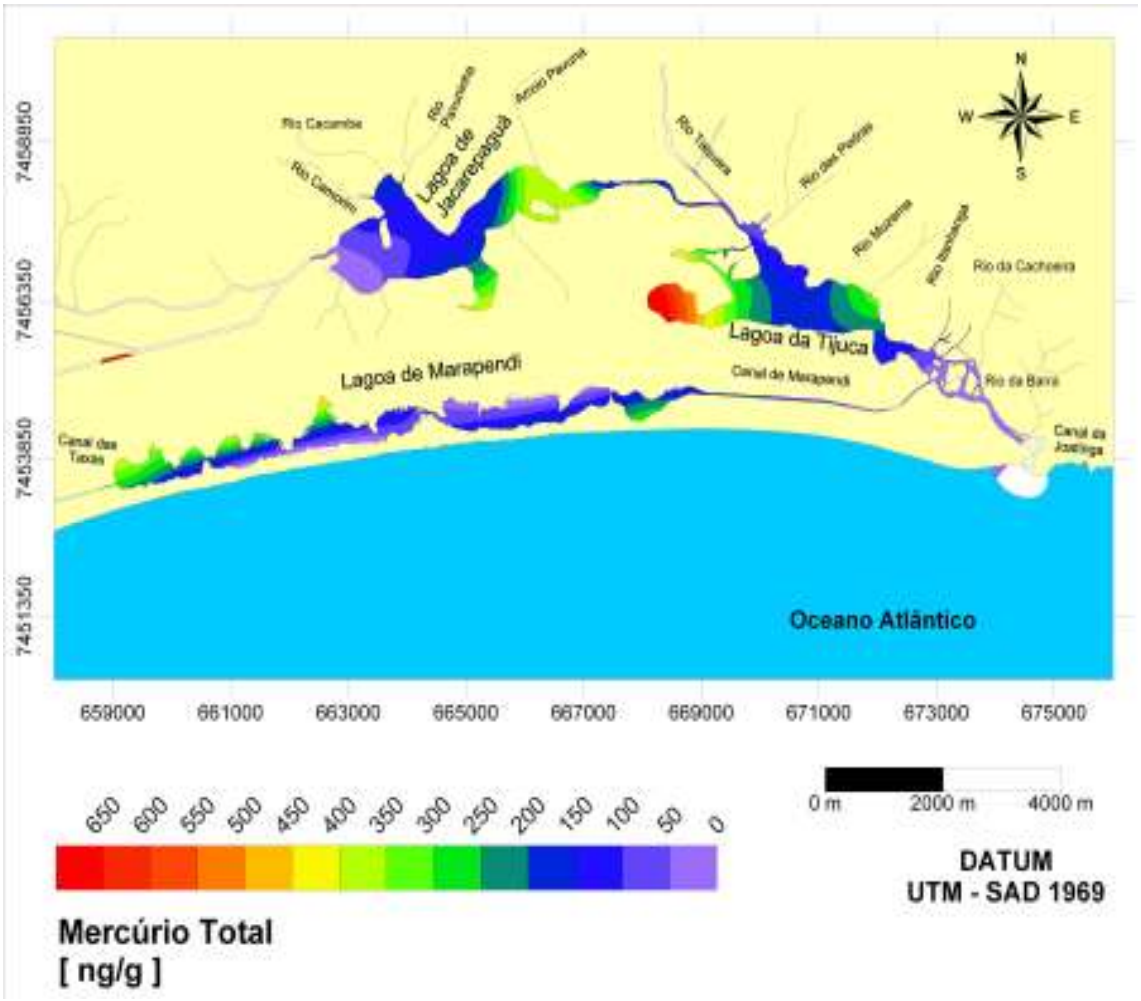


FIGURA 5.4.1 – Distribuição Espacial de mercúrio total (HgT) no sistema lagunar.

De acordo com a figura, pode-se observar que as maiores concentrações de HgT foram encontradas na lagoa da Tijuca, se comparadas com a lagoa de Jacarepaguá e Marapendi. As distribuição espacial das concentrações de HgT também sugere que exista um potencial aporte deste elemento para o sistema lagunar através da drenagem fluvial, bem como sua acumulação nas regiões de menor hidrodinamismo.

Na lagoa de Jacarepaguá, esta afirmação fica bem evidenciada, uma vez que as altas concentrações de HgT estão localizadas próximas a descarga do rio Arroio Pavuna, indicando que possivelmente esta é a principal fonte deste elemento para esta lagoa.

Já na lagoa da Tijuca, observa-se que em regiões de baixa circulação hidrodinâmica e/ou pouca profundidade, as concentrações de HgT atingiram seus maiores valores (cerca de 650 $ng.g^{-1}$). Nas regiões de maior lâmina d'água associada ao canal principal de navegação (porção central), é possível verificar que os valores de HgT foram relativamente menores, possivelmente devido ao fluxo de marés que é mais intenso nestas áreas.

Na lagoa de Marapendi, pode-se notar um ligeiro gradiente das menores para as maiores concentrações, no sentido leste-oeste, indicando que a influência do canal das Taxas situado a oeste do complexo lagunar, e o escoamento superficial (run-off), sejam as principais fontes de HgT para este sistema.

A figura 5.4.2 a seguir, apresenta as concentrações de HgT obtidas nas estações em todo o sistema lagunar (CLJ) em função da distância, no sentido leste-oeste, em que elas se encontram do canal da Joatinga.

