

Pesquisas em Geociências

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias>

Avaliação da Saúde Ecológica do Sistema Estuarino de Laguna (SC) Baseado nas Espécies de Foraminíferos e Tecamebas

Patrícia Pinheiro Beck Eichler, Guilherme Pimenta Castelão, Felipe Mendonça Pimenta, Beatriz Beck Eichler

Pesquisas em Geociências, 33 (1): 101-115, set./dez., 2006.

Versão online disponível em:

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/article/view/19529>

Publicado por

Instituto de Geociências



Portal de Periódicos UFRGS

UNIVERSIDADE FEDERAL
DO RIO GRANDE DO SUL

Informações Adicionais

Email: pesquisas@ufrgs.br

Políticas: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/editorialPolicies#openAccessPolicy>

Submissão: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#onlineSubmissions>

Diretrizes: <http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/about/submissions#authorGuidelines>

Data de publicação - set./dez., 2006.

Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil

Avaliação da Saúde Ecológica do Sistema Estuarino de Laguna (SC) Baseado nas Espécies de Foraminíferos e Tecamebas

PATRÍCIA PINHEIRO BECK EICHLER¹, GUILHERME PIMENTA CASTELÃO²,
FELIPE MENDONÇA PIMENTA³, BEATRIZ BECK EICHLER²

1. Universidade do Sul de Santa Catarina, Laguna, Brasil, CEP 88790-100, peichler@udel.edu

2. Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, Brasil, CEP 05508-900

3. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, CEP 88040-900

(Recebido em 11/05. Aceito para publicação em 09/06)

Abstract- The estuarine system of Laguna (Santa Catarina, Brazil), composed by lagoons of Santo Antonio, Imaruí and Mirim, situated to 130 km south of Florianópolis was evaluated through the association of foraminifera and thecamoebians as biological indicator organisms. The study reveals different population density patterns reflecting the environmental conditions. It is observed the formation of 4 groups. The group representing the north of the lagoon of Imaruí and the south of the Mirim lagoon (stations 14-17) is related to low density of foraminifera and thecamoebians. In the north of the lagoon of Santo Antonio and in the south part of the lagoon of Imaruí (7-13), *Ammotium salsum*, *Ammobaculites exigus* and *Gaudryina exillis* dominate. The group lagoon inlet (1, 2, 4-6) is composed by the stations more influenced by saline waters, presenting the highest diversities, where *Elphidium poeyanum* and *Saccamina sphaera* dominate. The group formed by stations collected in the river D'Una, Tubarão, and Mirim lagoon (3, 18-25) presents *M. fusca* and species of thecamoebians as indicator of large fresh water influence. Despite high fresh water input, it was observed low efficiency in water renewal especially in the north part of the estuarine system.

Keywords- Foraminifera, thecamoebians, biological indicators.

INTRODUÇÃO

Regiões costeiras encontram-se entre os mais dinâmicos sistemas da Terra. Nela, os estuários enquadram-se como ecossistemas peculiares de transição entre o oceano e o continente. Por definição, estuários indicam a região interior de um ambiente costeiro, onde ocorre o encontro de águas fluviais com água do mar transportada pelas correntes de maré, estendendo-se rio acima até o limite de influência da maré (Miranda *et al.* 2002). Nesse ambiente, fatores físicos, químicos e biológicos interagem continuamente caracterizando-o como um ambiente altamente produtivo. A ocupação humana freqüentemente se desenvolve ao redor desses ambientes pelos recursos pesqueiros e atividades portuárias e comerciais proporcionadas. Ultimamente, os estuários são receptáculos de substâncias naturais e de produtos de atividade do homem, dos quais os últimos, freqüentemente comprometem a qualidade da água e a saúde ambiental.

O efetivo gerenciamento ambiental desses sistemas freqüentemente requer uma abordagem interdisciplinar e o levantamento de informações nas

diversas áreas do saber (Tommasi & Griesinger, 1983; Weber, 1992). Trabalhos relacionados à distribuição recente de indicadores biológicos em algumas regiões costeiras brasileiras vem sendo aplicados com sucesso na diferenciação de ambientes e determinação dos graus de poluição industrial e contaminação orgânica no principalmente no Canal de Bertiooga, SP (Eichler 2001) e na Baía de Guanabara, RJ (Eichler *et al.*, 2001, 2003). A utilização específica de foraminíferos e tecamebas como indicadores é muito interessante, pois esses organismos são influenciados pelo conjunto de variabilidade de fatores abióticos como salinidade, temperatura, natureza do substrato, características sedimentológicas, carbono orgânico, pH e energia das correntes (Todd & Brönnimann, 1957). Tais fatores, em conjunto, delimitam e controlam as associações formando ambientes ecológicamente diferentes (Murray, 1991). A transição em direção ao mar, de fauna aglutinante (Ordem Textulariida) para fauna calcária (Ordem Rotaliida) é uma característica marcante das associações de foraminíferos.

A região estuarina em estudo encontra-se si-

tuada a 130 km ao sul de Florianópolis, capital do estado de Santa Catarina, abrangendo as lagoas de Santo Antônio, Imaruí e Mirim. O sistema lagunar é comumente chamado de “Laguna” e encontra-se localizado entre as cidades de Imbituba e Laguna, perfazendo cerca de 40 km em extensão (Fig. 1).

Do ponto de vista geomorfológico esse sistema é caracterizado por uma série de células elípticas, conectadas ao oceano adjacente por um único canal estreito, o qual permite classificá-la como do tipo sufocado (Kjerfve, 1994, Miranda et al, 2002). Tais células são típicas de regiões costeiras com alta energia das ondas de gravidade, significativa deriva litorânea e micromaré. O canal de entrada do sistema atua como filtro dinâmico e, conseqüentemente, os efeitos da oscilação da maré e das correntes são bastante atenuados no interior da laguna. Esse tipo de ambiente se caracteriza por grandes tempos de descarga fluvial, efeito dominante do vento e variação intermitente da estratificação vertical devido ao aquecimento solar e descarga de água doce (Miranda *et al.*, 2002).

Em Laguna, a pesca de camarão, tainha e siri destacam-se regionalmente devido à vegetação, ao clima e à alta produtividade primária. A pesca da tainha é realizada nos meses de maio a julho, e conta com o auxílio de botos da espécie *Tursiops truncatus* (nariz de garrafa) que conduzem o cardume em direção à praia. Laguna conta com um pequeno porto no interior do estuário, mas, talvez a maior ameaça ao ambiente relacione-se mais aos seus tributários e as atividades locais. A bacia do Rio Tubarão apresenta sérios focos de degradação ambiental, causados por diversas fontes poluidoras, que vão desde efluentes e resíduos industriais (fecularias, vinícolas, olarias, curtumes, química, adubos, metalúrgica, extração de fluorita) a resíduos agrícolas e domésticos, com destaque para os rejeitos da extração e beneficiamento do carvão, o que a situa entre as três áreas críticas do Estado (Fundacentro, 2006). Os níveis de acidez, a concentração de sulfatos, ferro, níquel, cádmio e sólidos totais encontram-se significativamente alterados. Estudos indicam uma carga poluidora equivalente à 1,3 milhão de pessoas, com uma demanda bioquímica de oxigênio de 68.000 kg/dia e uma carga de ácido cianídrico de 91 kg/dia. Quanto ao rio D’Una, a qualidade das águas é relativamente boa, com exceção aa poluição por agrotóxicos (cultivo de arroz irrigado) (Fundacentro, op. cit.).

O volume de esgotos domésticos e dejetos da aquíicultura e agricultura de arroz, além dos efluentes da usina hidrelétrica (Capivari) e da exploração do carvão (Criciúma) também são reflexos da

ocupação e desenvolvimento natural dos municípios do sul catarinense. Tais atividades, entretanto, estão sendo ultimamente responsáveis pela paulatina degradação do ecossistema, com redução da qualidade das águas do rio Tubarão e aumento indevido dos níveis de eutrofização do sistema lagunar. Danos a fauna, flora marinha e o comprometimento do equilíbrio ecológico serão refletidos principalmente na população local, que sofrerá as conseqüências da redução progressiva qualidade das águas e diminuição dos recursos pesqueiros. O presente estudo faz frente aos impactos ambientais de origem antrópica, procurando avaliar a origem e conseqüências dos mesmos. Nesse sentido, a utilização da distribuição das espécies de foraminíferos e tecamebas, fornecerá uma base preliminar para o diagnóstico ambiental e futuro monitoramento desse ambiente.

MATERIAL E MÉTODOS

Coleta

Foram realizadas coletas de sedimento de fundo e medidas de propriedades hidrográficas em 25 pontos (estações pontuais), além do levantamento de dados hidrográficos e correntográficos em uma estação fixa (F1) (Fig. 1). A coleta das amostras biológicas e geológicas iniciou-se na entrada das lagoas (cidade de Laguna), seguindo-se com as coletas nas lagoas de Santo Antônio, Mirim, e Imaruí até a entrada do Rio D’Una (próximo à cidade de Imbituba). Tal metodologia de amostragem visa evidenciar os gradientes ocorrentes relacionados aos diferentes parâmetros oceanográficos atuantes na região.

Nas 25 estações pontuais, o sedimento de fundo foi coletado para a granulometria e análises da microfauna (foraminíferos e tecamebas). Na ocasião da coleta (4 a 8 de Março de 2002) foram medidos os parâmetros hidrográficos de salinidade, temperatura, teor de oxigênio dissolvido e pH. Já na estação fixa (F1) (Lat. 28°29.841S; Long.: 48°45.852W), realizada no dia 06/03/2002, na maré de quadratura, (início às 10:13:54 hs e final às 23:51:43 hs), os parâmetros físicos medidos foram: salinidade, temperatura, velocidade e direção de correntes. As medidas de profundidade foram obtidas através de ecossonda e a localização das estações foi fornecida através de GPS. Dados de vento apresentados no presente trabalho foram medidos na praia de Moçambique em Florianópolis (SC) e os dados de maré, foram medidos em Imbituba.

