

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

Carolina Jardim Leão

**INTERPRETAÇÕES PALEOAMBIENTAIS DO QUATERNÁRIO
DA BACIA DE SANTOS (BRASIL) COM BASE EM
FORAMINÍFEROS BENTÔNICOS**

São Leopoldo
2011



CAROLINA JARDIM LEÃO

**INTERPRETAÇÕES PALEOAMBIENTAIS DO QUATERNÁRIO
DA BACIA DE SANTOS (BRASIL) COM BASE EM
FORAMINÍFEROS BENTÔNICOS**

Dissertação de mestrado apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre, pelo Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade do Vale do Rio dos Sinos-UNISINOS, área de concentração Geologia Sedimentar.

Orientador: Prof. Dr. Itamar Ivo Leipnitz

Banca examinadora:

Dr^a. Tânia L. Dutra - UNISINOS

Dr^a. Karen B. Costa - USP

São Leopoldo
2011

AGRADECIMENTOS

Em reconhecimento ao inestimável apoio e contribuição de todos os que acreditaram e participaram da realização deste trabalho, expresso aqui meus mais sinceros agradecimentos:

Ao Professor Dr. Itamar Ivo Leipnitz, orientador e grande amigo, pelo incentivo e dedicação ao longo desses anos de trabalho conjunto e pelo exemplo de profissional e ser humano, que será lembrado por toda a minha vida.

A Professora Dr^a Karen B. Costa pelas valiosas discussões no decorrer da pesquisa.

Aos meus pais, Mirian e Moacir, pela força e incentivo em todos os momentos, principalmente nos mais difíceis.

Aos colegas Fabricio Ferreira, Alex Duarte, Cristine Trevisan e Micael Bergamaschi, pelas conversas, discussões e cafezinhos que muito contribuíram para a concretização deste trabalho.

Ao colega Thièrs Wilberger pelo auxílio na confecção dos gráficos e figuras e por compartilhar toda a sua criatividade conosco.

Ao Tiago por cada pequeno gesto, cada palavra e cada silêncio que tornaram mais suaves os meus dias.

Ao Secretário do PPGeo Juliano Schmidt pelo auxílio durante esse período.

A Petrobras por disponibilizar o material estudado e apoio técnico.

A Universidade do Vale do Rio dos Sinos pela concessão da bolsa Milton Valente.

RESUMO

A distribuição das associações e abundância de espécies de foraminíferos bentônicos está condicionada a diversos fatores ecológicos, ligados intrinsecamente a aspectos físicos e químicos dos oceanos. A partir de 68 amostras provenientes de dois testemunhos do talude continental da Bacia de Santos (aproximadamente 2.000 metros de lâmina d'água), analisou-se a fauna de foraminíferos bentônicos, bem como os isótopos estáveis de carbono e oxigênio das carapaças. Por meio do estudo sistemático da fauna de foraminíferos bentônicos foram identificados 68.998 espécimes pertencentes a 123 espécies. A caracterização ecológica das espécies identificadas, somada à análise quantitativa de seus padrões de distribuição, possibilitou o registro de alterações no conjunto microfaunístico, atribuídas aos diferentes eventos climáticos. As maiores flutuações na abundância relativa ao longo dos testemunhos resultam dos padrões das três principais espécies: *Pseudoparrella exigua*, *Alabaminella weddellensis* e *Cassidulina californica*. *P. exigua* tem maior abundância nos estágios glaciais, caracterizando esses períodos como fortemente influenciados por aportes sazonais de fitodetritos, enquanto *A. weddellensis* domina nos estágios interglaciais, indicando uma deposição mais intensa e contínua de material orgânico. Já *C. californica*, que teve abundância expressiva tanto em glaciais como em interglaciais, responde a quantidades elevadas de carbono orgânico total nos sedimentos. Embora sejam indicadoras de alta produtividade, essas espécies não apresentaram uma ligação estreita com as águas ricas em nutrientes que dominam nos períodos glaciais. Porém, variações na abundância relativa sugerem períodos com distintas intensidades de fluxo de nutrientes e diferentes origens da matéria orgânica depositada no assoalho oceânico nos últimos 545 mil anos.

Palavras-chave: Foraminíferos bentônicos, paleoprodutividade, Atlântico Sudoeste.

ABSTRACT

The distribution of assemblage and species abundance is conditioned to several ecological factors, related to physical and chemical oceanic aspects. Were analyzed 68 samples of two cores collected in continental slope of Santos Basin (~2,000 m water depth) in relation to the benthic foraminiferal fauna, as well as the stable isotopes of carbon and oxygen extracted in shells. Through the systematic study of the benthic foraminiferal fauna were identified 68,998 specimens belonging to 123 species. The ecological characterization of species, in addition to the quantitative analysis of the distribution patterns in the cores, allows the observation of changes in the abundance of certain species, attributed to different climatic events. The largest fluctuations in relative abundance along the cores result from the pattern of three main species: *Pseudoparrella exigua*, *Alabaminella weddellensis* e *Cassidulina californica*. *Pseudoparrella exigua* is more abundant during glacial stages, characterizing these periods as strongly influenced by seasonal phytodetritus input, while *Alabaminella weddellensis* dominates in the interglacial stages, indicating a more intense and continuous deposition of organic material. *Cassidulina californica*, that had significant abundance in both stages, responds to high amount of total organic carbon in sediments. Even being indicative of high productivity, these species did not show a close link with the nutrient-rich waters that dominate the glacial stages. However, variations in relative abundance suggest periods with different intensities of flow of nutrients and different sources of organic matter deposited on the ocean floor in the last 545 kyr.

