

CARACTERIZAÇÃO TEXTURAL DOS SEDIMENTOS SUPERFICIAIS DE FUNDO E DINÂMICA SEDIMENTAR NA BAÍA DE GUANABARA, RIO DE JANEIRO.

¹Mauricio de Sousa Dias Guimarães ; Leonardo Fernandez de Catanzaro¹ ; José Antonio Baptista Neto² ; Claudia G. Vilela³ & Isa Brehme¹

Abstract

Ninety-two bottom surface sediment samples were collected in the Guanabara bay using a van-Veen sampler. They were analyzed for grain size distribution and organic matter. From the association between the bottom morphology and sediment characteristics, it was possible to establish the sedimentary dynamics. This allowed a division of the bight into three sedimentary zones: a south, sand-dominated zone of relatively high wave and current energy, a north zone characterized by very calm conditions and clay/mud deposition, and a central zone of mixed sedimentary characteristics.

Palavras-chaves: Sediment Dynamic, Guanabara Bay, Texture

I - INTRODUÇÃO

Um dos mais importantes aspectos ambientais da geologia marinha é o estudo dos sedimentos superficiais dos ambientes marinhos e a sua relação com outros parâmetros físicos, químicos e biológicos. Nos últimos trinta anos, vários trabalhos de caracterização de sedimentos superficiais de ambientes costeiros foram desenvolvidos (Cooper, 1993; Baptista Neto *et. al*, 1996; Laybauer & Bidone, 2001) demonstrando a importância

¹ Departamento de Geologia/ LAGEMAR – Universidade Federal Fluminense. Av. Litorânea, s/n, Gragoatá, Niterói, RJ – Brasil – 24210-340

² Departamento de Geografia/FFP – Universidade do Estado do Rio de Janeiro Rua Francisco Portela, 794, Paraíso, São Gonçalo, RJ – Brasil – 24416-300 jneto@igeo.uff.br

³ Depto de Geologia, IGEO, UFRJ, CCMN, Av. Brigadeiro Trompovski, s/n, Cidade Universitária, CEP: 21929-900 , Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

ambiental deste para programas de monitoramento ambiental e pesquisas básicas.

Segundo Laybauer & Bidone (2001) o diâmetro médio dos sedimentos determina comportamentos de propriedades físico-químicas, que afetam o potencial de adsorção de poluentes. Desta forma, a granulometria dos sedimentos representa um compartimento integrador e um dos melhores meios concentradores de poluentes.

A Baía de Guanabara, com aproximadamente 400 Km² é bordejada pela Região Metropolitana do Rio de Janeiro, que é caracterizada por uma alta densidade demográfica e onde encontra-se o segundo maior parque industrial do Brasil (Fig.1). Além disso, banha diretamente os municípios de Niterói, São Gonçalo, Itaboraí, Guapimirim, Magé, Duque de Caxias e Rio de Janeiro (SECT, 2000).

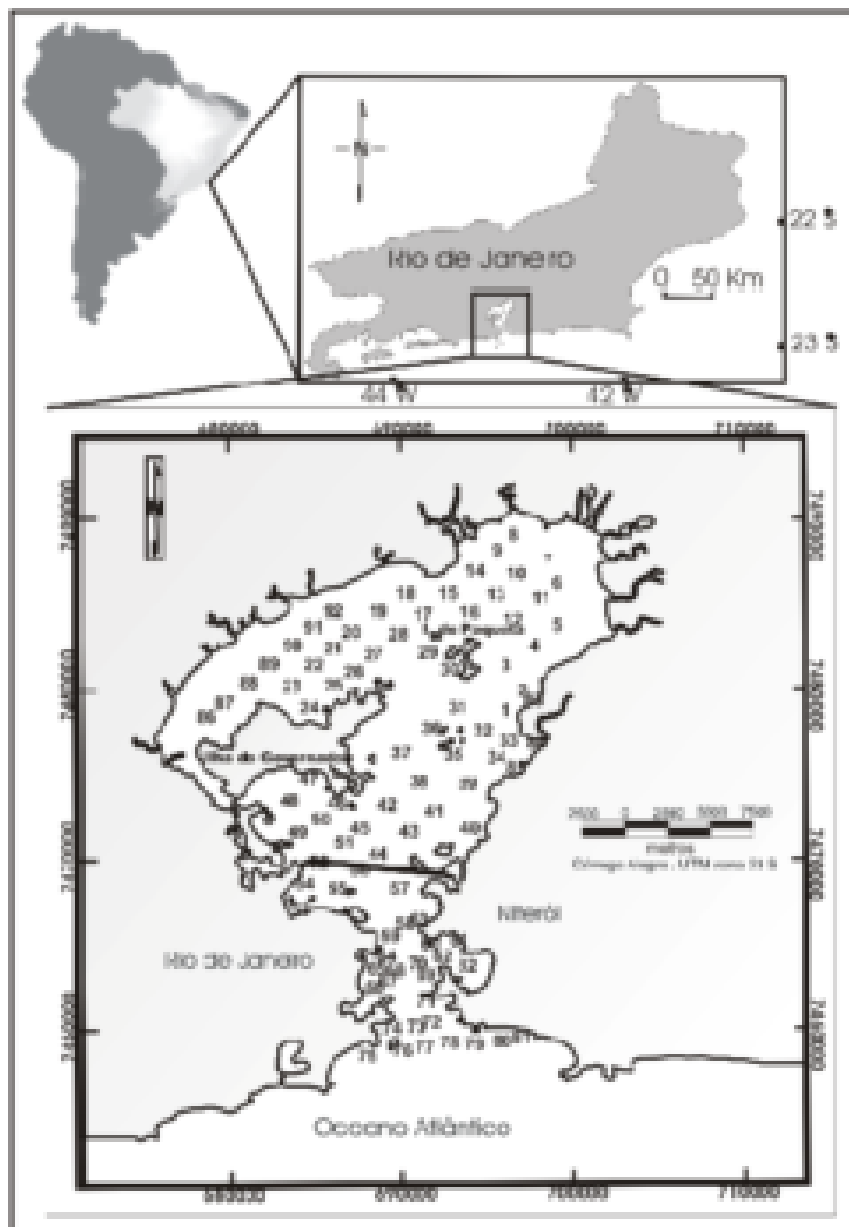


FIGURA 1: LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO E DAS AMOSTRAS COLETADAS.

Os atuais níveis de poluição encontrados na Baía de Guanabara estão associados ao intenso processo de urbanização que ocorreu na área a partir da década de 50. O crescimento populacional e o desenvolvimento industrial trouxeram questões ambientais como a destruição dos ecossistemas periféricos à baía, o assoreamento de seu espelho d'água, o uso descontrolado do solo e seus efeitos adversos em termos de poluição e assoreamento.

O objetivo deste trabalho é o de apresentar a distribuição dos sedimentos superficiais da Baía de Guanabara, contribuindo deste modo para um melhor conhecimento desta baía.

II - CARACTERÍSTICAS AMBIENTAIS DA ÁREA

A Baía de Guanabara está localizada numa faixa de depressões terciárias, denominada como baixada Fluminense ou como "rift" da Guanabara (Ruellan, 1944; Almeida, 1976; Asmus e Ferrari, 1978; Ferrari, 1990). O "rift" é do tipo semigráben, com blocos basculados para NW. Observa-se que à norte o relevo geralmente muda de forma brusca, caracterizando muitas vezes frentes dissecadas de blocos falhados (Ruellan, 1944). Ao sul a passagem para o domínio elevado se faz de forma mais gradual (Ferrari, 1990).

Limitada à norte pela Serra do Mar, com elevações entre 1000 e 2000 metros, a sul por elevações entre 500 e 1000 metros e a leste e oeste por colinas e planícies (JICA, 1994), a bacia de drenagem da Baía de Guanabara, com área aproximada de 4600 Km², incluindo a baía (Amador, 1997), engloba quase toda a Região Metropolitana do Rio de Janeiro.

Amador (1997) apresenta para a baía uma descarga média anual em torno de 356,3 m³ /s, com um mínimo de 166,8 m³ /s no mês de agosto e máximo de 551,7 m³ /s no mês de fevereiro.

A Baía de Guanabara apresenta uma estreita entrada, com aproximadamente 1,6km entre as pontas de São João e de Santa Cruz (Quaresma, 1997). À medida que adentramos os 30km de extensão N-S em direção ao fundo da baía, ocorre um alargamento na direção E-W até o máximo de 28Km (Kjerfve *et. al.*, 1997).

Na entrada da barra observa-se um grande banco arenoso que se eleva desde profundidades de 20m até o mínimo de 11m (DHN, 1998). Quaresma (1997) atribui a esta feição "uma grande importância no

padrão de circulação da baía , pois o mesmo provoca a canalização das correntes.

Fazendo-se uma análise, tomando como base a isóbata de 10m, pode-se estimar que 70 a 80% da baía tem profundidades inferiores a 10m. Como resultado tem-se uma profundidade média de 5,7m (SEMA, 1998). A mesma isóbata de 10m, pode servir de base para a descrição da feição mais proeminente da baía, que é o seu canal central (Fig.2). Da entrada da barra até a ponte Rio-Niterói o canal tem direção 348° e largura variando de 1,6 km na boca da barra a 2,0 km. As profundidades mais comuns estão entre 30 e 40m (Quaresma, 1997). Na margem leste do canal é descrito um campo de ondas de areia entre as profundidades de 10m e 26m, com altura entre 0,5m e 2,5m e comprimento de onda variando de 20m a 100m (Dias e Quaresma, 1996). A partir da ponte Rio-Niterói as profundidades são, em geral, inferiores à 20m. Apenas à altura da ilha do Governador, na face mais à oeste do canal, a isóbata de 20 metros reaparece.

