

Pesquisas em Geociências

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

**Evolução temporal da impactação do Sistema Estuarino de Santos -
São Vicente (SP, Brasil) analisada através das populações de
foraminíferos sub-recentes**

Carla Bonetti, Beatriz Beck Eichler, Jean-Pierre Debenay

Pesquisas em Geociências, 28 (2): 273-283, maio/ago., 2002.

Versão online disponível em:

<http://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/article/view/20302>

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 - maio/ago., 2002.

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

Evolução temporal da impactação do Sistema Estuarino de Santos – São Vicente (SP, Brasil) analisada através das populações de foraminíferos sub-recentes

CARLA BONETTI¹; BEATRIZ BECK EICHLER² & JEAN-PIERRE DEBENAY³

¹ Laboratório de Oceanografia Costeira, Departamento de Geociências – UFSC – cbonetti@cfh.ufsc.br

² Laboratório de Micropaleontologia Marinha – Instituto Oceanográfico – USP

³ Laboratoire de Geologie – Université d'Angers – France

(Recebido em 10/01. Aceito para publicação em 05/02)

Abstract - Vertical distribution of benthic foraminiferal species in three shallow sediment cores were used to assess environmental changes in Santos – São Vicente Estuarine System during the last decades. The area was chosen due the diversity and complexity of the anthropogenic agents that have been actuating into this ecosystem since the 1950 decade. Although all analyzed cores presented close species composition, suggesting similar depositional environmental conditions, some variability in species importance along the sedimentary column were observed among them. Particular features of each sampled point were thus related to the environmental transformations to explain that. The results obtained for the Cubatão area suggested an upward transition from strongly restrictive ecological conditions (represented by dominance of *Ammotium*) to a moderately restrictive ones (with the increase in the relative abundance of other taxa, such as trochaminids). This faunal enrichment was interpreted as a result from a recent re-colonization by mangrove trees in the previously degraded exposed banks (due to reduction of chemical pollutant inputs). The area under influence of Santos Harbor was the one that showed the slightest fluctuations in species distribution. Even so, a possible influence of the periodic dredging of the harbor channel on the variations of *Ammotium* population along the core can be proposed. Finally, the core sampled at the São Vicente Estuary presented ecological indications of a fast increase of marine confinement, probably related to the intense domestic sewage that reach this sheltered portion of the system. The considerations and hypotheses presented in this research pointed out the great potential in the use of bioindicators as a tool for recent and sub-recent environmental evaluation studies. Nevertheless, the inherent methodological restrictions must be kept in mind and complementary ecological studies need to be conducted in order to allow definitive conclusions.

Keywords - foraminifera, coastal zone, sediment core.

INTRODUÇÃO

Um dos problemas mais freqüentemente assinalados em estudos de avaliação da qualidade de ambientes costeiros é a falta de informação existente sobre o comportamento físico-químico e ecológico destes, antes e/ou durante a atuação de processos impactantes. Neste sentido, estratégias metodológicas que permitam resgatar um pouco da história ecológica da zona costeira em um passado recente são de suma importância para a compreensão e manejo de seus ecossistemas.

A utilização de bioindicadores bentônicos que mantenham-se preservados ao longo das camadas sedimentares tem sido bem aceita pela comunidade científica como opção para estudos que buscam investigar os mecanismos de evolução da impactação em áreas marinhas abrigadas. Neste sentido, trabalhos realizados com foraminíferos e tecamebas têm demonstrado que as associações ou populações de espécies-índice que se sucedem ao longo da coluna sedimentar podem refletir, ainda que com algumas restrições metodológicas, as variações ambientais promovidas por intervenções antrópicas nos sistemas naturais, sendo importantes marcos da ruptura

ou restauração do equilíbrio ecológico destas áreas (Schafer & Smith, 1983 e Alve, 1991 a e b).

A proposta do presente trabalho enquadra-se na temática apresentada acima, pretendendo-se discutir a evolução das condições ecológicas dominantes no Sistema Estuarino de Santos – São Vicente (São Paulo, Brasil) ao longo das últimas décadas através do estudo da distribuição vertical das populações de foraminíferos.

METODOLOGIA

Os dados tratados neste artigo são provenientes de três testemunhagens rasas realizadas em 1995 nas franjas dos manguezais de Cubatão (zona industrial), de Santos (zona portuária) e de São Vicente (zona urbana), conforme indicado na figura 1. Estas áreas foram selecionadas por serem consideradas como representativas das diferentes condições ambientais encontradas ao longo do sistema estuarino estudado e também devido a existência de estudos pretéritos que discutem os principais processos de degradação atuantes em cada uma destas áreas (CETESB, 1983 e Rodrigues *et al.*, 1995).

Em respeito ao meio ambiente, este número foi impresso em papel branqueado por processo parcialmente isento de cloro (ECF).

