

ECOLOGIA

RENATA FABREGA GONÇALVES

**FORAMINÍFEROS EM TESTEMUNHO DO
MANGUEZAL DO CANAL DE BERTIOGA
(SP): PADRÕES DE ESTRUTURA DE
COMUNIDADES APLICÁVEIS EM
RECONSTRUÇÕES PALEOAMBIENTAIS**



Rio Claro
2013

RENATA FABREGA GONÇALVES

FORAMINÍFEROS EM TESTEMUNHO DO MANGUEZAL DO CANAL
DE BERTIOGA (SP): PADRÕES DE ESTRUTURA DE
COMUNIDADES APLICÁVEIS EM RECONSTRUÇÕES
PALEOAMBIENTAIS

Orientador: Prof. Dr. Décio Luis Semensatto-Junior

Co-orientador: Prof. Dr. Dimas Dias Brito

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Instituto de Biociências da Universidade
Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” -
Câmpus de Rio Claro, para obtenção do grau
de ecóloga.

Rio Claro
2013

574.526 Gonçalves, Renata
G635f Foraminíferos em testemunho do manguezal do Canal de Bertioga
(SP) : padrões de estrutura de comunidades aplicáveis em reconstruções
paleoambientais / Renata Gonçalves. - Rio Claro, 2013
25 f. : il., figs., tabs., fots.

Trabalho de conclusão de curso (Ecologia) - Universidade Estadual
Paulista, Instituto de Biociências de Rio Claro
Orientador: Décio Luís Semensatto-Junior
Coorientador: Dimas Dias Brito

1. Ecologia aquática. 2. Ecologia de comunidades. 3. Análise
ambiental. 4. Estuário. I. Título.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus por ter me dado esta oportunidade de cursar uma faculdade. São várias as condições que temos e situações que somos colocados, mas que muitas vezes deixamos de ser gratos, por parecerem comuns. Poder vivenciar esses anos foi um dos presentes mais belos que a vida me deu... E aqui vou tentar colocar em palavras todo o carinho e gratidão que sinto.

Ao orientador Prof. Dr. Décio Luis Semensatto Junior, por toda ajuda e conhecimentos transmitidos e ao co-orientador Prof. Dr. Dimas Dias Brito, pela ajuda e por oferecer a estrutura necessária, fazendo com que fosse possível o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Programa de Formação de Recursos Humanos em Geociências e Ciências Ambientais Aplicadas ao Petróleo – PRH 05/UNESP, ao PFRH/Petrobrás e ao PRH/ANP – FINEP/MCT, pelo apoio acadêmico e financeiro, indispensáveis à realização deste trabalho de conclusão de curso, bem como ao Hermes Dias Brito, pela obtenção das fotografias no MEV.

À minha mãe por ser uma mãe de verdade e cumprir tão bem este papel; ao meu pai por ter feito com que tudo isso fosse possível, pelo apoio e compreensão; ao meu irmão, minhas tias, avó e primos, por todo amparo que se espera de uma família.

Aos meus anjos: Tay, Folga, Rafa, Melina e Maria. Minha gratidão e amor por cada uma é imenso. Obrigada por me ajudar em cada dificuldade, me escutar e estar sempre ao meu lado. Vocês fizeram com que eu nunca me sentisse sozinha.

Ao grupo de estudos de foraminíferos: Nivea, Buffa e After, as quais eu devo este momento, pois sem elas talvez não tivesse suportado. Pela amizade que se formou, até toparia passar por isso tudo de novo. Obrigada por tudo!

À República Maria Cuervo, na formação de 2009, por ter me ensinado na prática o que é conviver e respeitar pessoas diferentes; por me fazer virar uma pessoa adulta, mas sem perder a alegria da juventude; e por me dar amigas que vão ficar para sempre: Ste, Pri, Bauru e Paty.

À sala Eco 09, com quem dividi grande parte desta caminhada, conheci lugares maravilhosos e pude contar por inúmeras vezes. Em especial algumas pessoas que jamais esquecerei: Alana, Macia, Simps, Bituca, Marina, After, Nivea, Buffa, Emi, Camilinha e Xuxa.

Às Deliders, por fornecer os momentos para eu me desligar de todos os problemas, praticando um esporte que hoje sou apaixonada, fazer com que eu fosse uma pessoa mais feliz e por me aproximar de pessoas como a Le, Amandinha e Raissa.

Àqueles que forneceram ajuda técnica para este trabalho: Rafa pela edição, Bituca pela ajuda com seus dons quantitativos e July com seus dons computacionais. Muito obrigada!

E por fim, mas não menos importantes, a todos os meus amigos, que não caberia escrever os nomes aqui. Agradeço muito a quem esteve ao meu lado, dividiu alegrias, participou dos momentos importantes, que estava juntos na balada. Cada uma dessas pessoas contribuiu para que eu tivesse os melhores anos da minha vida!

RESUMO

Atualmente, há uma procura por conhecimentos que se apliquem à solução dos problemas causados pelas atividades petrolíferas envolvendo o meio ambiente, como a preservação da biodiversidade e o monitoramento e gestão dos ecossistemas. Os foraminíferos (Protista) são utilizados como uma importante ferramenta para a caracterização ambiental, por responderem rapidamente às variações físico-químicas e indicarem as alterações ocorridas no local. O objetivo do trabalho é criar modelos de composição de comunidades de foraminíferos através da triagem das amostras de subsuperfície obtidas pela coleta de um testemunho no Canal de Bertioiga, Baixada Santista (SP), procurando entender a influência das variações ambientais ao longo do tempo sobre a presença de espécies indicadoras, bem como fazer reconstruções paleoambientais da área. Um testemunho de 80 cm foi retirado na borda externa de manguezal adjacente ao Canal de Bertioiga, não distante da confluência com o Rio Itapanhaú. São apresentados valores de abundância, equitatividade, diversidade e riqueza de espécies obtidas em nove amostras ao longo do testemunho. A parte inferior do testemunho é marcada por espécies calcárias (rotalídeos e miliolídeos), com domínio de *Ammonia* (Biofácies 1) e as partes intermediária e superior essencialmente contêm espécies aglutinantes (Biofácies 2 e 3, esta última dominada por espécies de *Ammotium*). O estudo qualitativo e quantitativo da microfauna de foraminíferos presentes no testemunho revela que nas últimas dezenas de anos a área de amostragem passou da condição de faixa marginal infra-litorânea sob significativa influência marinha para a condição de pântano inter-litorâneo coberto por vegetação de mangue. Tal mudança indica que o local sofreu um processo de progradação sedimentar, fenômeno que pode ter sido pontual, localizado, ou reflexo de uma queda relativa do nível do mar em nível regional.

Palavras-chave: Ecologia de comunidades. Análise ambiental. Estuário.