Key words: *Benthic foraminifera, paleoproductivity, Southwest Atlantic.*

APRESENTAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

A presente dissertação de mestrado é apresentada seguindo um dos modelos sugeridos pelo Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (PPGeo-UNISINOS), denominado “Dissertação em formato de artigo”.

O capítulo 1 apresenta informações preliminares como: introdução do tema a ser discutido, objetivos da dissertação, descrição detalhada da área de estudo, histórico sobre a utilização de foraminíferos bentônicos em interpretações paleoambientais e generalidades acerca de isótopos estáveis de oxigênio e carbono e seu uso nesse tipo de estudo.

O capítulo 2 apresenta o artigo científico derivado do projeto de mestrado, onde são expostos resultados, discussões e conclusões obtidas e, finalmente, anexos com dados e ilustrações que complementam a dissertação e contribuem para sua maior compreensão.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1- INFORMAÇÕES PRELIMINARES

1. INTRODUÇÃO	1
2. OBJETIVOS	3
3. ÁREA DE ESTUDO	4
3.1. Contexto Morfológico	5
3.2. Contexto Fisiográfico do Talude Continental	5
3.3. Contexto Hidrológico.....	6
4. BREVE HISTÓRICO SOBRE A UTILIZAÇÃO DE FORAMINÍFEROS BENTÔNICOS COMO INDICADORES PALEOAMBIENTAIS	9
5. ISÓTOPOS ESTÁVEIS DE OXIGÊNIO E CARBONO – GENERALIDADES.....	14
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	17
CAPÍTULO 2 – ARTIGO CIENTÍFICO	31

ANEXO I: Gráficos de abundância relativa das principais espécies de foraminíferos bentônicos

ANEXO II: Fotomicrografias das principais espécies de foraminíferos bentônicos

CAPÍTULO 1

INFORMAÇÕES PRELIMINARES

INTRODUÇÃO

Os foraminíferos bentônicos dominam as comunidades no assoalho oceânico moderno e, na maioria das áreas de oceano profundo, constituem uma substancial porcentagem da biomassa eucariótica (GOODAY, 2003). Esses organismos têm recebido especial atenção por ocuparem uma posição bastante significativa na biota oceânica e por serem reconhecidamente excelentes indicadores ecológicos e paleoecológicos. A importância atribuída ao grupo deve-se, principalmente, a sua elevada abundância e diversidade, ampla distribuição geográfica e batimétrica, rápida evolução, e grande sensibilidade às variações ambientais (BARBOSA, 2002).

Nas últimas décadas, diversos estudos têm focado a ligação entre os foraminíferos bentônicos e fatores como padrões de paleocirculação (e.g. SCHNITKER, 1974, 1980; ISHMAN, 1996), clima (e.g., STREETER *et al.*, 1982; LOUBERE & BANONIS, 1987) e paleoprodutividade oceânica (e.g. MACKENSEN *et al.*, 1985; CORLISS & CHEN, 1988; LOUBERE, 1996; SCHMIEDL & MACKENSEN, 1997; JORISSEN *et al.*, 1998; MARTINEZ *et al.*, 1999; OHKUSHI *et al.*, 2000; SMART, 2008). Segundo DOUGLAS & HEITMAN (1979), os foraminíferos apresentam um comportamento intrincado de variação da fauna no espaço e no tempo, sugerindo que as espécies, principalmente de águas profundas, são mais dinâmicas do que se supunha. Isto faz com que a aplicação empírica de modelos paleoecológicos seja uma tarefa complexa, mas que ao mesmo tempo favorece o potencial dos foraminíferos bentônicos como indicadores paleoambientais.

No Atlântico Sul, principalmente na porção sudoeste, o estudo de foraminíferos bentônicos de mar profundo ainda é incipiente. O Quaternário marinho brasileiro representa um amplo campo a ser investigado em sua evolução paleoambiental e



história geológica, e o uso de foraminíferos como ferramenta pode fornecer valiosas informações para a caracterização paleoambiental deste período.