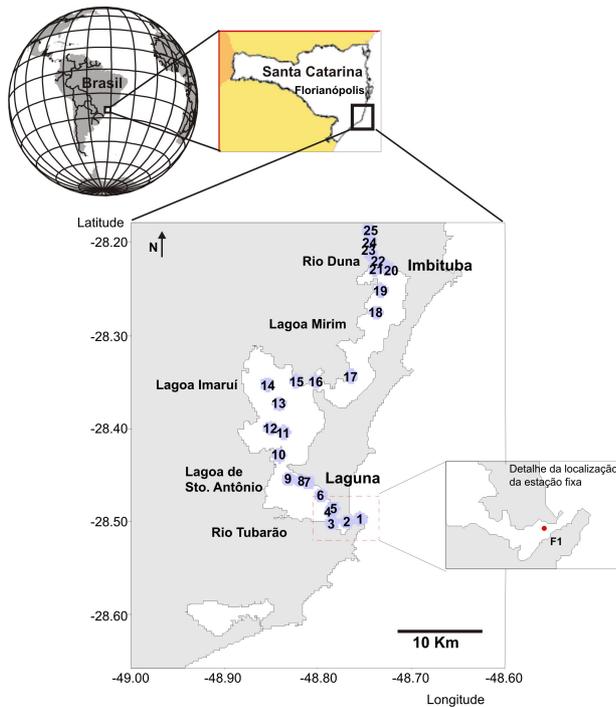


Figura 1 – Estações de coleta (1 a 25) e detalhe da posição da estação fixa (F1).

Parâmetros biológicos e físicos nas estações pontuais

A amostragem de sedimentos para análise da microfauna foi feita com pegador de fundo tipo Petersen. Dos sedimentos coletados nas 25 estações pontuais, foram retiradas alíquotas para análise de material biológico. Para a salinidade foi utilizado refratômetro óptico portátil da marca ATAGO. E para o teor de oxigênio dissolvido foi utilizado oxímetro Metler Toledo. Para as medidas de temperatura e pH foram utilizados eletrodos térmicos e de pH da marca Ingold, acoplados ao analisador portátil da Eydan, modelo pH91.

Processamento do material biológico

Dos sedimentos coletados, uma alíquota de 50 cm³ de sedimento foi retirada, separada em peneiras 0,500 e 0,062 mm, lavada para retirar o silte e argila, e seca em estufa a 60°C. As frações foram, então, flotadas em tricloroetileno de carbono. Após a flotação foram realizados o quarteamento das amostras e a triagem do material biológico, transferindo-se as espécies de foraminíferos com auxílio de pincel para lâminas especiais, de fundo preto, para posterior identificação. A determinação das espécies foi feita utilizando-se lupa binocular Stemi SV11, da Zeiss. Após a identificação das es-

pécies de foraminíferos, seguiu-se à confecção da tabela de abundância total de foraminíferos, onde foi realizada a somatória dos organismos vivos e mortos para as espécies de foraminíferos ocorrentes, resultando na frequência absoluta das espécies. Portanto, a frequência absoluta utilizada nesta pesquisa é o número de indivíduos por 50 cm³ de sedimento. A partir da tabela de frequência absoluta, foi calculada a porcentagem relativa das espécies encontradas. As espécies consideradas características da região de estudo (dominantes) foram fotografadas em microscópio eletrônico de varredura pertencente ao Instituto de Ciências Biológicas da Universidade de São Paulo. Estas fotografias foram escaneadas e manipuladas em programa de edição de imagens para ilustrar o trabalho possibilitando maior clareza dos resultados biológicos.

Parâmetros físicos

A coleta dos dados hidrográficos de temperatura e salinidade e de velocidade de corrente foram realizados na entrada da laguna (Estação fixa F1, Fig. 1). A amostragem constou de 1 estação fixa de 13 horas de duração com medições horárias. Foi utilizado um CTD acoplado a um correntômetro Falmouth (modelo: 2ACM nº de série 1401), permitindo medições simultâneas das diferentes variáveis. O equipamento foi acoplado a um computador portátil, permitindo a observação dos dados em tempo real. A cada período de medições o equipamento era inicialmente mantido junto à superfície d'água para estabilização dos sensores. Posteriormente, o equipamento submergia continuamente até próximo ao fundo. A partir desta profundidade, incluindo-a, o equipamento era estacionado de metro em metro coletando dados por aproximadamente 3 minutos. Obteve-se assim curtas séries temporais para diferentes níveis de profundidade. Este procedimento, diferente do adotado em amostragens no oceano aberto, visa a possibilitar uma fácil filtragem de variabilidades turbulentas de alta frequência, isolando-as assim dos termos médios de interesse.

Durante o processo de filtragem, os dados são reduzidos a um valor médio para cada nível, aproximadamente de metro em metro, para cada hora. A fim de minimizar o efeito do nível da maré na interpretação dos dados, aplica-se a profundidade adimensional variando-a de 0 (superfície) a -1 (fundo). Os dados de velocidade ainda requerem uma etapa a mais, onde se decompõem as correntes

em duas componentes ortogonais, uma longitudinal ao canal, que é efetivamente analisada, e outra transversal, que, para este estudo, é desprezada.

Dados de maré provenientes do porto de Imbituba (cerca de 45 km ao norte de Laguna) e de vento, provenientes de estação meteorológica da praia de Moçambique em Florianópolis (~150 km ao norte) foram registrados para no mesmo período. Os dados de vento foram convertidos para altura padrão de 10 m e ambas variáveis (vento e maré) foram filtradas com um filtro passa-baixa frequência do tipo *Lanczos*, com período de corte de 34 horas.

Tratamento estatístico dos dados

Os testes estatísticos aplicados nesta pesquisa constam de análises descritivas e analíticas. As análises estatísticas descritivas são compostas por tabelas de frequência absoluta, e dados de frequência relativa. A estatística analítica consta de métodos univariados e multivariados.

A partir da identificação das espécies de foraminíferos encontradas na região de estudo, os indivíduos foram somados, obtendo-se a frequência absoluta de indivíduos (vivos + mortos) por estação amostrada. A partir da frequência absoluta total, foi calculada a frequência relativa das espécies. Foram utilizados os índices de diversidade de Shannon-Wiener na base e (Newman, 1995), índice de dominância de Simpson e índice de equitatividade de Pielou (Zar, 1984). Foram aplicadas nos dados obtidos, as análises de PCA, CLUSTER e MDS. Os cálculos foram obtidos pelo programa Primer desenvolvido na Universidade de Plymouth (Clarke & Warwick, 1994). Para a análise de PCA foi utilizada a matriz de dados abióticos, no cluster e MDS, a matriz de similaridade foi construída usando-se o índice de Bray-Curtis com o número de espécies de foraminíferos logaritimizados. O dendrograma resultante da Análise de Agrupamento, foi obtido em Modo Q (entre estações) e os dados abióticos foram ordenados usando a correlação baseada em Análise de Componentes Principais e os dados biológicos foram ordenados usando-se o Escalonamento Multidimensional não-paramétrico (MDS) (Clarke, 1993).

Os dados obtidos através da análise multivariada (PCA, cluster e MDS) foram apresentados em todo seu conteúdo, pois cada um teve uma importância diferente na caracterização ambiental da área de estudo. O PCA apresentou a ordenação das variáveis abióticas no espaço, a análise de cluster dividiu os grupos de estações mais

semelhantes de acordo com as espécies ocorrentes; e a análise de MDS ordenou no espaço os grupos de estações mais similares de acordo com as espécies ocorrentes.

RESULTADOS

Hidrografia e circulação estuarina – estação fixa

A média espaço-temporal das velocidades observadas, foi maior no sentido estuário adentro, embora com um marcante sinal da maré semi-diurna, conforme veremos a seguir. Se este resultado fosse considerado realmente um estado padrão médio para o ambiente estudado, seria necessário aceitar um balanço positivo de massa no estuário e, conseqüentemente, o mesmo deveria encher infinitamente. Deduz-se, portanto, que o experimento envolveu um período transiente.

Na figura 2, painel superior, observamos a série temporal da componente do vento ao longo da costa, V_{10} , para o período de 20 de Fevereiro a 20 de Março de 2002. Valores positivos (negativos) correspondem a ventos do quadrante sul (norte), paralelos a costa. Observou-se nos 30 dias de medições uma maior intensidade associada ao quadrante sul, chegando a eventos com ventos de 9 ms^{-1} . Já ventos do quadrante norte, relativamente mais fracos, apresentaram velocidades da ordem de 5 ms^{-1} . O período de rotação dos ventos, entre 3 e 7 dias, foi congruente com a frequência de passagem de sistemas frontais na região (Stech & Lorenzetti, 1992). Especificamente durante o período amostral dos parâmetros hidrográficos (área sombreada na Fig. 2) na barra da Laguna, ventos moderados ($\sim 5 \text{ m.s}^{-1}$) sopravam predominantemente do quadrante sul, decaindo progressivamente para zero até o fim do experimento hidrográfico.

Na figura 2, no painel inferior, pode-se visualizar o nível do mar medido no Porto de Imbituba. O nível do mar é caracterizado por um número de forma 0.718, caracterizando as marés como mistas, predominantemente semi-diurnas (Pimenta, *et al.*, 2004). O nível médio do mar (linha contínua grossa, Fig. 2) apresenta de maneira geral uma correlação positiva com vento local. Isto é, ventos do quadrante sul correspondem à uma elevação positiva do nível médio do mar e ventos do quadrante norte com uma redução do mesmo. No período demonstrado, a covariância entre essas variáveis resultou em uma correlação máxima ($\rho_{xy} = C_{xy} / \sigma_x \sigma_y$) de 0.76 para um atraso de $t_{lag} = 9.15$ horas da resposta do oceano (nível médio) em rela-

ção a componente de baixa frequência do vento. Tal resposta corresponde predominantemente a resposta do oceano ao vento remoto dos ventos agindo diretamente sobre os oceanos, que de acordo com a teoria de Ekman, determinaria um transporte integrado em direção ao continente e um consequente empilhamento do nível do mar junto à costa.

As medições de corrente realizadas na estação fixa podem ser visualizadas na figura 3. Esses dados correspondem à série temporal de velocidades obtida na entrada da barra de Laguna, onde o canal possui cerca de 200 m de largura e a profundidade local varia entre $H=6$ e $H=7.5$ m. Foi observada uma resposta coerente das correntes com a variação semi-diurna da maré. Essa relação pode ser ilustrada sob observação da variação do nível do mar no período da hidrografia (Pontos *a*, *b*, *c* e *d* na Fig. 2, painel inferior). No início do experimento ($t_{exp} = 0$, 26/03/2002, 10:13 am) a maré estava baixa, atingindo seu mínimo valor para o período (Ponto a – Fig. 2). Correspondentemente, o estuário encontrava-se em período de vazante ($0 < t_{exp} < 2.5$ hs, Fig. 3, Ponto a). O fluxo apresentava uma estrutura predominantemente barotrópica com moderado cisalhamento vertical, atingindo velocidades máximas de 0.35 ms^{-1} próximo à superfície.