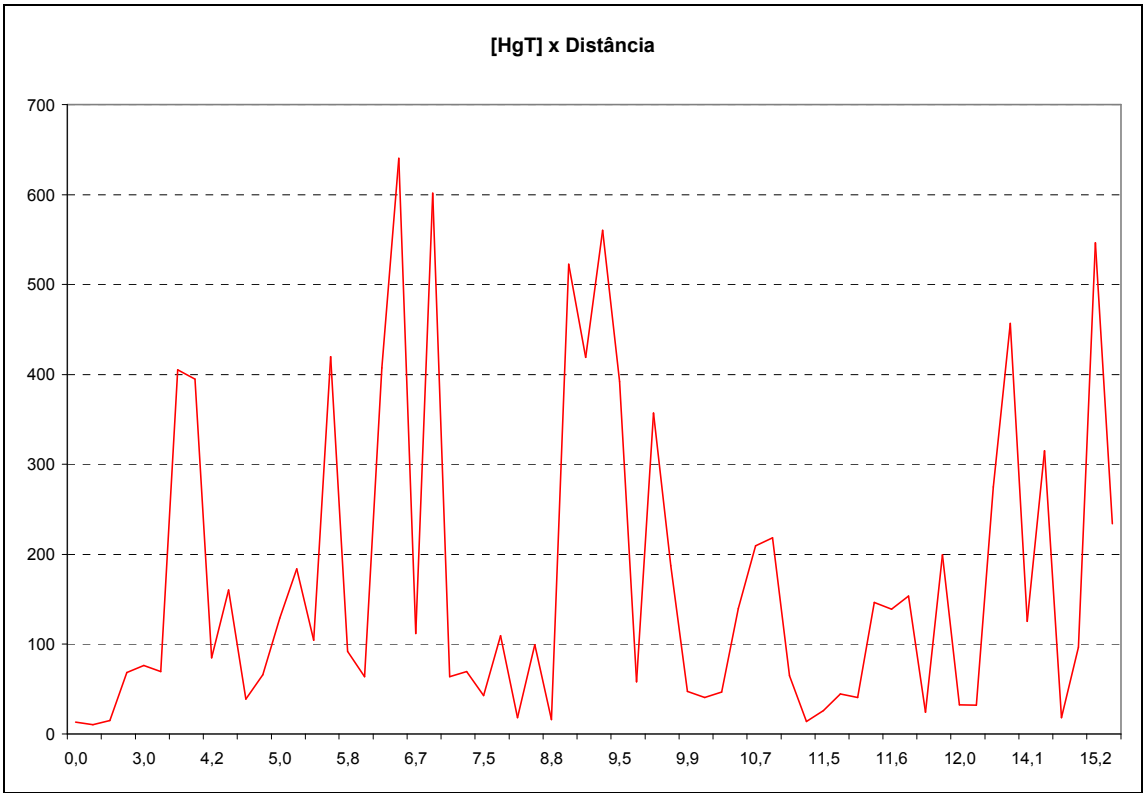


FIGURA 5.4.2 – Concentração de HgT no Complexo Lagunar (**CLJ**) em função da distância do Canal da Joatinga.

É possível notar uma alta variabilidade entre altas e baixas concentrações à medida que nos afastamos do canal da Joatinga, não permitindo, desta forma, analisar de forma precisa o comportamento do mercúrio, uma vez que os dados das lagoas de Jacarepaguá e Tijuca (restinga interna) são acrescidos com os dados da lagoa de Marapendi (restinga externa).

A partir desta figura também é corroborado o fato de que o complexo lagunar de Jacarepaguá (CLJ), possui fontes difusas no aporte deste elemento, onde a drenagem fluvial e o escoamento superficial potencialmente seriam as principais componentes desta distribuição.

Seguindo o mesmo raciocínio, as figuras a seguir apresentam as concentrações de HgT obtidas nas estações em cada uma das lagoas do CLJ em função da distância em que elas se encontram do canal da Joatinga.

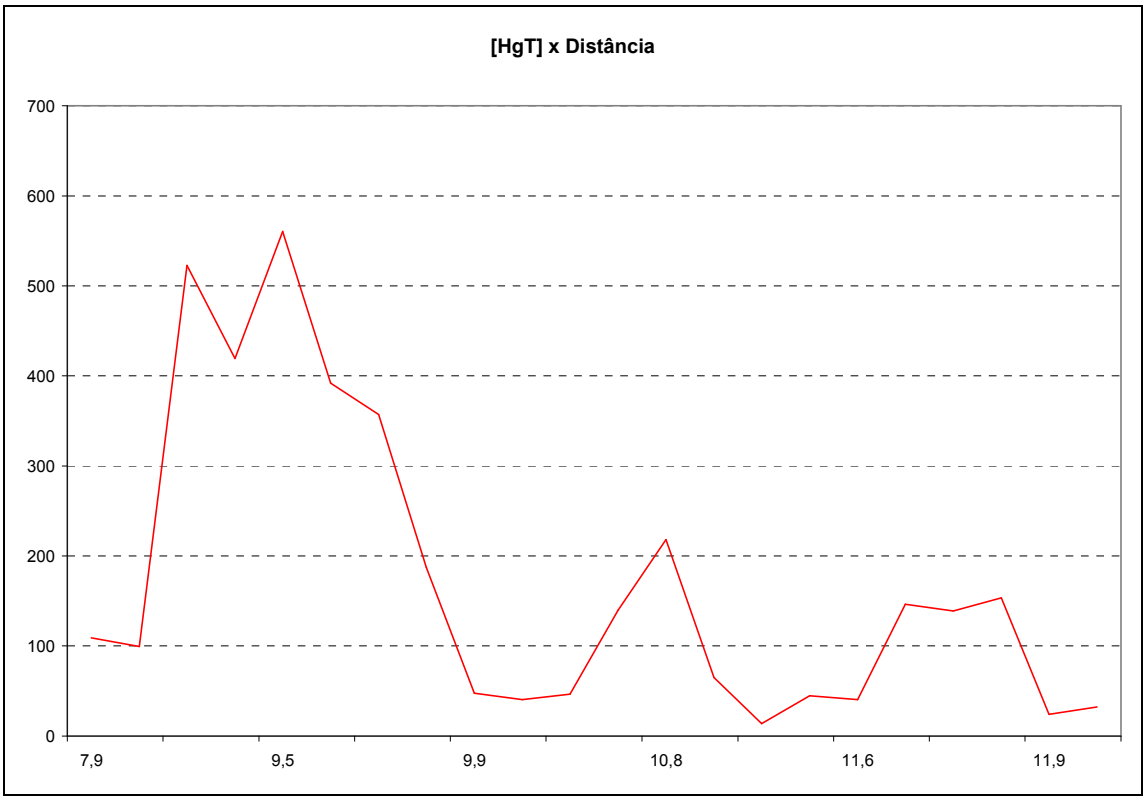


FIGURA 5.4.3 – Concentração de HgT na **Lagoa de Jacarepaguá** em função da distância do Canal da Joatinga.