2. OBJETIVOS

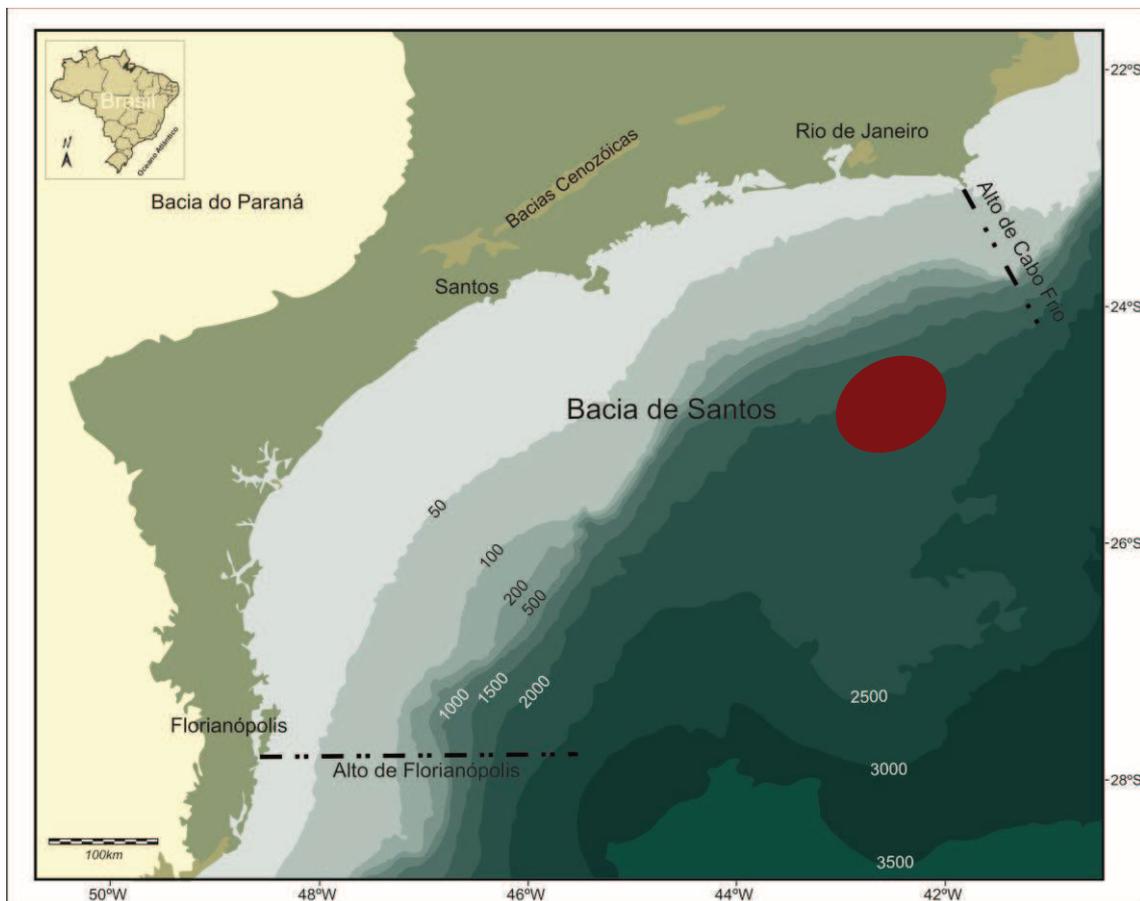
Este trabalho busca contribuir com o conhecimento acerca das características paleoambientais do talude continental da Bacia de Santos durante o Quaternário, utilizando a análise da fauna bentônica de foraminíferos associada aos dados de isótopos estáveis de carbono e oxigênio.

Os objetivos específicos são: identificação da fauna; definição dos padrões de abundância e ocorrência das espécies; reconhecimento de espécies indicadoras (conotação paleoecológica) e correlação dos dados obtidos na análise de foraminíferos bentônicos com os dados de isótopos de carbono e oxigênio, de modo a identificar as diferentes condições paleoambientais da área.

3. ÁREA DE ESTUDO

A Bacia de Santos está localizada na porção sudeste da margem brasileira, em frente ao litoral sul do Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná e norte de Santa Catarina (Figura 1). Geologicamente, trata-se de uma depressão limitada a norte pelo alto de Cabo Frio e a sul pela Plataforma ou Alto de Florianópolis. As duas estruturas confinantes (norte e sul) são na verdade prolongamentos de lineamentos oceânicos expressivos, de direção NW. A bacia recobre uma área de cerca de 350.000km², dos quais 200.000km² encontram-se em lâmina d'água até 400m e 150.000km² entre as cotas de 400 e 3.000m (BIZZI *et al.*, 2003; MOHRIAK, 2003).

Figura 1: mapa de localização da Bacia de Santos, evidenciando o local aproximado dos pontos de coleta em vermelho



Fonte: modificado de Nunes *et al.*, 2004.

Os testemunhos analisados neste estudo pertencem à Formação Marambaia que, de acordo com MOREIRA *et al.* (2007), é constituída por uma espessa seção de folhelho cinzento e marga cinza claro, com arenitos finos turbidíticos intercalados, depositada em ambiente de talude e bacia.

3.1. Contexto Morfológico

A Bacia de Santos possui extensão de 800km no sentido NE-SW paralelo à linha de costa, e mais de 450km a NW-SE na direção do mergulho. No setor oeste, a bacia é limitada pelo complexo de cadeias de montanhas (Serra do Mar e Serra da Mantiqueira) que confinam a bacia ao domínio *offshore* (DUARTE & VIANA, 2007).

Estudos demonstram que a plataforma da Bacia de Santos é marcada por expressivo padrão progradacional, intensificado principalmente a partir do Eoceno Inferior, quando ocorreu o aumento da taxa de aporte siliciclástico, devido à reativação do soerguimento da Serra do Mar no Paleógeno (MOREIRA & CARMINATI, 2004; FLEMING *et al.*, 2009). Durante o Neógeno, após a deriva para o norte da carga sedimentar continental que era transferida para o oceano, a Bacia de Santos foi novamente dominada por processos marinhos, os quais redistribuíram os sedimentos depositados (CHANG *et al.*, 1988; DUARTE & VIANA, 2007).