Com a progressão do experimento, após seis horas a maré estava alta (Ponto b, Fig. 2) e o fluxo

na boca do estuário foi revertido para enchente ($5 < t_{exp} < 9$ hs, Fig. 3). A estrutura é novamente predominantemente barotrópica e apresenta valores negativos em toda coluna d'água, atingindo velocidades de cerca de 0.45 ms^{-1} à meia-água. É interessante notar que este momento corresponde também ao período de maior estratificação vertical observada. Por possuir valores negativos (a montante) de velocidade, nesse período ocorre o *retorno* de águas relativamente frescas para o estuário (Fig. 4).

Entre os períodos de vazante (Ponto a) e enchente (Ponto b) uma circulação bi-direcional pode ser observada, com um fluxo vazante junto à superfície e à montante próximo ao fundo ($4 < t_{exp} < 11$ hs). Tal estrutura sugere uma circulação gravitacional e, consequentemente, a presença de processos como entranhamento e/ou difusão turbulenta.

A intensidade do fluxo de enchente diminui com a continuidade do experimento e, cerca de 4 a 5 horas depois, chega a ocorrer uma inversão congruente com um novo mínimo da maré observada (Ponto c, Fig. 2). Essa situação é contrastante com a estrutura unidirecional de vazante descrita para o início do experimento. Aparentemente o empilhamento d'água na costa promovido pelo vento se contrapõe ao mínimo da maré. Como resultado, a circulação bidirecional encontra-se bem definida e

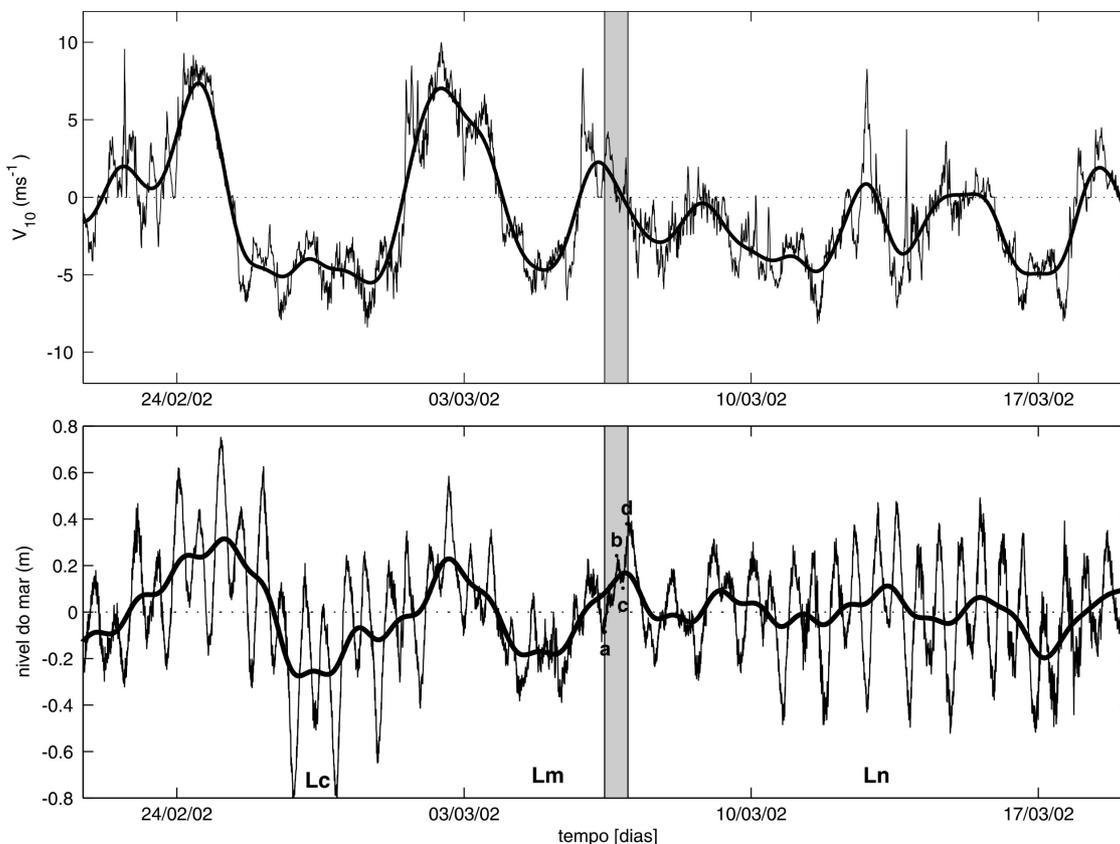


Figura 2 – Dados de vento e maré para o período amostrado.

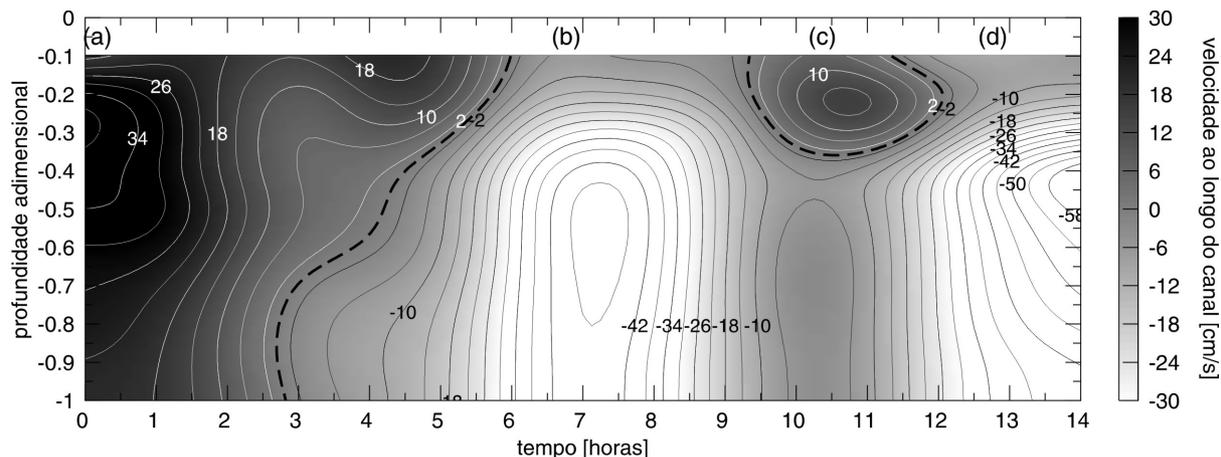


Figura 3 – Isopletas de velocidade do período amostrado.

sob significativa estratificação um fluxo de vazante e média intensidade se desenvolve-se em superfície sobre um fluxo de enchente no fundo (Fig. 3, Ponto c). Note que, embora ocorra um decaimento progressivo da intensidade do vento, o nível médio do mar (possuindo uma defasagem de 9 horas) experimenta um aumento progressivo em direção ao fim do experimento (Fig. 2, painel inferior, linha grossa).

Rumo ao fim do experimento de hidrografia ($t_{exp} = 0, 26/03/2002, 23:51 am$), uma nova alta da componente da maré astronômica somada a componente remota meteorológica proporcionado pelo vento é responsável pela completa inversão do fluxo e pelas mais altas velocidades observadas durante todo experimento: cerca de $0.6 ms^{-1}$ à meia-água ($t_{exp} < 12 hs$).

A análise dos campos de salinidade (Fig. 4) demonstra um gradiente vertical persistente em todo período amostral. Os dados explicitam a influência do aporte continental proveniente do rio Tubarão, indicando o constante suprimento de água doce junto à superfície. Tal situação pode ser verificada no perfil médio de salinidade, apresentado na figura 5. Junto ao fundo, observa-se uma camada de alta salinidade quase homogênea. Acima desta camada, observa-se uma redução acentuada da salinidade próximo a superfície. Tal perfil não apresenta, entretanto, um gradiente intenso e bem definido - característica principal dos estuários do tipo “Cunha Salina”. Ao mesmo tempo, não pode ser considerado verticalmente homogêneo como observado no caso de estuários do tipo “Verticalmente Bem Misturados”. Desse modo, apesar de o conjunto de dados não ser adequado para uma aná-

lise tradicional pelo diagrama de Hansen e Rattray (1966), a análise direta dos dados observados indica que o estuário estudado apresenta presumivelmente um comportamento do tipo “Parcialmente Misturado”.

Deduz-se que o aumento progressivo da componente barotrópica associada ao efeito remoto dos ventos foi responsável pelo balanço positivo de massa no estuário durante o período amostral. Como em estuários do tipo “Verticalmente Bem Misturado”, a forçante maré geralmente domina a descarga fluvial, o estuário em questão, apresentando uma componente barotrópica relativamente menos intensa, deve permanecer como um estuário do tipo “Parcialmente Misturado” ou “Cunha Salina”. Este é um aspecto importante, principalmente quando se está preocupado com aspectos bioquímicos do ambiente. Mesmo que se tenha estudado um período transiente, o estado típico do estuário terá um considerável gradiente salino entre a superfície e o fundo assim como uma circulação bi-direcional, características dos dois tipos de estuários em questão.

Parâmetros abióticos

A tabela 1 apresenta posicionamento das estações, profundidade, valores de temperatura e salinidade de superfície e de fundo, teor de oxigênio dissolvido e pH e obtidos no momento da coleta das amostras biológicas e sedimentológicas no verão de 2002.

As profundidades de coleta na extensão das lagunas variaram principalmente entre 0,8 e 3,6m, sendo que as estações 24 e 25 no rio D’Una foram os locais mais profundos amostrados.