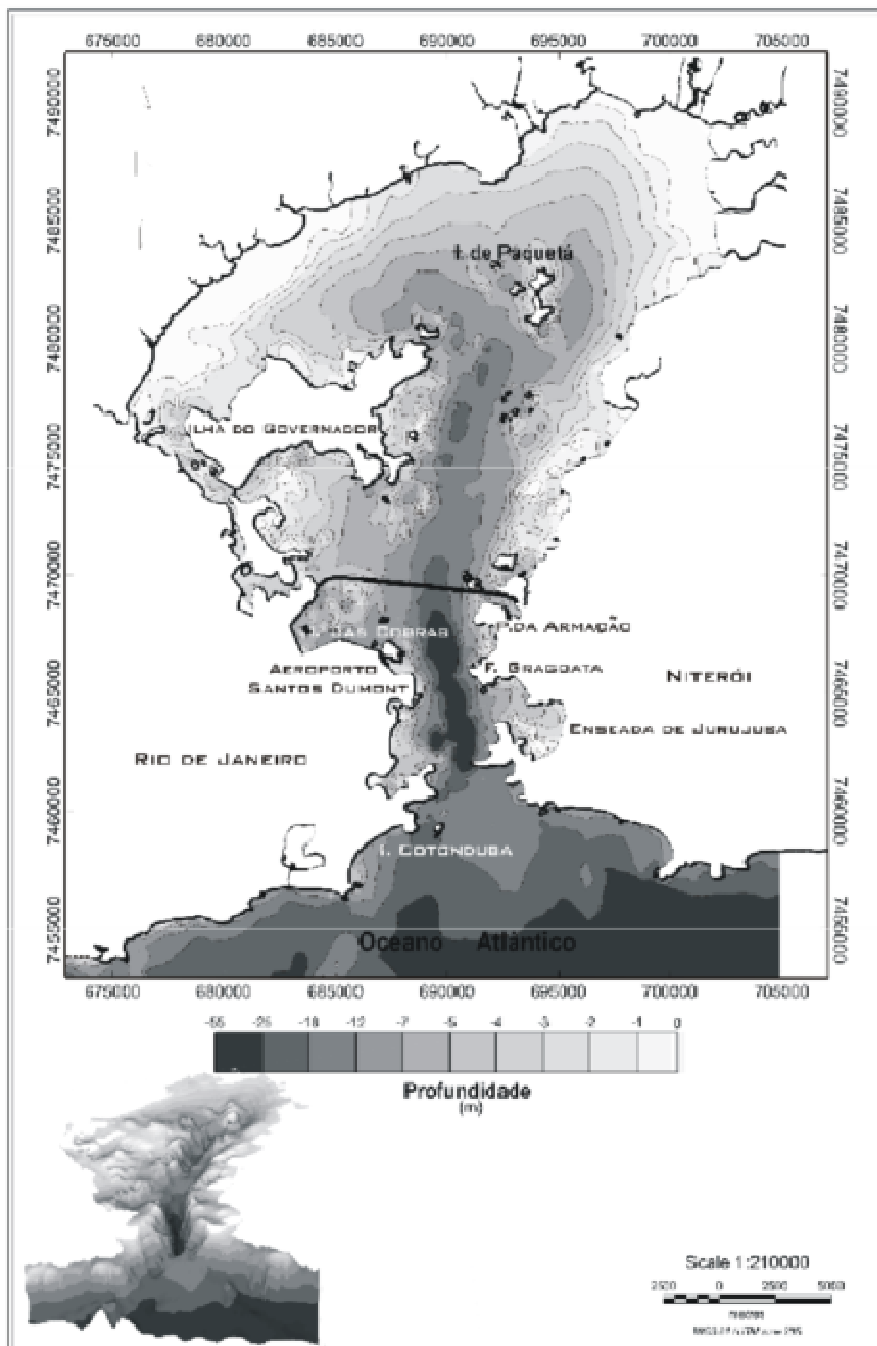


FIGURA 2 – MAPA BATIMÉTRICO DA BAÍA DE GUANABARA

Devido aos enormes volumes de água que entram e saem pela barra da Baía de Guanabara através de seu canal principal, a cada fluxo ou refluxo da maré, as correntes que ocorrem na área, são regidas especialmente pela influência da maré, sem que os ventos ocorrentes possam afetá-las sensivelmente quanto a direções ou intensidades. Entretanto, a passagem de frentes frias implica em condições hidrodinâmicas mais energéticas, nas quais a atuação destas forças soma-se a das correntes de maré

(Camargo, 2002). Logo, situações que envolvam a aceleração das correntes de preamar por ventos de S, SW e SE, associadas à ressuspensão de areias médias pelas ondas determinam cenários de provável intensa mobilização de areias e um transporte sedimentar resultante para o interior da baía. Próximo à abertura da Barra são observadas correntes de maiores velocidades, sendo o valor mais elevado medido próximo a Gragoatá (156,3 cm/s em superfície), coincidindo com a localização das ondas de areia no fundo (JICA, 1994).

Segundo Kjerfvre *et al.*, (1997), a variação média da maré é de aproximadamente 0,7 m para toda a baía, tendo uma variação na sizígia de 1,1 m e na quadratura de 0,3 m.

As correntes de maré, figura 3, apresentam as componentes no eixo y (N-S) mais intensas que as no eixo x (L-O) (Camargo, 2002). A configuração da costa na entrada da baía e a presença de um banco de areia são responsáveis pelo estrangulamento das correntes que, por sua vez, atingem velocidades capazes de gerar as ondas de areia presentes na margem leste do canal central da baía.

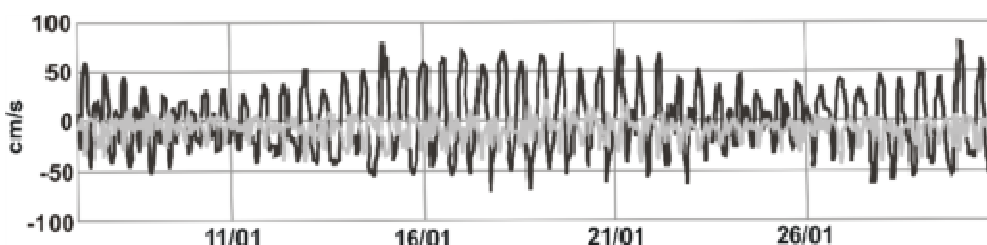


FIGURA 3 – CORRENTES DE MARÉ DECOMPOSTAS VETORIALMENTE. ESTÃO REPRESENTADAS ÀS COMPONENTES N-S (LINHA MAIS CLARA) E W-E (LINHA MAIS ESCURA) (CAMARGO, 2002).

III - METODOLOGIA

As amostras de sedimento de fundo, num total de noventa e duas, foram coletadas em Novembro de 99 e posteriormente analisadas para caracterização da cobertura sedimentar da Baía de Guanabara. Para a coleta, utilizou-se um busca-fundo do tipo van-Veen, que apresenta boa

recuperação em águas rasas. Foi utilizado uma embarcação de pequeno porte, para que pudesse ser amostrada toda a baía. Para o posicionamento das amostras de sedimento de fundo foi utilizado um GPS.

As análises laboratoriais foram realizadas no Laboratório de Geologia Marinha (LAGEMAR) do Departamento de Geologia da Universidade Federal Fluminense. As amostras foram submetidas as análises sedimentológicas, tais como, peneiramento a úmido, para separar a fração areia ($>0,062$ mm) das frações silte/argila ($<0,062$ mm), e pipetagem. A fração areia passou pelo processo de peneiramento a seco em intervalos de meio ϕ . As amostras foram classificadas granulometricamente de acordo com a classificação proposta por Larssonneur (1977).

O teor de matéria orgânica foi determinado utilizando o equipamento CS infrared analyser modelo ELTRA Metalyt 1000 CS. Esta análise foi realizada no Instituto Oceanográfico do Mar Báltico – Alemanha.

Os dados resultantes dos procedimentos de peneiramento e pipetagem foram convertidos, a partir do programa Henry.bas utilizado no LAGEMAR, em informações gráficas e numéricas que caracterizam as amostras analisadas. Foram calculados os parâmetros estatísticos, conforme Folk & Ward (1957).

IV - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na classificação dos sedimentos da Baía de Guanabara foi utilizado a classificação de Larssonneur (1977) modificada por Dias (1996), aplicável para os diferentes ambientes da costa brasileira, a fim de possibilitar futuras comparações com ambientes similares.

Os sedimentos de fundo da Baía de Guanabara variam de lama terrígena a areia litoclástica com grânulos. Pelo que se pode observar no mapa (Fig. 4) foram encontrados os seguintes tipos de sedimentos: lama terrígena (LL1c – mais de 75% de lama), lama terrígena arenosa (LL1b – entre 25 e

75% de lama), areia litoclástica fina a muito fina (AL1e), areia litoclástica média (AL1d), areia litoclástica grossa a muito grossa (AL1c), areia litoclástica com grânulos (AL1b).

As areias litoclásticas médias (AL1d) ocorrem preferencialmente no lado leste do canal central desde a ilha de Cotunduba até as proximidades da ponte Rio-Niterói, e em pontos isolados a leste da Ilha do Governador. As areias litoclásticas finas a muito finas fazem limite com as areias médias e são encontradas preferencialmente no lado oeste do canal central e na entrada da Enseada de Jurujuba. Esta distribuição certamente está ligada ao selecionamento promovido pelas correntes de maré junto ao fundo, já que no alinhamento Forte de Gragoatá aeroporto Santos Dumont são encontradas as maiores velocidades, com máximos de 105 cm/s na maré enchente e de 57 cm/s na vazante, não permitindo então a deposição de sedimentos com granulometria fina (Quaresma *et. al.* , 2000). A partir deste alinhamento a baía sofre um alargamento considerável que se reflete na diminuição das velocidades das correntes de maré, possibilitando assim a deposição de sedimentos mais finos.