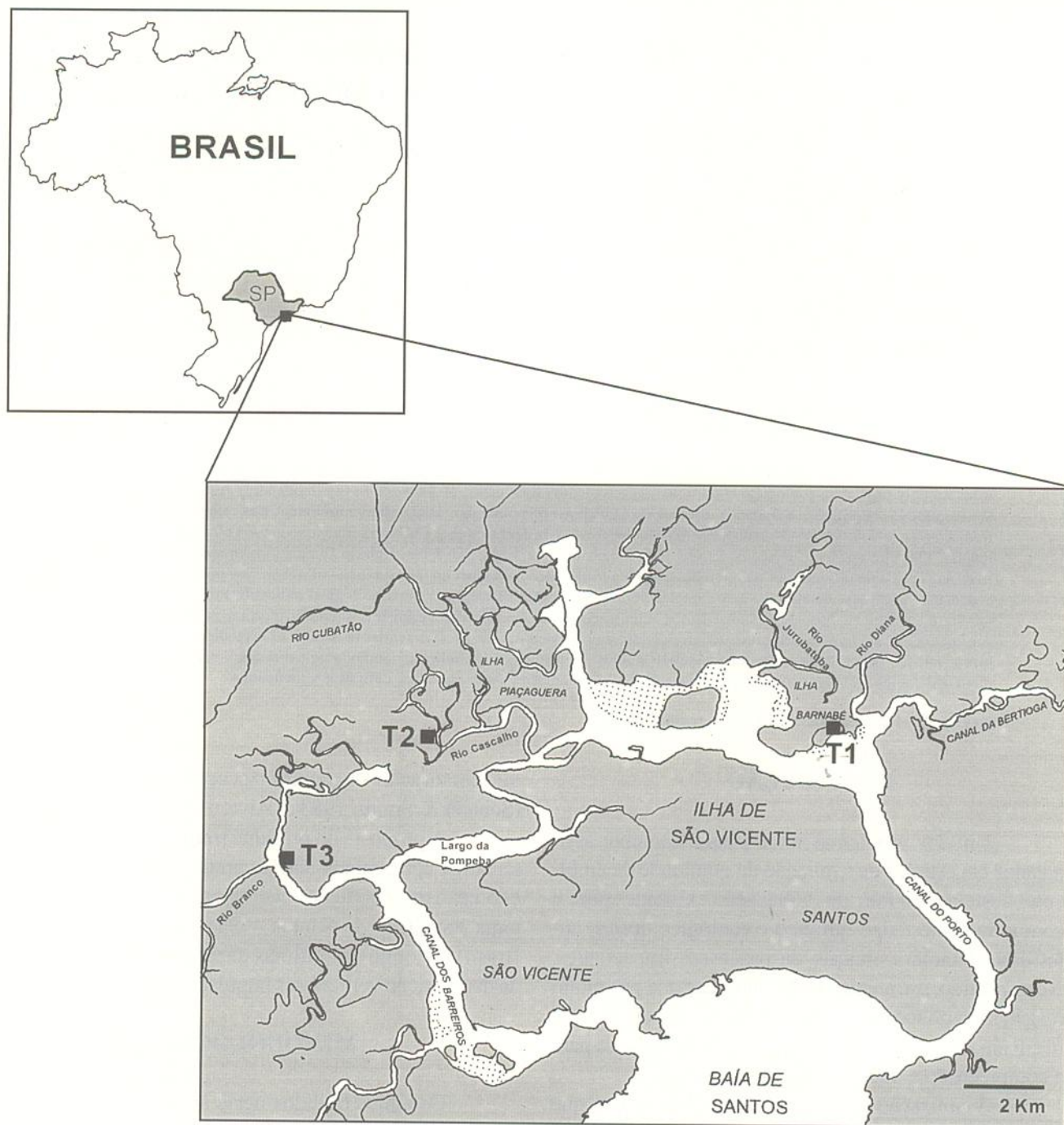


Figura 1- Mapa de localização dos Testemunhos 1, 2 e 3.

Para a obtenção das amostras sub-superficiais enterrou-se manualmente um cano de alumínio com 1,7 m de comprimento e 7 cm de diâmetro, aprofundando-o até atingir camadas sedimentares bastante compactadas. Após sua recuperação, os testemunhos foram abertos e sub-amostrados em intervalos

regulares de 5 cm a partir da superfície. Cada amostra retirada representa cerca de 2 cm de depósito sedimentar e possui um volume de aproximadamente 77 cm^3 (considerando $V_{\text{cilindro}} = p \cdot r^2 \cdot h$; onde $r = 3,5 \text{ cm}$ de raio; $h = 2 \text{ cm}$ de altura). No Testemunho 1 (Cubatão) foram obtidas 11 amostras sub-superficiais (correspon-

dente a 72 cm de coluna sedimentar amostrada); no Testemunho 2 (Santos), 14 amostras (correspondente a 95 cm de coluna sedimentar amostrada) e no Testemunho 3 (São Vicente), 10 amostras (correspondente a 65 cm de coluna sedimentar amostrada). O intervalo de sub-amostragem adotado foi determinado em função da taxa de sedimentação média estimada para a área do Canal de Bertiooga, equivalente a $1,7 \text{ cm.ano}^{-1}$, segundo dados publicados por Hoshika *et al.* (1996). Supondo-se que as áreas amostradas nesta pesquisa apresentem taxas de sedimentação com ordem de grandeza semelhantes, estima-se que os testemunhos analisados representem um período de cerca de 30 a 60 anos.

O pré-processamento das amostras biológicas consistiu no peneiramento a úmido dos sedimento em malha de 0,062 mm, secagem do material retido nesta malha em estufa à 60°C e posterior flotação em tetracloreto de carbono, obtendo-se assim a primeira separação dos foraminíferos, tecamebas e demais organismos mais leves que o restante do material sedimentológico. Após esta etapa, procedeu-se a triagem e identificação destes organismos. A taxonomia adotada seguiu a proposta de classificação publicada por Loeblich & Tappan (1988). As pranchas de identificação, assim como um Anexo Taxonômico, referentes às espécies tratadas neste trabalho são apresentados em Bonetti (2000).

Os estudos faunísticos foram conduzidos a partir da estimativa do número total de foraminíferos e tecamebas presentes nas amostras (densidade por amostra), do número total de espécies (riqueza), das abundâncias relativas de cada espécie e dos cálculos de diversidade de Shannon, equitatividade de Pielou e dominância de Simpson. Para a determinação destes índices foram recolhidos e armazenados em lâminas próprias para micropaleontologia os primeiros 100 espécimes encontrados. Este número se mostrou representativo da composição específica da amostra, dada a reduzida diversidade destas, conforme também observado anteriormente por Bonetti & Eichler (1997) em outra área estuarina.

Dada a possibilidade de interferência dos processos tafonômicos sobre as populações bentônicas durante a formação dos pacotes sedimentares, procurou-se analisar e discutir os resultados obtidos priorizando os aspectos da distribuição dos taxa mais freqüentes e abundantes ao longo de toda a coluna amostrada. Considerando, assim, a presença significativa destes, inclusive nas camadas mais profundas,

como evidência da menor propensão de suas testas aos processos de dissolução.

Os processos tafonômicos estão entre os principais agentes capazes de interferir negativamente na qualidade dos resultados. Vários autores têm demonstrado que nos ambientes parálisos ricos em matéria orgânica as diferenças entre a biocenose e a tanaocenose normalmente são acentuadas logo após os primeiros centímetros superficiais devido principalmente ao desaparecimento das testas mais frágeis por dissolução, promovendo assim uma redução da diversidade (Denne & Sen Gupta, 1989; Goldstein & Harben, 1993; Alve & Murray, 1994; Debenay *et al.*, 1996). Além da dissolução, o transporte de testas e a bioturbação também podem promover interferências nos registros ecológicos. Assim, embora ainda pouco se conheça sobre a amplitude dos efeitos tafonômicos nos estudos de reconstrução da história recente de ambientes costeiros, a ocorrência de alterações ao longo do tempo nas associações originais é uma possibilidade que deve ser cuidadosamente considerada durante as interpretações paleoecológicas.