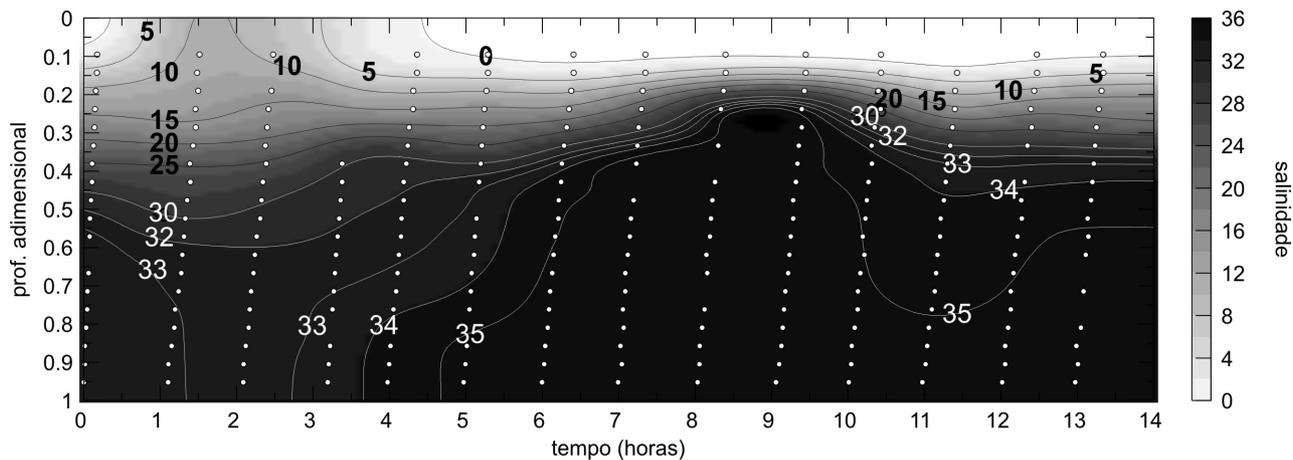


Figura 4 – Salinidade na estação fixa.

Tabela 1 – Posicionamento das estações de coleta e parâmetros abióticos adquiridos.

Estação	Lat y	Long x	Prof. (m)	T. sup. (oC)	T. fundo (oC)	Sal. Sup.	Sal. fundo	O2 sup.(mg/l)	O2 fundo (mg/l)	pH sup.	pH fundo
1	28,496767	48,754467	1	27	29,7	8	11	6,82	6,47	7,47	7,29
2	28,500217	48,769367	3,6	27,3	26,8	5	12	5,38	5,14	6,82	7,37
3	28,5018	48,784433	3	27,2	25,6	2	12	5,41	5,29	6,38	6,59
4	28,488617	48,785367	5	27,8	27	14	17	5,9	5,85	7,88	6,88
5	28,485433	48,783583	3	28,3	27,2	15	19	5,41	5,49	7,99	6,83
6	28,47205	48,795717	3,5	28,15	27,2	15	19	5,13	5,32	7,67	7,33
7	28,4584	48,81015	0,8	29	28,8	11	15	7,44	7,23	8,1	7,39
8	28,456117	48,8183	1,2	28,2	28,2	12	15	7,05	6,88	7,8	7,49
9	28,454133	48,831267	1,5	28,4	28,2	13	15	6,24	6,11	7,88	7,33
10	28,42885	48,84165	1,9	29,1	27,4	10	20	6,18	6,2	7,76	6,78
11	28,404083	48,83675	2,4	28,6	27,2	10	15	5,99	6,14	7,61	7,16
12	28,3997	48,850833	2	28,6	27,6	11	16	6,18	6,5	7,72	7,32
13	28,373383	48,84095	1,7	28,8	27,3	11	15	6,82	6,9	7,82	7,34
14	28,352883	48,854083	1,3	29,1	27,8	10	10	6,3	6,14	7,57	7,19
15	28,3485	48,823283	1	29,3	27,8	10	10	6,22	6,25	7,72	7,36
16	28,34885	48,802867	1,7	28,7	27,6	10	10	6,26	6,23	7,64	7,19
17	28,343917	48,764033	1,8	28,9	27,6	4	6	6,12	6,32	7,28	7,35
18	28,275417	48,736933	2	29	27,2	4	4	6,76	6,88	7,47	6,82
19	28,251583	48,7324	2,2	28,3	26,5	2	2	6,56	5,5	7,68	7,52
20	28,23295	48,733033	1,8	28	25,8	1	2	6,75	7,4	7,33	7,35
21	28,23055	48,7436	1,9	28,9	26,5	0	1	6,75	7,14	7,49	7,6
22	28,223433	48,742383	1,5	30,3	25,6	0	1	6,45	6,53	7,02	6,95
23	28,221733	48,741283	0,8	30,1	26,6	0	1	6,26	6,47	6,82	6,72
24	28,217333	48,74095	5	27,4	24,7	1	3	3,5	1,41	6,37	7,22
25	28,21095	48,7411	7	27,2	24,3	1	3	3,44	1,3	6,31	7

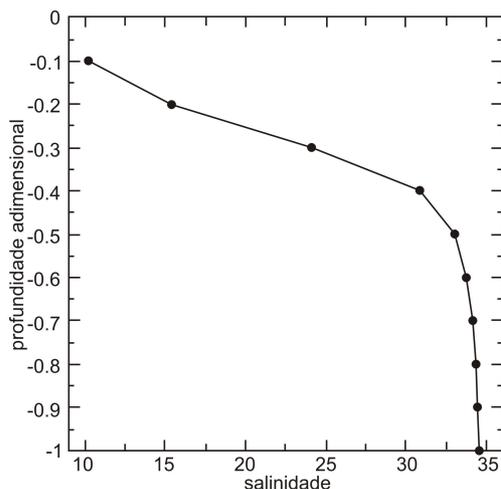


Figura 5 – Salinidade média observada por níveis adimensionais de profundidade.

A partir da tabela acima, foram realizados gráficos de linha que exemplificam o comportamento dos diversos parâmetros físico-químicos de salinidade, temperatura, teor de oxigênio dissolvido e pH na superfície e no fundo.

Na figura 6, observa-se que na maioria das estações, a temperatura de fundo se manteve abaixo da temperatura superficial, variando entre 24,3 e 29,7°C, com exceção da estação 1. A partir da estação 3 até a 9, observa-se pequeno aumento das temperaturas, e a partir da estação 9 até a 17, as temperaturas permanecem praticamente constantes. Da estação 17 a 20 observa-se queda de temperatura superficial e de fundo, e a partir da estação 20 até a 23 observa-se aumento dessas temperaturas. Com relação as estações 22, 24 e 25, observa-se pequena

diminuição da temperatura de fundo.

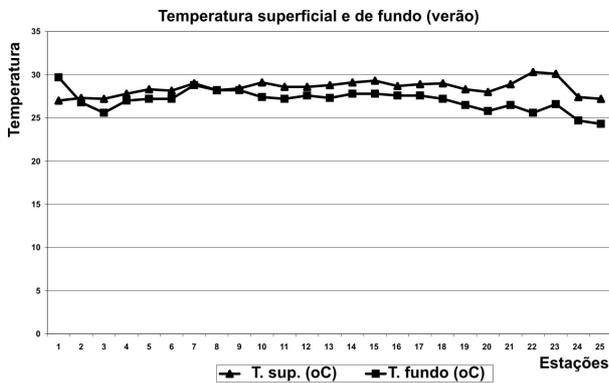


Figura 6 – Temperatura superficial e de fundo ao longo das estações amostradas.

De acordo com a figura 7, observa-se que a salinidade da região variou entre 0 e 15‰ na superfície e entre 1 e 20‰ no fundo, sendo que as salinidades mais baixas foram encontradas próximas à entrada das lagoas (1 a 3), e também a partir da estação 17. As estações 4 a 16 apresentam os valores mais altos de salinidade.

A figura 8 apresenta os teores de oxigênio dissolvido. Observa-se variação entre 5 e 7,5 mg/l em praticamente toda a região, com exceção das estações 24 e 25 que apresentaram os valores mais baixos no fundo (1 e 3,5 g/ml), sendo considerados locais altamente hipóxicos.

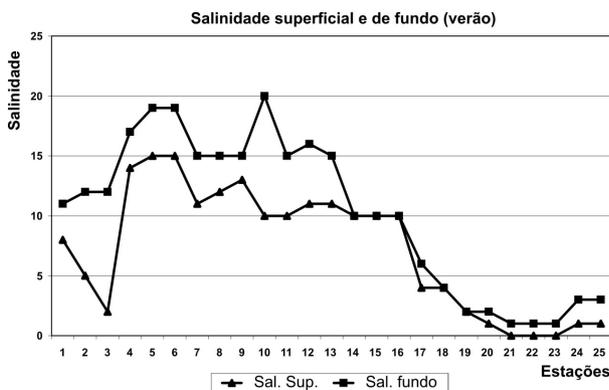


Figura 7 – Salinidade superficial e de fundo ao longo das estações amostradas.

Os teores de pH de superfície e do fundo, apresentam padrão de variação entre 6 e 8 (Fig. 9), e seguem os padrões observados nos dados de salinidade, sendo que os valores mais baixos ocorrem nas estações 3, 24, e 25.

De acordo com a tabela 2 observa-se a predominância de areia principalmente nas estações 1, 2, 7, 8, 9 e 20 a 23. Nas demais estações observa-se o predomínio de silte e argila, principalmente nas estações 4, 10, 13 a 18, 24 e 25. Observa-se também

presença de altos teores de matéria orgânica nas estações 4, 10, 13 a 16 e 24. A presença de carbonato de cálcio é alta nas estações 6, 10, 13, 17, 18 e 24.

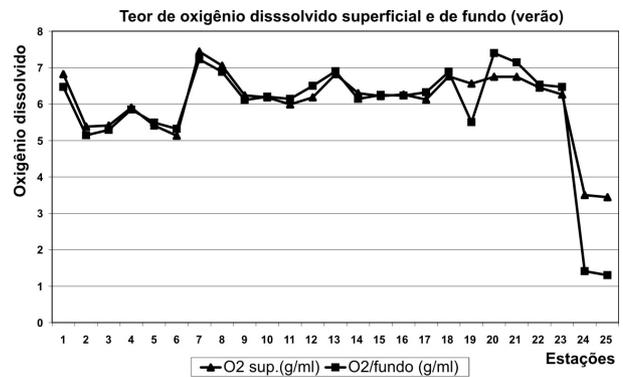


Figura 8 – Teor de oxigênio dissolvido superficial e de fundo ao longo das estações amostradas.

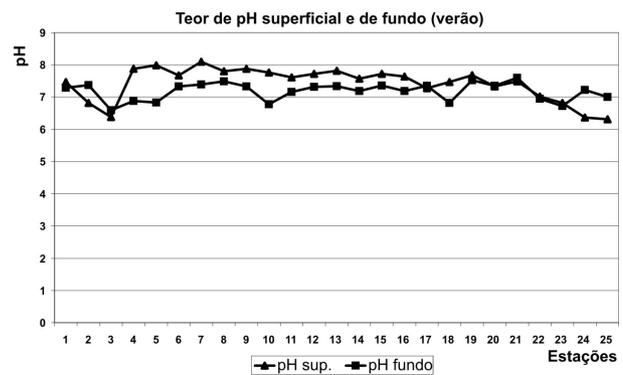


Figura 9 – Teor de pH superficial e de fundo ao longo das estações amostradas.