Na parte oeste da Ilha do Governador ocorrem sedimentos classificados como areias litoclásticas grossas a muito grossas (AL1c), onde o afunilamento provocado pela morfologia leva a um aumento na velocidade das correntes de maré, não permitindo então a deposição de sedimentos mais finos. Estas areias ainda podem ser encontradas em pontos isolados no canal central, onde os sedimentos são classificados como AL1b.

De acordo com Amador (1992), esses sedimentos arenosos, localizados entre a entrada da barra e a ponte Rio-Niterói, estão relacionados a areias de um sistema fluvial afogado pela última grande transgressão marinha e que foram retrabalhadas pelas atuais condições hidrodinâmicas.

Os sedimentos lamosos são predominantes na Baía de Guanabara. As lamas terrígenas e lamas terrígenas arenosas (LL1c e LL1b respectivamente) são observadas a partir do alinhamento Ponta da Armação – Ilha das Cobras até o fundo da Baía de Guanabara. Estes

sedimentos estão ligados, principalmente, à diminuição da velocidade das correntes de maré devido a um maior distanciamento da entrada da baía. Outra hipótese para a presença dessas lamas, a partir desse alinhamento, seria a floculação e deposição de argilas devido à zona de estratificação estuarina. Nas áreas onde se tem o “ponto nulo”, local onde a resultante do movimento da água é igual a zero, observa-se uma grande concentração de sedimentos em suspensão, além de uma mistura mais efetiva das águas (salgada e doce). Todo esse processo acaba por favorecer a floculação e consequente deposição de argilas (SECT, 2000). Entretanto, observa-se que a área próxima a ponte Rio-Niterói já se mostra, com características de um sistema moderadamente estratificado (Kjerfve *et. al.*, 1997), porém, a salinidade ainda permanece muito alta com cerca de 31‰, o que não favorece a presença da zona de turbidez máxima. Dessa forma, acredita-se que, as lamas encontradas nessa área estariam relacionadas à diminuição da velocidade das correntes de maré e não à deposição de argilas em função da zona de turbidez máxima (SECT, 2000).

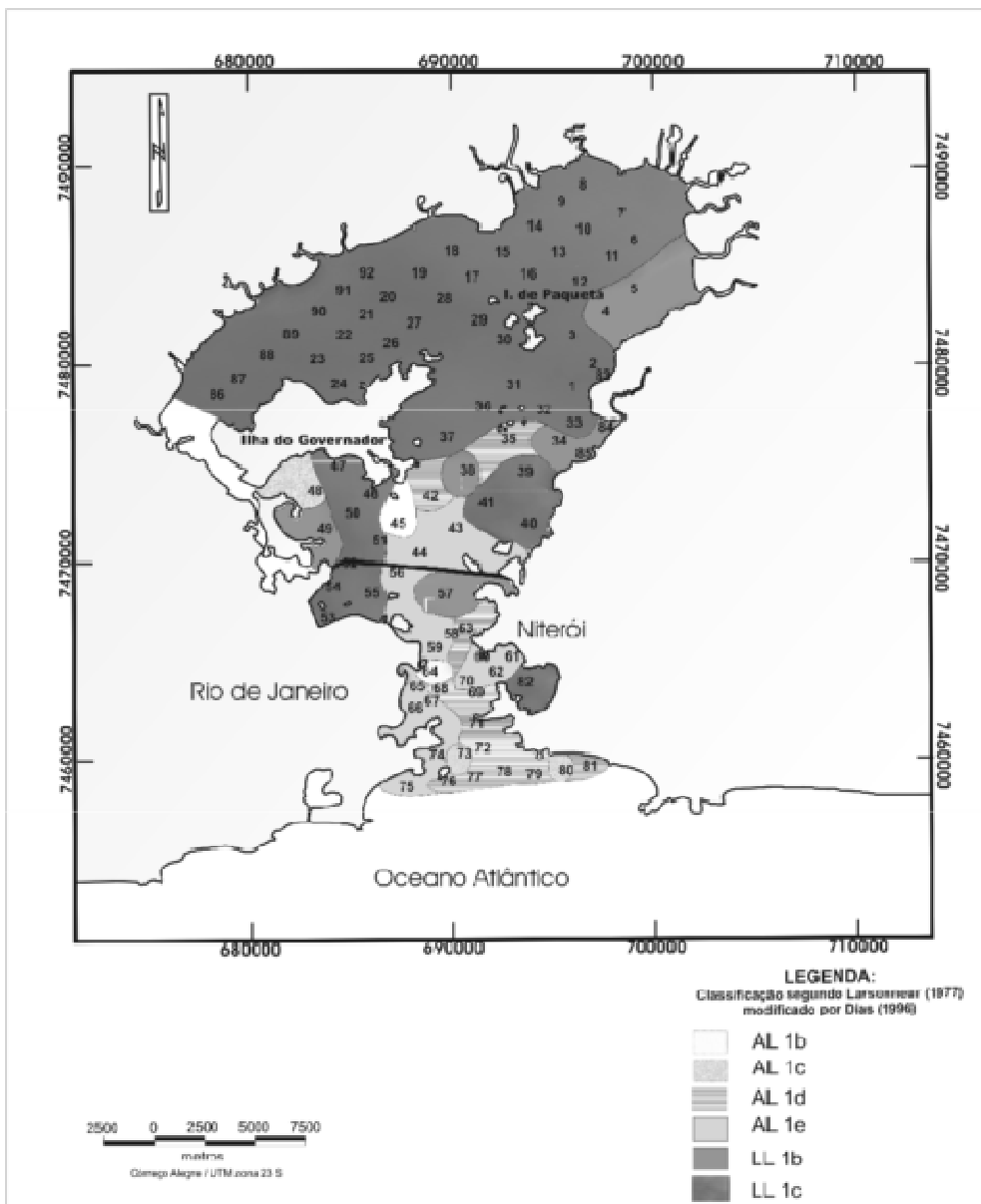


FIGURA 4 – MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DE SEDIMENTOS DE ACORDO COM A CLASSIFICAÇÃO DE LARSONNEUR (1977) MODIFICADA POR DIAS (1996).

IV - PARÂMETROS ESTATÍSTICOS

IV.1 - DIÂMETRO MÉDIO (Mz)

Analisando o mapa de variação de diâmetro médio da Baía de Guanabara, observa-se uma heterogeneidade textural com a existência de cinco classes granulométricas principais conforme a classificação de Folk & Ward (1957): i) Argila; ii) Silte fino a muito fino; iii) Silte médio a Grosso; iv) Areia fina muito fina e v) areia média a grossa.

Os sedimentos arenosos são encontrados preferencialmente no canal central da Baía de Guanabara, onde os sedimentos são submetidos à ação mais intensa da hidrodinâmica das ondas e correntes de maré.

Da boca da barra em direção ao interior da baía observa-se uma predominância de areia média a grossa, no lado leste do canal, e areia fina a muito fina no lado oeste. As areias finas passam a predominar a partir da Enseada de Jurujuba e assim como as areias médias a grossa aparecem em pontos isolados nas proximidades da Ilha do Governador. De acordo com o mapa batimétrico estes sedimentos arenosos estão associados aos canais onde existe uma canalização das correntes tornando-as mais fortes. Na entrada da baía existe um banco arenoso formado pelas correntes de fundo e segundo Quaresma *et. al.* (2000), este banco tem uma grande importância na hidrodinâmica local provocando a canalização das correntes. Em consequência da maior hidrodinâmica nesta área as frações muito finas são removidas e impedidas de se depositarem na área.

A zona de transição das areias para lama situa-se, à norte da ponte Rio-Niterói, com uma grande diversidade de classes granulométricas, o que indica até onde atuam os processos oceânicos e continentais (Fig. 5).

Após a zona de transição há um predomínio de sedimentos lamosos associados à proximidade das áreas fontes do material em suspensão (rios situados na porção N-NW da baía), à atividade biológica e a menor hidrodinâmica destas áreas, onde as correntes de maré que caracterizam a circulação da baía já estão enfraquecidas devido uma maior distância da entrada da baía. Segundo Amador (1992), a deposição destes sedimentos finos, é consequência da aglomeração de siltes e argilas pela filtragem de organismos, floculação produzida pela salinidade e pela colonização microbiológica dos sólidos em suspensão.

Os siltes médios a grossos também são encontrados em pontos isolados principalmente na zona de transição entre os sedimentos arenosos e lamosos.