De acordo com a figura acima, pode-se observar que existe um pico com as concentrações de HgT mais elevadas (cerca de 500 ng.$^{g-1}$) entre 8 e 9,5 Km, região próxima ao rio Arroio Pavuna, indicando uma forte influência deste rio no aporte deste elemento para esta laguna. À medida que avançamos para oeste, a distância entre as estações da lagoa e o canal da Joatinga aumenta, e as concentrações apresentam uma leve tendência a diminuir.

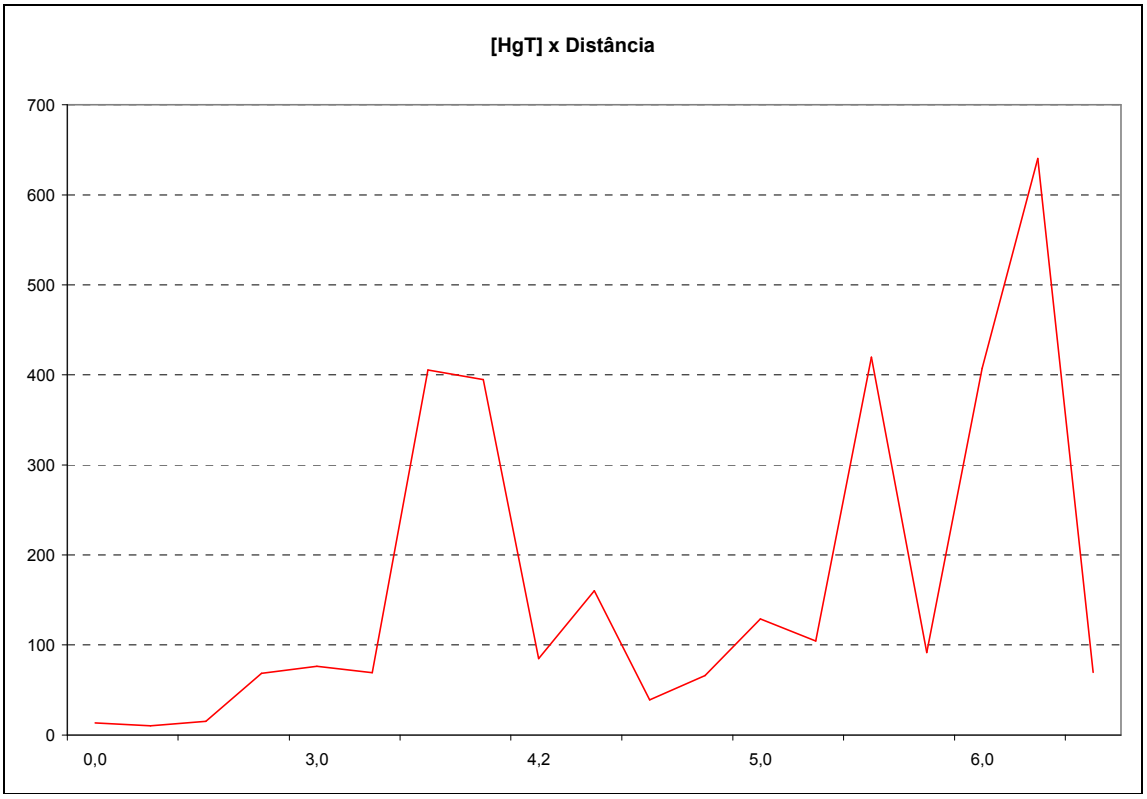


FIGURA 5.4.4 – Concentração de HgT na **Lagoa da Tijuca** em função da distância do Canal da Joatinga.

Nesta lagoa, os primeiros 3 Km apresentaram teores de mercúrio relativamente baixos de HgT, indicando a região mais próxima influenciada pelo canal da Joatinga. A partir desta região de troca das águas salinas, fica bem evidenciado o aumento na concentração deste elemento, à medida que avançamos para o interior desta laguna. Este comportamento pode estar associado as descargas de efluentes provenientes da sua bacia de drenagem.

