

## **AVALIAÇÃO DOS EFEITOS AMBIENTAIS E ECOLÓGICOS REFERENTE AO ACIDENTE OCORRIDO EM JANEIRO/2000 NO OLEODUTO PE-II DA REFINARIA DUQUE DE CAXIAS (REDUC-PETROBRÁS) NA BAÍA DE GUANABARA-RJ.**

Beatriz B. Eichler<sup>1</sup>; Patrícia P. B. Eichler<sup>2</sup>; Luiz B. de Miranda<sup>1</sup>; Felipe M. Pimenta<sup>3</sup>; Evelyn da R. Mendes Pereira<sup>1</sup>; Patrícia B. P. Kfoury<sup>1</sup>.

<sup>1</sup>Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (IOUSP)  
Praça do Oceanográfico, 191, Cep: 05508-900, Cid Universitária, São Paulo, SP, Brasil  
Phone: +55 11 3091-6567 e-mail: [bbeichle@usp.br](mailto:bbeichle@usp.br)

<sup>2</sup>Laboratório de Ciências Marinhas, Universidade do Sul de Santa Catarina (UNISUL)  
Rua: Colombo Sales Machado, 84, CEP: 88790-100, Laguna, SC, Brasil  
Phone: +55 48 644 2324 e-mail: [eichler@unisul.br](mailto:eichler@unisul.br)

<sup>3</sup>Laboratório de Hidráulica Marítima, Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)  
Campus universitário Trindade, CEP: 88010-970, Florianópolis, SC, Brasil  
Phone: +55 48 331 9992 e-mail: [felipempimenta@yahoo.com.br](mailto:felipempimenta@yahoo.com.br)

### **RESUMO**

Para avaliar a saúde ecológica da Baía de Guanabara e os danos ao ecossistema marinho ocorridos em função do acidente no oleoduto da PETROBRÁS foram coletadas amostras de sedimento e dados hidrográficos em 26 estações no inverno (6 meses após o acidente) e no verão (1 ano depois). Na parte noroeste e central da baía observa-se que o baixo teor de oxigênio dissolvido encontra-se relacionado às descargas de poluentes. No inverno, próximo ao rio Iguaçu, o sedimento apresenta alta acidez. Essa acidez influencia negativamente a diversidade de espécies de foraminíferos, limitando a ocorrência de espécies com carapaças mais frágeis, aumentando a dominância de *Elphidium* spp no inverno. No verão esse local apresentou-se estéril. Isso pode ser explicado, pois a contínua dissolução das carapaças mais resistentes culmina com o desaparecimento total destes microorganismos um ano após o acidente.

### **ABSTRACT**

This work intends to evaluate the ecological health of Guanabara Bay and the marine environmental damages due to the PETROBRÁS crude oil leak in REDUC refinery. Twenty-six samples were collected in winter (6 months after the accident) and in summer (one year after). In the northwest and central parts of the bay, low oxygen dissolved values are related to waste discharges. In winter, near Iguaçu river, sediment is highly acid. This acid is responsible for the foraminiferal low diversity limiting the occurrence of species with fragile tests, thus increasing *Elphidium* dominance in winter. In summer, this site presented sterile. This fact might be explained because the test dissolution will continually go on one year after the accident.

Palavras-Chave: foraminíferos, Baía de Guanabara, oleoduto, qualidade ambiental.

### **1. INTRODUÇÃO**

Em 18 de janeiro de 2000, no oleoduto PE-II, na Refinaria Duque de Caxias (REDUC) da Petrobrás ocorreu o derramamento de 1292 m<sup>3</sup> de óleo combustível tipo MF380, destruindo vários ecossistemas devido à mortalidade da flora e fauna. O acidente ocorreu na região ao norte da ilha do Governador próximo aos rios Iguaçu e Estrela (Figura 1). A mancha de óleo se estendeu por uma faixa superior a 50 quilômetros quadrados, atingindo o manguezal da área de proteção ambiental (APA) de Guapimirim, praias banhadas pela Baía de Guanabara, além de provocar graves prejuízos de ordem social e econômica à população local. As comunidades que tiravam seu sustento de atividades ligadas, direta ou indiretamente, à qualidade das águas da Baía de Guanabara, tais como, a pesca e o turismo, foram muito prejudicadas devido à morte dos peixes e crustáceos por contaminação e falta de oxigênio. O derramamento de óleo no ambiente aquático altera os parâmetros químicos, pois permite a quebra dos componentes do óleo, liberando ácido sulfídrico, amônia e metano, com conseqüente diminuição do pH do sedimento (Kennish, 1997) e do teor de oxigênio dissolvido na água. Essas modificações