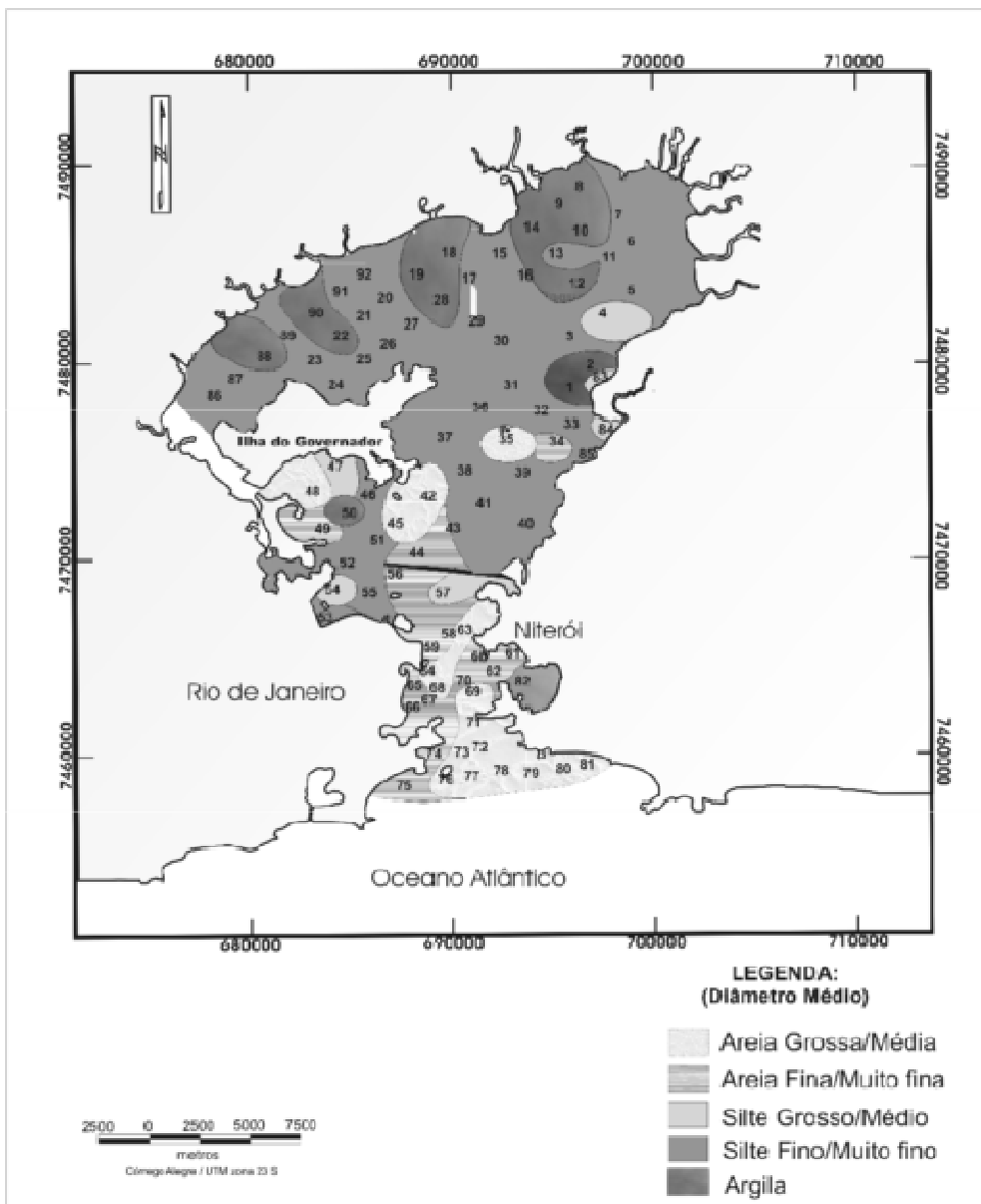


FIGURA 5 – MAPA DE DISTRIBUIÇÃO DE SEDIMENTOS DE ACORDO COM O DIÂMETRO MÉDIO DAS PARTÍCULAS.

Os siltes finos a muito finos são dominantes nas regiões mais abrigadas e principalmente no fundo da baía demonstrando que a energia do meio não é suficientemente baixa a ponto de permitir a deposição expressiva de argila.

As argilas são encontradas em alguns pontos da parte mais interna da Baía de Guanabara principalmente a norte da Ilha de Paquetá. Esses sedimentos são moderadamente selecionados com uma pequena área moderadamente bem selecionados associados a uma circulação restrita.

Além disso, nessa área existe um mangue onde apenas os sedimentos mais finos conseguem passar.

IV. 2 - DESVIO-PADRÃO (σ I)

O mapa de variação do desvio-padrão apresentado na figura 6 reflete com exatidão o processo de seleção a que os sedimentos da baía foram submetidos. Os sedimentos da Baía de Guanabara variam de bem selecionados a muito pobremente selecionados.

Os sedimentos bem a moderadamente bem selecionados encontra-se preferencialmente distribuídos na entrada da baía (Fig. 6), onde observa-se um predomínio de areia fina a muito fina e areia média a grossa, com forte tendência a unimodalidade. Nessa área há ainda a presença de pequenas zonas de sedimentos moderadamente selecionados associados também a presença de areia média e areia fina a muito fina, com forte tendência a unimodalidade.

Na parte central da baía (após a ponte Rio-Niterói) há um predomínio de sedimentos pobremente a muito pobremente selecionados, com alguns pontos de sedimentos bem a moderadamente selecionados. Esta área comporta-se como uma zona transicional.

Na parte mais interna da baía, verifica-se o domínio de sedimentos moderadamente a pobremente selecionados, onde o pobre grau de selecionamento é atribuído a ampla distribuição de sedimentos siltosos desta área e a proximidade da área fonte. Na região a norte da Ilha do Governador, pode ser observado um predomínio da fração silte fino a muito fino, pobremente selecionado associado ao deságüe dos rios nessa área da baía. No fundo da baía há ainda uma ampla área e algumas pequenas áreas de sedimentos moderadamente selecionados associado ao predomínio da fração argila com forte tendência a unimodalidade. Além disso, é observado uma pequena área de sedimento moderadamente bem selecionado formada também por argila.

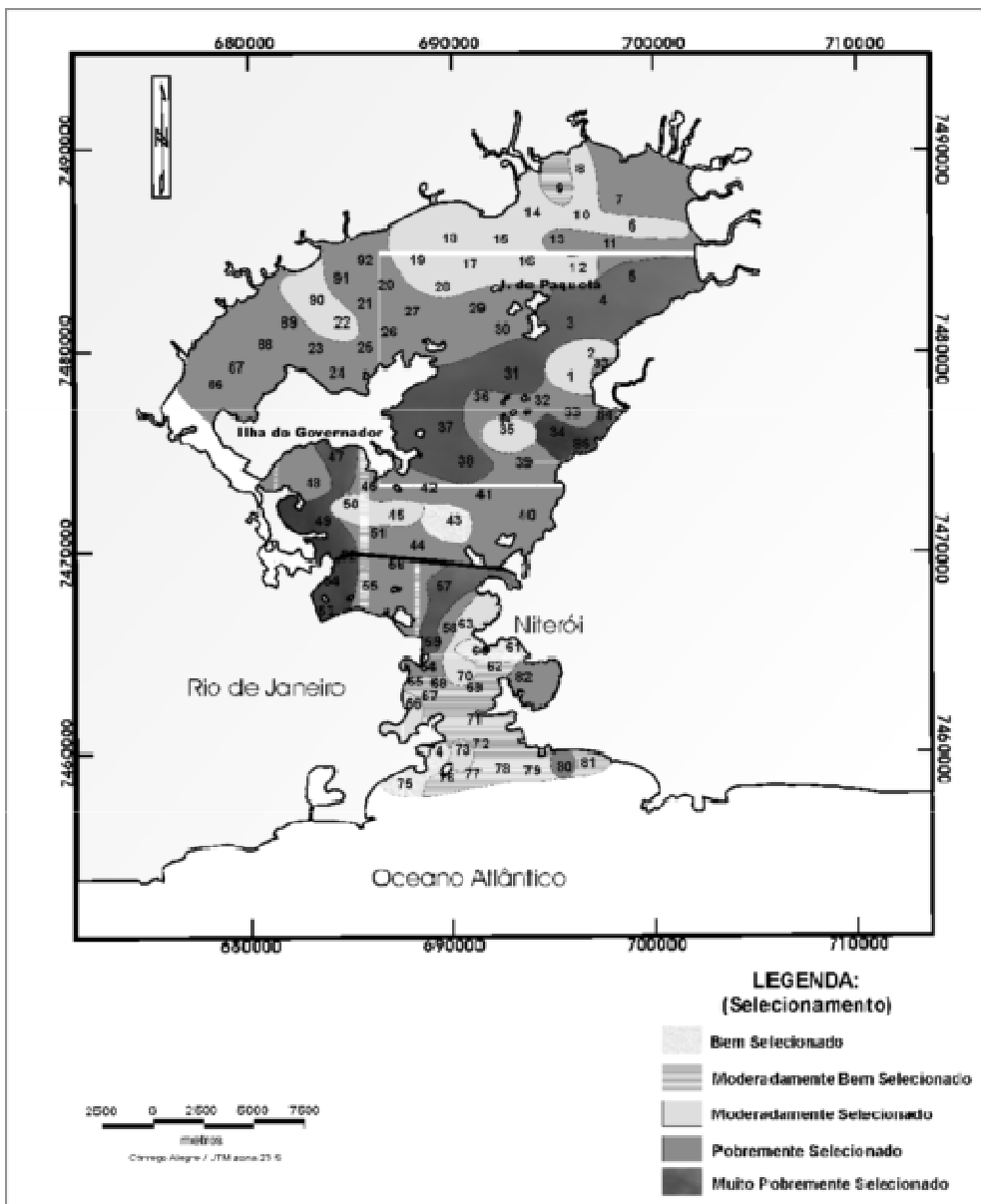


FIGURA 6 - MAPA DE GRAU DE SELECIONAMENTO DOS SEDIMENTOS DE FUNDO

IV.3 - INTER-RELAÇÃO DOS PARÂMETROS ESTATÍSTICOS

Para uma melhor visualização do comportamento dos ambientes deposicionais foram construídos dois diagramas de dispersão: diâmetro médio/ desvio-padrão e diâmetro médio/ assimetria.

A) Diâmetro Médio/ Desvio Padrão

Este diagrama permite uma boa individualização de dois envoltórios concentrando os principais grupos sedimentares encontrados na Baía de

Guanabara (Fig. 7). O primeiro envoltório é representado por sedimentos que variam de areia muito fina a areia grossa e são de pobremente a bem selecionadas. De acordo com o diagrama de dispersão proposto por Stewart (1958 *apud* McManus, 1988) o ambiente deposicional desses sedimentos é controlado pela ação das ondas. As areias dominantes apresentam incidência no intervalo areia fina e média (1-3 ϕ) e valores de seleção 0,35 a 1,00 situando-se portanto no campo de moderadamente a bem selecionadas. Estes sedimentos são característicos da zona de mais alta energia da baía.