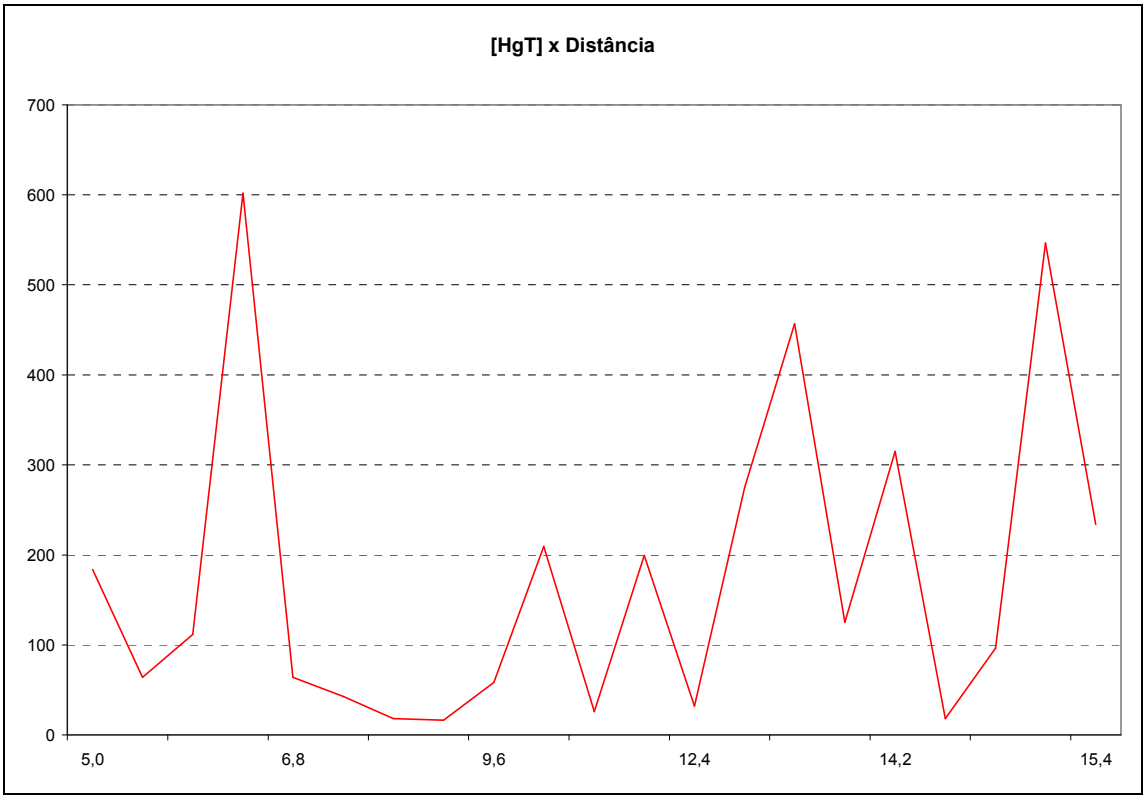


FIGURA 5.4.5 – Concentração de HgT na **Lagoa de Marapendi** em função da distância do Canal da Joatinga.

Na lagoa de Marapendi, um pico de concentração alta fica logo evidenciado após o término do canal de Marapendi, possivelmente devido à influência deste mesmo canal, e outros picos significativos localizados na porção final da lagoa, indicando influência do canal das Taxas, e o escoamento superficial.

Os resultados de HgT obtidos no complexo lagunar foram comparados com outros ambientes costeiros no Brasil, reportados em diversas literaturas, e estão apresentados na tabela a seguir:

TABELA 5.4.2 – Concentrações médias de HgT em $\eta g.g^{-1}$ (com mínimos e máximos) reportadas em outras literaturas ao longo da costa brasileira.

ÁREA AMOSTRADA	HG TOTAL	REFERÊNCIAS
Lagoa de Jacarepaguá	352	Fernandes, 1991
Baía de Sepetiba (RJ)	(17 – 163)	Marins et. al, 1999
Baía de Sepetiba (RJ) (afluentes)	(36 – 197)	Marins et. al, 1999
Lagoa de Jacarepaguá	350	Gonçalves, 1999
Lagoa de Marapendi	360	Gonçalves, 1999
Lagoa de Piratininga	209	Gonçalves, 1999
Lagoa de Itaipu	125	Gonçalves, 1999
Lagoa de Maricá	174	Gonçalves, 1999
Lagoa de Guarapina	139	Gonçalves, 1999
Lagoa de Jaconé	115	Gonçalves, 1999
Lagoa de Saquarema	403	Gonçalves, 1999
Lagoa de Araruama	210	Gonçalves, 1999
Lagoa Rodrigo de Freitas	440	Gonçalves, 1999
Baía de Santos	67	UNEP, 2000
Estuário da Baía de Santos (SP)	575	UNEP, 2000

ÁREA AMOSTRADA	HG TOTAL	REFERÊNCIAS
Estuário da Baía de São Vicente (SP)	285	UNEP, 2000
Rio Acre	0,058 (0,018 – 0,184)	Mascarenhas et. al , 2004
Rio Acre (afluentes)	0,048 (0,027 – 0,078)	Mascarenhas et. al, 2004
Lagoa Rodrigo de Freitas	510 (64,5 – 593)	Loureiro, 2006
Lagoa de Jacarepaguá	173,5 (13,9 - 560,4)	Este estudo, 2009
Lagoa da Tijuca	171,9 (10,4 – 640,3)	Este estudo, 2009
Lagoa de Marapendi	176 (16,3 – 601,7)	Este estudo, 2009

Comparativamente, os teores de HgT encontrados estão de acordo com o esperado para sistemas lagunares relativamente impactados. Estudos anteriores nestas lagoas (Fernandes, 1991; Gonçalves, 1999) demonstraram níveis de concentração médio mais elevados, cabendo ressaltar que nestes casos, foi realizada amostragem reduzida apenas na região de maior impacto.

Os valores mais elevados de concentração de HgT obtidos neste estudo estão indicando uma alta contaminação do sistema, sendo pontual quando comparada com os níveis médios obtidos e a distribuição espacial.

Estas concentrações médias encontradas no CLJ são até 5 vezes mais elevadas que os níveis de base reportados para sedimentos marinhos e estuarinos na região sudeste e ressaltam a importância das fontes antrópicas de Hg para este sistema lagunar (CYPRIANO *et al.,* 2008).

5.5 ANÁLISE INTEGRADA

Primeiramente foi criada uma matriz de correlação entre os parâmetros analisados neste estudo, onde os resultados estão sumarizados na tabela abaixo.

TABELA 5.5.1 – Matriz de correlação dos parâmetros analisados.

	Eh	Hg	MO	Distância	% Finos
pH	-0,061	-0,286	**-0,340 ***	**-0,422 ***	-0,233
Eh		**-0,305 ***	-0,239	-0,048	**-0,425 ***
Hg			**0,464 ***	-0,010	**0,655 ***
MO				0,140	**0,385 ***
Distância					-0,232

* Em negrito estão apresentados os valores com correlação significativa ($p<0,05$).

A partir dos resultados é possível observar que a distribuição de mercúrio está associada com os valores de Eh, Matéria Orgânica e o percentual de finos, conforme esperado. Também pode se observar que os valores de pH estão associados com a distância da entrada do canal da Joatinga devido a influência marinha, bem como a associação inversa entre o percentual de finos e o Eh, e direta entre os percentual de finos e MO.