O desenvolvimento de uma planície costeira muito estreita é evidenciado pela ausência de grandes rios e especialmente, na área central entre Rio de Janeiro e Santos, por uma série de grandes baías e ilhas originadas por exposições do embasamento Pré-Cambriano. Em direção ao sul uma zona litorânea dominada por ondas ocorre associada a um sistema de lagunas e de linhas de praia (MODICA & BRUSH, 2004).

3.2. Contexto Fisiográfico do Talude Continental

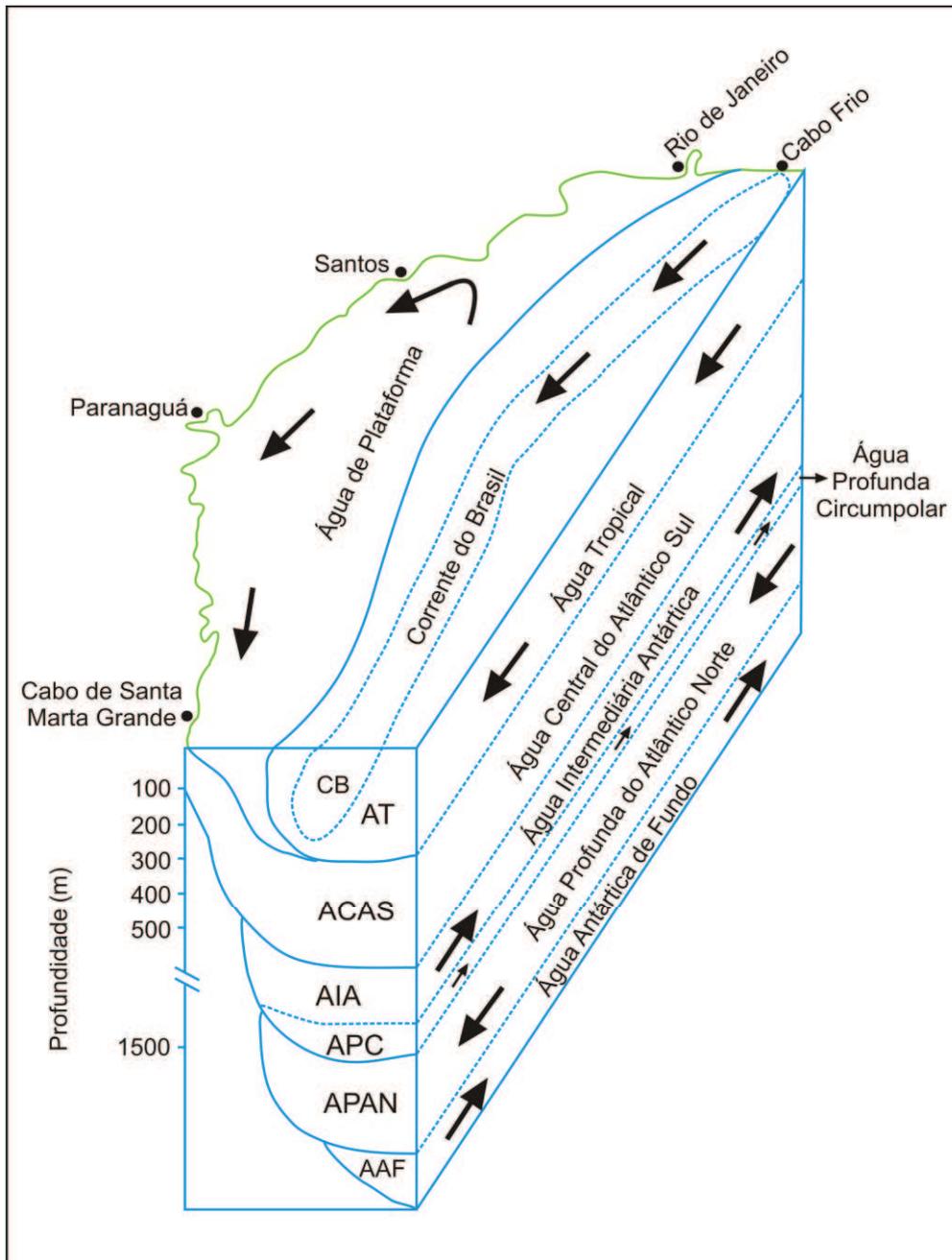
As feições gerais da transição plataforma-talude da Bacia de Santos são formadas pela alternância de saliências e embaiamentos, estes últimos ocorrendo em regiões onde o talude superior é mais suave. A quebra da plataforma é caracterizada por um escarpamento de 100m de altura, 5° de inclinação, que passa para um talude de mergulho relativamente suave (DUARTE & VIANA, 2007).

A passagem para o talude médio-inferior, em aproximadamente 1.500m de profundidade, é marcada pela Falha de Cabo Frio, definida por um canal paralelo ao talude e que marca a região do limite interno do escorregamento do sal em direção ao fundo oceânico (MODICA & BRUSH, 2004). Cada uma destas feições, com o aumento da profundidade, cria um intrincado padrão de mini-bacias e altos topográficos. A base do talude é marcada por um conspícuo escarpamento de direção NE-SW que corresponde ao flanco interno de um segundo canal paralelo ao talude (MOREIRA & CARMINATI, 2004).