interferiram no ambiente natural da região atingida, tornando o ambiente instável.

### **2. METODOLOGIA**

As coletas foram realizadas em duas estações do ano, inverno/2000 (6 meses após o acidente) e verão/2001 (1 ano após o acidente). A figura 1 apresenta as estações de coleta e a área de influência da mancha de óleo.

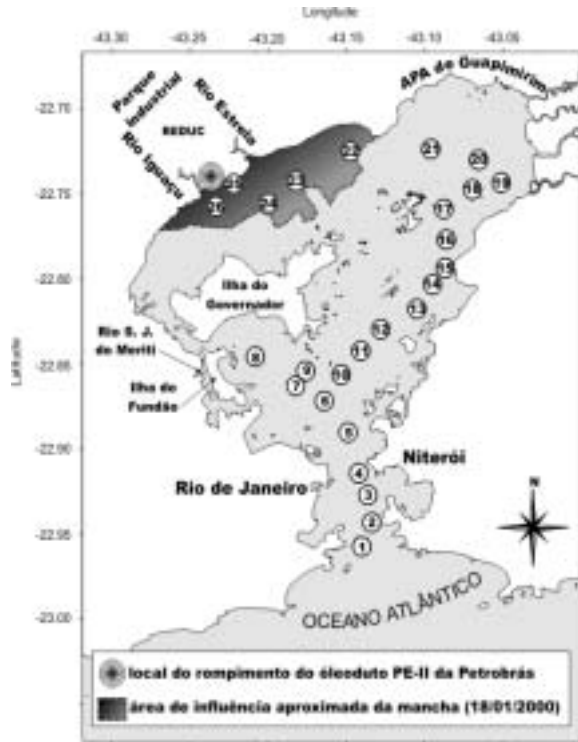


Figura 1: Estações do inverno/2000 e verão/2001. Área de influência da mancha de óleo, baseado na imagem de satélite adquirida em 18/01/2000 pelo Centro de Monitoramento de Derramamento de Óleo no Mar (CeMOM) (workshop ELPN/IBAMA).

### 2.1. Parâmetros químicos

O teor de oxigênio dissolvido (ml/l) da água foi medido com oxímetro (Metler Toledo). Para as medidas de pH do sedimento foi utilizado eletrodo de pH (Ingold), acoplado ao analisador portátil (Eydan).

### 2.2. Parâmetros biológicos

A amostragem de sedimento para análise da microfauna de foraminíferos foi feita com pegador de fundo tipo Petersen em 26 pontos no inverno e repetidos no verão, totalizando 52 amostras. Do sedimento coletado, foi retirada apenas a camada superior (primeiros centímetros), e colocada em frascos com Rosa de Bengala (1g/1000ml de álcool). A função do Rosa de Bengala é corar o protoplasma dos organismos que estiverem vivos no momento da coleta, e a função do álcool é impedir o ataque bacteriano. O sedimento (50cc), foi separado usando-se duas peneiras sucessivas de 0,500mm e 0,062mm e após secagem em estufa, as amostras foram separadas por flotação em tetracloreto de carbono. Após a separação, os foraminíferos foram transferidos para lâminas especiais de fundo preto e identificados.

## 3. RESULTADOS

### 3.1. Parâmetros químicos

Os valores de pH e oxigênio dissolvido (superfície e fundo) obtidos no inverno e verão podem ser visualizados na tabela 1.

Tabela 1: pH e teor de oxigênio no inverno e no verão.