ABSTRACT

Nowadays, there is a search for knowledge that could be applied in the solution of the problems caused by petrolific activities involving the environment, like the biodiversity preservation and the ecosystems monitoring and management. Foraminifera (Protista) are used as an important tool to the environment characterization, because they answer quickly to the physico-chemical variations and indicate local alterations. The goal of this job is to create models of foraminiferal communities composition through the screening of subsuperficial samples obtained from a core collected from Bertioga Channel, Baixada Santista (SP), trying to understand the influence of the environmental variations along the time upon the indicator species presence, as well as making paleoenvironmental reconstructions of the area. A 80 cm-core was removed in the outer edge of marsh adjacent to Bertioga Channel, not far from the confluence with the Itapanhaú River. There are presented in abundance, equitability, diversity and species richness obtained in nine samples along the sediment. The lower part of the core is composed by calcareous species (rotalideos and miliolideos) with domain *Ammonia* (Biofacies 1) and the intermediate and upper parts contain mainly agglutinated species (Biofacies 2 and 3, which is dominated by species of *Ammonium*). The qualitative and quantitative study of the microfauna of foraminifera present in the core reveals that in recent decades the sampling area passed from a condition of infra-marginal strip under significant coastal marine influence for the condition of inter-coastal swamp covered with mangrove vegetation. This change indicates that the site has undergone a process of sediment progradation, a phenomenon that may have been timely, localized, or a reflection of a relative fall in sea level at the regional level.

Keywords: Community ecology. Environmental analysis. Estuary.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	6
1.1 ÁREA DE ESTUDO.....	7
1.2 OBJETIVO.....	8
2 MATERIAIS E MÉTODOS	9
2.1 COLETA.....	9
2.2 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS.....	10
2.3 TRIAGEM DAS TECAS.....	10
2.4 IDENTIFICAÇÃO TAXONÔMICA.....	11
2.5 ANÁLISE DE DADOS.....	11
3 RESULTADOS	14
3.1 DESCRIÇÃO DO TESTEMUNHO.....	14
3.2 DADOS BIÓTICOS.....	14
4 DISCUSSÃO	19
5 CONCLUSÃO	21
REFERÊNCIAS	22

1 INTRODUÇÃO

Os foraminíferos são protistas sarcodinos, ou seja, organismos unicelulares, eucariontes, pertencentes à classe Rhizopoda, com hábitos bentônico e planctônico, predominantemente inframilimétricos, apresentando tecas geralmente entre 50 e 800 μm ; são principalmente marinhos, podendo ocorrer também espécies de água doce ou salobra. Possuem pseudópodos que servem tanto para a alimentação como para a locomoção, sendo a teca a principal estrutura para a classificação taxonômica, variando quanto à composição (orgânica, aglutinante ou calcária), formato, arranjo de câmaras, entre outros.

Estes organismos existem desde o início da Era Fanerozóica, Cambriano, cerca de 570 milhões de anos atrás. Os estudos científicos destes elementos microbióticos iniciaram-se no século XVIII, ganhando maior impulso no século XX quando de sua associação com a geologia do petróleo (correlação e datação de camadas sedimentares; estudos paleoecológicos). No campo ecológico/ambiental passaram a ser de grande uso na caracterização de ambientes litorâneos e marinhos modernos. Algumas características deste grupo orgânico, tais como a grande abundância, alta sensibilidade a mudanças ambientais e boa preservação das tecas, fazem destes microrganismos ótimos indicadores ambientais (YANKO; KRONFELD; FLEXER, 1994).

No estudo da hidrodinâmica estuarina e do estado de conservação de ecossistemas costeiros, os foraminíferos são muito importantes (ALVE, 1995; DULEBA; DEBENAY, 2003; SEMENSATTO-JR, 2006). As variações da salinidade, da frequência de inundação da zona entremarés (relacionada à altitude da área), o pH, a disponibilidade de cálcio e a presença/porte de vegetação são os principais controladores da distribuição das espécies (DEBENAY; GUIRAL; PARRA, 2002; MURRAY, 2006; HORTON; MURRAY, 2007). Em manguezais elas são distribuídas em zonações verticais relativamente bem definidas com relação ao nível médio do mar, bem como zonações relacionadas à vegetação dos bosques. Estas zonas podem variar ligeiramente entre manguezais, principalmente em relação aos regimes de maré e de salinidade, mas parecem manter-se semelhantes a nível global (SCOTT; MEDIOLI, 1980; SEMENSATTO-JR et al., 2009).

O estresse ambiental sobre a microbiota é refletido pela redução da biodiversidade local (LAUT et al., 2007). Também é a partir da distribuição de foraminíferos, relacionada às variáveis ambientais, que estudos se baseiam para extrapolar as mudanças futuras que podem ocorrer no estuário, como feito por Yanko, Kronfeld e Flexer (1994) e Eichler et al. (2007).

Pesquisas sobre a composição de comunidades de foraminíferos de subsuperfície concentraram-se em regiões temperadas e sub-tropicais, enquanto que em regiões tropicais os estudos têm maior enfoque em assembléias de superfície (BERKELEY et al., 2009). Duleba & Debenay (2003) e Semensatto-Jr. (2006) discutiram a hidrodinâmica de dois estuários relativamente livres de poluição antrópica a partir da distribuição de foraminíferos. O uso de padrões de distribuição das assembleias de foraminíferos e tecamebas facilitou a modelagem, já que a complexa e altamente variável circulação da água faz com que seja difícil se basear apenas em dados hidrológicos e químicos.

O estudo a partir de testemunhagem de sedimento (amostras de subsuperfície) oferece dados importantes para a reconstrução paleoambiental, onde a relação entre a abundância relativa de foraminíferos e os dados ambientais é quantificada por meio de análises estatísticas e então aplicados em testemunhos para assim obter reconstruções dos níveis do mar no passado (LEORRI et al., 2010). A partir dos foraminíferos é possível monitorar mudanças na interface água-sedimento, o que possibilita o reconhecimento de fácies através de análises quantitativas (EICHLER et al., 2007).

Os manguezais fazem parte da Mata Atlântica e chegam a ocupar 70% da linha da costa das regiões tropicais e subtropicais (BOLTOVSKOY; VIDARTE, 1977). Sua vegetação é adaptada à água salobra, substrato lodoso, geralmente pouco consolidado, alagado, em condições de difícil fixação para as raízes e baixo teor de oxigênio (SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE / INSTITUTO FLORESTAL, 2005). Possuem alta produtividade e baixa diversidade autóctone de espécies, além de apresentarem importância cultural e econômica para a população que utiliza seus recursos. É um ecossistema de grande relevância, por apresentar recursos necessários à sobrevivência e reprodução de muitas espécies animais de outros ecossistemas, aquáticos e terrestres, sendo considerado importante transformador de matéria orgânica em nutrientes e gerador de bens e serviços com alto valor agregado, como a filtração das águas estuarinas, amortização de impactos ambientais e espaço de reprodução e nidificação de um grande número de espécies (COSTANZA et al., 1997).

1.1 ÁREA DE ESTUDO

A área que inclui o ponto de coleta do material aqui estudado é o Canal de Bertioga, norte da Baixada Santista, próximo à confluência com o Rio Itapanhaú. Tal canal possui 25 km de extensão, sendo o seu maior contribuinte o Rio Itapanhaú, que apresenta sua desembocadura muito próxima à cidade de Bertioga (MIRANDA; CASTRO; KJERFVE, 1998). É um sistema

estuarino raso, com marés semidiurnas (EICHLER et al., 2006). Devido à considerável modulação quinzenal da maré, o estuário alterna em ser altamente estratificado durante a maré de quadratura e moderadamente estratificado durante as marés de sizígia (MIRANDA; CASTRO; KJERFVE, 1998). O clima é quente e úmido, sendo a umidade relativa do ar anual em torno de 80% e temperatura média anual de 22°C. A precipitação média anual varia entre 2.000 e 2.500 mm. (SANTOS, 1965). O município se enquadra como Clima subtropical úmido com verão quente (*Cfa*), segundo a classificação climática de Köppen-Geiger.