3.3. Contexto Hidrológico

A margem sudeste brasileira é caracterizada pelo empilhamento de diversas massas d'água: a Água Tropical (AT), a Água Central do Atlântico Sul (ACAS), a Água Intermediária Antártica (AIA), a Água Profunda do Atlântico Norte (APAN) e a Água Antártica de Fundo (AAF) (Figura 2).

Figura 2: Distribuição vertical das massas d'água do Oceano Atlântico Ocidental



Fonte: modificado de MELLO, 2006.

Na área de estudo as águas de superfície são intensamente influenciadas pelo padrão de circulação atmosférica e compreendem duas massas d'água distintas: a AT e a ACAS. As águas de superfície resultam da mistura de três massas d'água: a AT, uma

água de alta salinidade ($S > 36\text{‰}$) e quente ($T > 18^{\circ}\text{C}$); as águas costeiras e as águas resultantes da extrusão vertical (*upwelling*) da ACAS (SOUZA, 2000). A ACAS é fria ($T < 18^{\circ}\text{C}$) e menos salina ($S < 36\text{‰}$).

As águas de superfície são transportadas para sul através da Corrente do Brasil (Brazil Current - BC), que está associada com o Giro Subtropical do anticiclone do Atlântico Sul. A BC origina-se próximo a 10°S , onde o ramo sul da Corrente Sul Equatorial se bifurca para formar também a Corrente Norte do Brasil (STRAMMA, 1991), a qual flui para sul ao longo da margem brasileira até a região da Zona de Convergência Subtropical (em aproximadamente 35°S), onde se une com a Corrente das Malvinas que segue para norte e separa-se da costa. Na Bacia de Santos, a BC flui ao longo da quebra plataforma-talude e transporta para SW a Água Tropical (AT) quente e salina entre a superfície e 200m de profundidade. A ACAS flui entre o limite inferior da AT e 500 e 600m de profundidade (SOUZA, 2000).

Em direção ao sul, a BC se expande para mais de 600m de profundidade e sua velocidade de transporte aumenta. Observações diretas e de modelamento numérico indicam um cisalhamento dessa corrente junto ao talude. Isto facilita a penetração na plataforma das águas profundas da ACAS durante o verão, induzindo a uma circulação de fundo em direção a costa de $0,2 \text{ m s}^{-1}$ e a ressurgência (CAMPOS *et al.*, 1995).

A Água Intermediária Antártica (AIA) ocorre imediatamente abaixo da ACAS, entre as isóbatas de 500-600m até 1200m. É caracterizada por uma faixa de temperatura que varia entre 2 e 6°C , com alto teor de oxigênio dissolvido e salinidade mínima de $34,2\text{‰}$. (PIOLA & GORDON, 1989; REID, 1989). Flui em direção ao norte até a Zona de Convergência Subtropical, próximo a 35°S , e deriva para leste acompanhando o giro do anticiclone subtropical no Hemisfério Sul. No seu trajeto retorna para oeste e, após cruzar a Cadeia Meso-Atlântica, incorpora-se com a Corrente de Benguela ao longo da margem oeste africana, cruza o flanco norte da Elevação de Rio Grande e alcança a margem da América do Sul próximo a 22°S , em Cabo Frio (PETERSON & STRAMMA, 1991). Neste ponto a AIA bifurca e segue dois sentidos opostos. Um ramo flui para norte, a longo da margem da Bacia de Campos, e o outro para sul, sendo incorporado à circulação geral das águas superficiais e de profundidades médias nesta direção. Este ramo da AIA com sentido para sul foi confirmado por MULLER *et al.* (1998).

A Água Profunda do Atlântico Norte (APAN) ocorre abaixo da AIA, sendo caracterizada por temperaturas que variam entre 3 e 4°C e salinidades entre $34,6$ e 35‰ .



Esta segue um fluxo organizado para sul ao longo do limite oeste da margem até 32°S, onde parte do fluxo retorna para o norte. Acima dos 25°S, AT, ACAS, AIA e APAN fluem para sul, levantando algumas questões sobre a atual espessura da Corrente do Brasil (REID, 1989).

Além dos limites do Platô de São Paulo, em águas com profundidade maior que 3500m, a Água Antártica de Fundo (AAF) segue em direção ao Hemisfério Norte e, portanto, não ocorre na área de estudo. O complexo padrão de circulação atual na Bacia de Santos torna difícil a tarefa de reconstrução da paleocirculação local. Evidências sísmicas sugerem que a sedimentação do Neógeno ao Recente foi dominada por uma circulação que redistribuiu os sedimentos transferidos para a bacia durante os níveis de mar alto (*highstands*) e mar baixo (*lowstands*), dando alguma indicação do percurso e da intensidade relativa das correntes de fundo em diferentes condições climáticas e oceanográficas (DUARTE & VIANA, 2007).