Estações	pH inverno	O2 sup. inverno	O2/fundo inverno	pH verão	O2 sup. verão	O2/fundo verão
1	7	7,01	6,09	7	6,86	5,5
2	7,21	7	6,3	6,98	5,07	4,98
3	7,22	11,7	8,1	6,92	6,06	4,68
4	6,84	7,4	7,1	6,85	5,84	3,82
5	6,7	13,4	6,1	6,6	5,12	4,03
6	6,75	14,5	5,6	7,02	5,72	3,71
7	5,66	11	1,6	6,6	5,8	1,45
8	6,3	8,07	2,51	5,7	10,5	1,83
9	6,68	13	5	6,72	5,63	2,45
10	6,39	13	5	7,02	6,8	3,4
11	6,42	10,6	4,2	8,06	5,75	2,83
12	5,94	12,76	4,99	5,7	6,09	1,46
13	6,6	14	3,2	7,02	8,93	0,31
14	6,42	14,6	6,7	8,88	7,15	0,13
15	6,25	13	2,7	8,72	9,82	0,09
16	6,5	13,52	2,8	5,7	6,1	0,12
17	7,99	11	2,7	8,26	7,85	0,19
18	5,85	13,88	1,87	7,3	11,4	0,3
19	6,53	7,92	1,16	6,9	12,92	1,93
20	6,18	12,12	1,95	7,38	10,25	0,2
21	5,46	13,12	2,4	7,08	14,31	0,21
22	5,6	11,78	0,69	6,7	11,91	0,12
23	5,33	14,36	1,55	6,98	12,17	0,2
24	5,1	2,03	3,8	7,1	11,1	0,12
25	4,75	3,3	2,59	5,5	5,02	8,83
26	1,81	3,9	3,9	2,41	1,74	1,72

No inverno, os valores de pH para a região noroeste são mais baixos (estações 18 a 26), quando comparados aos outros locais. Na estação 26, próxima ao rio Iguaçú e à refinaria de petróleo Duque de Caxias (REDUC), observa-se o mais baixo valor de pH, entre as amostras, indicando alta acidez do sedimento coletado (pH 1,81). No verão observa-se aumento do pH em praticamente toda área inclusive nas regiões compreendidas pelas estações de 18 a 24, excetuando-se apenas próximo ao rio Iguaçú onde o sedimento continua ácido (26). Com relação aos teores de oxigênio, tanto no inverno como no verão, observou-se que os valores mais altos encontram-se nas águas de superfície e os valores mais baixos, nas águas de fundo. No inverno, a entrada da baía e as regiões centrais são os ambientes mais oxigenados. De uma maneira geral, os locais menos oxigenados do fundo estão localizados na parte nordeste da baía, próxima a APA de Guapimirim, e na parte noroeste, próximo ao rio Iguaçú. Nesse período, observa-se ainda, que o teor de oxigênio superficial encontrado nas proximidades da REDUC apresenta valor baixo, indicando que provavelmente o derramamento de óleo e os processos químicos envolvidos consumiram o oxigênio da água. Ainda, com relação à parte noroeste da Baía, observa-se que o baixo teor de oxigênio superficial no rio Iguaçú encontra-se relacionado às descargas de poluentes existentes naquele local. No verão, o valor de oxigênio de fundo nas estações 12 a 24, (região central e nordeste) foram muito baixos (entre 0,12 e 0,3 ml). Observa-se a zona azóica nessa região.

### 3.2. Parâmetros biológicos

Os foraminíferos ocorrentes na região de estudo, no inverno e no verão encontram-se distribuídos em 51 espécies. As espécies principais do inverno foram: *Ammonia tepida*, *Bolivina striatula*, *Bulimina elongata*, *Buliminella elegantissima*, *Cassidulina subglobosa* e *Quinqueloculina seminulum* e no verão, as espécies dominantes foram *A. tepida*, *B. striatula* e *B. elegantissima*. A espécie calcária hialina *A. tepida* foi dominante praticamente em todas as estações, revelando sua característica cosmopolita (Fig. 2).