DESCRIÇÃO DOS TESTEMUNHOS – RESULTADOS OBTIDOS

Testemunho 1 – Cubatão

O Testemunho 1 foi coletado em área de domínio de manguezal, próximo ao Rio Cascalho (Fig. 1). Embora esta região tenha sido historicamente colonizada por mangue, tal vegetação praticamente desapareceu em alguns pontos, restando em seu lugar extensos bancos de sedimentos areno-lamosos. Essa característica paisagística é típica da região denominada pela CETESB (1991) como **Manguezal Degradado e Poluído**. Estas são áreas que sofrem o aporte direto das águas poluídas provenientes do Pólo Industrial de Cubatão e tiveram seus ecossistemas totalmente destruídos em função da presença de grandes quantidades de metais pesados, organoclorados e hidrocarbonetos, entre outros poluentes. A impactação deste trecho iniciou-se na década de 50 e atingiu sua fase mais crítica nos anos 80. A partir dessa data o quadro de poluição local se estabilizou e mais recentemente vem sendo observado uma diminuição nos níveis de poluição em alguns setores. A reversão no quadro ambiental desta área está relacionada a intensificação do controle das fontes emissoras por parte dos órgãos públicos, o que vem lentamente permitindo que

alguns de seus ecossistemas iniciem um processo de auto-regeneração.

Em relação aos estudos faunísticos, ao longo do Testemunho 1 foram encontradas 25 espécies de foraminíferos bentônicos, 24 das quais aglutinantes e possivelmente endógenas. Apenas uma espécie calcária foi identificada, *Ammonia parkinsoniana*, que devido ao reduzido número de indivíduos encontrado (apenas 2) não foi considerada como representativa da biocenose local. As espécies mais abundantes foram *Trochammina inflata* (representada por 17% do total de indivíduos identificados) e *Ammotium cassis* (16%), seguidas por *Arenoparrella mexicana* (12%) e *Siphotrochammina lobata* (10%). Embora *A. cassis* apareça como o membro mais abundante da Família Lituolidae, *Ammotium salsum* e *Ammobaculites exiguus* também tiveram importante contribuição nas amostras superficiais, todavia suas identificações foram prejudicadas devido ao grande número de testas quebradas. Deste modo, reuniu-se dentro da Família Lituolidae todos estes exemplares que não puderam ser identificados a nível de espécie ou gênero. O mesmo procedimento foi adotado para os representantes da Família Trochamminidae.

A análise da distribuição vertical das espécies dominantes revelou um comportamento diferenciado destas ao longo do testemunho. Considerando inicialmente as duas maiores famílias, Trochamminidae e Lituolidae, conforme apresentado na figura 2, nota-se uma evidente alternância de dominância. O intervalo sedimentar entre 14 e 50 cm caracterizou-se pelo domínio dos trochaminídeos, enquanto os lituolídeos ocorreram preferencialmente nos primeiros 10 centímetros e entre 56 e 58 cm. Analisando-se as espécies mais abundantes observou-se que *Siphotrochammina lobata* e *Trochammina inflata* apresentaram a mesma tendência descrita para sua família (Trochamminidae). Já *Arenoparrella mexicana* manteve um comportamento mais homogêneo ao longo do testemunho, apresentando apenas dois picos de abundância relativa (nos intervalos 49-51 cm e 63-65 cm), com uma suave tendência crescente em direção às camadas mais profundas. O gênero *Ammotium* também apresentou valores de abundância relativa crescentes em direção a base do testemunho, sendo dominante a partir dos 35 cm de profundidade (Fig. 3 e 4).

Embora algumas espécies tenham aumentado em direção a base do testemunho, em termos médios ocorreu um empobrecimento faunístico, conforme demonstrado pelos quatro descritores ecológicos anali-

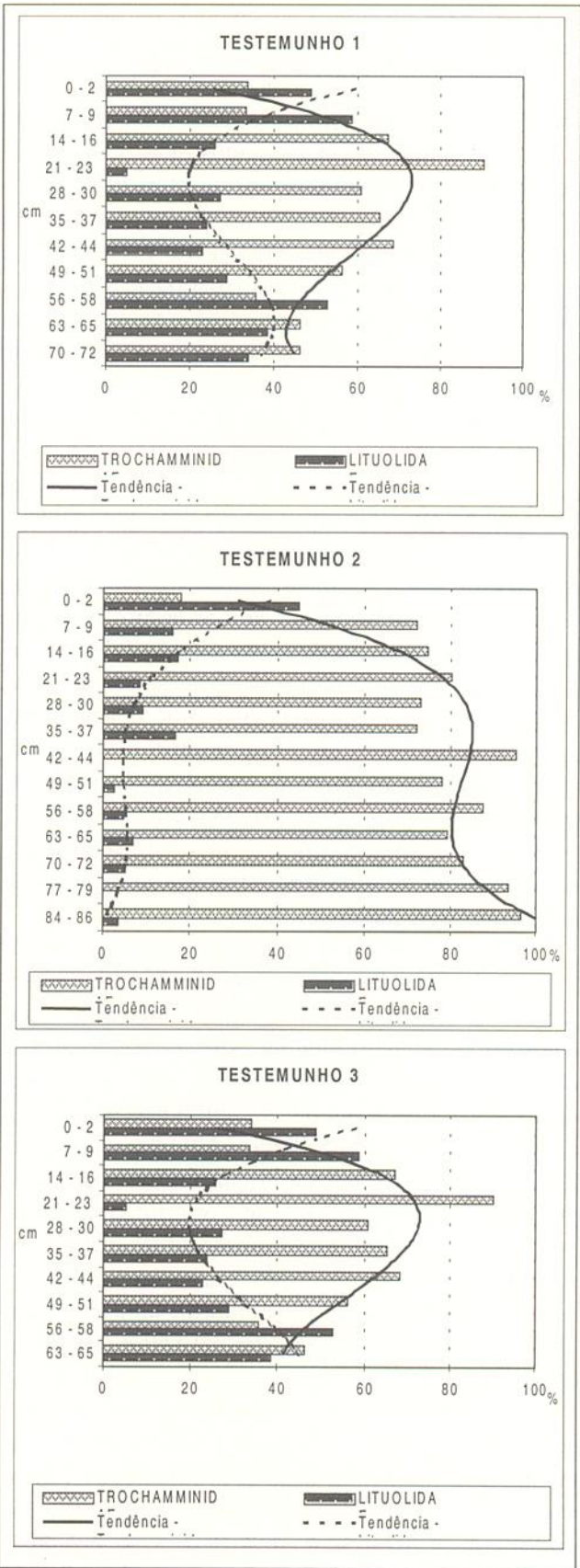


Figura 2 - Distribuição vertical das famílias Lituolidae e Trochamminidae ao longo dos testemunhos. Valores expressos em abundância relativa das populações em cada amostra.