Os dois primeiros eixos fatoriais obtidos na análise de PCA sintetizam 60,9% da variância total dos dados analisados, conforme apresentado na tabela 3. A análise de PCA mostra através da tabela 4 e a sua representação na figura 10 a formação de 5 grupos.

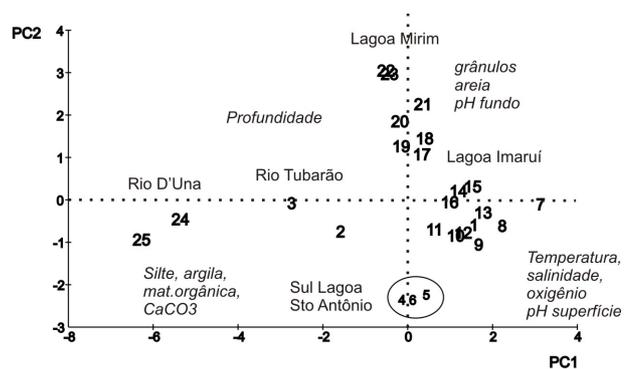


Figura 10 – Análise de PCA na matriz dos dados abióticos.

Os grupos formados são: Rio D'Una, com as estações 24 e 25; Rio Tubarão com as estações 2 e 3. Sul da lagoa de Santo Antônio com as estações 4, 5,

Tabela 2 – Parâmetros granulométricos ao longo das estações amostradas.

Estações	grânulos (%)	areia (%)	silte (%)	argila (%)	silte+argila (%)	mat. org. (%)	CaCO ₃ (%)	class. textural
1	0	99,77	0,23	0	0,23	0,42	1,29	areia
2	0	99,89	0,10	0	0,1	1,12	2,17	areia
3	0	22,81	52,09	25,08	77,17	3,46	3,56	silte argiloso
4	0	6	41,78	52,22	94	12,42	7,17	argila siltica
5	0	51,57	20,9	27,54	48,44	5,18	5,56	areia argilosa
6	0	46,97	24,51	28,53	53,04	5,51	9,27	areia argilosa
7	0,08	99,21	0,7	0	0,7	1,1	0,69	areia
8	0	98,65	1,36	0	1,36	0,82	0,71	areia
9	0,1	90,04	9,8	0,05	9,85	1,57	1,6	areia
10	0	10,22	31,8	57,99	89,79	8,67	12,2	argila siltica
11	0	40,96	30,98	28,07	59,05	4,55	7,12	areia siltico argiloso
12	0	58,88	20,56	20,56	41,12	5,42	5,13	areia siltico argilosa
13	0	8,39	38,64	52,98	91,62	9,69	14,34	argila siltica
14	0	2,45	35,23	62,33	97,56	12,63	6,02	argila siltica
15	0	8,7	31,44	59,96	91,4	13,82	3,07	argila siltica
16	0	5,4	34,64	59,99	94,63	10,3	4,25	argila siltica
17	0	32,7	46,9	20,39	67,29	5,56	9,16	silte arenoso
18	0	25,93	24,56	46,5	71,06	7,7	9,62	argila siltico arenosa
19	0	47,53	19,9	32,56	52,46	6,39	7,30	areia argilosa
20	0	84,42	7,8	7,8	15,6	4,52	2,45	areia
21	0	64,68	16,95	18,36	35,31	5,07	1,39	areia argilosa
22	0,3	66,71	20,29	12,68	32,97	4,7	1,22	areia siltica
23	0	61,67	16,43	21,91	38,34	4,63	3,89	areia argilosa
24	0	8,16	26,79	65,06	91,85	9,79	11,17	argila siltica
25	0	9,34	33,68	56,99	90,67	7,12	2,18	argila siltica

e 6, Lagoa Imaruí com as estações 1, 7-16, e Lagoa Mirim com as estações 17 a 23. A análise de PCA mostra que a porcentagem de silte, argila, matéria orgânica e CaCO₃ são similares entre os grupos Rio D'Una, Rio Tubarão, e uma estação do Sul da lagoa de Santo Antônio (4). As outras duas estações do sul da lagoa de Santo Antônio (5 e 6) são semelhantes à Lagoa Imaruí (estações 1, 7-13, 16) e apresentam similaridade quanto à temperatura, salinidade, teor de oxigênio dissolvido e pH de superfície. As estações localizadas na Lagoa Mirim (17, 18, 21) e Lagoa Imaruí (14, 15) apresentam semelhança com relação ao pH de fundo, porcentagem de grânulos e areia. A Lagoa Mirim possui as estações 19, 20, 22, 23 que apresentam similaridade quanto à profundidade.

Tabela 3 – Variação acumulativa dos eixos para os parâmetros hidrográficos e sedimentológicos de verão.

PC	Eigenvalues	%Variância	%Var.acumulada
1	5.63	37.5	37.5
2	3.50	23.4	60.9
3	2.28	15.2	76.0
4	1.15	7.7	83.7
5	0.80	5.3	89.0

Parâmetros biológicos

Na tabela 5 observa-se que a amostragem das 25 estações realizada na região das lagunas apresenta 36881 indivíduos distribuídos entre 10 espécies de calcários hialinos (subordem: Rotaliina), 2 espécies de foraminíferos porcelanosos (subodem: Milioliina), 12 espécies de foraminíferos agluti-

nantes (subordem: Textulariina) e 8 espécies de tecamebas (Ordem: Arcellacea). As espécies as quais as testas estavam em melhores condições foram utilizadas para ilustrar as figuras 14 e 15.

Tabela 4 – Coeficientes em combinação linear de variáveis.

Variáveis	PC1	PC2
Prof. (m)	-0.326	0.136
Temp. sup. (°C)	0.118	-0.170
Temp. fundo (°C)	0.315	-0.257
Sal. Sup.	0.128	-0.371
Sal. fundo	0.095	-0.312
O ₂ sup.(g/ml)	0.348	-0.156
O ₂ /fundo (g/ml)	0.335	-0.186
pH superfície	0.261	-0.364
pH fundo	0.183	0.041
grânulos (%)	0.109	0.153
areia (%)	0.336	0.292
silte (%)	-0.294	-0.247
argila (%)	-0.324	-0.285
mat. org. (%)	-0.254	-0.330
CaCO ₃ (%)	-0.200	-0.315

É interessante notar que as estações 13 a 18 possuem o menor número de indivíduos e as estações 12, 20, 21, 22 e 23 possuem o maior número de indivíduos. Observa-se que a entrada das lagunas (estações 1 a 6) apresentam o maior número de espécies, seguidas pelas estações 7 a 13, e mais para o interior (mais afastado do oceano) nas estações de 14 a 25 observa-se diminuição do número de espécies.

Observa-se que nas estações 1 e 2 situadas no canal de desembocadura da laguna (próximo ao oceano), ocorre a presença de *Buccella peruviana*,

Bolivina striatula e *Cassidulina subglobosa*. Desde as estações iniciais até as estações 6 e 7 observa-se a presença de *Pseudononion atlanticum*, *Saccamina sphaera*, *Quinqueloculina miletti* e *Q. patagonica*. As espécies *Ammonia tepida* e *Elphidium poeyanum* foram encontradas até as estações 10 e 13, respectivamente. Observa-se ausência de rotalídeos nas estações 14, 15, 16, 18 e 20 a 25. A presença de *Miliammina fusca* foi observada em toda a extensão das lagunas, com exceção das estações 14, 15 e 16, revelando-se a espécie dominante do ambiente, principalmente a partir da estação 17 até a 25. Por outro lado, *Haplophragmoides wilberti* e *Arenoparrella mexicana*, revelam-se pouco expressivos, restringindo-se às estações 3 a 8. *Ammotium cassis*, *Ammotium salsum*, *Ammobaculites exigus* e *Gaudryina exillis* revelam-se bem expressivos nas estações 5 a 21, e apresentam diferenças quanto à distribuição espacial na região de estudo. *A. cassis* ocorre nas estações de 10 a 16, *A. salsum* encontra-se mais amplamente distribuído nas estações 6 a 21; *A. exigus* e *Gaudryina exillis* ocorrem nas porções mais próximas ao canal de desembocadura (5 a 14) e (4 a 14), respectivamente. As espécies principais de tecamebas encontradas na região foram *Diffugia tricuspis*, *D. corona* e *D. oblonga*. Essas espécies foram encontradas principalmente nas estações de 3 a 9 e de 18 a 25,

e seu padrão de ocorrência indica alta influência de água doce nessas áreas específicas. *D. oblonga* ocorre principalmente nas estações 3 a 5 e 23 a 25, *D. tricuspis* domina a estação 8 e *C. constricta* domina a estação 9. Dentre as espécies de foraminíferos rotalíneos da região, a espécie dominante é *E. poeyanum* principalmente nas estações 1 a 12. Observa-se a contribuição de *B. elegantissima* na estação 19. Observa-se a ocorrência de 8 espécies de foraminíferos aglutinantes dominantes na região.

A tabela 6 apresenta o número de espécies (S), número de indivíduos (N), equitatividade (J'), diversidade (H') e dominância (S') para as estações amostradas. Observa-se diminuição do número total de espécies a medida que avançamos para o interior das lagunas. As estações 1 a 6 apresentam o maior número de espécies dentre as estações amostradas e os maiores índices de diversidade de espécies. A partir da estação 7 até a estação 13 observa-se queda no número de espécies (em torno de 6 espécies). A partir da estação 13 até a estação 19, observa-se queda acentuada tanto no número de espécies quanto no número de indivíduos ocorrentes. A partir da estação 20 até a estação 23 observa-se elevação no número de espécies e no número de indivíduos. As estações 23 e 24 apresentam queda no número de espécies e de indivíduos.

Tabela 5 – Frequência absoluta de foraminíferos, e tecamebas (verão/2002).