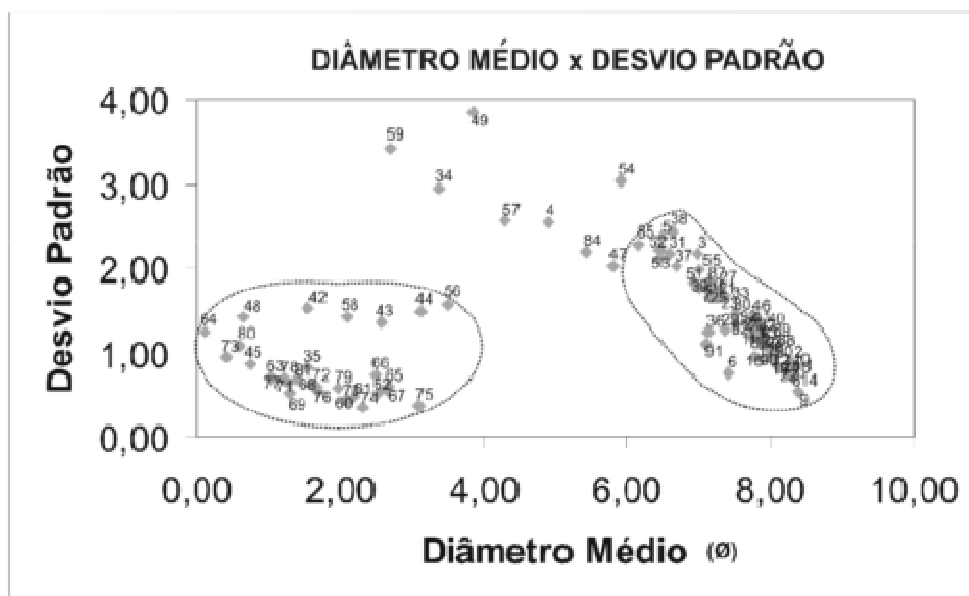


FIGURA 7 - DIAGRAMA DISPERSO MOSTRANDO OS ENVELOPES ASSOCIADOS AO AMBIENTE DEPOSICIONAL DAS PARTÍCULAS.

O segundo envoltório encontra-se representado por sedimentos que variam de argila a silte fino e são de moderadamente selecionados a muito pobremente selecionados, o que indica a heterogeneidade do material. De acordo com o diagrama de Stewart (1958 *apud*, McManus, 1988) esses sedimentos são característicos de ambientes de águas calmas, onde a deposição ocorre de forma lenta.

B) Diâmetro Médio/ Assimetria

Os envoltórios de concentração de material obtidos a partir deste gráfico (Fig. 8) são bastante similares ao anteriormente descrito. O primeiro envoltório composto predominantemente pelas areias fina a média (1-3 ϕ) e bem a moderadamente bem selecionadas possuem assimetria que varia de negativa a positiva com um predomínio de amostras aproximadamente simétrica e negativamente assimétricas. A assimetria positiva é decorrente do enriquecimento de material fino nos sedimentos. Essa área representa os sedimentos cuja deposição é controlada pela ação das ondas, segundo Stewart (1958 *apud* Mcmanus, 1988).

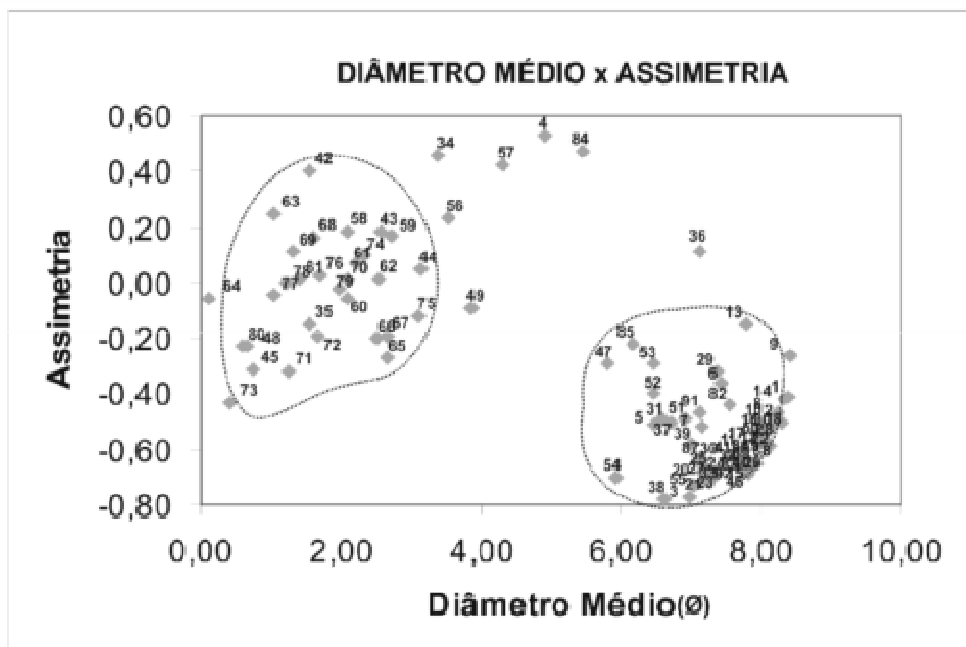


FIGURA 8 - DIAGRAMA DISPERSO MOSTRANDO OS ENVELOPES ASSOCIADOS AO AMBIENTE DEPOSICIONAL DAS PARTÍCULAS.

O segundo envoltório é formado principalmente por sedimentos que variam de silte fino a argila e são moderadamente a muito pobremente selecionados. Esses sedimentos apresentam assimetria que varia de muito negativa a negativa com um grande predomínio da assimetria muito negativa. Esse segundo envoltório está relacionado com ambiente de águas calmas e deposição lenta de partículas.

IV.4 - MATÉRIA ORGÂNICA

De acordo com Saliot (1994 *apud* Catanzaro 2002) os percentuais de matéria orgânica variam de 1 a 11% nos lagos, 0,7 a 5% nos estuários e 0,28 a 3,2 na plataforma continental. A partir desses índices é possível notar que os sedimentos da Baía de Guanabara apresentam altos percentuais de matéria orgânica, variando de 3 a 7%. O valor mais elevado é de 7,05% ocorre na amostra 53 na parte oeste da baía. Os valores mais baixos, menores que 1% ocorrem bem na entrada da baía e no canal central associado aos sedimentos arenosos e a maior velocidade das correntes, devido a um estrangulamento da corrente de maré.

De acordo com Tucker (1991) a matéria orgânica é um ótimo indicador de dinâmica de fundo em baías. Os altos teores de matéria orgânica no sedimento, como os apresentados na parte mais interna da baía e em áreas mais abrigadas, é indicativo de ambientes redutores ou de baixa degradação de matéria orgânica, portanto, de ambientes de águas calmas e de baixa velocidade de correntes. Quando as correntes são mais efetivas, há uma maior oxigenação na área propiciando condições para oxidação da matéria orgânica, reduzindo-se conseqüentemente sua percentagem no sedimento, como pode-se observar nos sedimentos da entrada da baía, onde os percentuais de material orgânico são inferiores a 1%.

Desta forma, pode-se verificar que as concentrações de matéria orgânica na Baía de Guanabara variam inversamente com o percentual de areia (Fig. 9). Onde o percentual de areia tende a diminuir em direção ao interior da baía e o percentual de material orgânico tende a aumentar. A concentração média de matéria orgânica nos sedimentos arenosos é de 0,81% enquanto que nos sedimentos lamosos (siltes e argilas) é de 4,74%. Essa correlação inversa entre a quantidade de matéria orgânica e a textura sedimentar é, dependente da natureza da fração fina do material orgânico, da adsorção das partículas orgânicas dependentes de

superfícies dos argilo-minerais e da superfície do grão para adsorção (Froelich *et. al.* , 1971; Mayr, 1994).

Acredita-se que a elevada percentagem de matéria orgânica concentrada nos sedimentos finos da Baía de Guanabara, seja consequência tanto da grande produtividade biológica da baía quanto da grande quantidade de esgoto (rico em matéria orgânica) que é despejado diariamente na baía, assim como, decorrente da circulação restrita nas áreas mais protegidas, o que pode ser constatado pela distribuição dos tipos de sedimento de fundo e pela hidrodinâmica. De acordo com carreira *et. al.* (2002) a baía está entre os ecossistemas marinhos mais produtivos com uma rede de produção primária de $0.17 \text{ mol C m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ (Rebello *et. al.*, 1988). Segundo os mesmos autores a alta produtividade primária ocorre devido a intensa disponibilidade de luz solar e alta temperatura ao longo do ano e por um input de $3.2 \times 10^9 \text{ mol P}$ e $6.2 \times 10^{10} \text{ mol N}$ (Wagener, 1995) derivado principalmente da descarga de esgoto sem tratamento.