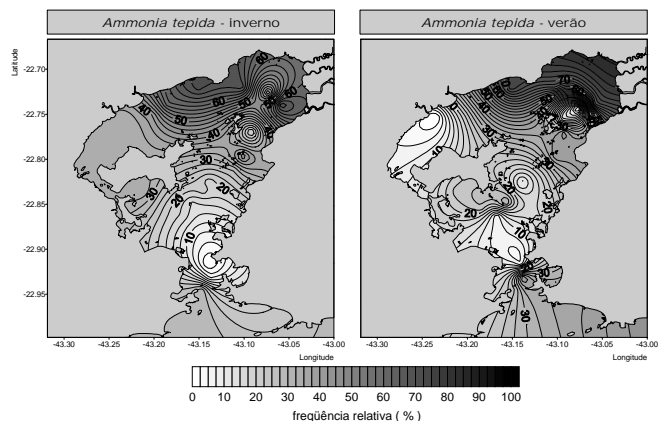


Figura 2: Distribuição relativa de *A. tepida*.

Entretanto, nota-se que as maiores abundâncias relativas desta espécie ocorrem nas regiões norte e nordeste da baía, próxima à APA de Guapimirim. No verão, 1 ano após o acidente, observa-se a ausência desta espécie próximo ao local do derramamento do óleo combustível. A dissolução das carapaças de carbonato de cálcio iniciou-se por ocasião do derramamento e continua sendo dissolvida gradativamente, demonstrando os efeitos ecológicos devido à acidez do sedimento. O gênero *Elphidium* é característico de ambientes mixohalinos com salinidades mais baixas. Na figura 3, podemos observar sua ocorrência nas estações 22 a 26. Este gênero apresenta alta abundância relativa na região do rio Iguazu apenas no inverno, enquanto que, no verão essa região apresentou-se estéril.

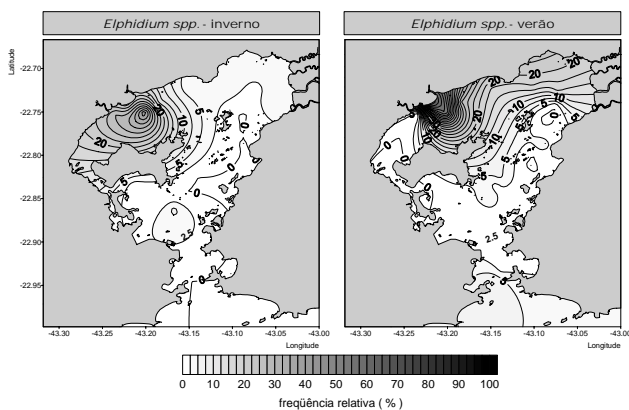


Figura 3: Distribuição relativa de *Elphidium* spp.

A acidez influenciou negativamente a diversidade de espécies, limitando a ocorrência de espécies com carapaças mais frágeis, aumentando, portanto, a dominância de *Elphidium* spp. Esta foi a única estação estéril no verão. Tal fato pode ser explicado, devido à contínua dissolução dessas carapaças mais resistentes, que culminou com o desaparecimento total de espécies um ano após o acidente.

Na figura 4, *Buliminella elegantissima*, apresenta indivíduos em praticamente todas as estações com maior abundância relativa no inverno, ao sul da Ilha do Governador e no verão, na parte central da baía, na zona azóica.

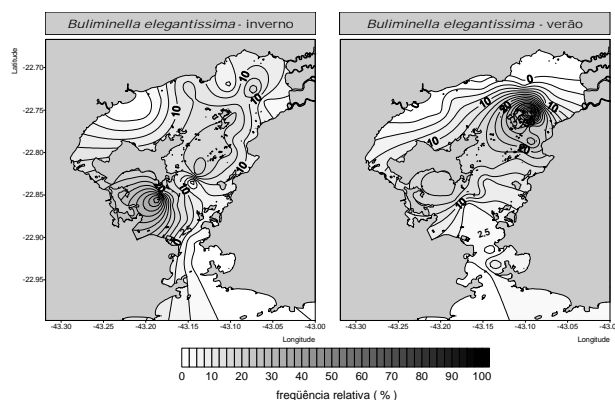


Figura 4: Distribuição relativa de *B. elegantissima*.