Espécies/Estações	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	TOTAL
VERÃO/2002																										
Foraminíferos rotalídeos																										
<i>Ammonia tepida</i>	4	6		12	48	240	8		8	8																334
<i>Bolivina striatula</i>	3	1																								4
<i>Buccella peruviana</i>	45	7				16					8															76
<i>Bulimina marginata</i>	22	11				12																				45
<i>Bulimina patagonica</i>				12	12	4																				28
<i>Buliminella elegantissima</i>	2			24	8	8													2							44
<i>Cassidulina subglobosa</i>		2																								2
<i>Elphidium gunteri</i>						128							8					13								149
<i>Elphidium poeyanum</i>	124	48	2	50	72	380	32	16	80	16	6	8	1													835
<i>Pseudononion atlanticum</i>	37	18		48	24																					127
Foraminíferos porcelanosos																										
<i>Quinqueloculina milleti</i>	4			4		8																				16
<i>Quinqueloculina patagonica</i>		2			1																					3
Foraminíferos aglutinantes																										
<i>Ammotium cassis</i>										16	144	152	3		1	3										319
<i>Ammotium salsum</i>	0	1				8	304	74	280	48	104	472	8	14	7	9	40	17	50	960	112	128				2636
<i>Ammobaculites exigus</i>					4	8	112	40	112	16	160	624	5	4												1085
<i>Arenoparrella mexicana</i>				4				8																		12
<i>Gaudryina exillis</i>			77	16	100	84	16	24	104	16	8	8														453
<i>Haplophragmoides wilberti</i>			3	4	12	4																	224			247
<i>Polisaccamina ipohialina</i>																						732				732
<i>Siphrochammina lobata</i>																						86				86
<i>Trochammina inflata</i>				8																		162				170
<i>Miliammina fusca</i>	1	2	50		48	40	232	56	264		128	352	4				2	59	194	8384	2328	11776	64	162	822	24968
<i>Saccamina sphaera</i>		28	86	12	20	24																				170
<i>Warrenita palustris</i>														2												2
Tecamebas																										
<i>Centropyxis arenata</i>			26																				64			90
<i>Centropyxis constricta</i>			28		4	4			16											64		384	64			500
<i>Diffugia corona</i>			37	8	16															64	96	640	128	162		1151
<i>Diffugia oblonga</i>			118	8	40															16	192	64	64	180	32	650
<i>Diffugia mitriformis</i>			16			4															64					116
<i>Diffugia tricuspis</i>			8																		192	208	640	64		1112
<i>Diffugia urceolata</i>					4																80	16		32		116
<i>Pontigulasia compressa</i>			48					8													128	16	384			584
TOTAL	242	126	507	202	389	996	704	226	864	120	558	1616	29	20	8	12	55	76	246	9792	2856	14208	1588	536	886	36862

Tabela 6 – Número de espécies (S), número de indivíduos (N), equitatividade (J'), diversidade (H') e dominância (S') para o verão.

Estações	S	N	J'	H'	S'
1	9	242	0,64	1,41	0,33
2	11	126	0,74	1,77	0,23
3	13	507	0,85	2,17	0,14
4	12	202	0,86	2,13	0,15
5	14	389	0,81	2,15	0,15
6	17	996	0,65	1,85	0,23
7	6	704	0,72	1,30	0,32
8	7	226	0,86	1,68	0,22
9	7	864	0,81	1,58	0,24
10	6	120	0,91	1,62	0,24
11	7	558	0,79	1,53	0,24
12	6	1616	0,74	1,33	0,29
13	6	29	0,91	1,64	0,21
14	3	20	0,73	0,80	0,54
15	2	8	0,54	0,38	0,78
16	2	12	0,81	0,56	0,63
17	3	55	0,63	0,69	0,59
18	2	76	0,77	0,53	0,65
19	3	246	0,50	0,55	0,66
20	6	9792	0,31	0,56	0,74
21	7	2856	0,39	0,76	0,67
22	8	14208	0,36	0,76	0,69
23	9	1588	0,79	1,74	0,26
24	4	536	0,91	1,26	0,30
25	3	886	0,28	0,31	0,86

É interessante notar que as estações 13 a 19 possuem o menor número de indivíduos e as estações 12, 20, 21, 22 e 23 possuem o maior número de indivíduos. Na figura 11 observa-se comportamento dos índices ecológicos nas estações analisadas. Observa-se um gradiente composto por diversidades altas na entrada do sistema que vai diminuindo até a estação 15 onde observamos os mais baixos valores de diversidade encontrado nas estações.

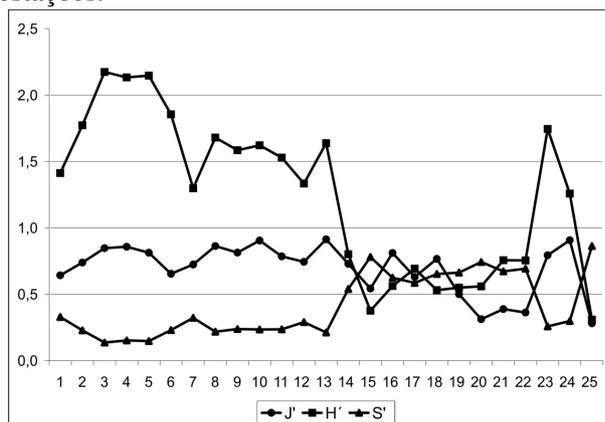


Figura 11 – Comportamento dos valores de equitatividade (J'), diversidade (H') e dominância (S') para o verão.

A partir dos dados da tabela de frequência absoluta, foi confeccionada a tabela de frequência relativa abaixo. Para a confecção dessa tabela de frequência relativa, as espécies de foraminíferos e tecamebas que apresentam menos de 10% na região de estudo foram cortadas com a finalidade de minimizar a importância de espécies raras. Portanto, em algumas amostras a frequência relativa não

totaliza 100%.

A análise estatística que foi aplicada nesse estudo leva em conta as espécies dominantes principais, e, portanto o nível de corte excluiu as seguintes espécies consideradas de ocorrência rara nas lagunas: *B. striatula*, *B. patagonica*, *C. subglobosa*, *Q. miletti*, *Q. patagonica*, *A. mexicana*, *S. lobata*, *W. palustris*, *C. arenata*, *D. mitriformis* e *D. urceolata*.

A análise de cluster na matriz de similaridade dos dados biológicos apresenta a formação de seis grupos (Fig. 12).

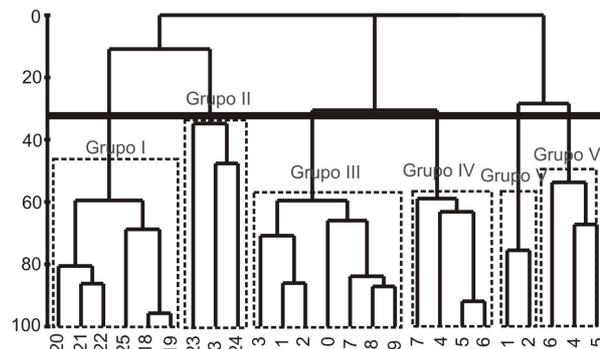


Figura 12 – Análise de cluster na matriz dos dados biológicos.

Os grupos I e II formados pelas estações 3, 18 a 25, são ambientes que recebem grande influência de água doce e apresentam como espécies características *M. fusca* e espécies de tecamebas. O grupo III (7-13) apresenta espécies de foraminíferos características de ambiente de água salobra (*A. exigus*, *G. exillis* e *A. salsum*). O grupo IV (14-17) representa as estações com menores densidades populacionais, enquanto que os grupos V (1,2) e VI (4-6) representam as estações com as maiores densidades localizadas na entrada das lagunas e sujeitas a maior aporte de águas salinas. Apresentam como espécies características *E. poeyanum*, *B. striatula*, *B. peruviana*, *B. marginata*, *C. subglobosa* e *S. sphaera*.

Com relação a análise de MDS na matriz dos dados biológicos (Fig. 13) observa-se a formação dos mesmos 4 grupos. O grupo representando o norte da lagoa de Imaruí e o sul da lagoa Mirim composto pelas estações 14, 15, 16 e 17 relaciona-se a baixa densidade de foraminíferos e tecamebas em toda a região de estudo. O norte da lagoa de Santo Antônio e a parte sul da lagoa de Imaruí apresenta como espécies de foraminíferos *A. salsum*, *A. exigus* e *G. exillis*. O grupo desembocadura é composto pelas estações mais influenciadas pelas águas marinhas e apresentam como espécies características *E. poeyanum* e *S. sphaera*. O grupo formado pelas

Tabela 7 – Frequência relativa de foraminíferos e tecamebas encontrados no verão de 2002.

Espécies/Estações	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
<i>Ammonia tepida</i>	1,7	4,8		5,9	12,3	24,1	1,1		0,9	6,7															
<i>Buccella peruviana</i>	18,6	5,6				1,6					1,4														
<i>Bulimina marginata</i>	9,1	8,7				1,2																			
<i>Bulminella elegantissima</i>	0,8			11,9	2,1	0,8													0,8						
<i>Elphidium gunteri</i>						12,9							27,6				23,6								
<i>Elphidium poyeanum</i>	51,2	38,1	0,4	24,8	18,5	38,2	4,5	7,1	9,3	13,3	1,1	0,5	3,4												
<i>Pseudononion atlanticum</i>	15,3	14,3		23,8		2,4																			
<i>Ammotium cassis</i>																									
<i>Ammotium salsum</i>		0,8				0,8	43,2	32,7	32,4	40,0	13,3	25,8	9,4	10,3		12,5	25,0								
<i>Ammobaculites exigus</i>					1,0	0,8	15,9	17,7	13,0	13,3	28,7	29,2	27,6	70,0	87,5	75,0	72,7	22,4	20,3	9,8	3,9	0,9			
<i>Gaudryina exillis</i>			15,2	7,9	25,7	8,4	2,3	10,6	12,0	13,3	1,4	0,5	17,2	20,0											
<i>Haplophragmoides wilberti</i>			0,6	2,0	3,1	0,4																		14,1	
<i>Polisaccamina ipohialina</i>																							46,1		
<i>Saccamina sphaera</i>		22,2	17,0	5,9	5,1	2,4																			
<i>Trochammina inflata</i>			1,6																					10,2	
<i>Miliammina fusca</i>	0,4	1,6	9,9		12,3	4,0	33,0	24,8	30,6		22,9	21,8	13,8				3,6	77,6	78,9	85,6	81,5	82,9	4,0	30,2	92,8
<i>Centropyxis constricta</i>			5,5		1,0	0,4			1,9											0,7		2,7			
<i>Diffugia tricuspis</i>			1,6																	2,0	7,3	4,5	4,0		
<i>Diffugia corona</i>			7,3	4,0	4,1															0,7	3,4	4,5	8,1	30,2	
<i>Diffugia oblonga</i>			23,3	4,0	10,3																0,6	1,4	4,0	33,6	3,6
<i>Pontigulasia compressa</i>			9,5					3,5												1,3	0,6	2,7			
Total de dominantes	97,1	96,0	91,7	90,1	95,6	98,4	100,0	96,5	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	90,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	97,2	99,5	90,6	94,0	96,4

estações coletadas no Rio D'Una, Tubarão e Lagoa Mirim apresentam como espécies características *M. fusca* e espécies de tecamebas principalmente do gênero *Diffugia* e *Centropyxis*.