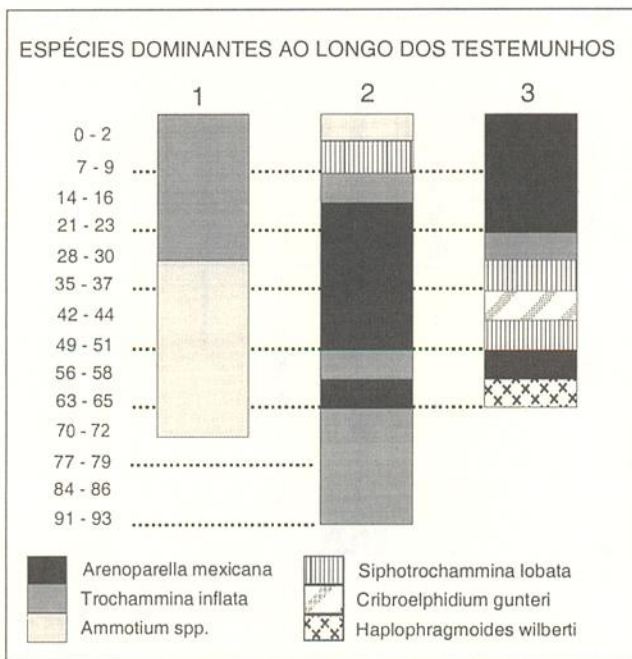


Figura 3 - Distribuição das espécies dominantes nos três testemunhos.

sados: densidade, riqueza, diversidade de Shannon e dominância de Simpson (Fig. 5). A riqueza e, em segundo lugar, a densidade, foram os parâmetros que melhor expressaram essas diferenças. O número de espécies encontrado nos primeiros 16 cm variou entre 15 e 18, caindo para menos de 10 nas amostras subsequentes. A densidade total de testas também foi ligeiramente superior nos primeiros 10 cm (em torno de 600 testas em 50 cm³ de sedimento de úmido), decrescendo até alcançar seu mínimo (134 testas em 50 cm³) no último intervalo amostrado (70 – 72 cm). O índice de diversidade (H') variou ao longo deste testemunho entre 1,60 e 2,42, enquanto para o índice de dominância foram obtidos valores entre 0,11 e 0,31.

A diversidade, assim como a dominância, apesar de obedecerem o mesmo padrão da riqueza, indicando também condições mais estressantes à biota em direção a base, tiveram suas curvas de tendência mais suavizadas. Isto se deve às características matemáticas embutidas no cálculo desses dois índices, que filtram variações numericamente pouco significativas. Assim, ambos atribuem pesos muito baixos às espécies representadas por poucos indivíduos (espécies consideradas raras nas amostras) e, portanto, sua presença ou ausência não alteram significativamente os valores finais obtidos. Embora estes recursos dos índices minimizem as diferenças entre as amostras, tendendo a homogeneizá-las, as variações (quando encontradas) podem ser consideradas mais robustas que as

expressas pelos valores brutos de riqueza e abundância relativa, uma vez que já foram filtradas as interferências promovidas por testas alóctones ou de distribuição pouco significativa. Este também é um meio de minimizar os efeitos decorrentes de eventuais processos tafonômicos.

Testemunho 2 - Santos

O Testemunho 2 foi amostrado na faixa marginal de manguezal existente próximo à entrada do Canal de Bertioga, adjacente à Ilha Barnabé e à desembocadura do Rio Sandi (Fig. 1). Esse é provavelmente o pacote sedimentar formado sob maior influência marinha, dada a sua proximidade do Canal do Porto, principal eixo de comunicação entre as águas da Baía de Santos e o Estuário Santista. Segundo CETESB (1991), essa área encontra-se dentro da classe **Manguezal Degradado**, sendo considerada representativa de um estado de impactação inferior ao das áreas representadas pelo Testemunho 1 (pertencente à classe **Manguezal Degradado e Poluído**). Embora os poluentes industriais oriundos do Complexo Industrial de Cubatão possam atingir essa região, as principais fontes de poluição nesse trecho têm sua origem nas atividades portuárias. Entre os tensores, destacam-se os derivados de petróleo e os particulados em suspensão, ricos em metais pesados e compostos orgânicos. Estes últimos são disponibilizados na coluna d'água principalmente durante as atividades de dragagem dos canais de navegação e depositam-se nos ambientes de menor circulação estuarina, em geral nos bancos marginais.

A análise da composição faunística demonstrou um maior grau de influência marinha na camada mais superficial (0 – 2 cm), onde 29% do total de indivíduos analisados apresentaram testas calcárias, sendo típicos de estuários com regimes meso ou polihalinos. Quatro gêneros destacaram-se nestas amostras: *Ammonia*, *Cribroelphidium*, *Helenina* e *Quinqueloculina*. A partir dos 7 cm de profundidade as testas calcárias praticamente desapareceram, passando a ocorrer apenas formas aglutinantes.

Ao longo do Testemunho 2 foram identificadas 29 espécies, sendo 23 delas aglutinantes. As três espécies dominantes foram *Trochammina inflata* (responsável por 19,4% do total de indivíduos analisados), *Arenoparrella mexicana* (18,5%) e *Siphotrochammina lobata* (10,3%), todas pertencentes a Família Trochamminidae. Este grupo manteve dominância em torno de 80% ao longo de toda a coluna sedimentar,