Observa-se alta ocorrência de *B. elegantissima* nas regiões anóxicas da baía, próximo ao rio São João do Meriti e na região central. Próximo ao rio Iguazu, apesar de ser região anóxica, a ausência dessa espécie indica a não tolerância de suas carapaças ao pH baixo.

### 4. DISCUSSÃO

No presente estudo, a alteração dos teores de pH e oxigênio dissolvido demonstrou eficácia no controle do estabelecimento de espécies de foraminíferos. De uma maneira geral, a distribuição de foraminíferos da Baía de Guanabara encontrada no inverno e verão é similar, baixa diversidade com dominância de poucas espécies oportunistas – tolerantes.

Sabe-se que o número de espécies aumenta quando as condições ambientais são mais tipicamente marinhas. Era de se esperar que a Baía de Guanabara, apresentasse diversidade de espécies mais alta do que o observado. Suas águas são em média mais salinas do que alguns ambientes estuarinos brasileiros estudados. Podemos citar o Sistema estuarino lagunar de Cananéia-Iguape (Eichler, et al. 1995), o Canal de Bertiooga (Eichler, 2001) e a Lagoa da Conceição (Debenay, et al. 1997) que apesar de menos salinos, apresentam diversidades em média mais altas do que a Baía de Guanabara. Observou-se, que a poluição ou contaminação de um ambiente se sobrepõe aos fatores ambientais naturais, sendo capazes de limitar o estabelecimento de espécies não oportunistas.

Observou-se também que as espécies oportunistas-tolerantes *A. tepida* e *B. elegantissima* se beneficiam diretamente de certos tipos de contaminação aumentando sua abundância relativa. Essa hipótese é corroborada por

Kfoury (em preparação), que observou que *A. tepida* é resistente aos baixos teores de oxigênio dissolvido e altos valores de enxofre característicos de sedimentos tóxicos e são capazes de se alimentarem de fitodetritos que florescem em esgotos domésticos (Thomas & Varekamp, 2000).

O outro tipo de benefício é o indireto, como o verificado para *Elphidium* spp., onde sua dominância aumenta muito em função da ausência de outras espécies que tiveram suas carapaças dissolvidas primeiramente.

#### 4.1. Acidente Ecológico

O pH baixo derivado do derramamento de petróleo provocou aumento relativo de indivíduos de *Elphidium* spp. no inverno (6 meses após o acidente). Acredita-se que esse fato é devido principalmente à ausência de outras espécies com carapaças mais frágeis que foram dissolvidas mais rapidamente. Próximo ao acidente, a acidez do sedimento sugere a dissolução e precipitação de carbonatos e fosfatos nessa região, culminando com a completa esterilidade da amostra após um ano do desastre (única estação estéril). De acordo com Alve (1995), níveis baixos ou intermediários de despejos podem causar zonas hipertróficas relacionadas ao aumento de produtividade de foraminíferos, enquanto concentrações muito altas podem resultar em zonas atróficas, onde a produtividade é mais baixa. Devido sua preferência por ambientes *anóxicos* *B. elegantissima* foi encontrada na região da área de preservação ambiental no inverno, mas não na região do acidente, indicando que esta espécie não tolera ambientes de pH ácido, devido à fragilidade de sua carapaça. A avaliação dos danos 6 meses e 1 ano após o acidente mostrou que os danos ecológicos continuam se expressando através da mortalidade e de outros sintomas populacionais no ecossistema. É necessário, entretanto, mais estudo para avaliar a duração desses efeitos no ambiente.