O Canal de Bertioga vem sofrendo com o aterramento de manguezais para construções, intenso tráfego de embarcações de pequeno e médio porte, além de uma forte atividade pesqueira realizada por habitantes locais e turistas (RODRIGUES et al., 1995; ROMANI, 2011). Entre 1962 e 1994, o trecho sul do Canal teve sua vegetação natural fragmentada devido à expansão da mancha urbana e introdução de estruturas náuticas (CUNHA-LIGNON et al., 2009).

O manguezal do Canal de Bertioga foi classificado por Rodrigues et al. (1995) como pouco degradado. Sua vegetação arbórea é composta basicamente pelas espécies *Rhizophora mangle*, *Avicennia shaueriana* e *Laguncularia racemosa*.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo do presente trabalho consistiu em

- investigar, sob o ponto de vista microscópico, um testemunho obtido em manguezal externo que bordeja o Canal de Bertioga - SP, visando caracterizar qualitativamente e quantitativamente as associações de foraminíferos que nele se distribuem;
- detectar e interpretar eventuais mudanças na composição microfaunística do testemunho, desde a base até o topo;
- colaborar no levantamento de novas informações sobre os estuários brasileiros, visando sua aplicação em estudos ambientais e paleoambientais, ambos de interesse do Setor de Petróleo e Gás.

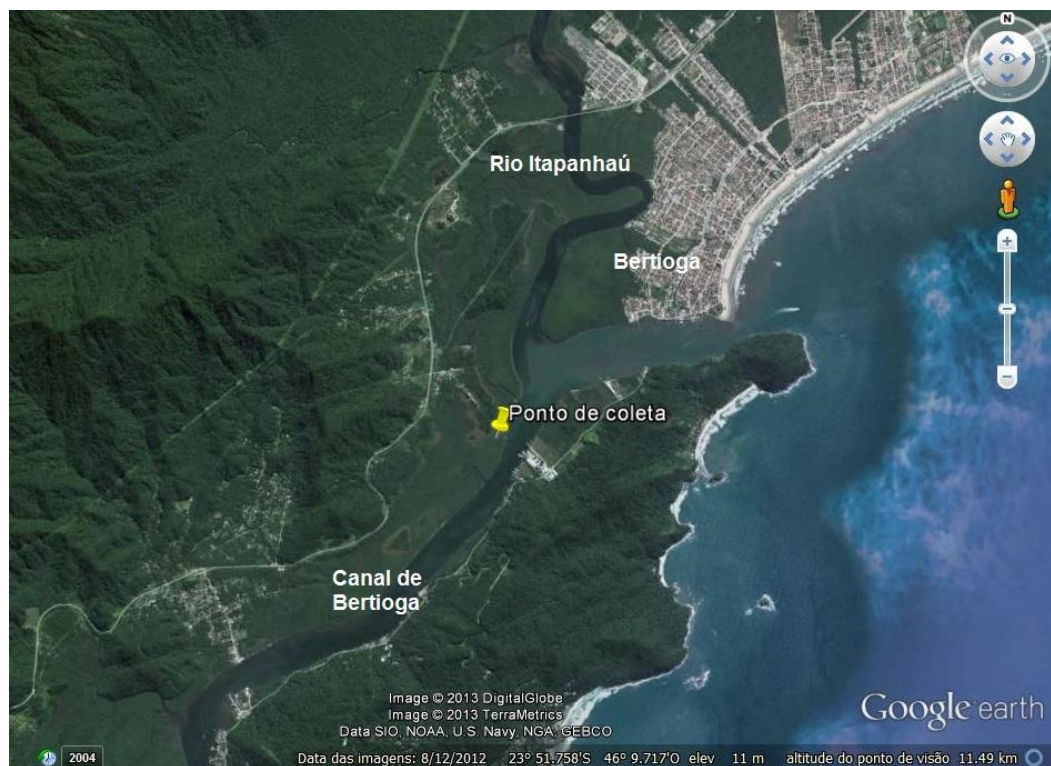
2 MATERIAS E MÉTODOS

2.1 COLETA DO TESTEMUNHO

No dia 13 de julho de 2012 o testemunho T17 foi coletado em meio aos pneumatóforos da franja do manguezal na desembocadura norte do Canal de Bertioga (Figura 2.1). Utilizou-se um tubo de PVC, de 5 cm de diâmetro e 2 m de comprimento, o qual foi introduzido perpendicularmente ao solo, possibilitando que camadas mais antigas de sedimento fossem coletadas. A salinidade no canal adjacente ao ponto testemunhado (zona de entre-marés) foi aferida e obteve-se 30 ppm, o que classifica o canal, naquele local e no momento da coleta, como euhalino (quase polihalino), de acordo com o Simpósio de Veneza de 1959 (*apud* CLOSS, 1962).

Na área testemunhada, o mangue é constituído por um bosque misto de *Rhizophora mangle* e *Laguncularia racemosa*, com porte aproximado de 3,5 m. O sedimento superficial é lamoso e bem consolidado.

Figura 2.1: Imagem de satélite com ponto testemunhado (ponto de coleta). Coordenadas: 23°51.758'S/46°9.717'O.

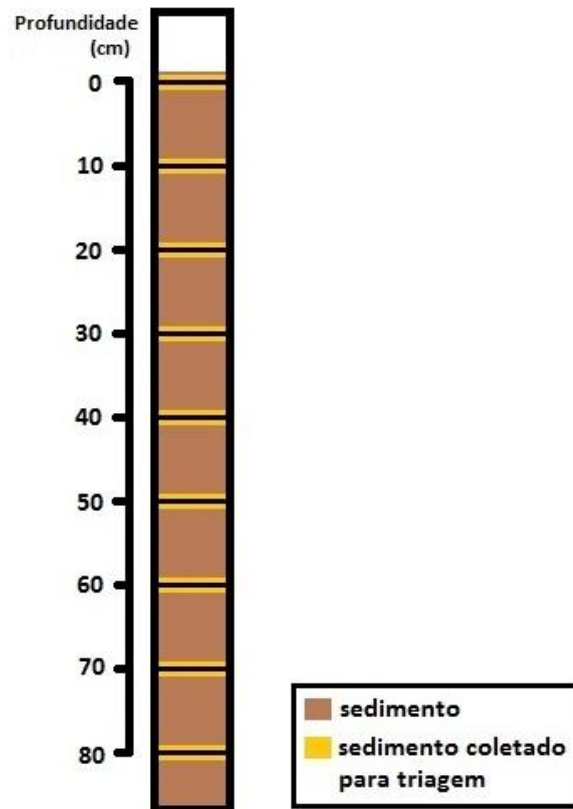


Fonte: Google Earth (2013).

2.2 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

Em laboratório, o testemunho foi aberto e descrito, registrando-se as características dos sedimentos, bem como presença de matéria orgânica, raízes e bioturbações. Partindo do topo (0 cm), foram coletadas 9 amostras, espaçadas a cada 10 cm (Figura 2.2). De cada nível foram retirados aproximadamente 20 ml. Destes, 1 ml foi lavado em peneira com malha de 63 μm , a fim de que fossem descartadas as partículas de tamanho argila e silte. O material retido na peneira foi armazenado em álcool 70%.