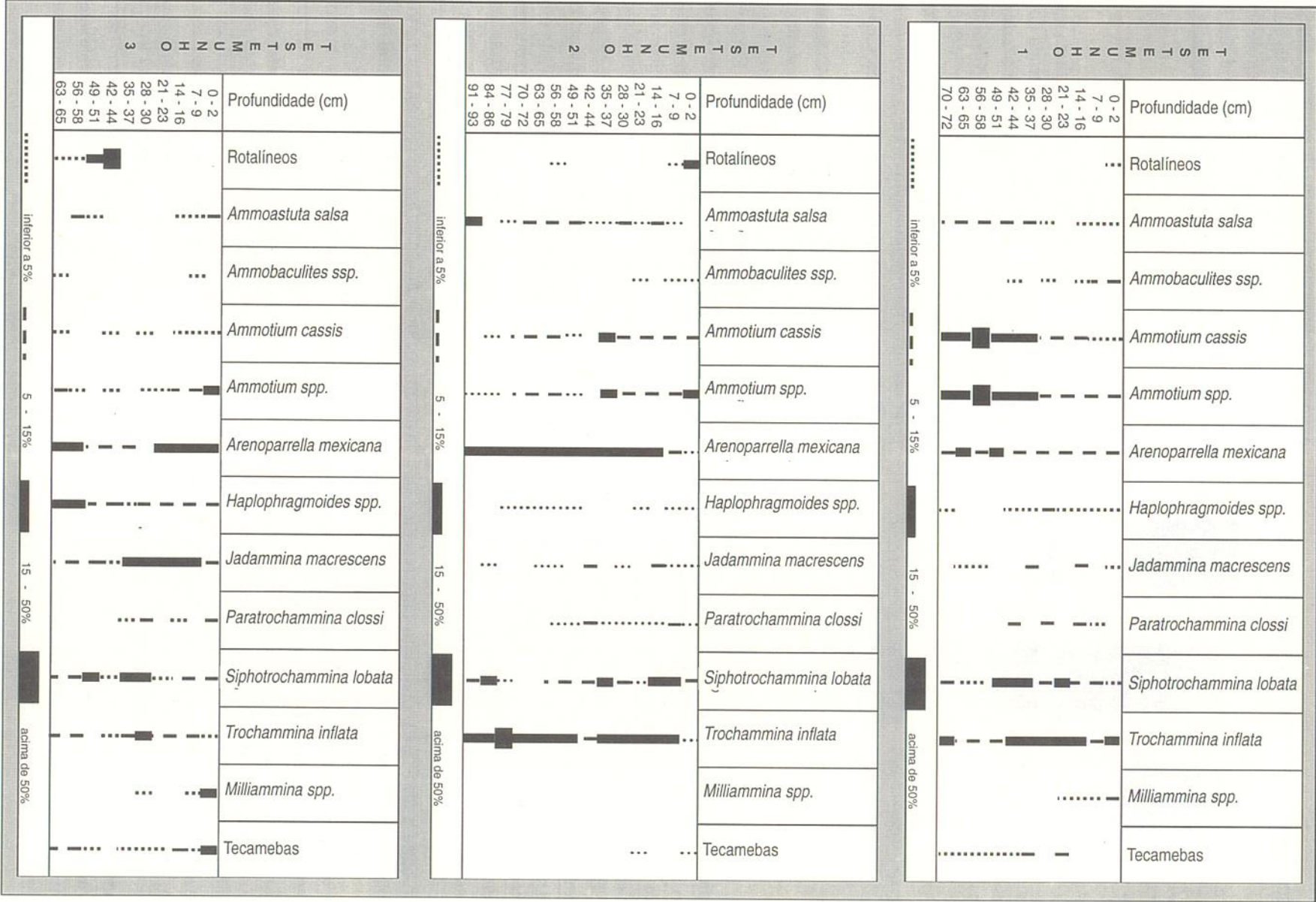


Figura 4 - Distribuição e abundância relativa das principais espécies ao longo dos testemunhos.

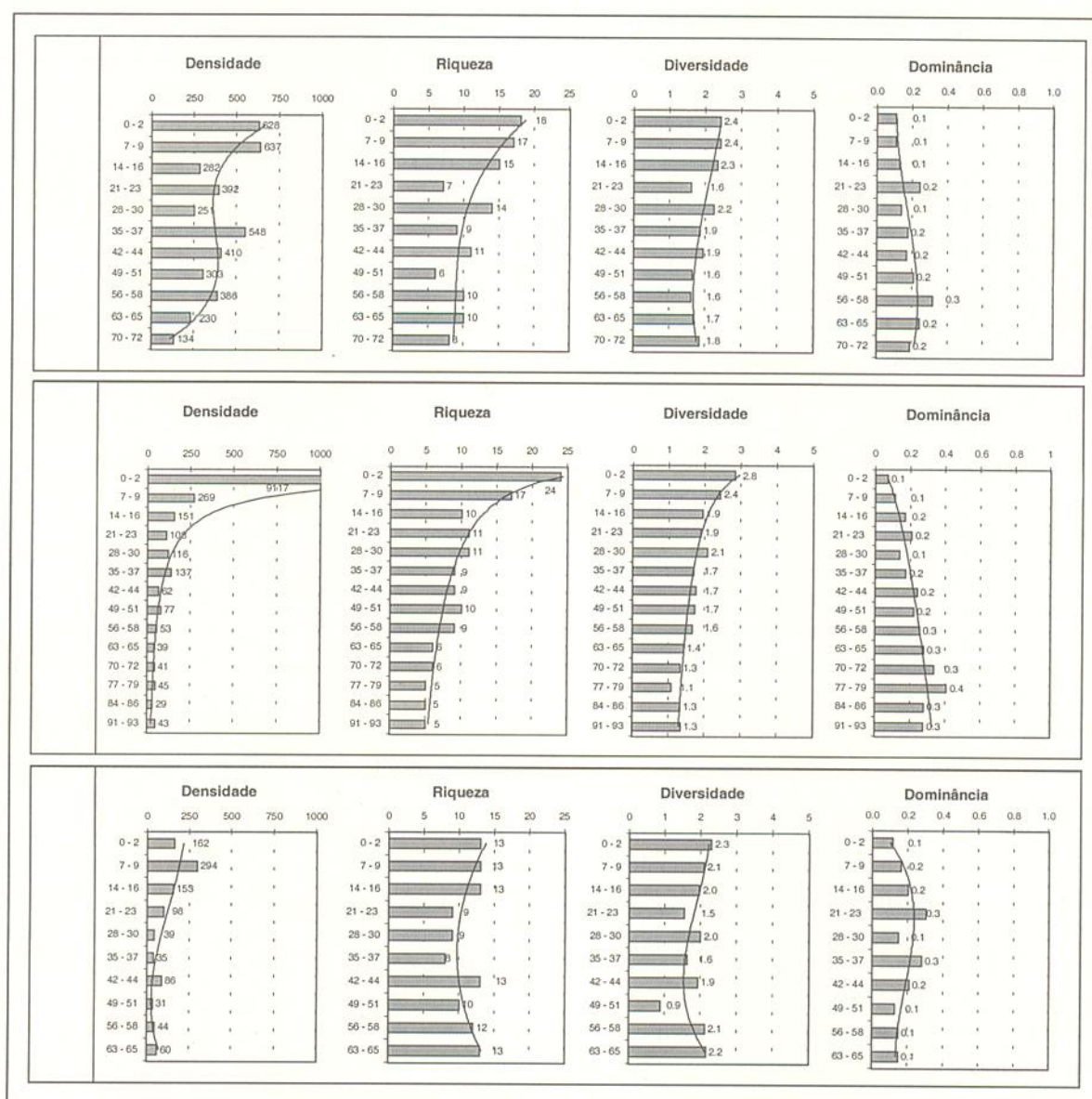


Figura 5 - Índices biológicos analisados em cada testemunho. A densidade refere-se ao número de testas em 50 cm³ de sedimento úmido. A diversidade foi calculada através do Índice de Shannon e a dominância pelo Índice de Simpson.

exceção feita aos primeiros dois centímetros superficiais, dominados pelos lituolídeos (Fig. 2 e 3). Os altos valores de abundância relativa dos trochaminídeos (típicos de áreas de manguezal) foram a principal diferença encontrada entre este testemunho e os demais. Em relação aos lituolídeos, embora a abundância relativa de *Ammotium cassis* neste testemunho não tenha sido tão alta quanto a observada no Testemunho 1, as oscilações identificadas em sua população ao longo do pacote sedimentar podem estar refletindo suaves mudanças temporais nas características hidrodinâmicas do porção superior do Estuário de Santos (Fig. 4). O gênero *Miliammina*, indicador de águas mais salobras, não foi observado em nenhuma amostra. As tecamebas

também foram pouco significativas (abundâncias relativas inferiores à 1%), embora este testemunho tenha sido coletado próximo a desembocadura de dois rios de porte médio.