De maneira geral e simplificada é possível afirmar que, quanto menor o valor de Eh da amostra e maiores os valores de matéria orgânica e percentual de finos, maior será a concentração de HgT

O teste de Mann-Whitney realizado, comparou os valores obtidos de HgT, primeiramente entre as lagoas de “Jacarepaguá/Tijuca”, e em seguida nas lagoas de “Jacarepaguá/Marapendi”, e “Tijuca/Marapendi”. Nestas três análises comparativas o teste revelou que não existem diferenças significativas nas concentrações de mercúrio entre as lagoas do Complexo Lagunar de Jacarepaguá ($p>0,05$).

Nas figuras 5.5.1 e 5.5.2 a seguir, estão apresentadas as figuras obtidas a partir da Análise de Componentes principais.

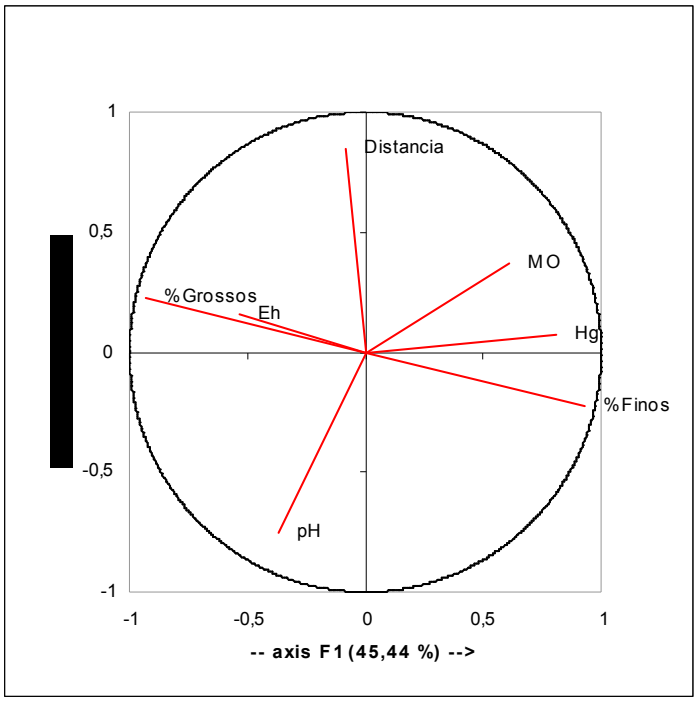


FIGURA 5.5.1 – ACP dos parâmetros.

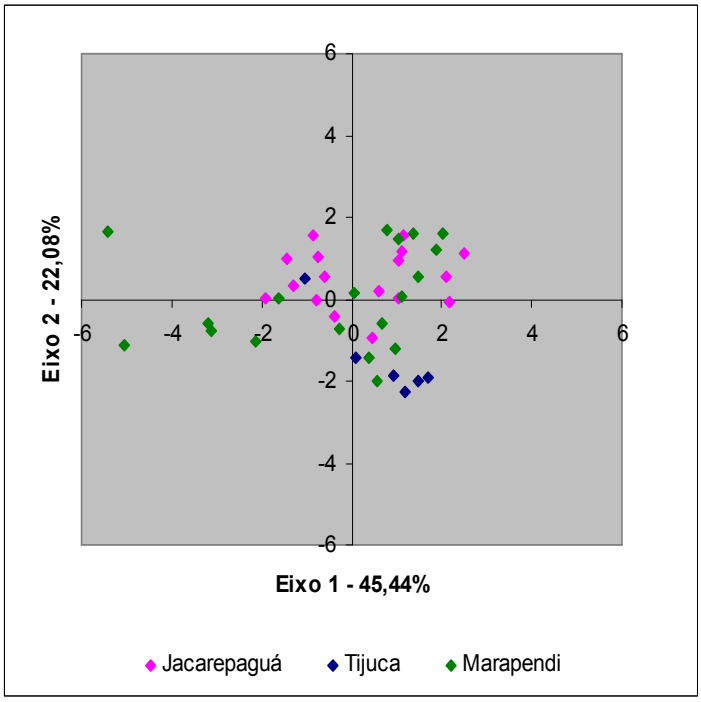


FIGURA 5.5.2 – ACP das amostras.

Esta análise demonstrou que os dois primeiros fatores são responsáveis por 67,5% de variância dos dados, sendo o eixo 1 (45,44%) interpretado como o impacto antrópico nas lagoas, fortemente associado diretamente com o percentual de finos e os teores de Hg, e inversamente com o percentual de grossos e o Eh obtidos nas amostras. Já o eixo 2, pode ser interpretado como sendo a influência marinha no conjunto de dados, onde a distância do canal e o pH das amostras são os principais parâmetros associados.

6 CONCLUSÃO

De uma maneira geral, os resultados de pH e Eh e M.O, indicaram que o Complexo Lagunar de Jacarepaguá (CLJ) apresenta características de um ambiente fortemente redutor.

A oscilação dos valores de pH para o conjunto das amostras esteve compreendida entre 6,19 e 7,62 estabelecendo condições de pH moderadamente ácidos ou alcalinos, em função da influência marinha no CLJ. Estes resultados estão em concordância com trabalhos anteriores realizados na região, entre outros submetidos a condições anaeróbias (GONÇALVES, 1999; LACERDA & GONÇALVES, 2001; OLIVEIRA & TORRADO, 2007).

Em relação às condições de oxi-redução, os sedimentos superficiais amostrados apresentaram predominantemente valores de Eh negativos caracterizando condições anóxicas (Eh < 280mV). Nestas condições, deve predominar os processos redutores de sulfato-redução, podendo ser este, o principal processo de oxidação da matéria orgânica. Os valores mais elevados de Eh, positivos foram determinados apenas nas regiões próximas ao canal da Joatinga.