Figura 2.2. Esquema da coleta das amostras no testemunho.



Fonte: elaborado pela autora

2.3 TRIAGEM DAS TECAS

O processo de triagem das tecas (processo de coleta dos foraminíferos em meio às partículas sedimentares e restos orgânicos) foi feito a úmido sob estereomicroscópio com aumento de até 100x, com auxílio de pincel de pelo de marta nº000. As tecas encontradas foram

acondicionadas em células porta-foraminíferos (*plummer slides*). Cada amostra foi triada, buscando-se atingir pelo menos 100 tecas. Segundo Semensatto-Jr (2006), este tamanho amostral é adequado para trabalhos relativos a foraminíferos de manguezais, além de garantir que as espécies que tenham acima de 5% de abundância relativa estejam representadas (FATELA; TABORDA, 2002). Para estudos com organismos mortos, que representam acumulações por média de tempo, a variabilidade local é suavizada e, assim, uma contagem de até 100 indivíduos é suficiente para registrar todas as espécies importantes (MURRAY, 2006). Foi necessária a utilização de replicatas, buscando que se atingisse o número mínimo de 100 indivíduos por amostra, fato que, todavia, não ocorreu em 04 das 09 amostras, mesmo tendo sido utilizado 3 ml (Tabela 3.1). Notar que a amostra coletada a 80 cm de profundidade foi a que apresentou a maior abundância (349 espécimens em 1 ml).

2.4 IDENTIFICAÇÃO TAXONÔMICA

A identificação taxonômica foi realizada com o auxílio de referências bibliográficas específicas (e.g., Boltovskoy et al., 1980; Loeblich-Jr e Tappan, 1988; Bonetti, 2000; Semensatto-Jr., 2006). Particularmente útil foi o atlas fotomicrográfico de foraminíferos de manguezais, produzido pelo LAMBdA-UNESP. Utilizou-se também o *site* “World Register of Marine Species” (<http://www.marinespecies.org/>).

2.5 ANÁLISE DE DADOS

A partir dos dados quantitativos obtidos após o término da análise taxonômica, foram calculados índices de diversidade e similaridade, utilizando-se o *software* livre PAST (HAMMER; HARPER; RYAN; 2001). O Índice de Shannon (H') mede a diversidade da amostra, combinando riqueza e abundância relativa (equitatividade) das espécies da comunidade. Este índice tende a valorizar as espécies menos dominantes (BONETTI, 2000). O Índice de Simpson (D) mede a probabilidade de dois indivíduos coletados ao acaso pertencerem à mesma espécie. Estes índices são calculados a partir das seguintes fórmulas, respectivamente:

$$H' = - \sum p_i \ln p_i$$

$$D = \sum \frac{ni(ni-1)}{N(N-1)}$$

sendo pi a proporção de indivíduos na i -ésima espécie em relação à abundância total na comunidade, ni o número de indivíduos na espécie i e N o número total de indivíduos. A diversidade beta (β) consiste na variação na composição de espécies entre áreas diferentes, servindo como um indicador de intensidade de um gradiente ambiental. Nesta abordagem foi utilizado como métrica o Índice de Harrison Beta-1 (b_{-1}), que varia de 0 (gradiente mínimo) a 100 (gradiente máximo). Pressupõe-se que se o ambiente deposicional variou ao longo do tempo, as comunidades de foraminíferos alteraram sua estrutura em resposta às mudanças ambientais, o que pode ser entendido como o estabelecimento de um gradiente ambiental temporal entre um tempo inicial (base do testemunho) e final (topo do testemunho). Quanto maior for o valor deste índice, maior será o grau de diferenciação entre as comunidades, estas condicionadas pelo ambiente que colonizam. O índice baseia-se na seguinte fórmula:

$$b_{-1} = \frac{\frac{S}{\bar{\alpha}} - 1}{N - 1} \times 100$$

sendo S o número total de espécies encontradas em todo o conjunto de amostras, $\bar{\alpha}$ a riqueza média de espécies e N o número total de amostras em comparação.

A equitatividade de Pielou (J') corresponde à medida da homogeneidade da distribuição da abundância relativa das espécies. Varia de 0 (totalmente heterogênea) a 1 (totalmente homogênea) e é resultante da divisão da diversidade de Shannon pelo logaritmo do número de espécies (S):

$$J = \frac{H}{\ln(S)}$$

A distância de Bray-Curtis é amplamente utilizado em análises multivariadas de composição de associações (CLARKE, SOMERFIELD, CHAPMAN; 2006). Seu cálculo mostra a proximidade entre duas amostras e é baseado nas diferenças absolutas e nas somas das abundâncias de cada espécie nestas amostras. Esta medida não considera as duplas ausências,

é fortemente influenciado pelas espécies dominantes e as espécies raras acrescentam muito pouco ao seu valor (VALENTIN, 1995).

$$1 - B = 1 - \frac{\sum |n_1 - n_2|}{\sum |n_1 + n_2|}$$

sendo n_1 a abundância de determinada espécie na amostra 1 e n_2 a abundância dessa mesma espécie na amostra 2. Esta distância foi utilizada na execução de uma análise hierárquica de cluster (AHC), com o objetivo de ordenar as amostras e verificar a existência de grupos de amostras definidos ao longo do testemunho, com o método do pareamento por média não-ponderada (UPGMA) como estratégia de agrupamento.

Considerando os dados reportados em um estudo com amostras ao longo do Canal de Bertioxa, em área próxima ao deste trabalho, as comunidades observadas no testemunho ora analisado foram comparadas àquelas observadas por Rodrigues, Eichler e Eichler (2003) em termos da similaridade de Jaccard, uma vez que este índice de distância considera apenas a presença/ausência de espécies, minimizando algum potencial erro causado por eventuais passos metodológicos diferentes entre os trabalhos. Esta comparação se deu para auxiliar na interpretação quantitativa do testemunho e, assim, auxiliar na reconstrução dos ambientes deposicionais. A medida de Jaccard varia de 0 (totalmente dissimilar) a 1 (totalmente similar) e é dada por:

$$s = \frac{a}{a + b + c}$$

sendo a o número de espécies em comum entre as duas amostras, b o número de espécies com ocorrência exclusiva na primeira amostra e c o número de espécies com ocorrência exclusiva na segunda amostra.

3 RESULTADOS

3.1 DESCRIÇÃO DO TESTEMUNHO

A descrição física do testemunho indica quatro intervalos de acordo com as características sedimentológicas. A base do testemunho (85 - 24 cm) é composta por um sedimento homogêneo, lamo-arenoso, de cor acinzentada. Dos 24 aos 15 cm, o sedimento é lamo-arenoso, mais úmido que o encontrado no topo e de coloração marrom. No intervalo 15 - 8 cm), o sedimento é areno-lamoso, com presença de raízes finas. O topo do testemunho (8 - 0 cm) é composto por um sedimento lamo-arenoso, de aspecto seco e coloração marrom escuro.