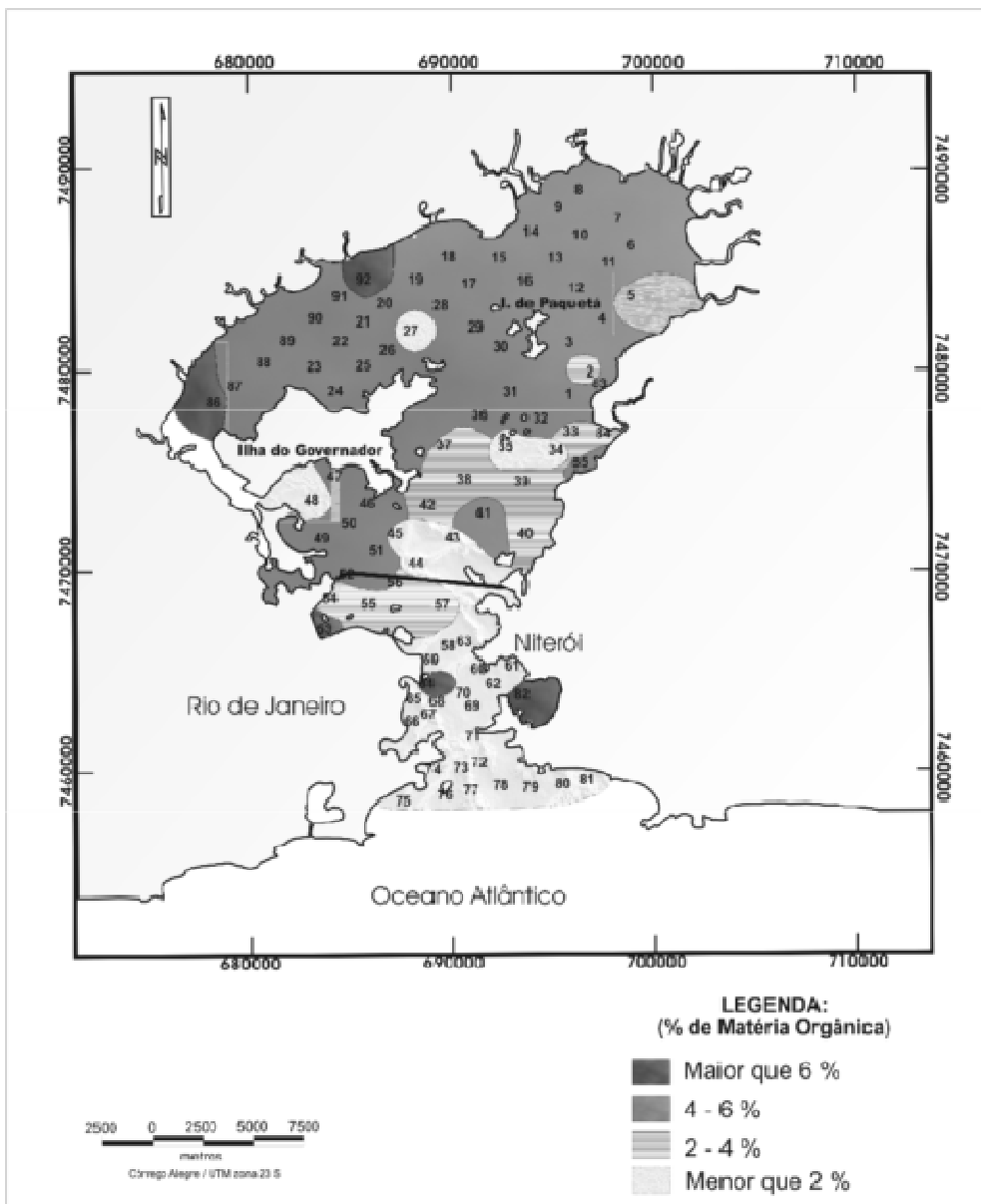


FIGURA 9 - MAPA DE PERCENTUAL DE MATÉRIA ORGÂNICA.

IV.5 - HIDRODINÂMICA

Os sedimentos são normalmente classificados por parâmetros estatísticos, calculados a partir das análises granulométricas (Folk & Ward, 1957), mas outros métodos devem ser utilizados, como o diagrama triangular de Pejrup (1988), em que as amostras são plotadas de acordo com seu teor de areia, silte e argila.

Este diagrama oferece a possibilidade de classificar granulométricamente o sedimento com base no conteúdo de areia e lama e também descrever a

hidrodinâmica do ambiente deposicional baseada na composição granulométrica da fração lamosa.

Com o intuito de um melhor entendimento da hidrodinâmica da Baía de Guanabara com base nos sedimentos de fundo, foi utilizado o diagrama de Pejrup (1988) que é utilizado para classificação de sedimentos estuarinos, através do qual podem ser identificados os teores de argila nos sedimentos lamosos e as condições hidrodinâmicas vigentes durante o processo deposicional dos sedimentos (Baptista Neto *et. al.*, 1996).

Segundo Pejrup (1988) o conteúdo de argila (representado com linhas de mesmo percentual) pode ser utilizado para divisão do triângulo. Sedimentos estuarinos com conteúdo de argila superior a 80% são raramente encontrados, e a linha, correspondente a tal nível de argila, é então escolhida para subdividir este triângulo. Por razões simétricas, a linha correspondente a 20% de argila é escolhida para representar ambientes de mais alta energia. A seção I indica condições hidrodinâmicas muito calmas, raramente encontradas em ambientes estuarinos, e as seções II a IV indicam aumento gradual de energia (Baptista Neto, *et. al.*, 1996).

Para avaliar as condições hidrodinâmicas da Baía de Guanabara os resultados das análises granulométricas das amostras de sedimento de fundo foram plotadas no diagrama de Pejrup (1988) e posteriormente plotadas em mapas. Através desse diagrama fica caracterizado um decréscimo de energia da parte mais externa para a mais interna.

Como esperado pode-se observar que a zona de maior hidrodinâmica está localizada no canal central da Baía de Guanabara que se localiza na sua entrada. Nesta área, as amostras são classificadas, de acordo com o diagrama, como (A,IV e B,IV), que correspondem, respectivamente, a sedimentos, que contém de 90 a 100% e 50 a 90% de areia, respectivamente, depositados sob condições hidrodinâmicas bastante intensas (Fig. 10). Nesta área, estão localizadas as maiores profundidades e onde foi observado um grande campo de ondas de areia (Quaresma *et.*

al., 2000) o que demonstra a forte influência de ondas e correntes de maré.

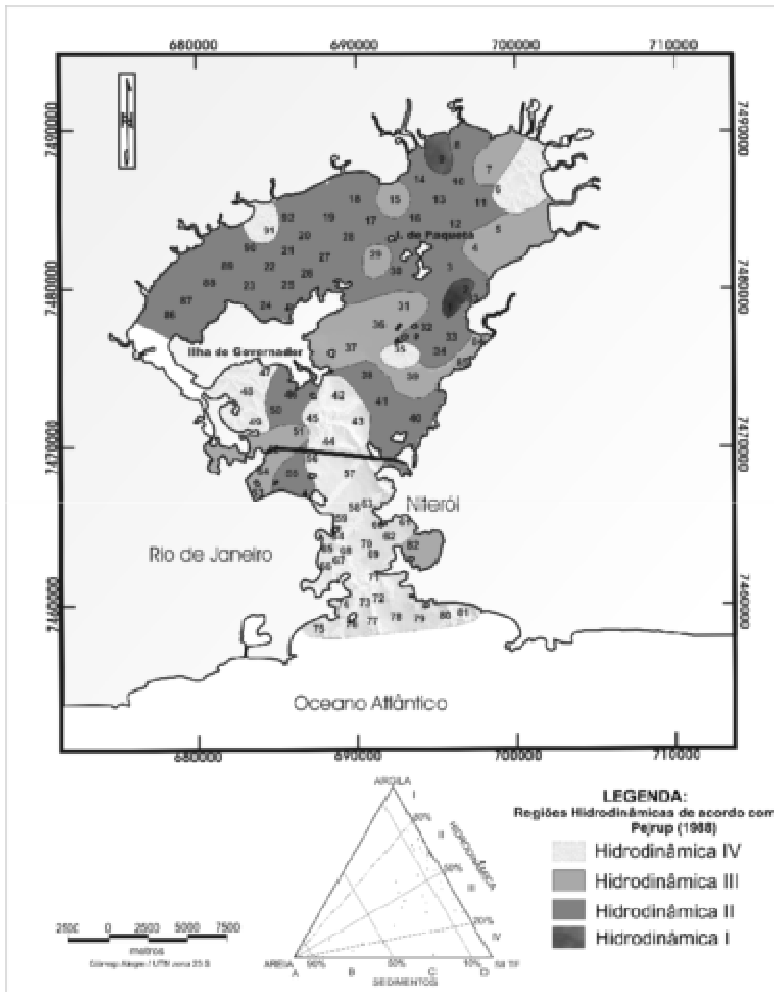


FIGURA 10 – MAPA DE HIDRODINÂMICA BASEADO NO DIAGRAMA DE PEJRUP (1988).

A oeste da Ilha do Governador também ocorre uma área de hidrodinâmica mais elevada (A,IV e C,IV) devido a um estreitamento provocado pela morfologia gerando um aumento nas velocidades das correntes de maré. Essa forte atividade hidrodinâmica ainda pode ser observada na área a leste, entre a Ilha do Governador e a Ilha de Paquetá.

Já na parte mais interna da baía de Guanabara predominam amostras classificadas como (D,II e D,III), que correspondem a amostras que contém entre 0 e 10% de areia, e foram depositadas sob condições muito

mais calmas do que as da área da entrada da Baía de Guanabara (Fig. 10). Essa área apresenta alguns pontos isolados que representam hidrodinâmica bastante diferente das áreas adjacentes. Essas anomalias são provocadas devido à proximidade das desembocaduras de rios; e não devem ser utilizadas para se inferir hidrodinâmica, pois representam áreas de aporte fluvial.

Os sedimentos localizados nos campos C e, principalmente, D devem ser os primeiros a serem analisados em um estudo ambiental. Nessas áreas, pode-se encontrar maiores concentrações de poluentes orgânicos e inorgânicos, uma vez que os sedimentos da fração silte/argila são reconhecidos como grandes fixadores de poluentes (Fig. 11). Entretanto nos campos A e B esse potencial é reduzido de forma significativa, devido à pequena concentração de suportes geoquímicos necessários a adsorção desses compostos.