Com relação ao teor de matéria orgânica, resultados obtidos em estudos ao longo dos últimos anos revelam, em síntese, que o CLJ, bem como os rios e canais de sua bacia hidrográfica, encontram-se sob intensa influência de águas residuárias, ricas em matéria orgânica, oriundas de fontes urbanas e/ou industriais (FERNANDES, 1991; FERRÃO-FILHO *et. al.,* 2002)

Os resultados granulométricos apresentaram cerca de 70% da fração fina (<0,063 mm) nos sedimentos superficiais, com predominância na fração granulométrica de “silte arenoso”, tipicamente encontrado em lagoas costeiras. A distribuição granulométrica em todo o sistema lagunar apresentou variações de acordo com os principais processos atuantes, como o aporte fluvial, circulação

hidrodinâmica a partir da ação de ventos e marés, e a própria geografia das áreas, sendo mais ou menos abrigadas.

As concentrações de mercúrio total (HgT) nos sedimentos superficiais no CLJ variaram de 10,4 a 640,3 $ng.g^{-1}$, sendo sua distribuição influenciada pelos efluentes locais e pela circulação de água no sistema. No entanto, apesar da ausência de evidências de atividades antrópicas reconhecidamente emissoras de mercúrio, torna-se necessário a continuidade dos estudos para que se possa conhecer a origem, e os mecanismos de biodisponibilidade do mercúrio na região.

Embora se deva admitir que os poluentes presentes nos sedimentos não necessariamente constituem uma fonte prontamente disponível, é importante lembrar que a variação de algumas características físico-químicas como pH, salinidade, potencial redox, bem como a remobilização do fundo certamente podem promover essa disponibilidade para a coluna d'água e para a biota.

Os dados coletados indicaram que os níveis de Hg encontrados nos sedimentos do CLJ são resultantes de introduções antrópicas recentes. Estes ainda revelam que os sedimentos superficiais deste sistema lagunar constituem, por si só, uma fonte potencial de Hg para a coluna d'água.

O tratamento estatístico aplicado não mostrou diferença significativa na distribuição das concentrações de HgT no sedimento superficial das diferentes lagoas do CLJ. Entretanto, a interpretação da análise de componentes principais mostrou que a ação antrópica e a influência marinha controlam a distribuição do Hg nas lagoas.

Finalmente, há que mencionar o fato deste trabalho abrir diversos caminhos de investigação futura, nomeadamente na área da escolha de indicadores para caracterização e monitoramento do sistema, da escolha e desenvolvimento de metodologias de avaliação econômica do mesmo, e de regulamentação e legislação a aplicar localmente, bem como no estudo da elaboração e implementação de planos de gestão ambiental.

7 APOIO CIENTÍFICO

Este estudo contou com o apoio do Projeto Milênio Proc. No. CNPq 420-050/2005-1.

8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMADOR, E. S. **Baía de Guanabara e Ecossistemas Periféricos: Homem e Natureza.** Rio de Janeiro, 539 p., 1997.

AMORIM, M. A. **Acompanhamento espaço temporal da condição de balneabilidade através do estudo da maré na praia da Barra da Tijuca, Rio de Janeiro**. Relatório Final de Estágio Orientado (Graduação em Oceanografia) – Instituto de Geociências, Universidade do Estado Rio de Janeiro, 34 p., 2001.

BAIRD, C. **Environmental Chemistry**. Second Edition, By W. H. Freeman and Company. 557 p., 1998.

CEDAE, Companhia de Águas e Esgotos do Rio de Janeiro.
Disponível em <http://www.cedae.rj.gov.br>, Consultado em maio de 2009.

CYPRIANO, E. F.; ARAÚJO, C. L.; LACERDA, L. D.; LOUREIRO, D. D. **Distribuição Espacial de Mercúrio nos Sedimentos do Complexo Lagunar da Baixada de Jacarepaguá (RJ).** III Congresso Brasileiro de Oceanografia e I Congresso Ibero-Americano de Oceanografia, 2008.

DASILVA, M. R., *et al.* **Metal contamination in surface sediments of mangroves, lagoons and Southern Bay in Florianopolis Island**. Environmental Technology, v.17, n.10, p.1035-1046, 1996.

DEAN, J. G.; BOSQUI, F. L. & LANOUETTE, V. H. **Removing heavy metals from waste water.** Environmental Science and Technology. 6, 518-522 In: Metal Pollution in the Aquatic Environment. Förstner, U. & Wittmann, G. T. W. 1981. Second Revised Edition. Springer – Verlag. Berlim Heidelberg New York. 486 p., 1972.

EIA – PCRJ – Estudo de Impacto Ambiental – **Projeto de Recuperação Ambiental da Macrobacia de Jacarepaguá; Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro** – JAC-70-0002 RE – Volume 2, 3 e 4, 1998.

EPA – Environmental Protection Agency
Disponível em <http://ww.epa.gov/mercury/>, Consultado em maio de 2007.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos da Limnologia**. Rio de Janeiro, Interciência, 575 p., 1998.

FERNANDES, H. R. S. M. **Abordagem Geoquímica no estudo da poluição por metais pesados nos sistemas fluvial e lagunar da Baixada de Jacarepaguá–RJ.** Tese (Mestrado em Geoquímica) – Departamento de Geoquímica, Universidade Federal Fluminense, Niterói. 122 p., 1991.

FERNANDEZ, M. A. D. S. **Geoquímica de metais pesados na Região dos Lagos, RJ: Uma proposta de estudo integrado.** Niterói, RJ. Dissertação (Mestrado em Geoquímica) - Departamento de Geoquímica, Universidade Federal Fluminense, Niterói. 163 p., 1994.

FERRÃO FILHO, A. S.; DOMINGOS, P.; AZEVEDO, S. M. O. **Influences of a Microcystis aeruginosa bloom on zooplankton populations in Jacarepaguá Lagoon (Rio de Janeiro, Brazil)**, Acta Limnologica, Vol 32, 295 – 308 p., 2002.