O comportamento dos descritores ecológicos ao longo da coluna sedimentar foi semelhante ao observado para o Testemunho 1, com valores decrescentes de densidade, riqueza e diversidade em direção às camadas mais profundas (Fig. 5). A diversidade variou entre 1,1 (77 – 79 cm de profundidade) e 2,8 (primeiros 2 cm) e a dominância entre 0,1 (nos 9 primeiros cm) e 0,3 (a partir dos 56 cm de profundidade, exceção a um ligeiro acréscimo ocorrido em 77 – 79 cm).

Testemunho 3 – São Vicente

O Testemunho 3 foi amostrado na porção superior do Estuário de São Vicente, próximo à desembocadura do Rio Branco (Fig. 1). Este rio atravessa extensa área da planície costeira de Praia Grande, ainda relativamente conservada. Sua margem direita é praticamente toda colonizada por espécies arbóreas de mangue e a margem esquerda apresenta-se em alguns trechos bordejando o maciço cristalino da Serra do Mar. Os bosques de mangue desta área foram classificados por CETESB (1991) como **Manguezal**, classe representativa das áreas de mangue melhor preservadas na Baixada Santista. As fontes diretas de poluição neste trecho são predominantemente orgânicas, oriundas dos esgotos lançados *in natura* pelas vilas localizadas às margens do Estuário de São Vicente. Embora mais difícil de avaliar, as emissões atmosféricas oriundas das chaminés das indústrias localizadas no Pólo Industrial de Cubatão e dispersas pelo regime de ventos até esta área também podem ser consideradas fontes de impactação, estando eventualmente contribuindo com o aporte de metais pesados, ácidos e compostos orgânicos (Gutberlet, 1996).

Quanto a distribuição dos foraminíferos, foi encontrado um total de 25 espécies neste testemunho, sendo 1 porcelanácea, 5 hialinas e 19 aglutinantes. As espécies dominantes foram *Arenoparella mexicana* (representada por 24,9% do total de indivíduos identificados neste testemunho), *Jadammina macrescens* (13,9%) e *Haplophragmoides wilberti* (10,5%). Esta composição faunística indica que o pacote sedimentar analisado foi formado predominantemente sob o domínio do ecossistema manguezal. As testas calcárias, representadas por rotalíneos como *Criboelphidium gunteri* e *Ammonia parkinsoniana*, apresentaram distribuição restrita às maiores profundidades, com participação significativa apenas entre 42 e 51 cm, enquanto o gênero *Milliammina* e as tecamebas tiveram maior expressão nas amostras superficiais (Fig. 4). Apesar das diferenças faunísticas evidentes, não foi observada nenhuma grande variação nas características sedimentológicas entre estas amostras (42 – 44 e 49 – 51 cm) e as demais. Em termos gerais, todo o testemunho apresentou-se composto basicamente por lamas e com alta concentração de fragmentos vegetais, assemelhando-se neste aspecto ao Testemunho 1.

Neste testemunho as famílias mais abundantes também foram Lituolidae e Trochamminidae e, assim como observado nos testemunhos anteriores, houve uma nítida alternância de dominância entre elas

(Fig. 2). Os lituolídeos foram encontrados em maior número nos primeiros 9 cm e entre 56–58 cm, o mesmo padrão de distribuição encontrado no Testemunho 1. Nas demais profundidades, houve um predomínio dos trochaminídeos, com o máximo de dominância entre 21–23 cm.

Quanto aos descritores ecológicos, embora seus intervalos de variação tenham sido semelhantes aos dos demais testemunhos, eles não indicaram tendências evidentes de empobrecimento faunístico em direção às camadas mais profundas (Fig. 5). As densidades foram baixas ao longo de todo o pacote sedimentar (entre 31 e 294 testas em 50cm³ de sedimento úmido). A riqueza atingiu seu valor mínimo a 35 cm de profundidade (8 espécies), voltando, todavia, a aumentar em direção à base. O maior valor de riqueza (13 espécies) foi também o mais comum, ocorrendo nos primeiros 16 cm superficiais, entre 42-44 cm e na base do testemunho, à 65 cm de profundidade.

DISCUSSÃO

A análise integrada do comportamento dos diferentes descritores biológicos permitiu sintetizar as principais características ambientais das áreas estudadas e como estas vêm se transformando ao longo do tempo. Assim, os resultados obtidos no Testemunho 1, representando uma área sob influência do Pólo Industrial de Cubatão, sugerem que todo o pacote sedimentar analisado formou-se a partir da década de 70. Nesta época, a retificação de alguns canais estuarinos e a degradação completa da vegetação devido ao aporte de águas contaminadas levaram ao aparecimento de extensas áreas de bancos expostos, o que contribuiu para a rápida remobilização e deposição de grandes volumes de sedimentos. A alta abundância relativa de *Ammotium* spp., sobretudo na base deste testemunho (entre 72 e 35 cm), pode estar relacionada a esta situação ambiental. Segundo Scott *et al.* (1980), *Ammotium salsum* é uma espécie típica de áreas rasas e sujeitas a altas concentrações de material em suspensão. A dominância de *A. salsum* em testemunhos obtidos no Sistema Estuarino Lagunar de Cananéia-Iguape também foi interpretada por Duleba (1997) como indicadora de camadas depositadas em ambientes típicos de “planícies de lama”. De certa forma, a mesma condição foi observada em Cubatão, uma vez que com o desaparecimento do manguezal, as áreas que tiveram seus sedimentos expostos passaram a se comportar como planícies de

maré. No entanto, ao contrário do observado pelos autores citados acima, na área deste estudo *A. cassis* foi a espécie dominante.