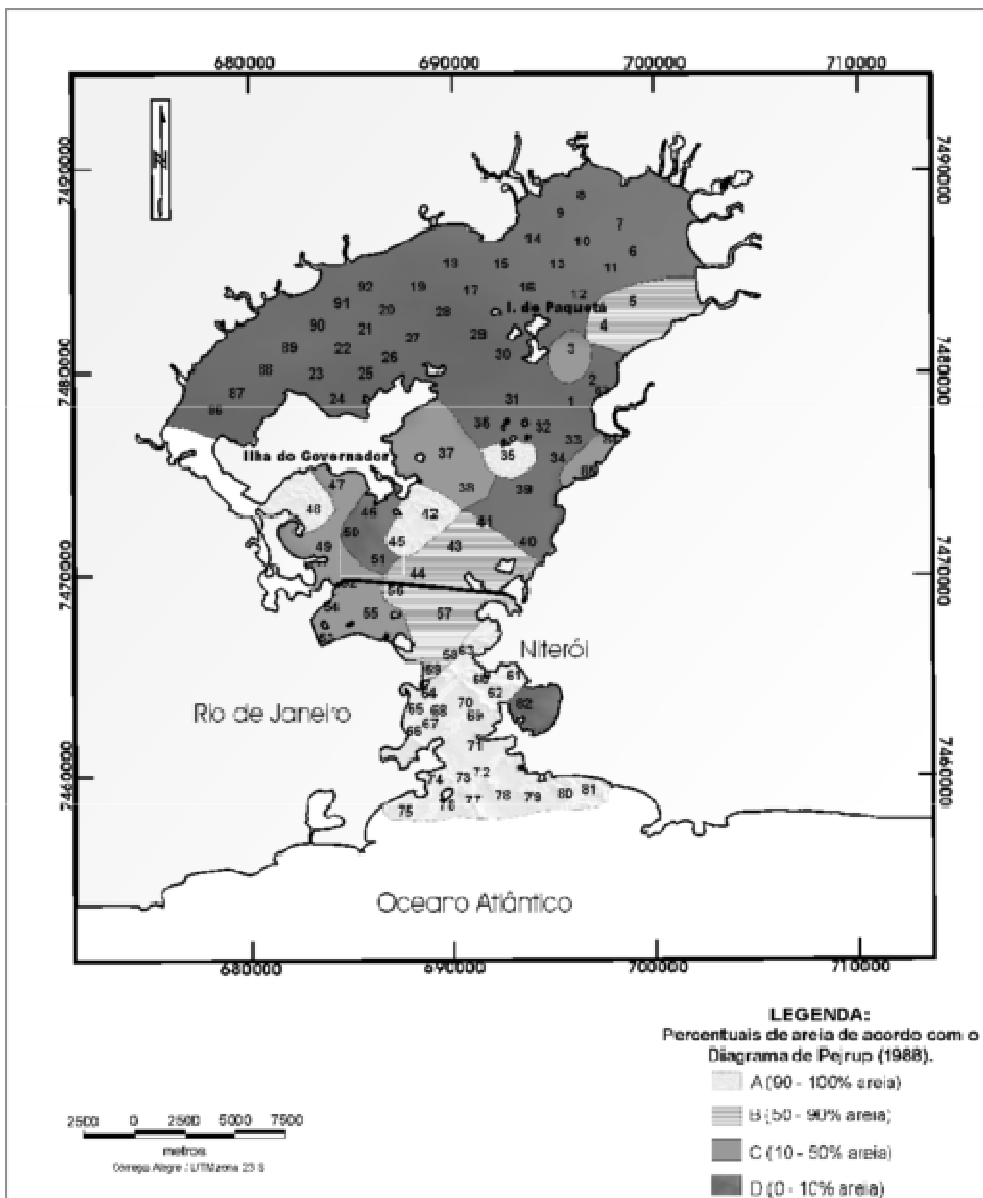


FIGURA 11 - MAPA DE PERCENTUAL DE AREIA BASEADO NO DIAGRAMA DE PEJRUP (1988).

V – COSIDERAÇÕES FINAIS

Os sedimentos clásticos mais finos ocorrem, com maior frequência, a montante da Baía de Guanabara e os mais grossos a jusante da mesma. As areias acumulam-se nas zonas de maior energia enquanto que os clásticos finos nas zonas de baixa energia, predominando os siltes finos a muito finos e argilas nos fundos rasos.

Quanto ao material de origem orgânica, sua presença é secundária em confronto com os de origem terrígena. O teor de matéria orgânica

aumenta a montante pois, via de regra, é maior nos sedimentos finos. A matéria orgânica origina-se da decomposição da fauna e flora da região enquanto que os biodetritos são formados quase que exclusivamente de conchas de bivalves e foraminíferos.

Na Baía de Guanabara pode-se observar uma diferença na dinâmica sedimentar, baseado nos parâmetros estatísticos utilizados nas análises sedimentológicas entre a entrada e o fundo da baía. Estas diferenças são observadas a partir das seguintes evidências:

- Os sedimentos arenosos são encontrados próximo a entrada da Baía de Guanabara com alguns casos isolados, como próximo a Ilha do Governador, que estão relacionados à proximidade da área fonte e ocupação das encostas e ainda a um aumento do fluxo da corrente de maré provocado pelo estreitamento na morfologia (Quaresma, 1997). Já os sedimentos mais finos, como argilas e siltes finos a muito finos, se distribuem em áreas com baixa hidrodinâmica, como as áreas mais interiores da baía ou em enseadas protegidas como a de Jurujuba. A passagem gradual dos sedimentos arenosos para os sedimentos lamosos, está associada à diminuição da energia da maré, caracterizando bem o controle de selecionamento dos sedimentos em função das correntes de maré.

- O desvio-padrão apresenta-se na entrada da Baía de Guanabara como moderadamente a bem selecionado, enquanto que no fundo da mesma predominam sedimentos moderadamente a pobremente selecionados com uma pequena área a norte da Ilha de Paquetá com sedimentos moderadamente bem selecionados devido à presença de um mangue.

Portanto, através da integração de dados sedimentológicos e das características batimétricas da Baía de Guanabara pode-se entender melhor os processos sedimentares atuantes na região, sendo possível delimitar três zonas hidrodinâmicas distintas dentro da baía (Fig. 12):

- *compartimento Sul*

Da entrada da baía até as proximidades da ponte Rio-Niterói, são encontradas as maiores profundidades e por sofrer uma ação mais intensa das correntes de marés predominam sedimentos do tipo AL1d e AL1e. Esta área apresenta hidrodinâmica mais alta (diagrama de Pejrup, 1988) impedindo a sedimentação lamosa e promovendo um selecionamento do sedimento. As areias ali presentes, apresentam-se bem a moderadamente selecionadas, com diâmetro médio que varia de areia grossa/média à areia fina/muito fina e com baixa percentagem de matéria orgânica. Nessa área observa-se a existência de um fundo com feições do tipo "sand waves" indicadores de uma dinâmica atuante (Catanzaro, 2002). Nessa área predominam os processos marinhos, com influência das ondas e correntes de maré, ou seja, o ambiente deposicional da entrada da Baía de Guanabara representa a influência de correntes e ondas retrabalhando prováveis sedimentos relíquias que segundo Amador (1992) são do tipo palimpséticos.

- *compartimento Central*

A parte central da baía, que funciona como uma zona de transição entre um regime hidrodinâmico de maior energia para um de menor energia. Nessa área ha uma grande mistura de sedimentos, ocorrendo diversas classes granulométricas. Os sedimentos predominantemente apresentam-se pobremente a muito pobremente selecionados e com diâmetro médio que varia de areia grossa/média a argila. A diminuição gradativa da granulometria, desde areias fina a muito fina até silte fino a muito fino, em direção ao interior da baía é função da diminuição das correntes de marés.

- *compartimento Norte*

A parte mais interna da Baía de Guanabara, a partir da Ilha do governador, que é um ambiente de energia muito baixa, abrigado da ação das ondas e correntes de marés, onde são observadas as menores

profundidades, com médias inferiores a 5 metros. Nesta área, os sedimentos são, em geral, muito finos, predominando os sedimentos do tipo LL1c. Esses sedimentos apresentam-se moderadamente a pobremente selecionados, com diâmetro médio que varia de silte fino/muito fino a argila e apresentam altas concentrações de matéria orgânica, demonstrando uma hidrodinâmica muito baixa (diagrama de Pejrup, 1988), e forte influência dos sistemas fluviais. O ambiente deposicional desta zona é dominado por águas calmas e as partículas vão decantando lentamente pela coluna d'água.

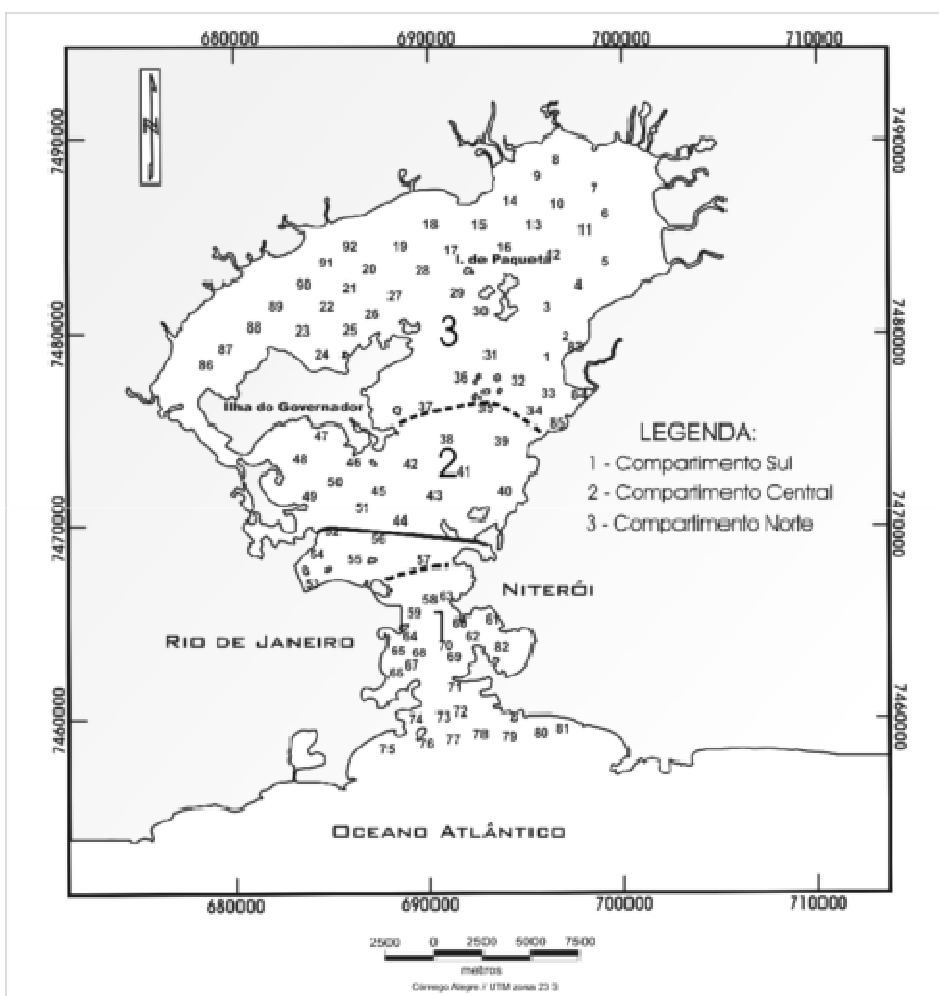


FIGURA 12 – LOCALIZAÇÃO DOS COMPARTIMENTOS INDIVIDUALIZADOS.