FITZGERALD, W. F.; LAMBORG, C. H. **Geochemistry of mercury in the environment.** In: HOLLAND, H. D.; TYREKIAN, K. K. (Ed.). Treatise on Geochemistry. Netherlands: Elsevier Ltd., v.9, p.107-148, 2003.

FÖRSTNER, U. & WITTMANN, G. T. W. **Metal Pollution in the Aquatic Environment.** Second Revised Edition. Springer – Verlag. Berlim Heidelberg New York. 486 p., 1981.

GONÇALVES, G.O. **Distribuição de Mercúrio no Sistema Lagunar Fluminense,** Niterói, RJ. Dissertação (Mestrado em Geoquímica) - Departamento de Geoquímica, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 1999.

GOOGLE EARTH
Disponível em <http://earth.google.com>, Consultados em março de 2009.

HARADA, M. **The Global Lessons of Minamata Disease: An Introduction to Minamata Studies** *Advances in Bioethics*, *Volume 8*, *299-335 p. 2005.*

HOSKINS, B. Organic Matter by Loss on Ignition, University of Maine, 8p., 2002.

INEA, Instituto Estadual do Ambiente
Disponível em <http://www.inea.rj.gov.br>, Consultado em outubro de 2008.

IPP, Instituto Municipal de Urbanismo Pereira Passos
Disponível em: <www.rio.rj.gov.br/ipp>. Acessado em agosto de 2008.

KJERFVE, B.; KNOPPERS, B. A. **Physical characteristics of lagoons of the East Fluminense Coast, State of Rio de Janeiro, Brazil.** *In*: Environmental Geochemistry of Coastal Lagoons System, Rio de Janeiro State, Brazil. Knoppers, B., Bidone, E. D., & Abrão, J. J. (Eds). p. 57-67, 1999.

KJERFVE, B.; MAGILL, K. E. G**eographic and hydrodynamic characteristics of shallow coastal lagoons.** *Marine Geology*, v.88, n.3-4, p. 187-199, 1989.

KNOPPERS, B. A. **Aquatic primary production in coastal lagoons.** In: KJERFVE, B. (Ed.). *Coastal lagoon Processes*. Amsterdam: Elsevier, p. 243-286, 1994.

KUDO, A. **Pathways for mercury uptake by fish from bed sediments.** Environmental Pollution (1970), Volume 19, Issue 3, Pages 239-245, 1979

KUDO, A. **Mercury dispersion from Minamata Bay to the Yatsushiro Sea during 1975–1980**. Ecotoxicology and Environmental Safety, Volume 8, Issue 6, 507-510 p, 1984.

LACERDA, L. D.; PFEIFFER, W.; MALM, O. **Mercúrio no meio ambiente: Risco potencial das áreas garimpeiras no Brasil.** *Acta Limnológica Brasiliencia*, v.3, p. 969-977, 1990.

LACERDA, L. D.; MARINS, R. V. **Anthropogenic mercury emissions to the atmosphere in Brazil: The impact of gold mining.** Journal of Geochemical Exploration, Vol 58, Issues 2-3, 223-229 p., 1997.

LACERDA, L. D.; GONÇALVES, G. O. **Mercury distribution and speciation in waters of the coastal lagoons of Rio de Janeiro, SE Brazil.** Marine Chemistry, v.76, n.1-2, p. 47-58, 2001.

LACERDA, L. D. U**pdating global Hg emission from small-scale gold mining and assessing its environmental impacts.** *Environmental Geology*, v.43, p.308-314, 2003.

LAETA, T. Evolução Urbana e Prováveis Alterações Climáticas em Jacarepaguá/RJ. Resumos do 8º Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, 2008

LOUREIRO, D. D. **Evolução dos Aportes de Metais Pesados na Lagoa Rodrigo de Freitas, Rio de Janeiro.** Dissertação (Mestrado em Geoquímica) – Departamento de Geoquímica, Universidade Federal Fluminense, Niterói. 119 p., 2006.

LORING, D. H.; RANTALA, R. T. T. **Manual for the geochemical analyses of marine sediments as suspended particulate matter.** Earth-Science Reviews, v.32, p.235-238, 1991.

MAIA, M. C. A. *et al.* **Evolução Holocênica da Planície Costeira de Jacarepaguá (RJ).** In: Anais do 33º Congresso Brasileiro de Geologia, Rio de Janeiro. p.105-118, 1984.

MALM, O. **Estudo da poluição ambiental por metais pesados no sistema do Rio Paraíba do Sul - Guandú através de metodologia de abordagem pelos parâmetros críticos. Rio de Janeiro.** Dissertação (Mestrado em Biologia) - Intituto de Biologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro. 1986.

MARINS, R. V. **Avaliação da Contaminação por mercúrio emitido por fontes difusas em sistema costeiro subtropical: O caso da Baía de Sepetiba.** Dissertação (Mestrado em Geoquímica) – Departamento de Geoquímica, Universidade Federal Fluminense, Niterói. 119 p., 1998.

MARINS, R. V.; LACERDA, L.; VILLAS BOAS, R. C. **Mercury Contamination Sites: Characterization, Risk Assessment and Remediation***,* Ebinghaus, R.;Turner, R. R.; Lacerda, L. D.; Vasiliev, O.; Salomons, W., eds.; Springer Verlag: Berlin, 1999.

MARINS, R. V.; PAULA FILHO, F. J.; MAIA, S. R. R. **Distribuição de mercúrio total como indicador de poluição urbana e industrial na Costa Brasileira**. Química Nova, Vol 27, Nº 5, 763-770 p., 2004

MASCARENHAS, A. F. S.; BRABO, E. S.; SILVA, A. P.; FAYAL, K. F.; JESUS, I. M.; SANTOS, E. C. O. Avaliação da concentração de mercúrio em sedimentos e material particulado no rio Acre, estado do Acre, Brasil. Acta Amazônica, Vol 34 (1), 61-68 p., 2004.