3.2 DADOS BIÓTICOS

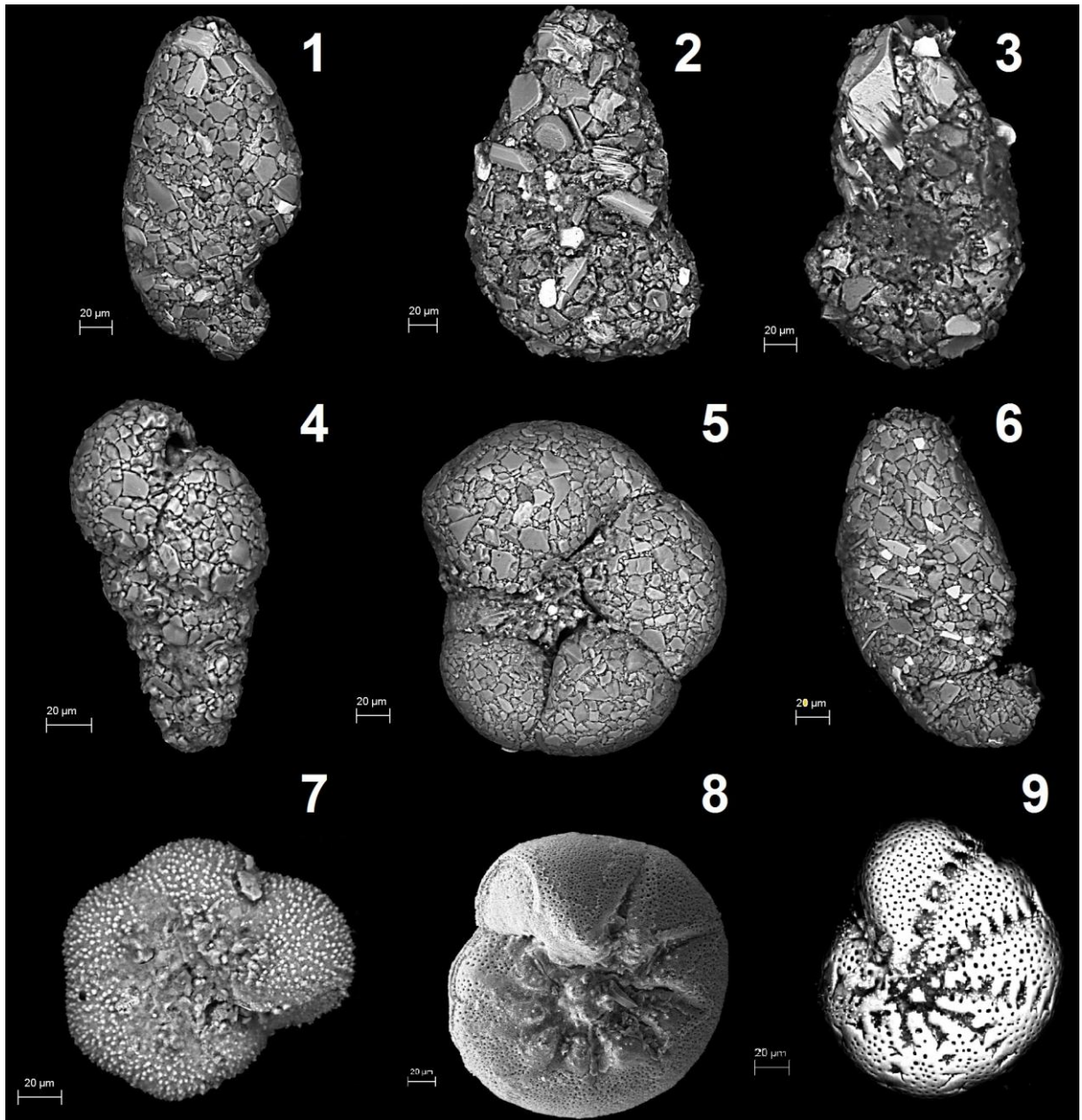
Com a triagem das amostras, foi recolhido um total de 892 tecas. Foram identificadas 38 espécies de 26 gêneros, referentes a 16 famílias. A Tabela 3.1 exhibe os dados de abundância, riqueza, diversidade e equitatividade de espécies ao longo do testemunho analisado.

Os dados bióticos obtidos indicam uma clara diferenciação da comunidade ao longo do tempo, desde a base até o topo do testemunho. São observados três segmentos caracterizados pelos distintos conteúdos microbióticos de foraminíferos - biofácies - refletidas pelo dendrograma da AHC (Fig. 3.1). No dendrograma, estas biofácies estão separadas no nível de corte de 0,40. A amostra de 30 cm foi excluída desta análise por não apresentar tecas.

Tabela 3.1. Abundância relativa das espécies e dados quantitativos sinecológicos de cada amostra. N = total de tecas triadas na amostra (extrapolada para 3 ml); S= riqueza de espécies, H' = Índice de Shannon, J' = equitatividade de Pielou. Os valores em negrito correspondem às espécies dominantes.

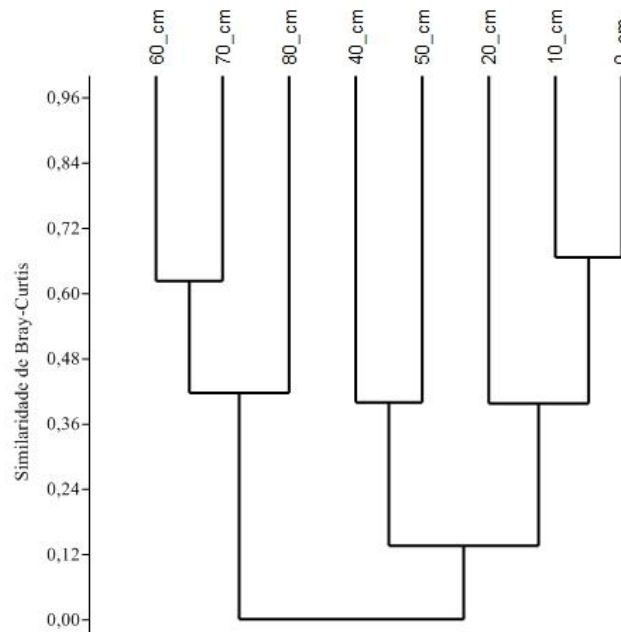
Espécie	0 cm	10 cm	20 cm	30 cm	40 cm	50 cm	60 cm	70 cm	80 cm	
AGLUTINANTES										
<i>Ammoastuta salsa</i>	0,01	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Ammobaculites exiguus</i>	0,05	0,05	0,06	.	0,20	.	.	.	.
<i>Amodiscus</i> sp.	0,06	.	.	.	.	.	.	.	.
<i>Ammotium cassis</i>	0,05	0,04	0,20	.	0,40	0,20	.	.	.	
<i>Ammotium morenoi</i>	0,32	0,34	0,20	.	.	.	.	.	.
<i>Ammotium pseudocassis</i>	0,02	0,02	0,09	.	0,20	.	.	.	.
<i>Ammotium salsum</i>	0,14	0,09	0,09	.	.	.	.	.	.
<i>Arenoparrela mexicana</i>	0,01	.	0,06	.	.	0,20	.	.	.	
<i>Caronia exilis</i>	0,06	0,03	0,11	.	.	0,20	.	.	.	
<i>Miliammina fusca</i>	0,11	0,03	0,03	.	.	.	.	.	.
<i>Monotalea salsa</i>	0,02	0,02	.	.	.	.	.	.	.
<i>Paratrochammina clossi</i>	0,01	0,01	.	.	.	.	.	.	.
<i>Polysaccammina hyperhalina</i>	.	.	0,03	.	.	.	.	.	.
<i>Siphotrochammina lobata</i>	0,01	0,07	.	.	.	.	.	.	.
<i>Tiphotrocha comprimata</i>	0,01	0,02	.	.	.	.	.	.	.
<i>Trochammina inflata</i>	0,10	0,21	0,09	.	0,20	0,20	.	.	.	
<i>Trochammina ochracea</i>	0,01	0,02	0,06	.	.	0,20	.	.	.	
<i>Warrenita</i> sp.	.	0,01	.	.	.	.	.	.	.
CALCÁRIAS										
<i>Ammonia tepida</i>	.	0,01	.	.	.	.	0,35	0,42	0,44
<i>Ammonia parkinsoniana</i>	.	.	.	.	.	.	0,35	0,25	0,23
<i>Bolivina</i> sp.	.	.	.	.	.	.	0,01	.	.
<i>Brizalina</i> sp.	.	.	.	.	.	.	.	.	0,00
<i>Brizalina striatula</i>	.	.	.	.	.	.	0,01	0,02	0,01
<i>Bulimina patagonica</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	0,00
<i>Bulimina pulchella</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	0,00
<i>Bulimina marginata</i>	.	.	.	.	.	.	.	0,01	0,00
<i>Cibicides</i> sp.	.	.	.	.	.	.	.	0,01	.
<i>Elphidium excavatum</i>	.	.	.	.	.	.	0,07	0,08	0,07
<i>Elphidium gunteri</i>	.	.	.	.	.	.	0,08	0,07	0,06
<i>Elphidium</i> sp1	.	.	.	.	.	.	0,06	0,04	0,04
<i>Elphidium</i> sp2	.	.	.	.	.	.	.	0,01	.
<i>Favulina hexagona</i>	.	.	.	.	.	.	.	.	0,00
<i>Globigerinoides</i> sp.	.	.	.	.	.	.	0,02	.	0,01
<i>Nonionella opima</i>	.	0,01	.	.	.	.	0,01	0,04	0,04
<i>Nonionella atlantica</i>	.	.	.	.	.	.	0,02	0,05	0,01
<i>Haynesina germanica</i>	.	.	.	.	.	.	0,02	.	0,07
<i>Quinqueloculina</i> sp.	.	.	.	.	.	.	.	0,01	.
<i>Rosalina</i> sp.	.	.	.	.	.	.	0,01	.	.
	N	140	94	35	-	5	5	195	402	1047
	S	16	16	11	-	4	5	12	12	15
	H'	2,19	2,13	2,22	-	1,33	1,61	1,67	1,75	1,72
	J'	0,79	0,77	0,93	-	0,96	1,00	0,67	0,71	0,64
	Volume triado	3 ml	3 ml	3 ml	3 ml	3 ml	3 ml	1,5 ml	1 ml	1 ml