A diferença observada entre os sedimentos depositados na entrada e os do interior da Baía de Guanabara pode ser explicada pelo fato de os sedimentos depositados na entrada da barra, formados por sedimentos mais grossos, terem sido depositados em ambientes de plataforma rasa

enquanto que os sedimentos mais finos, são de origem fluvial, refletindo um ambiente de mais baixa energia. Os sedimentos mais grossos que se encontram associados ao material fino, provavelmente são relíquias.

Desta forma, pode-se afirmar que a distribuição de sedimentos da Baía de Guanabara não foge ao padrão de outros ambientes estuarinos como Cheseapeak Bay (Wright & Sonu, 1975), Bahia Blanca (Aliotta e Perillo, 1987) entre outros onde ocorre um decréscimo na granulometria dos sedimentos e um aumento no teor de matéria orgânica da desembocadura do sistema em direção à cabeceira.

Vale lembrar que, a utilização do diagrama de Pejrup foi uma ótima ferramenta para o entendimento da dinâmica sedimentar da Baía de Guanabara e que a compreensão da dinâmica de sedimentação do ambiente aquático é peça fundamental à definição espacial e temporal de qualquer programa de amostragem, visando o monitoramento e/ou diagnóstico ambiental de uma área, visto que, a granulometria dos sedimentos é um bom indicador da energia do meio.

Agradecimentos

Este trabalho contou com o apoio financeiro do CNPq, FAPERJ, CAPES e Ministério de Ciência e Tecnologia da Republica Federal da Alemanha. Gostaria ainda de agradecer o apoio do Departamento de Geologia da Universidade Federal Fluminense.

VI - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALIOTTA, S. & PERILLO, G.M.E (1987). *A sand wave field in the entrance to Bahia Blanca estuary, Argentina*. Marine Geology, 76 p.1-14.

ALMEIDA, F.F.M. (1976). *The System of Continental rifts bordering the Santos Basin*. Anais da Academia Brasileira de Ciência, 58 (Suplemento): 15-26.

AMADOR, E.S. (1992). *Sedimentos de fundo da Baía de Guanabara - Uma síntese*. Anais do III Congresso Associação Brasileira de Estudo do Quaternário.

AMADOR, E.S. (1997). *Baía de Guanabara e ecossistemas periféricos - Homem e Natureza*. Rio de Janeiro, Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro.

ASMUS, H. E. & FERRARI, A. L. (1978). *Hipótese sobre a causa do tectonismo cenozóico na região sudeste do Brasil*. In: Projeto REMAC. Aspectos estruturais da margem continental leste e sudeste do Brasil. Rio de Janeiro, Petrobrás-Cenpes-Dinep . P. 75-88. (série Projeto REMAC, n. 4).

BAPTISTA NETO, J.A & SILVA, M.A.M. (1996). *Caracterização dos sedimentos de fundo e dinâmica sedimentar da Enseada de Jurujuba (Baía de Guanabara) - Niterói/RJ*. Revista Pesquisas, Instituto de Geociências-UFRGS , **23** (1/2): 7-16

CAMARGO, J.M.R. (2002). *Variações das forças hidrodinâmicas junto a um campo de dunas subaquáticas na baía de Guanabara - RJ* . Monografia de bacharelado. UERJ.

CARREIRA, R.S.; WAGENER, A.L.R.; READMAN, J.W.; FILEMAN, T.W.; MACKO, S.A. & VEIGA, A. (2002). *Change in the sedimentary organic carbon pool of a fertilized tropical estuary, Guanabara Bay, Brazil: an elemental, isotopic and molecular marker approach* . *Marine Chemistry* , 79: 207-227.

CATANZARO, L. F.(2002). *Distribuição de sedimentos e características de ecocaráter (7,0 kHz) na Baía de Guanabara - RJ*. Dissertação de Mestrado, Departamento de Geologia, Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ.

COOPER, J.A.G. (1993). *Sedimentation in the cliff-bound, microtidal Mtamvuna Estuary, South Africa*. *Marine Geology*, 112: 237-256.

DHN – Carta Náutica Nº 1501 (1998).

DIAS, G.T.M. (1996). *Classificação de Sedimentos Marinhos Proposta de Representação em Cartas Sedimentológicas*. Anais do 39º Congresso Brasileiro de Geologia, (3): 423-426.

DIAS, G.T.M & QUARESMA, V.S. (1996). – *Baía de Guanabara – Evolução Geomorfológica do Fundo Submarino* . XXXIX Congresso Brasileiro de Geologia Vol. 4 pp 514-517.

FERRARI, A. (1990). *A geologia do "rift" da guanabara (RJ) na sua porção centro-oriental e sua relação com o embasamento pré-cambriano*. Anais do XXXVI Congresso Brasileiro de Geologia, Natal, RN.

FOLK, R. L., & WARD, W. C. (1957). *Brazos River Bar: A Study in the Significance of Grain Size Parameters*. Journal of Sedimentary Petrology, 27,1, 3-26pp.

FROELICH, P., GOLDEN, B., PILKEY, O. H. (1971). *Organic carbon in sediments of the North Carolina continental rise*. Southeast Geology, 13, 91 – 97.

JICA (1994). *The Study on Recuperation on Guanabara Bay*. Vol. 2.

Kjerfve, B., Ribeiro, C.H.A., Dias, G.T.M, Filippo, A.M. & Quaresma, V. S. (1997). *Oceanographic characteristics of an impacted coastal bay: Baía de Guanabara, Rio de Janeiro, Brazil* . Continental Shelf Research, 17(13):1609-1643.

KRUMBEIM, W.C. (1936). *The application of logarithmic moments to size frequency distribution of sediments*. Jour. Sed. Petrol. **(6)** : 35-47

LARSONNEUR, C (1977). *La cartographie de's dépôts meubles sur le plateau continental français: méthode mise du points et utilisée em Manche*. Journal Redi oceanog, , 2:34-39.

LAYBAUER, L. & BIONDE, E.D. (2001). *Caracterização textural dos sedimentos de fundo do Lago Guaíba (sul do Brasil) e sua importância em diagnósticos ambientais*. Pesquisa em Geociências, 28(1):13-26.

McMANUS, J. (1988). *Grain Size determination and Interpretation*. In: TUCKER, M. (ed.), *Techniques in Sedimentology*. Oxford: Blackwell, pp. 63-85.

MAYR, L.M (1994). *Relationships between mineral surfaces and organic carbon concentrations in soils and sediments*. Chemical Geology, 114, 347 – 363.

PEJRUP, M. (1988). *The triangular diagram used for classification of estuarine sediments: a new approach*. In: Boer, P.L.; van Gelder. A.& Nio, S.D. (ed.) *Tide-influenced Sedimentary Environments and Facies*. D. Reidel, p. 289-300.

PONZI, V. (1995). *Métodos de análises sedimentológicas de amostras marinhas. Representação através de gráficos e mapas*. Curso de especialização em Geologia e Geofísica Marinha. LAGEMAR / UFF. 51pp.

Quaresma, V.S. (1997). *Caracterização da dinâmica sedimentar da Baía de Guanabara , RJ* . Dissertação de Mestrado, Departamento de Geologia, Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ. 97 pp.

Quaresma, V.S , DIAS, G.T.M. & Baptista Neto, J.A. (2000). *Caracterização de padrões de sonar de varredura lateral e 3,5 e 7,0 kHz na porção sul da Baía de Guanabara – RJ* . Revista Brasileira de Geofísica.

REBELLO, A.L., PNCIANO, C.R., MELGES, L.H. (1988). *Avaliação da produtividade primária e da disponibilidade de nutrientes na Baía de Guanabara*. Anais da Academia Brasileira de Ciências 60 (4), 419-430.

RUELLAN, F. (1944). *A evolução geomorfológica da Baía de Guanabara e das regiões vizinhas* . Revista Brasileira de Geografia (4): 445-508.

SECT – Secretaria de Estado de Ciência e Tecnologia/Governo do Estado do Rio de Janeiro/PETROBRAS (2000). *Relatório Final de Avaliação das condições presentes de funcionamento do Complexo Industrial REDUC/DTSE sob o ponto de vista de suas implicações ambientais*. Elaborado pelo Consórcio de Universidades. Convênio SECT/PETROBRAS.

SEMA - Secretaria de Estado de Meio Ambiente, (1998). *Avaliação da Qualidade das Águas Costeiras do Estado do Rio de Janeiro* . Fundação de Estudos do Mar (FEMAR) 26 pág.

TUCKER, M.E. (1991). *Sedimentary/Petrology: A n introduction to the origin os sedimentary rocks*. 2º ed. London Blackwell. Scientific Publication. 260p.

WRIGHT, L.D. & SONU, C.J. (1975). *Processes of sediment transport and tidal delta development in stratified tidal inlet*. In *Estuarine Research*. 2 Ed. Academic Press. New York, San Francisco and London. 586 pp.

WAGENER, A.L.R. 1995. *Burial of organic carbon in estuarine zones – estimates for Guanaraba Bay, Rio de Janeiro* . *Química Nova* 18(6): 534-535.