Mais recentemente (referente aos primeiros 30 cm superficiais do Testemunho 1), *Ammotium cassis* e outras espécies afins (*Ammoastuta salsa* e *Arenoparrella mexicana*) passaram a ter suas abundâncias relativas reduzidas e espécies típicas do manguezal como *Trochammina inflata* e *Siphotrochammina lobata* tornaram-se dominantes. Tal fato concorda com situação ambiental observada no momento da coleta, quando vários indivíduos jovens de mangue foram vistos, indicando um início de regeneração do ecossistema manguezal.

Embora a intensidade e a frequência das mudanças ambientais induzidas nesta área sejam de tal ordem de grandeza que tornam proibitiva qualquer cálculo de taxa de sedimentação média para o local, a eventual confirmação que todo o pacote sedimentar formou-se após os anos 70, representando assim uma deposição de 70 cm de sedimentos nos últimos 25 anos, levaria a uma taxa estimada de 2,8 cm/ano (ou seja, bem superior à encontrada por Hoshika *et al.*, 1996 para o Canal de Bertiooga: 1,7 cm/ano). Tal observação dá uma idéia da magnitude das mudanças nos padrões de circulação e sedimentação estuarinas promovidas pelo Pólo Industrial de Cubatão e pelas atividades portuárias nas últimas décadas. Resultados concretos sobre esta questão, no entanto, só poderão ser alcançados através de estudos mais aprofundados, envolvendo por exemplo técnicas de datação a partir da taxa de decaimento do ^{210}Pb .

Na área do Canal do Porto (representada pelo Testemunho 2), por sua vez, não foram evidenciadas modificações ambientais muito significativas durante o período de formação do testemunho analisado. A composição faunística manteve, em termos gerais, um padrão relativamente homogêneo e típico de áreas marginais, composta pela somatória de espécies comuns em canais estuarinos rasos ou bancos expostos (lituolídeos) e espécies de manguezais (trochaminídeos). A ocorrência de *Ammotium* ao longo de toda a coluna e as oscilações em suas populações podem estar refletindo a influência das dragagens realizadas nos canais de navegação. Estas dragagens promovem mudanças no padrão de sedimentação natural e podem ser responsáveis por picos nos valores de turbidez. Outra possibilidade é a ocorrência de variações inter-anuais na vazão fluvial que atinge este trecho do sistema estuarino, fazendo com que em anos

mais chuvosos haja um aumento na concentração de materiais em suspensão carregados pelos rios e levando, assim, ao favorecimento das populações de *Ammotium*. No entanto, estas variações no balanço hídrico não se confirmaram quando procurou-se correspondência entre o aumento das populações de *Ammotium* e das populações de *Miliammina* ou tecamebas (indicadores típicos de aporte fluvial). A ausência ou participação pouco significativa destes taxa indicam pequena influência fluvial neste trecho ao longo do período de sedimentação analisado.

Chamou também a atenção no Testemunho 2 a presença de espécies calcárias apenas nos primeiros centímetros analisados. A primeira hipótese levantada foi que estas testas, embora pertençam à biocenose local (conforme constatado pela presença de indivíduos vivos nas amostras superficiais, segundo apresentado por Bonetti, 2000), sejam destruídas mais facilmente que as aglutinantes devido aos processos tafonômicos que iniciam-se logo após a morte. Assim, o aumento da abundância relativa de aglutinantes nas camadas mais profundas seria apenas o reflexo da seleção das testas mais resistentes à dissolução. Esse tema tem sido bastante discutido na literatura e o trabalho realizado por Goldstein & Harben (1993) nos marismas da Georgia (EUA) pode ser um exemplo de situação semelhante à encontrada neste testemunho. Segundo esses autores, todas as testas calcárias e algumas aglutinantes desaparecem já nos primeiros 3 cm de profundidade, restando a partir daí apenas as espécies mais resistentes (*A. mexicana*, *T. inflata*, *H. wilberti*, *Textularia palustris* e *Reophax nana*). Outros trabalhos que discutem as alterações das populações ao longo dos testemunhos como resultado da perda das testas mais frágeis são Denne & Sen Gupta (1989), Boltovskoy (1991) e Loubere *et al.* (1993).

No entanto, o fato de populações significativas de *Ammonia* e *Criboelphidium* terem sido encontradas nas camadas mais profundas do Testemunho 3 (inclusive associadas a sedimentos lamosos e ricos em matéria orgânica) e também em outros testemunhos obtidos em ambientes de deposição semelhantes (por exemplo Duleba, 1997), pode ser um indício contraditório à hipótese de perda total destas testas como resultado dos processos de dissolução. Propõe-se, assim, que a presença de formas calcárias apenas nas camadas mais superficiais esteja relacionada a um recente aumento da influência marinha no local. Esta, por sua vez, pode ser decorrente do alargamento do canal de

circulação (através das dragagens), o que facilitaria a aproximação das águas marinhas que penetram pelo Canal do Porto.

Por fim, o Testemunho 3, obtido no Estuário de São Vicente, foi o único no qual pôde ser discutida uma mudança na razão mar/rio ao longo de sua formação. Parece que durante a deposição das camadas mais antigas a influência marinha a montante do Estuário de São Vicente era mais significativa que a atual (evidenciada pela maior contribuição de hialinos). Essa situação mudou a partir dos 37 cm, quando as testas aglutinantes passaram a ser dominantes, sugerindo um aumento progressivo do confinamento local, provavelmente relacionado ao assoreamento deste trecho do Estuário de São Vicente. Embora a continentalização dos ambientes marinhos de transição seja um fenômeno natural, ela pode estar sendo acelerada, neste caso, pelo desmatamento das margens estuarinas e pela grande taxa de ocupação urbana ocorrida na área a partir da década de 70, assim como pelo lançamento de grandes volumes de particulados através dos canais de drenagem pluvial e dos esgotos domésticos *in natura*. Vale contra-argumentar, no entanto, que a impactação mencionada pode estar desempenhando papel secundário na deposição do pacote sedimentar estudado. Um processo de confinamento semelhante (ou ainda mais intenso) pode estar sendo provocado pela migração da posição do talvegue do Rio Branco ou, ainda, pela progradação do banco sobre o qual se formou o manguezal amostrado em direção ao Estuário de São Vicente, sendo ambos fenômenos bastante comuns em estuários de planície costeira (conforme discutido por Bonetti Filho, 1996).

CONCLUSÃO

Este artigo consiste numa primeira tentativa de compreender, do ponto de vista ecológico, a evolução ambiental sofrida pelo Sistema Estuarino de Santos - São Vicente durante as últimas décadas de impactação, sendo todavia necessário um número maior de estudos para que se possa refinar as conclusões alcançadas até o momento.