Estampa I: Foraminíferos fotografados a partir de microscópio eletrônico de varredura (MEV). 1: *Ammotium cassis*, 2: *Ammotium morenoi*, 3: *Ammotium salsum*, 4: *Caronia exilis*, 5: *Trochammina inflata*, 6: *Ammotium pseudocassis*, 7: *Ammonia tepida*, 8: *Ammonia parkinsoniana*, 9: *Elphidium gunteri*



Fonte: Imagens obtidas por Hermes Dias Brito.

Figura 3.1. Dendrograma baseado na distância de Bray-Curtis.



Fonte: elaborado pela autora.

Da base para o topo do testemunho, a Biofácies 1 (B1) de 80 a 60 cm de profundidade, é composta basicamente por rotaliinos, com densidade de tecas e diversidade decrescentes da parte inferior para a parte superior do testemunho. Registram-se espécies calcárias pertencentes às subordens Rotaliina (tecas hialinas) e Miliolina (tecas porcelânicas). As espécies mais abundantes foram *Ammonia tepida* (41,7%), *Ammonia parkinsoniana* (25,9%) e *Elphidium* spp. (18,9%).

A Biofácies 2 (B2), de 50 a 40 cm de profundidade, apresenta a menor densidade de tecas em todo o testemunho. As sete espécies encontradas são aglutinantes, não havendo clara dominância de nenhuma delas. O número extremamente baixo de espécimens presentes nas amostras dá pouca validade a esta categorização.

A Biofácies 3 (B3) de 20 a 0 cm de profundidade, é basicamente composta por foraminíferos aglutinantes. As espécies mais abundantes pertencem ao gênero *Ammotium*, com destaque para *A. morenoi*. Do nível de 20 cm para o topo, a densidade de tecas e riqueza de espécies aumenta progressivamente, sendo que a diversidade e equitatividade mantêm-se relativamente estáveis. Nas três amostras, somam-se 20 espécies distintas de foraminíferos, sendo que duas delas são foraminíferos calcários provavelmente de origem alóctone.

Estas biofácies foram comparadas em termos de sua composição com as de diferentes estações (sedimentos de superfície) estudadas ao longo do Canal de Bertioga (RODRIGUES; EICHLER; EICHLER; 2003) (Tab. 3.2). Naquele trabalho, os autores caracterizaram a região de acordo com as associações de foraminíferos a partir de amostras das margens do manguezal.

Tabela 3.2: Matriz da similaridade de Jaccard comparando biofácies deste trabalho (B1, B2 e B3) e as estações do Canal de Bertioga reportadas por Rodrigues, Eichler, Eichler (2003). M1- desembocadura sul; M2 - meandro sudoeste do canal; M3 - Rio Trindade; M4 - Largo do Candinho; M5 - porção nordeste do canal; M6 - desembocadura norte.

	M1	M2	M3	M4	M5	M6
B1	0,400	0,417	0,308	0,321	0,308	0,478
B2	0,191	0,143	0,263	0,227	0,263	0,200
B3	0,310	0,276	0,370	0,429	0,370	0,233

Fonte: Rodrigues, Eichler, Eichler (2003).

A Biofácies B1, intervalo 80-60 cm – base do testemunho estudado - é a que apresenta os maiores níveis de similaridades com as estações do Canal de Bertioga, sendo mais similar à desembocadura norte (M6), onde há maior influência marinha, sedimento arenoso e presença de espécies calcárias. Em contrapartida, enquanto que M6 apresentou o menor valor de dominância, B1 mostrou maior dominância. A Biofácies B2 não encontrou correspondência mais forte com nenhuma das estações, mas de forma geral, obteve maiores valores de similaridade com os ambientes de baixa energia (sedimento fino) e água salobra, onde também foram encontradas espécies aglutinantes. Como já frisado anteriormente, B2 é pouco representativa. Já a Biofácies B3, intervalo 20 a 0 cm, topo do testemunho estudado, possui maior similaridade com o Largo do Candinho (M4), local onde há maior influência da água doce e presença de sedimento mais fino, possibilitando o estabelecimento de espécies aglutinantes.

Quanto à análise de diversidade beta, o valor de b_{-1} foi igual a 33,4, o que revela a presença de significativo grau de diferenciação entre as espécies. Assim, este é outro indicador que reforça a mudança progressiva na estrutura das comunidades.

4 DISCUSSÃO

O testemunho analisado neste trabalho não teve seus níveis datados por técnica específica. Contudo, Gonçalves et al. (2013) coletaram vários testemunhos ao longo do Canal de Bertiooga em pontos próximos ao deste trabalho e observaram uma taxa de sedimentação de 0,72 e 1,26 cm/ano. Desta forma, pode-se inferir que a base do testemunho aqui estudado tenha entre 63 e 111 anos.