#### 4.2. Esgotos domésticos no Rio São João de Meriti

É importante salientar que o derramamento de óleo combustível atingiu um ambiente já alterado e estressado, uma vez que a Baía de Guanabara é altamente urbanizada. Uma população de 7,3 milhões de habitantes vive em torno da região e despeja diariamente, grande quantidade de rejeitos de pequenas indústrias e municípios, sendo a maioria sem tratamento prévio. O despejo de esgotos domésticos da cidade do Rio de Janeiro realiza-se principalmente no Rio S. J. de Meriti, que transporta suas águas ao sul da Ilha do Governador. A distribuição de *B. Elegantissima* na região sul da Ilha do Governador e na região central da baía (região azóica) sugere deposição de material orgânico. Segundo alguns autores (Setty e Nigam, 1982; Eichler et al., 1995, Sen Gupta, 1999), essa espécie é típica de ambientes ricos em matéria orgânica, com baixo teor de oxigênio, ocorrendo em sedimentos contaminados por esgotos domésticos. Corroborando esses dados, Eichler (2001) ressalta que o excessivo enriquecimento de nutrientes favorece a proliferação de espécies oportunistas com rápidas taxas de crescimento, aumentando a dominância local. Nota-se que *B. elegantissima* apresentou sua maior frequência relativa

justamente onde a hipoxia é acentuada, na região sul da Ilha do Governador, próximo à Ilha do Fundão no inverno e na região central próxima à zona azóica. De acordo com Kjerfve et al. (1997), a margem oeste e as partes mais internas da baía apresentam altas concentrações de nutrientes devido ao enriquecimento proveniente da descarga doméstica e pouca eficiência na renovação das águas próximas a Ilha do Governador e Ilha do Fundão. Esses são os locais mais seriamente impactados pela poluição doméstica.

O comprometimento ambiental detectado nos arredores dessa região foi significativo, uma vez que o canal natural de circulação (ao leste da Ilha do Governador) encontra-se assoreado e aterrado (praticamente fechado). Como consequência essa localidade experimenta uma baixa taxa de renovação em suas águas em comparação a carga doméstica recebida diariamente, tornando-se praticamente estagnada.

De acordo com a distribuição de *B. elegantissima*, parte da carga de efluentes que é exportada dessa região, aparentemente sofre recirculação a leste da Ilha do Governador e invade a região da APA de Guapimirim. Já os esgotos provenientes da cidade de Niterói são despejados em local de alta circulação na região da entrada da baía e são exportados para o oceano adjacente. De acordo com Alve (1995), a maioria das baías é caracterizada por altos teores de oxigênio no sedimento, o qual permite a manutenção de alto nível de atividade biológica. Entretanto, grandes transportes de efluentes de material orgânico (esgotos domésticos) podem criar áreas localizadas onde o consumo de oxigênio excede o fornecimento, especialmente durante os meses de verão, tornando o ambiente anóxico.

Devido ao aumento da carga de esgotos domésticos no verão, a região central da baía apresenta os mais baixos valores de oxigênio dissolvido de fundo. Este fato relaciona-se ao aumento da temperatura desta época do ano e ao "bloom" de fitoplâncton, que propicia maior eutrofização da área, e conseqüente hipoxia. As regiões ao sul da Ilha do Governador, próximas a Ilha do Fundão, necessitam de melhor estudo uma vez que, são regiões onde ocorre grande despejo orgânico através do Rio S. J. de Meriti. A análise dos níveis de oxigênio sugere que a Baía de Guanabara é ambiente altamente eutrofizado.

#### 4.3. Efluentes industriais nos rios Iguazu e Estrela

Os valores de dominância são altos na região do rio Iguazu e na zona azóica, refletindo no estabelecimento de poucas espécies adaptadas àquelas condições. Os valores de hipoxia mais baixos obtidos na região do rio Iguazu sugerem ainda que este ambiente, apesar de teores de oxigênio de fundo semelhantes à APA, apresenta eutrofização mais baixa e conseqüente limitação na produtividade, se comparada à região preservada. Sabe-se que além do impacto agudo relativo ao acidente com o oleoduto da PETROBRAS, o Rio Iguazu recebe cronicamente as descargas do parque industrial localizado na região e as conseqüências para o ambiente refletem na baixa diversidade biológica da região.