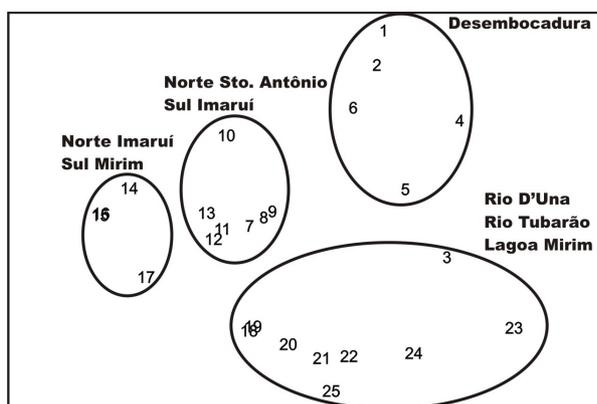


Figura 13 – Análise de MDS na matriz dos dados biológicos.

DISCUSSÃO

Hidrodinâmica e oxigenação das águas

A influência de águas salinas foi mais marcante nas Lagoas de Santo Antônio e Imaruí (Estações 1 a 16), onde se observou maiores valores de salinidade e de estratificação vertical. Essa influência decaiu abruptamente a partir da estação 16. A Lagoa Mirim distoa das primeiras, por possuir valores baixos de salinidade e quase ausência de estratificação salina, indicativos de uma influência dominante do Rio D'Una.

A ocorrência de restrições consecutivas com o oceano e entre lagoas atenua progressivamente a influência da circulação marinha nas partes mais internas do sistema. Esse tipo de circulação em lagoas costeiras rasas brasileiras foi observado por Debenay *et al.* (1997) na barra da Lagoa da Conceição (Florianópolis, SC, Brasil) e se caracte-

riza por apresentar baixa eficiência na renovação das águas no interior das lagoas. Embora as taxas de renovação sejam presumivelmente baixas, os altos teores de oxigênio na coluna d'água em todas lagoas do sistema refletem a dinâmica de um sistema raso sujeito a eficientes trocas com a atmosfera devido a ação dos ventos. Tal fator é positivo no que se refere a processos de exportação de poluentes. Estações anóxicas foram observadas somente nas estações interiores do Rio D'Una.

A foz do Rio Tubarão, situada na proximidade da barra do sistema estuarino, é responsável pelas menores salinidades observadas nas estações 2 e 3 em relação a Lagoa de Santo Antônio. Os dados hidrográficos medidos ao longo do sistema lagunar sugerem que a influência desse rio seja predominantemente a jusante. O Rio Tubarão e Rio D'Una são importantes agentes de dispersão de resíduos industriais e domésticos provenientes das cidades de Tubarão, Laguna e Imbituba. O Rio Tubarão possui uma usina termoeletrica e de carvão, enquanto que nas águas do rio D'Una são lançados fertilizantes e dejetos da rizicultura. O Rio Tubarão localizando-se mais próximo da barra, possivelmente exporte os contaminantes com maior facilidade devido a maior capacidade de renovação de águas. Já o Rio D'Una localizado a cerca de 32 km do oceano, deságua num setor do complexo lagunar onde o tempo de residência das águas é mais alto. Sua maior profundidade (H~5-7 m) e menor dinâmica comprometem ainda mais a oxigenação do sistema fluvial. Esses dados sugerem que a região ao norte do complexo Lagunar apresenta grande susceptibilidade às atividades decorrentes da atividade humanas.

Observamos uma influência de ventos de moderada intensidade sob circulação na desembocadura da barra durante o experimento hidrográfico. Embora a força dos ventos de quadrante sul tenham reduzido progressivamente durante o experimento, o

efeito remoto (e defasado) dos mesmos sob o nível médio do mar (“maré meteorológica”) aumentou progressivamente. Observou-se efeitos subtrativos durante a baixa maré astronômica e efeitos aditivos durante a maré cheia astronômica. Não obstante, ventos de maior intensidade, conforme observados em meados de Fev. de 2002, podem ser responsáveis por efeitos equivalentes ou superiores a maré astronômica, sendo assim uma importante componente da circulação em baixa frequência. Resumidamente, ventos de quadrante sul (norte) agindo remotamente por deriva de Ekman sobre os oceanos são responsáveis pelo aumento (redução) de nível na costa, sendo agentes que proporcionam a entrada (saída) de águas do sistema. Do ponto de vista renovação das águas nas lagunas, ventos de norte-nordeste são os mais benéficos a exportação das águas lagunares (e poluentes) para o oceano. Salienta-se ainda que, para o sistema de Laguna, o efeito local dos ventos agindo diretamente sobre o sistema lagunar possuirá um efeito aditivo ao efeito remoto por deriva de Ekman. Tal fato é conseqüente da configuração do eixo principal das Lagunas em relação a linha de costa (Garvine, 1985). Por fim, o efeito de fortes tempestades, geradas remotamente a centenas de quilômetros de distância, também podem contribuir para circulação desses sistemas. Tais tempestades são responsáveis pela geração de ondas de plataforma que propagam em sentido ao equador (Castro and Lee, 1995). Melo *et al.* (2003) descrevem o efeito dessas ondas, geradas por um ciclone extra-tropical na costa do Uruguai como responsáveis pelo aumento em um metro no nível do mar na costa catarinense. Durante tal evento, as condições meteorológicas locais eram calmas sobre o Estado de Santa Catarina. Concomitantemente, foram observados níveis anômalos positivos da Lagoa da Conceição em Florianópolis. Embora episódicos, esses eventos podem ser responsáveis por significativas circulação e renovação das águas em sistemas Lagunares do tipo sufocado.

Distribuição de espécies

A associação de foraminíferos e tecamebas observada na região da conexão das lagunas com o oceano, é similar àquela encontrada por Eichler *et al.* (2001) na entrada da Baía de Guanabara (RJ, Brasil) onde *Ammonia tepida*, *Elphidium poeyanum*, *Buccella peruviana*, *Pseudononion atlanticum*, *Bulimina marginata* e *Buliminella elegantissima* são as espécies calcárias hialinas dominantes. Dentre as calcárias porcelânicas, *Quinqueloculina miletti* e *Q. patagonica* foram encontradas nas regiões mais

salinas. Essa associação de foraminíferos calcários tem sido observada também em outras zonas entre marés de ambientes temperados (Patterson, 1990; Horton *et al.*, 1999) e de ambientes tropicais (Debenay, 2000).

É interessante notar que a distribuição de *A. tepida* e *E. poeyanum* ocorre desde a estação 1 até a 13, persistindo em ambientes marcados por ampla variação ambiental (Murray, 1991; Linke & Lutze, 1993) confirmando a característica eurihalina de ambas espécies. Já as espécies estenohalinas *Buccella peruviana*, *Pseudononion atlanticum*, *Bulimina marginata*, e *Buliminella elegantissima* foram encontradas apenas nas estações de 1 a 6, revelando menor capacidade de resistir à baixas salinidades de fundo. Já nas partes mais interiores, na lagoa Mirim, na Lagoa de Santo Antônio, no Rio D’Una e rio Tubarão (2 a 9 e 20 a 25) observa-se a presença de tecamebas (organismos característicos de água doce) e foraminíferos aglutinantes. Nessas estações, *Ammotium cassis*, *Ammotium salsum*, *Ammobaculites exigus*, *Gaudriyna exillis* e *Miliammina fusca* dominam juntamente com as espécies de tecamebas *Diffflugia tricuspis*, *D. corona* e *D. oblonga*. Essa associação é característica de ambientes de água doce, observando-se gradiente faunal relacionado à diversidade. A diversidade diminui muito em direção à parte norte das lagunas, e se traduz pela dominância de *Miliammina fusca* e espécies de tecamebas a partir da estação 20, principalmente nas estações hipóxicas localizadas no rio D’Una (24 e 25). Tal associação, característica de salinidades muito baixas, foi amplamente verificada em manguezais temperados (Scott & Medioli, 1980; Jennings *et al.* 1995) e tropicais (Debenay, *et al.* 2001; Wang and Chappell, 2001; Duleba & Debenay, 2003), e no presente estudo, *Miliammina fusca* se mostra como indicadora de ambiente com baixa oxigenação e tolerante à poluição por agrotóxicos (cultivo de arroz irrigado).

As análises de cluster e MDS mostraram que os padrões de fauna mais importantes encontram-se relacionados à dupla influência do aporte continental e aporte de água salina, como indicado pela salinidade e pela distância da estação ao oceano. Essa dupla influência tem sido descrita em vários lugares do mundo (Hayward and Triggs, 1994; De Rijk, 1995) e parece ser a característica mais importante encontrada em zonas costeiras brasileiras (Madeira Falcetta, 1974; Eichler, 2001; Duleba & Debenay, 2003).

Os diferentes padrões de densidade populacional refletem as condições ambientais e observa-se

que o grupo representando o norte da lagoa de Imaruí e o sul da lagoa Mirim (14, 15, 16, 17) relaciona-se a baixa densidade de foraminíferos e tecamebas em toda a região de estudo. No norte da lagoa de Santo Antônio e na parte sul da lagoa de Imaruí (7, 8, 9, 10, 11, 12, 13), *A. salsum*, *A. exigus* e *G. exillis* dominam. Já o grupo desembocadura (1, 2, 4, 5, 6) composto pelas estações mais influenciadas pelas águas marinhas apresenta as mais altas diversidades. O grupo formado pelas estações coletadas no rio D'Una, Tubarão e lagoa Mirim (3, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25) apresentam como espécie característica *M. fusca* e espécies de tecamebas. Nesses ambientes, essas espécies foram consideradas indicadoras de locais onde a renovação das águas é pouco eficiente devido a distância do mar, sendo mais susceptíveis a poluição.