Na base do testemunho (Biofácies 1), de 80 a 60 cm, foi encontrado um grande número de tecas (exclusivamente calcárias), sendo esta comunidade componente de ambientes estuarinos associados com baixa a moderada diluição da salinidade (DEBENAY; GUIRAL; PARRA; 2002). Segundo Carboni (2009), *A. parkinsoniana* e *A. tepida* são espécies comumente encontradas em ambientes rasos marinhos e em composições lagunares, onde há influência de água doce, e *Haynesina germanica* sugere altas taxas de entrada de matéria orgânica no sistema, com possíveis episódios periódicos de hipoxia. Estas características explicam a boa conservação das tecas calcárias até os dias de hoje, já que estas são suscetíveis à dissolução quando em sedimentos óxicos, mas podem ser bem preservadas nos sedimentos anóxicos (BERKELEY et al., 2007). *A. tepida* e *H. germanica* são espécies indicativas de condições moderadamente restritivas e são tolerantes à poluição (CARBONI, 2009). Além disso, Duleba e Debenay (2003) constataram a dominância de *Elphidium* spp. e *Ammonia* spp. no estuário da Estação Ecológica de Juréia-Itatins, que possui hidrodinâmica semelhante ao Canal de Bertiooga, fato que permite a associação deste intervalo de tempo com um ambiente estuarino. No presente caso, esta biofácies é interpretada como representante de um ambiente estuarino de inframaré ou de margem de manguezal com intensa influência marinha, provavelmente em regime de salinidade polihalino (18 a 30‰) a euhalino (30 a 40‰). A dominância dos gêneros *Ammonia/Elphidium* é reconhecida em vários trabalhos como típica de margens de manguezal polihalinas; porém, a presença de outras espécies calcárias típicas do ambiente plataformal proximal (incluindo uma teca de planctônico) é um indício consistente da influência marinha significativa, com baixa diluição da salinidade.

Na Biofácies 2, de 50 a 40 cm – embora com pouca representatividade estatística - a composição variou para a ocorrência exclusiva de espécies aglutinantes, mas na menor densidade de tecas para todo o testemunho, sendo que na amostra de 30 cm nenhuma teca foi encontrada. A ausência de formas calcárias no intervalo mostra um rompimento abrupto com as condições da biofácies anterior B1. Passa-se a uma situação inter-litorânea de pântano coberto por vegetação de mangue.

Na B3, de 20 a 0 cm, foram encontradas espécies típicas de ambiente de manguezal (SANTA-CRUZ, 2004; BERKELEY et al., 2009). Esta biofácies indica um ambiente de interior de bosque de manguezal com regime de salinidade mesohalino (5 a 18‰), principalmente em função da dominância do gênero *Ammotium*.

Espécies alóctones foram encontradas tanto em B3 como em B1, todas de hábito marinho. A ocorrência dessas espécies é resultado do transporte, que envolve perda de tecas de seu local de origem e ganho de tecas em áreas deposicionais (DEBENAY; GUIRAL; PARRA; 2002).

O que pode-se propor para o intervalo de transição entre os ambientes relacionados às biofácies 1 e 3, seria o avanço do manguezal no ponto de coleta. A presença de árvores de mangue e de sua serapilheira influencia claramente na associação de foraminíferos, já que a acumulação de matéria orgânica no solo é uma fonte abundante de alimento para os organismos e promove um aumento na atividade bacteriana, induzindo assim a uma diminuição do pH e, conseqüentemente, o desaparecimento das espécies com tecas calcárias (DEBENAY; GUIRAL; PARRA; 2002). Com o estabelecimento da vegetação, houve a substituição de espécies calcárias por espécies aglutinantes, já que estas também parecem estar relacionadas à presença da vegetação, pois eles são raramente encontrados em áreas não vegetadas (MURRAY, 2006).

5 CONCLUSÃO

O estudo taxonômico e estrutural das comunidades de foraminíferos presentes no testemunho analisado indica que nas últimas dezenas de anos importantes mudanças ambientais ocorreram na área de investigação. Ela deixou de ser uma zona de infra-maré rasa marginal ao Canal de Bertioxa, sob significativa influência marinha, e passou à condição de pântano entre-marés coberto por vegetação de mangue. Tal processo conectou-se a um evento de progradação que pode ter tido, ou não, ligação com uma queda do nível do mar. Tal informação é de interesse dos estudos ambientais e paleoambientais envolvendo sistemas estuarinos tropicais.

REFERÊNCIAS

- ALVE, E. Benthic foraminiferal responses to estuarine pollution: A review. **Journal of Foraminiferal Research**, Washington, v. 25, no. 3, p. 190-203, 1995.
- BERKELEY, A.; PERRY, C.T.; SMITHERS, S.G.; HORTON, B.P.; TAYLOR, K.G. A review of the ecological and taphonomic controls on foraminiferal assemblage development in intertidal environments. **Earth Science Reviews**, Amsterdam, vol. 83, p. 205-230, 2007.
- BERKELEY, A.; PERRY, C.T.; SMITHERS, S.G.; HORTON, B.P.; CUNDY, A.B. Foraminiferal biofacies across mangrove-mudflat environments at Cocoa Creek, north Queensland, Australia. **Marine Geology**, Amsterdam, v. 263, p. 64-86, 2009.
- BOLTOVSKOY, E.; GIUSSANI, G.; WATANABE, S.; WRIGHT, R. **Atlas of benthic shelf foraminifera of the Southwest Atlantic**. Dr. W. Junk bv Publishers, The Hague, 1980. 147p.
- BOLTOVSKOY, E.; VIDARTE, L.M. Foraminíferos de la zona de manglar de Guayaquil (Equador). **Revista del Museo Argentino de Ciencias Naturales “Bernardino Rivadavia”**, Buenos Aires, v. 5, n. 3, p. 31-49, 1977.
- BONETTI, C. **Foraminíferos como bioindicadores de stress ecológico em ambientes costeiros poluídos: Estudo aplicado ao sistema estuarino de Santos – São Vicente**. 2000. 209 f. Tese (Doutorado em Oceanografia) – Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, 2000.
- CARBONI, M.G.; SUCCI, M.C.; BERGAMIN, L.; BELLA, L.D.; FREZZA, V.; LANDINI, B. Benthic foraminifera from two coastal lakes of southern Latium (Italy). Preliminary evaluation of environmental quality. **Marine Pollution Bulletin**, Oxford, vol. 58, p. 268-180, 2009.
- CLARKE, K.R.; SOMERFIELD, P.J.; CHAPMAN, M.G. On resemblance measures for ecological studies, including taxonomic dissimilarities and a zero-adjusted Bray-Curtis coefficient for denuded assemblages. **Journal of Experimental Marine Biology and Ecology**, Amsterdam, v. 330, p. 55-80, 2006.
- CLOSS, D. Foraminíferos e Tecamebas da Lagoa dos Patos (RS). **Boletim da Escola de Geologia de Porto Alegre**, Porto Alegre, n. 11, p. 1-130, 1962.
- COSTANZA, R.; d'ARGE, R.; GROOT, R.; FARBER, S.; GRASSO, M.; HANNON, B.; LIMBURG, K.; NAEEM, S.; O'Neill, R. V.; PARUELO, J.; RASKIN, R. G.; SUTTON, P.; van den BELT, M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature**, London, v. 387, p. 253-260, 1997.
- CUNHA-LIGNON M.C.; MENGHINI, R.P.; SANTOS, L.C.M.; NIEMEYER-DINÓLA, C.; SCHAEFFER-NOVELLI, Y. Estudos de Caso nos Manguezais do Estado de São Paulo (Brasil): Aplicação de Ferramentas com Diferentes Escalas Espaço-Temporais. **Revista da Gestão Costeira Integrada**, Lisboa, v.9, n.1, p. 79-91. 2009.