4. BREVE HISTÓRICO SOBRE A UTILIZAÇÃO DE FORAMINÍFEROS BENTÔNICOS COMO INDICADORES PALEOAMBIENTAIS

A utilização prática dos foraminíferos bentônicos teve início na segunda década do século XX, quando Joseph Cushman analisou seu uso como marcadores bioestratigráficos, na determinação da idade de sedimentos (CUSHMAN, 1928), demonstrando a aplicabilidade desses organismos como ferramenta na prospecção de petróleo. NATLAND (1933) utilizou, pela primeira vez, os foraminíferos em um estudo estritamente paleoambiental, para determinar a profundidade de deposição de sedimentos de uma bacia.

Nas décadas seguintes, foraminíferos bentônicos foram amplamente utilizados na determinação de paleobatimetria, focados principalmente em espécies isobataiais, que supostamente habitavam a mesma profundidade em todos os oceanos (e.g. PARKER, 1948; PHLEGER & PARKER, 1951; BANDY, 1953a,b; BANDY & ARNAL, 1957; BANDY & ECHOLS, 1964; BANDY & CHIERICI, 1966). GRIMSDALE & VAN MORKHOVEN (1955) propuseram o cálculo da razão entre foraminíferos planctônicos e bentônicos para a determinação paleobatimétrica, índice utilizado com eficácia até os dias de hoje. O uso da razão entre o número de carapaças hialinas, porcelânicas e aglutinantes como um indicador de profundidade e salinidade da água em áreas costeiras foi difundido por estudos como os de BANDY & ARNAL (1957), SLITER & BAKER (1972), MURRAY (1973) e GREINER (1974).

As associações de foraminíferos bentônicos vivos em ambientes com baixa concentração de oxigênio começaram a receber maior atenção da comunidade científica no final da década de 1950, com o trabalho de PARKER (1958). A partir daí, diversos outros como SMITH (1964), PHLEGER & SOUTAR (1973), DOUGLAS & HEITMAN (1979), CITA & PODENZANI (1980), VAN DER ZWAAN (1982) e BERNHARD (1986) reconheceram nesses ambientes pobres em oxigênio faunas

específicas, geralmente com baixa diversidade e dominadas por poucas espécies morfológicamente adaptadas a se desenvolver em condições aparentemente hostis. Como consequência, a quantidade de oxigênio das águas oceânicas profundas foi gradualmente sendo aceito como um dos mais importantes fatores ambientais que condicionam a fauna de foraminíferos.

Com o desenvolvimento dos estudos oceanográficos na década de 1970, MURRAY (1973), STREETER (1973) E SCHNITKER (1974) foram os pioneiros em estudar a relação entre a distribuição dos foraminíferos bentônicos atuais e as massas d'água. Esses autores demonstraram que as massas d'água caracterizadas por uma específica combinação de salinidade, temperatura e pH, condicionam o ambiente de fundo e propiciam o desenvolvimento de faunas características. Com base nessa hipótese se tornou possível traçar a extensão das correntes marinhas profundas no passado, bem como seu padrão de circulação (e.g. LOHMANN, 1978; STREETER & SHACKLETON, 1979; SCHNITKER, 1979; CORLISS, 1979; SCHNITKER, 1980; CORLISS, 1983; CARALP, 1987).

Durante os anos em que a utilização de métodos estatísticos ainda não era popular entre os pesquisadores, era usual a análise da relação entre uma espécie (ou grupos de espécies) e um único parâmetro ambiental, levando a uma tendência geral de simplificação da complexa organização dos ambientes aquáticos, onde uma série de fatores ambientais interagem e controlam a ecologia dos foraminíferos. PFLUM & FRERICHS (1976) foram os primeiros a identificar, em frente ao delta do rio Mississippi, que os limites batimétricos de determinadas espécies mudavam de acordo com uma maior ou menor descarga de nutrientes proveniente do rio. Os autores sugeriram que a ocorrência das espécies estava sendo controlada pela redução do oxigênio devido à adição de matéria orgânica, dando início a uma nova fase no campo

das interpretações sobre os fatores que efetivamente influenciam a fauna de foraminíferos.

O uso de foraminíferos bentônicos como indicadores de produtividade oceânica começou a ser divulgado em meados da década de 1970, quando foi progressivamente esclarecido que mais que a profundidade, a temperatura e a salinidade da água, o *input* orgânico e a oxigenação das águas de fundo eram os principais parâmetros ambientais que controlam os padrões da fauna bentônica em águas profundas (e.g. EPPLEY & PETERSON, 1979; SUESS, 1980; BETZER *et al.*, 1984; MARTIN *et al.*, 1987; PACE *et al.*, 1987; BERGER & WEFER, 1990).

Com a elucidação sobre os parâmetros ambientais mais importantes, a partir da década de 1980 houve um aumento bastante significativo no número de estudos ecológicos e paleoecológicos envolvendo foraminíferos bentônicos, explorando com maior eficácia seu potencial como ferramenta paleoceanográfica. Uma das descobertas mais importantes foi divulgada pelos trabalhos de BASOV & KHUSID (1983) e CORLISS (1985), que observaram que os foraminíferos bentônicos não habitavam somente a superfície do piso oceânico, mas também os primeiros 10 centímetros de sedimento, em habitats que iam se tornando cada vez mais pobres em oxigênio conforme se afastavam do topo. Numerosos estudos ecológicos confirmaram essa constatação, como MACKENSEN & DOUGLAS (1989); CORLISS (1991); BARMAWIDJAJA *et al.* (1992); RATHBURN *et al.* (1996); OHGA & KITAZATO (1997); DE STIGTER *et al.* (1998); SCHMIEDL *et al.* (2000); FONTANIER *et al.* (2002) e LICARI *et al.* (2003).