CONCLUSÕES

As associações de foraminíferos apresentam distribuição espacial bem definida resultante das condições ambientais estabelecidas em função da dupla influência do aporte continental e das águas salinas oceânicas. As espécies de foraminíferos e tecamebas coletadas nas lagunas são caracterizadas pela predominância de espécies calcárias mixohalinas (*E. poeyanum*) em ambientes sob maior influência marinha, que são substituídas por *M. fusca* e espécies de tecamebas do gênero *Diffflugia* e *Centropyxis* onde o aporte de água doce é mais intenso. A distribuição observada no sistema estuarino de Laguna mostra uma sucessão de espécies calcárias euhalinas e mixohalinas perto da entrada; que é alterada para fauna de calcárias e aglutinantes mixohalinas na parte central, onde *A. salsum*, *A. exigus* e *G. exillis* dominam; e em seguida, na parte ao norte das lagunas, observa-se a presença da espécie aglutinante *M. fusca* e espécies de tecamebas, indicativas de ambientes onde o aporte de água doce é mais intenso.

Baseado no padrão de distribuição de espécies de foraminíferos e tecamebas, foi possível definir a extensão das áreas sob influência continental e marinha. A distribuição de foraminíferos e tecamebas na maior parte das lagunas é portanto função das características do ambiente, que, em geral, não mostra ainda sinais alarmantes de atividades humanas de poluição ou contaminação. Entretanto, três lugares merecem especial atenção: Rio D'Una, Lagoa Mirim e Rio tubarão. Apesar de grande aporte de água doce na parte norte das Lagunas, Rio D'Una e Lagoa Mirim, os efeitos do

desenvolvimento urbano prejudicial ao ambiente puderam ser notados nesses locais, onde a quantidade de fertilizantes é alta, e a renovação das águas é menos eficiente devido à distância do mar. A desembocadura do sistema, apesar de próxima ao mar, apresenta aporte de poluentes derivados de atividades carboníferas no Rio Tubarão, e outras fontes poluidoras, e possivelmente são exportados ao oceano com mais facilidade, reduzindo sensivelmente a abrangência de áreas possivelmente impactadas no interior, mas pode ser que a influência local (e remota) do vento seja responsável pelo transporte desses para o interior das lagunas. Esse trabalho preliminar representa uma baseline que pode subsidiar planos de gerenciamento saneamento básico e monitoramento futuro do sistema estuarino.

Se não houverem mais estudos, especificamente nessas regiões, além de planos de gerenciamento costeiro, de saneamento básico, de monitoramento ambiental, e delimitação de zonas onde os poluentes possam ser lançados, o ambiente avançará rumo à degradação.

Agradecimentos- Agradecemos ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento (CNPq) pelas bolsas de Recém Doutor recebida na Universidade do Sul de Santa Catarina (UNISUL) e de (Técnico de nível superior recebida na Universidade Federal de Santa Catarina). O primeiro autor é grato ao Dr. Sérgio Netto, (Lab. Ciências Marinhas/UNISUL) pelo auxílio na análise dos dados e à Evelyn Pereira, Mariana Cristoffi e André Rodrigues da Universidade de São Paulo (Lab. de Micropaleontologia Marinha) pelo ajuda na coleta de material. O estudo não poderia ter sido desenvolvido se não fosse o apoio irrestrito de barcos da Marinha do Brasil através da Capitania dos Portos em Laguna. Agradecemos também o apoio logístico dado pelo Empreendimento Laguna Internacional, arcando com as despesas da estadia da equipe de pesquisadores. E à Celesc (Companhia Eétrica de Santa Catarina) pelos dados de ventos cedidos e ao Porto de Imbituba pelos dados de maré.

REFERÊNCIAS

- Castro, B. M. & Lee, T.N. 1995. Wind-forced sea level variability on the Southeast Brazilian shelf. **Journal Geophysical Research**, **100(C8)**: 16045-16056.
- Clarke, K.R., 1993. Non parametric multivariate analyses of changes in community structure. **Australian Journal of Ecology**, **18**: 117-143.
- Clarke, K.R. & Warwick, R.M. 1994. **Changes in marine communities: an approach to statistical analyses and interpretation**. Natural Environment Research Council, Plymouth.
- 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**, **16(1)**: 55-75.
- Debenay, J.P., 2000. Foraminifera of paralic tropical environ-

- ments, **Micropaleontology**, **46**(1): 153-160.
- Debenay, J.P.; Geslin, E.; Eichler, B.B.; Duleba, W.; Sylvestre, F. & Eichler, P.P.B. 2001. Foraminiferal assemblages in a hypersaline lagoon, Araruama (R.J.) Brazil. **Journal of Foraminiferal Research**, **31**(2):133-151.
- De Rijk, S. 1995. Salinity control on the distribution of salt marsh foraminifera (Great Marshes, Massachusetts). **Journal of Foraminiferal Research**, **25**(2): 156-166.
- Duleba, W. & Debenay, J.P. 2003. Hydrodynamic circulation in the estuaries of estação ecológica Juréia-Itatins, Brazil, inferred from foraminifera and thecamoebian assemblages. **Journal of foraminiferal Research**, **33**(1): 62-93.
- Eichler, P.P.B., 2001. **Avaliação e diagnóstico do Canal de Bertioiga (São Paulo, Brasil) através da utilização de foraminíferos como indicadores ambientais**. São Paulo. 240p,1CDrom. Tese de Doutorado em Oceanografia Biológica, Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo.
- Eichler, B. B.; Eichler, P. B.; Miranda, L. B.; Bérnago, A. L.; Bernardes, M. E. C.; Pereira, E. R. M.; Kfoury, P. B. P. & Pimenta, F. M. 2001. Utilização de foraminíferos como bioindicadores da influência marinha na Baía de Guanabara, (RJ, Brasil). **Pesquisas**, **28**(2): 251-262.
- Fundacentro, 2006. http://www.fundacentro.sc.gov.br/acqua_forum/principal/rh.php.
- Garvine, R. 1985. A simple model of Estuarine Subtidal Fluctuations forced by local and remote wind stress. **Journal of Geophysical Research**, **90**: 11945-11948.
- Hayward, B. W. & Triggs, C. M. 1994. Computer analysis of benthic associations in a tidal New Zealand inlet: **Journal of Micropaleontology**, **13**: 103-117.
- Hansen, D.V., & Rattray, M. JR., 1966, New dimensions in estuary classification: **Limnology and Oceanography**, **11**(3): 319-326.
- Horton, B.P., Edwards, R.J. & Lloyd, J.M., 1999. Reconstruction of former sea-levels using a foraminiferal-based transfer function. **Journal of Foraminiferal Research**, **29**(2): 117-129.
- Jennings, A.E. & Nelson, A.R., 1992. Foraminiferal assemblage zones in Oregon tidal marshes-relation to marsh floral zones and sea level. **Journal of Foraminiferal Research**, **22**(1): 13-29.
- Kjerfve, B & Magill, K.E. 1989. Geographic and hydrodynamic characteristics of shallow coastal lagoons. **Marine Geology**, **88**: 187-199.
- Kjerfve, B. 1994. Coastal lagoons. in: Kjerfve, B. (ed). **Coastal lagoons processes**. Amsterdam, Elsevier. p. 1-8.
- Linke, P. & Lutze, G.F. 1993. Microhabitat preferences of benthic foraminifera a static concept or a dynamic adaptation to optimize food acquisition? **Marine Micropaleontology**, **20**: 215-234.
- Madeira Falcetta, M. 1974. Ecological distribution of thecamoebians and foraminifera associations in the mixohaline environments of the Southern Brazilian Litoral. In: ACADEMIA BRASILEIRA DE CIÊNCIAS, 1974, Rio de Janeiro, **Anais...**Rio de Janeiro, v. 46, p. 667-687.
- Melo, E.; Pimenta, F. M.; Mendes, D.A.R.; Hammes, G. R.; Araújo, C. E.; Franco, D.; Alves, J. H. G. M., Barletta, R. Do C.; Souto, A. M. De C.; Castelão, G. P.; Pereira, N. C. & Branco, F. V. 2003. A real time, on-line coastal information program in Brazil. In: CONFERENCE ON COASTAL AND PORT ENGINEERING IN DEVELOPING COUNTRIES, 6, 2003,Colombo, **Proceedings...** Sri Lanka, p. 14. (published in digital form on compact disc).
- Miranda, L.B. de; Castro, B.M. & Kjerfve, B. 2002. **Princípios de Oceanografia Física de Estuários**. S. Paulo, EDUSP, 424p.
- Murray, J.W. 1991. **Ecology and Palaeoecology of Benthic Foraminifera**. London, Logman Scientific & Technical, 397p.
- Newman, M.C. 1995. **Quantitative Methods in Aquatic Ecotoxicology**. Lewis Publishers (CRC Press), Boca Raton, Florida, 426p.
- Patterson, R.T., 1990. Intertidal benthic foraminiferal biofacies on the Fraser River Delta, British Columbia: modern distribution and palaeoecological importance. **Micropaleontology**, **36**: 9-244.
- Pimenta, F. M., Melo, E., Franco, D. & Zavialov, P. O. 2003. Assessment of Santa Catarina Shelf Currents through the analysis of indirect measurements. In: INTERNATIONAL COASTAL SYMPOSIUM.,8, JCR SI 39, 2003, Itajaí, SC. **Proceedings...** Itajaí, p.651-655.
- Scott, D.B. & Medioli, F.S. 1980. **Quantitative studies of marsh foraminiferal distributions in Nova Scotia: implications for sea level studies**. Washington, D.C., Cushman Foundation . p. 1-34. (Cushman Foundation for Foraminiferal Research. Special Publication, n.17).
- Stech, J. L. & Lorenzetti, J. A. 1992. The response of the South Brazil Bight to the passage of winfronts. **Journal of Geophysical Research**, **97**(C6):9507-9520.
- Tommasi, L.R. & Griesinger, B. 1983. Proposta para manejo correto de regiões costeiras. **Ciência e Cultura**, **35** (6): 709-721.
- Todd, R. & Brönnimann, P. 1957. **Recent foraminifera and thecamoebina from the eastern Gulf of Paria**. Washington, D.C., Cushman Foundation . p.1-43 (Cushman Foundation for Foraminiferal Research. Special Publication, n.3).
- Wang P-X & Chappell, J. 2001. Foraminifera as Holocene environmental indicators in the South Alligator River, Northern Australia. **Quaternary International**, **83-85**: 47-62.
- Weber, R. 1992. Sistemas costeiros e oceânicos. **Química Nova**, **15**(2): 137-143.
- Zar, J.H. 1984. **Biostatistical analysis**. 2 ed. New Jersey. Englewood Cliffs.718p.