MELAMED, R.; VILLAS BOAS, R. C. **Mechanisms of physico-chemical interaction of mercury with river sediments from a gold mining region in Brazil: Relative mobility of mercury species**. Journal of Geochemical Exploration, Volume 58, Issues 2-3, 119-124 p., 1997.

MOORE, J. W. ; RAMAMOORTHY, S. **Heavy metals in natural waters**. Springer-Verlag. 268 p., 1984.

MUEHE, D. ; VALENTINE, E. **O litoral brasileiro e sua compartimentação.** In: GUERRA (Ed.). *Geomorfologia do Brasil*. Rio de Janeiro, 1998.

NELSON, D.W. & SOMMERS, L.E., **Total Carbon, Organic Carbon and Organic Matter – Methods of Soil Analysis**. Part 2. ASA 9. 2nd edition, 1982.

NIRIAGU, J. O.; PFEIFFER, W. C.; MALM, O.; MAGALHAES DE SOUZA, C. M.; MIERLE, G., **Mercury Pollution in Brazil.** Nature V 356, 389 p., 1992.

OLIVEIRA, M. L. J.; TORRADO, P. V. Mercúrio Total em solos de manguezais da Baixada Santista e Ilha do Cardoso, Estado de São Paulo. Química Nova, Vol 30, Nº 3, 519-524 p., 2007.

PARAQUETI, H. H. M. **Estudo da especiação de mercúrio e da matéria orgânica dissolvida na coluna d'água do complexo costeiro do litoral do estado do rio de Janeiro: Baía de Sepetiba.** Tese (Doutorado em Geoquímica) – Departamento de Geoquímica, Universidade Federal Fluminense, Niterói. 151 p., 2005.

PENNA FRANCA, E. ; PFEIFFER, W. C. ; FISZMAN, M. & LACERDA, L. D. **Aplicabilidade da análise pelos parâmetros críticos, usualmente empregada para instalações nucleares no controle da poluição do ambiente marinho por metais pesados.** Ciência e Cultura, C 36: 215-219 p., 1984.

PEREIRA FILHO, S. R. **Determinação dos níveis de background e avaliação do grau de contaminação por metais pesados em sub-bacias hidrográficas das regiões garimpeiras de Poconé – MT (Hg, Cu, Pb, Zn, Fe, Mn) e Alta Floresta (Hg).** Dissertação (Mestrado em Geoquímica) – Departamento de Geoquímica, Universidade Federal Fluminense, Niterói. 92 p., 1994.

PORCELLA, D. B. **Regional and Global Aspects of the mercury cycle**. Energy Conversion Engineering Conference,1996 IECEC 96, Vol 3. 2156-2158 p., 1996.

RONCARATI, H.; NEVES, L. E. **Estudo Geológico Preliminar dos Sedimentos Recentes Superficiais da Baixada de Jacarepaguá, Município do Rio de Janeiro.** PETROBRAS, 87 p., 1976.

ROSMAN, P.C.C. ***Proposição de um canal estável para melhoria da qualidade da água na Lagoa Rodrigo de Freitas*.** COPPE – Universidade Federal do Rio de Janeiro. 1992.

ROSMAN, P.C.C. **Estudo de níveis de água no sistema de drenagem de Vargem Grande e Bacia da Lagoa de Jacarepaguá, RJ.** PENO 3393 – Programa de Engenharia Oceânica. COPPE/UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2002.

RUIZ-FERNANDEZ, A. C., *et al.* **The loading history of trace metals and nutrients in Altata-Ensenada del Pabellon, lagoon complex, northwestern Mexico.** Journal of Environmental Radioactivity, v.69, n.1-2, p.129-143, 2003.

SANDERS, C. J. **Taxas de sedimentação, acumulação e fluxos de Mercúrio na Baía de Guaratuba, Paraná, Brasil.** Dissertação (Mestrado em Geoquímica) – Departamento de Geoquímica, Universidade Federal Fluminense, Niterói. 65 p., 2005.

SALOMONS, W. & STIGLIANI, W. M. **Biogeodynamics of Pollutants in Soils and Sediments.** Risk Assesment of Delayed and Non-Linear Responses. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 352 p., 1995.

SEMADS – **Bacias Hidrográficas e Rios Fluminenses** – Síntese Informativa por Macroregião Ambiental, Projeto Planágua, Rio de Janeiro, v. 3, p. 73, 2001.

SILVA, A.P. **Projeto Itaituba: programa de ciência e tecnologia ambiental.** *Série Tecnologia Ambiental*. CETEM/CNPq. Rio de Janeiro, RJ, 66pp. 1997.

SILVA, M. A. M., **Caracterização dos Ambientes de Sedimentação Modernos,** Notas de Curso, 237 p., 2003

STUMM, W.; MORGAN, J. J. ***Aquatic chemistry*.** New York: Wiley Interscience. p. 780, 1981.

STUMM, W. ; MORGAN, J. J. **Aquatic Chemistry. Chemical Equilibra and Rates in Natural Waters**. Third Edition. Environmental Science and Technology. John Wiley & Sons, Inc. p. 1022, 1996.

TESSIER, A.; CAMPBELL, P. G. C.; BISSOM, M. **Sequential Extraction Procedure for the Speciation of Particulate Heavy Metals.** *Analytical Chemistry*, v.51, n.7, p. 844-850, 1979.

UNEP – United Nations Environmental Programme:. **Manual for the geochemical analyses of marine sediments as suspended particulate matter.** *Reference Methods for marine Pollution Studies*, n.63, 1995.

UNEP –**Overview on Land-based Sources and Activities Affecting the Marine, Coastal and Associated Freshwater Environment in the Upper Southwest Atlantic Ocean**, UNEP Regional Seas Reports and Studies No. 170, The Hague, The Netherlands, 2000.

WARD, J. V. **Aquatic insect ecology: 1 Biology and habitat.** John Wiley & Sons, New York, 438 p., 1992.