Utilizando como base os trabalhos pioneiros nessa área, juntamente com as informações de CORLISS & EMERSON (1990) e LOUBERE *et al.* (1993), JORISSEN *et al.* (1995) propuseram o chamado “modelo TROX”, com o qual

demonstraram que em ambientes oligotróficos a profundidade do microhabitat dos foraminíferos dentro dos sedimentos é delimitada pela disponibilidade de partículas de alimento, enquanto que em ambientes eutróficos o limite crítico de oxigênio é o principal fator limitante do microhabitat. Em um estudo mais recente CARNEY (2005) sugeriu que o “modelo TROX” pode ser aplicado também no padrão de distribuição de diversas macrofaunas.

Aprofundando os estudos acerca da influência do aporte orgânico como fator condicionante, LUTZE (1980) e LUTZE & COULBOURN (1984) reforçaram a teoria de que o fluxo de matéria orgânica é o mais importante parâmetro que estrutura a fauna bentônica marinha, controlando sua composição e densidade. Desde a publicação desses trabalhos, a ligação entre foraminíferos bentônicos e o fluxo de matéria orgânica tem sido alvo de um crescente número de estudos paleoceanográficos (e.g. CARALP, 1984; CARNEY, 1989; GOLDSTEIN & CORLISS, 1994; SMART *et al.*, 1994; SCHMIEDL & MACKENSEN, 1997; de RIJK *et al.*, 2000; FONTANIER *et al.*, 2002, 2005; SMART, 2008), que comprovam a preferência de algumas espécies por determinados limites de conteúdo orgânico, dentro dos quais exercem a máxima competitividade e se tornam dominantes.

Graças a análises periódicas de uma mesma área BILLET *et al.* (1983); BERGER & WEFER (1990) e LOHRENZ *et al.* (1992) observaram que o fluxo de matéria orgânica para o assoalho oceânico não ocorre de forma constante, podendo apresentar uma grande variabilidade sazonal e/ou interanual. Em algumas áreas eventos episódicos são responsáveis pela maior parte da adição de nutrientes, e determinadas espécies de foraminíferos bentônicos rapidamente colonizam esses depósitos de fitodetritos, com altas taxas de reprodução, como extensamente documentado por Gooday e colaboradores (e.g. GOODAY, 1988, 1993, 1996; GOODAY &



LAMBSHEAD, 1989; GOODAY & RATHBURN, 1999; GOODAY & HUGHES, 2002) e diversos outros pesquisadores (e.g. LOUBERE, 1998; SMART *et al.*, 1994; THOMAS *et al.*, 1995; THOMAS & GOODAY, 1996; KITAZATO *et al.*, 2000; OHKUSHI *et al.*, 2000; FONTANIER *et al.*, 2003, 2006).

Como demonstrado pelos estudos acima citados, a utilização da fauna de foraminíferos bentônicos como ferramenta na inferência de parâmetros físicos e químicos resulta em estimativas bastante precisas, que tem sido aplicadas com êxito nas reconstruções de modelos paleoambientais. A análise da fauna de foraminíferos bentônicos e a interpretação paleoambiental do Quaternário da Bacia de Santos são apresentadas no artigo científico (capítulo 2), submetido ao periódico *Revista Brasileira de Paleontologia*.

5. ISÓTOPOS ESTÁVEIS DE OXIGÊNIO E CARBONO - GENERALIDADES

Os isótopos são variantes de um elemento químico diferindo apenas no seu peso atômico, mais especificamente no seu número de nêutrons. Esta diferença produz pequenas alterações no seu comportamento químico. As moléculas vibram com uma frequência que depende da sua massa isotópica, o que resulta em diferenças na energia de dissociação. Assim, no equilíbrio de algumas reações químicas, os isótopos leves e pesados são diferencialmente distribuídos entre as moléculas, resultando em fracionamento (Hemleben *et al.*, 1989). O fracionamento isotópico de duas substâncias é quantificado pelas razões leve/pesado das abundâncias de quaisquer dois isótopos resultante da troca entre dois compostos químicos (Hoefs, 2004). Em organismos marinhos, a razão $^{16}\text{O}/^{18}\text{O}$ no carbonato da concha é modulada pelas variações no volume de gelo, temperatura e salinidade da água. A razão $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ é controlada pelo carbono inorgânico dissolvido na água e processos fisiológicos, como a oxidação da matéria orgânica e a atividade fotossintética de organismos marinhos (Barbosa, 2002).

Desta forma, a utilização da composição de isótopos estáveis de carbono e oxigênio nas conchas calcárias tornou-se uma poderosa ferramenta em reconstruções paleoceanográficas (Volkman e Mensch, 2001). Estes *proxies* geoquímicos têm sido usados para a reconstrução do volume global de gelo, estimativa de temperaturas oceânicas superficiais e profundas, mudanças na circulação oceânica e intercâmbios glaciais-interglaciais entre os reservatórios de carbono terrestre e oceânico (Spero *et al.*, 1997).