DEBENAY J-P.; GUIRAL D.; PARRA, M. Ecological factors acting on the microfauna in mangrove swamps. The case of foraminiferal assemblages in French Guiana. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, London, v. 55, p. 509-533, 2002.

DULEBA W.; DEBENAY J-P. Hydrodynamic circulation in the estuaries of Estação Ecológica Juréia-Itatins, Brazil, inferred from foraminifera and thecamoebian assemblages. **Journal of Foraminiferal Research**, Washington, v. 33, no. 1, p. 62-93, 2003.

EICHLER P.P.B.; EICHLER, B.B.; DAVID, C.J.; MIRANDA, L.B.; SOUSA, C.P.M. The estuary ecosystem of Bertioga, São Paulo, Brazil. **Journal of Coastal Research**, Fort Lauderdale, v.39, p. 1110-1113. 2006.

EICHLER P.P.B.; EICHLER B.B.; MIRANDA, L.B.; RODRIGUES, A.R. Modern foraminiferal facies in a subtropical estuarine channel, Bertioga, São Paulo, Brazil. **Journal of Foraminiferal Research**, Washington, v. 37, no. 3, p. 234-247, 2007.

FATELA, F.; TABORDA, R. Confidence limits of species proportions in microfossil assemblages. **Marine Micropaleontology**, Amsterdam, v. 45, p. 169-174, 2002.

GONÇALVES, C.; FIGUEIRA, R.C.; SARTORETTO, J.S.; SALAROLI, A.B.; RIBEIRO, A.P.; FERREIRA, P.A.L.; MAHIQUES, M.M. Reconstruction of historical trends in potentially toxic elements from sediment cores collected in Bertioga channel, southeastern Brazil. **Brazilian Journal of Oceanography**, São Paulo, v. 61, n. 2, p. 149-160, 2013.

GOOGLE Earth. Versão 7.0.3.8542. [S.l.]: Google, 2013. Imagem do Canal de Bertioga (SP). Acesso em: 12 mai 2013.

HAMMER, Ø., HARPER, D.A.T., RYAN, P.D. **PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis**. *Palaeontologia Electronica*, v. 4, n. 1, 9pp., 2001.

HORTON, B.P.; MURRAY, J.W. The roles of elevation and salinity as primary controls on living foraminiferal distributions: Cowpen Marsh, Tees Estuary, UK. **Marine Micropaleontology**, Amsterdam, v. 63, p. 169-186, 2007.

LAUT L.L.M.; SILVA, F.S.; BONETTI, C.; FIQUEIREDO JR, A.G.; CRAPEZ, M.A.C. Foraminíferos e atividade bacteriana aplicados no diagnóstico ambiental do estuário do Rio Itacorubí, Florianópolis, SC. **Revista Brasileira de Geociências**, São Paulo, v. 37, n.3, p. 565-578, 2007.

LEORRI E.; GEHRELS, W.T.; HORTON, B.P.; FATELA, F.; CEARRETA, A. Distribution of foraminifera in salt marshes along the Atlantic coast of SW Europe: Tool to reconstruct past sea-level variations. **Quaternary International**, Oxford, v. 221, p. 104-115, jul. 2010.

LOEBLICH-Jr., A.R.; TAPPAN, H. **Foraminiferal genera and their classification**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1988. 1914 p.

MIRANDA, L.B.; CASTRO, B.M.; KJERFVE, B. Circulation and Mixing Due to Tidal Forcing in the Bertioga Channel, São Paulo, Brazil. **Estuaries**, Columbia, v. 21, p. 204-214, 1998.

MURRAY, J. **Ecology and applications of benthic foraminifera**. Cambridge: Cambridge University Press, 2006. 426 p.

RODRIGUES, A.R., EICHLER, P.P.B., EICHLER B.B. Utilização de foraminíferos no monitoramento do Canal de Bertioga (SP, Brasil). **Atlântica**, Rio Grande, v. 25, n. 1, p. 35-51, 2003.

RODRIGUES, F.O.; LAMPARELLI, C.C.; MOURA, D.O.; BRUNI, A.C. Os manguezais da Baixada Santista: Uma proposta para classificação. **Oecologia Brasiliensis**, Rio de Janeiro, v.1, p. 421-437. 1995.

ROMANI, C. O discurso cultural e ambientalista das comunidades de pescadores caiçaras na luta pela terra: Uma análise histórica do conflito ambiental no canal de Bertioga, na Baixada Santista. **História Oral**, São Paulo, v. 14, n. 2, p. 35-66, 2011.

SANTA-CRUZ, J. **Foraminíferos atuais em um manguezal impactado por petróleo 20 anos atrás: o Rio Iriri, Canal de Bertioga, Santos-SP**. 2004, 142 f. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2004.

SANTOS, E. O. Características climáticas. In: AZEVEDO, Aroldo de. (Ed.). **A Baixada Santista: aspectos geográficos**. EDUSP, São Paulo, v.1, p. 95-150, 1965.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE / INSTITUTO FLORESTAL. **Inventário Florestal da Vegetação Natural do Estado de São Paulo**. São Paulo: Imprensa Oficial do Estado de São Paulo, 2005. 200 p.

SCOTT, D.B.; MEDIOLI, F.S. Quantitative studies of marsh foraminiferal distribution in Nova Scotia: implications for sea level studies. **Cushman Foundation for Foraminiferal Research**, Washington, p. 57, 1980 (publicação especial).

SEMENSATTO-JR, D.L. **O sistema estuarino do delta do Rio São Francisco (SE): análise ambiental com base no estudo de foraminíferos e tecamebas**. 2006. 223 f. Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2006.

SEMENSATTO-JR, D.L.; FUNO, R.H.F.; DIAS-BRITO, D; COELHO-JR, C. Foraminiferal ecological zonation along a Brazilian mangrove transect: Diversity, morphotypes and the influence of subaerial exposure time. **Revue de Micropaléontologie**, Paris, v. 52, p. 67-74, 2009.

VALENTIN, J.L. Agrupamento e ordenação. In: PERES-NETO, P.R.; VALENTIN, J.L.; FERNANDEZ, F.A.S. (Ed.). **Oecologia Brasiliensis**. Volume II: Tópicos em tratamento de dados biológicos. Rio de Janeiro: Programa de Pós-Graduação em Ecologia, Instituto de Biologia, UFRJ, p.27-55, 1995.

World Register of Marine Species. WoRMS Editorial Board, 2013. Disponível em <http://www.marinespecies.org>. Acesso em: 22 mai 2013 a 12 jun 2013.

YANKO V.; KRONFELD J.; FLEXER A. Response of benthic foraminifera to various pollution sources: Implications for pollution monitoring. **Journal of Foraminiferal Research**, Washington, v. 24, no. 1, p. 1-17, 1994.