Em termos gerais, os três testemunhos analisados apresentaram composição faunística típica de áreas costeiras abrigadas e submetidas a regimes hídricos

mixohalinos, assumindo-se, portanto que tenham sido formados sob o domínio de condições ambientais semelhantes às atuais. Todavia algumas variações na distribuição das espécies encontradas ou alternâncias de dominância ocorridas ao longo da coluna sedimentar permitiram levantar algumas hipóteses a respeito de prováveis transformações ou oscilações ambientais ocorridas em cada uma das áreas estudadas. Assim, o fato de ter sido observado um padrão geral crescente na densidade e riqueza de foraminíferos em direção as camadas mais superficiais no testemunho coletado na área sob influência do Pólo Industrial de Cubatão, pode ser um indício da melhoria ambiental que vem sofrendo este trecho do sistema estuarino. O estudo comparativo entre a distribuição das populações de lituolídeos e trochaminídeos também demonstrou neste caso ser um bom indicador da retomada da vegetação de mangue que vem ocorrendo mais recentemente na área. Já no Canal do Porto, as variações observadas nas populações de lituolídeos ao longo da coluna, em especial do gênero *Ammotium*, foram relacionadas as oscilações na quantidade de material em suspensão nas águas estuarinas, as quais por sua vez podem ser indicadoras dos efeitos das dragagens periódicas realizadas neste canal sobre as populações bentônicas marginais. Por fim, o balanço entre a importância de testas calcárias e aglutinantes nas amostras analisadas foi utilizado como indicador da razão entre o domínio marinho e fluvial. No caso do Estuário de São Vicente esta análise sugeriu que este corpo d'água vem sofrendo um rápido confinamento, provavelmente em decorrência do assoreamento provocado pelo desmatamento de suas margens, pela alta carga de esgotos que entra *in natura* no sistema e pela baixa hidrodinâmica que o caracteriza.

Em suma, as considerações e hipóteses levantadas nesta pesquisa ressaltam o grande potencial que o uso de bioindicadores representa para os estudos de avaliação ambiental, assim como para o estudo das transformações sofridas pelos ambientes costeiros ao longo do tempo. Todavia, é importante ressaltar que ainda existem algumas restrições metodológicas que necessitam ser consideradas durante as interpretações e que apenas com o avanço do conhecimento do comportamento ecológico dos grupos de organismos estudados se poderá chegar a conclusões mais definitivas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alve, E. 1991a. Foraminifera, climatic change and pollution: a study of late Holocene sediments in Drammensfjord, southeast Norway. **The Holocene**, 1(3):243-261.
- Alve, E. 1991b. Benthic foraminifera in sediment cores reflecting heavy metal pollution in Sørdfjord, Western Norway. **Journal of Foraminiferal Research**, 21(1):1-19.
- Alve, E. & Murray, J.W. 1994. Ecology and taphonomy of benthic foraminifera in a temperate mesotidal inlet. **Journal of Foraminiferal Research**, 24(1):18-27.
- Boltovskoy, E. 1991. On the destruction of foraminiferal tests (laboratory experiments). **Révue de Micropaléontologie**, 34(1):19-25.
- Bonetti, C. 2000. **Foraminíferos como bioindicadores do gradiente de estresse ecológico em ambientes costeiros poluídos. Estudo aplicado ao Sistema Estuarino de Santos – São Vicente (SP, Brasil)**. São Paulo. 229p. + Anexo. Tese de Doutorado em Oceanografia Biológica e em Ambientes e Paleoambientes Oceânicos. Instituto Oceanográfico - Universidade de São Paulo e Université d'Angers, France.
- Bonetti, C. & Eichler, B.B. 1997. Benthic foraminifera and thecamoebians as indicators of river-sea gradients in the estuarine zone of Itapitangui River, Cananéia/SP, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 69 (4): 545-563
- Bonetti Filho, J. 1996. **Sensoriamento Remoto aplicado à análise de ambientes costeiros impactados - Avaliação metodológica: Baixada Santista**. São Paulo. 260p. + Anexo. Tese de Doutorado, Departamento de Geografia - FFLCH, Universidade de São Paulo.
- CETESB (Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental). 1983. **Baixada Santista: estudo dos manguezais**. São Paulo, CETESB, 116p. + Anexos.
- CETESB (Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental). 1991. **Avaliação do estado de degradação dos ecossistemas da Baixada Santista – SP**. São Paulo, CETESB, 32 p. + Mapas.
- Debenay, J.P.; Pawlowski, J. & Decrouez, D. 1996. **Les Foraminifères actuels**. Paris, Masson, 329p.
- Denne, R.A. & Sen Gupta, B.K. 1989. Effects of taphonomy and habitat on the record of benthic foraminifera in modern sediments. **Palaos**, 4: 414-423.
- Duleba, W. 1997. **Variações nas associações de tecamebas, foraminíferos e ostracodes sub-recentes da região lagunar de Cananéia – Iguape, SP**. São Paulo, 237 p. Tese de Doutorado em Oceanografia Biológica, Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo.
- Goldstein, S.T. & Harben, E.B. 1993. Taphofacies implications of infaunal foraminiferal assemblages in a Georgia salt marsh, Sapelo Island. **Micropaleontology**, 39(1):53-62.
- Gutberlet, J. 1996. **Cubatão. Desenvolvimento, Exclusão Social e Degradação Ambiental**. São Paulo, EDUSP / FAPESP, 244p.
- Hoshika, A.; Suguio, K.; Hirata, S.; Tessler, M.G.; Mishima, Y. & Mahiques, M.M. 1996. Variações decadais nos teores de elementos metálicos nos sedimentos do estuário santista. In: SIMPÓSIO SOBRE OCEANOGRAFIA, 3., 1996, São Paulo. **Boletim de Resumos...** São Paulo, Instituto Oceanográfico-USP, p. 353.
- Loeblich, A. R. & Tappan, H. 1988. **Foraminiferal genera and their classification**. New York, Van Nostrand Reinold, 2 vols, 970p. + 212p. + 847 pranchas.
- Loubere, P.; Gary, A. & Lagoe, M. 1993. Generation of the benthic foraminiferal assemblage: theory and preliminary data. **Marine Micropaleontology**, 20:165-181.
- Rodrigues, F.O.; Lamparelli C.C.; Moura, D.O. & Bruni, A.C. 1995. Os manguezais da Baixada Santista: uma proposta de classificação. **Ecologia Brasiliensis**, 1:421-437.
- Schafer, C.T. & Smith, J.N. 1983. River discharge, sedimentation and benthic environmental variations in Miramichi Inner Bay, New Brunswick. **Canadian Journal of Earth Sciences**, 20(3):388-398.
- Scott, D.B.; Schafer, C.T. & Medioli, F.S. 1980. Eastern Canadian Estuarine Foraminifera: a framework for comparison. **Journal of Foraminiferal Research**, 10(3):205-234.