## 5. CONCLUSÃO

Os resultados encontrados até o presente reafirmam a utilização de espécies de foraminíferos em estudos de poluição por óleos e esgotos domésticos, mesmo onde a dissolução do carbonato é ativa devido aos baixos valores de pH. O presente estudo enfatiza ainda, que a Baía de Guanabara é um ambiente altamente impactado, refletindo em uma fauna pouco diversa, dominada por poucas espécies.

A região do acidente apresenta diminuição de organismos com a evolução do tempo, enquanto que, os valores de oxigênio dissolvido e de pH apresentaram recuperação. Grande quantidade de esgotos industriais e derrames ocasionais são lançados no rio Iguazu e através das correntes são transportados para a região da APA de Guapimirim. Além disso, os esgotos domésticos lançados no Rio São João de Meriti são responsáveis pela zona azóica observada na região central da baía, cujo assoreamento diminui a circulação e por consequência impede a oxigenação das águas. Devido às pressões antrópicas industriais (a oeste) e domésticas (ao sul), a estabilidade ecológica da região da APA de Guapimirim encontra-se ameaçada e apresenta sinais de degradação ambiental.

Este trabalho revelou a aplicabilidade e eficiência da utilização da dinâmica populacional dos foraminíferos correlacionados aos padrões abióticos em avaliações e diagnósticos ambientais.

## AGRADECIMENTOS

A Fundação de Amparo a Pesquisa do estado de São Paulo (FAPESP) pelos auxílios referentes aos Proc: 99/10678-5; 01/02600-8 e 01/11806-9; a Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN-Rio de Janeiro) e ao Interamerican Insitute (IAI) e South Atlantic Climate Change, através do projeto: SACC/CRN-061

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVE, E. 1995. Benthic foraminiferal responses to estuarine pollution: a review. *J. Paleont.*, 25 (3): 190-204.
- DEBENAY J.P., EICHLER B. B, GUILLOU J.-J. EICHLER-COELHO P., COELHO C., PORTO-FILHO E. 1997. Comportement des peuplements de foraminifères et comparaison avec l'avifaune dans une lagune fortement stratifiée: la Lagoa da Conceição (S.C., Brésil). *Revue de Paléobiologie, Genève*, 16, 1 : 55-75.
- EICHLER, B.B., DEBENAY, J.P., BONETTI, C. AND DULEBA, W., 1995, Répartition des Foraminifères benthiques dans la zone Sud-Ouest du Système laguno-estuarien d'Iguape-Cananéia (Brésil). *Bolm. Inst. Oceanogr.*, 43(1): 1-17.
- EICHLER, P.P.B. 2001. Avaliação e Diagnóstico do Canal de Bertioga (São Paulo, Brasil) através da utilização de indicadores (foraminíferos) associados aos padrões de deposição e circulação estuarina. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo. Instituto Oceanográfico. 240p+CD
- KENNISH, M.J. 1997. *Practical Handbook of Estuarine and Marine Pollution*. Marine Science Series. Boca Raton, FL. MARGALEF, R. 1974. *Ecologia*. Omega, Barcelona. 951 p.

KFOURI, P. B. P. em preparação. Ocupação urbana e sua influência nas associações de foraminíferos sub-recentes ao longo dos últimos 500 anos na Baía da Guanabara-RJ". Tese de doutorado, Instituto Oceanográfico da USP.

KJERFVE, B.; RIBEIRO, C. H. A.; DIAS, G. T. M.; FILIPPO, A. M. e QUARESMA, V. S. 1997. Oceanographic characteristics of an impacted coastal bay: Baía de Guanabara, Rio de Janeiro, Brazil. *Continental Shelf Research*, Vol. 17, No. 13, pp. 1609-1643.

SEN GUPTA, B. 1999. *Modern foraminifera*. Kluwer Academic Publishers. 371p.

SETTY, A. e NIGAM, R. 1982. Foraminiferal assemblages & organic carbon relationship in benthic marine ecosystem of western Indian continental shelf. *Indian J. mar. Sci.*, 11: 225-232.

THOMAS, E. & VAREKAMP, J.C. 2000. Changes in environment biota in Long Island Sound: The last 40 years.