Isótopos de Oxigênio

Os isótopos estáveis de oxigênio apresentam-se em três diferentes configurações: ^{16}O , ^{17}O e ^{18}O . O ^{16}O é o mais abundante (99.76%), enquanto que o ^{17}O e ^{18}O compreendem, respectivamente, 0.04% e 0.2% do oxigênio total. Os isótopos de

oxigênio circulam nos principais subsistemas climáticos (gelo, atmosfera e oceano), sendo fracionados sempre que uma fase de transição ocorre entre ou dentro dos reservatórios. Assim, sempre que uma parcela de água sofre uma transição (ex.: evaporação ou condensação), ocorre um fracionamento cinético dos isótopos de oxigênio (Craig et al., 1963).

A composição isotópica do oxigênio dos fósseis calcários depende da temperatura de calcificação. Outro fator igualmente importante é a composição da própria água do mar, que varia através do tempo e de local para local, podendo afetar substancialmente a estimativa da temperatura (Fischer *et al.*, 1999). Nos sedimentos marinhos, a composição isotópica do oxigênio dos foraminíferos é principalmente usada como um *proxy* da temperatura e composição isotópica de águas oceânicas (Cooke e Rohling, 1999; Mulitza *et al.*, 2003). A interpretação dos dados isotópicos de oxigênio é uma das ferramentas paleoceanográficas e paleoclimáticas mais importantes, contribuindo significativamente para interpretações de registros marinhos e terrestres.

Isótopos de Carbono

O carbono ocorre sob a forma de dois isótopos estáveis: ^{12}C e ^{13}C , com abundâncias relativas de 98,89% e 1,11%, respectivamente. Existem dois reservatórios principais de carbono: a matéria orgânica e os sedimentos de carbonato. O ciclo do carbono gira em torno da fixação do CO_2 em biomassa orgânica através da fotossíntese, ocorrendo tanto na biosfera marinha como terrestre. Este ciclo atua numa larga escala temporal, desde a alternância dia/noite nas plantas a ciclos de milhões de anos, onde o carbono orgânico é armazenado em sedimentos, sendo exposto e oxidado muito mais tarde (Compton & Mallinson, 1996). Quando ocorre fotossíntese, o carbono dissolvido nas águas superficiais torna-se enriquecido em ^{13}C devido à preferência pela captação



de ^{12}C durante esse processo. Este enriquecimento afeta o HCO_3^- (íon bicarbonato) da água, que por sua vez influencia os carbonatos por ele formados, que também registram um aumento de $\delta^{13}\text{C}$ (Cooke e Rohling, 1999).

Em foraminíferos, o $\delta^{13}\text{C}$ da calcita de suas testas reflete a composição isotópica do total de CO_2 na água do mar (Keigwin, 1979). Os fatores que controlam a composição isotópica do carbono em foraminíferos são de grande importância, principalmente pelo $\delta^{13}\text{C}$ refletir a concentração de nutrientes e as propriedades hidrográficas da água do mar. Fornecem também informações sobre a fonte do carbono utilizado na calcificação, como por exemplo, se o carbono da calcita estava depletado em ^{13}C , relativo à calcita precipitada em equilíbrio isotópico com o total de carbono orgânico dissolvido (COT) no ambiente (Williams *et al.*, 1977).

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BANDY, O. L. Ecology and paleoecology of some California Foraminifera, Part I. The frequency distribution of Recent Foraminifera off California. *Journal of Paleontology*, v. 27, p. 161-192, 1953a.

BANDY, O. L. Ecology and paleoecology of some California Foraminifera, Part II. Foraminiferal evidence of subsidence rates in the Ventura Basin. *Journal of Paleontology*, v. 27, p. 200-203, 1953b.

BANDY, O.L.; ARNAL, R. Distribution of Recent foraminifera off the west coast of Central America. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, v. 41, p. 2037-2053, 1957.

BANDY, O.L.; ECHOLS, J. Antarctic foraminiferal zonation. *American Geophysical Union, Antarctic Research Series*, v. 1, p. 73-91, 1964.

BANDY, O.L.; CHIERICI, M. Depth-temperature evaluation of selected California and Mediterranean bathyal foraminifera. *Marine Geology*, v. 4, p. 254-271, 1966.

BARBOSA, V. P. *Sistemática, Bioestratigrafia e Paleoceanografia de Foraminíferos do Quaternário do talude continental das bacias de Santos e Campos*. 2002. 455p. Tese de Doutorado. Programa de Pós Graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2002.

BARMAWIDJAJA, D. M.; JORISSEN, F. J.; PUSKARIC, S.; VAN DER ZWAAN, G. J. Microhabitat selection by benthic foraminifera in the northern Adriatic Sea. *Journal of Foraminiferal Research*, v. 22, p. 297-317, 1992.

BASOV, I.A.; KHUSID, T.A. Biomass of benthic foraminifera in the sediments of the Sea of Okhotsk. *Oceanology*, v. 33, p. 489-495, 1983.

BERGER, W.; WEFER, G. Export production: seasonality and intermittency, and paleoceanographic implications. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Paleoecology*, v. 89, p. 245-254, 1990.

- BERNHARD, J.M. Characteristic assemblages and morphologies of benthic foraminifera from anoxic, organic-rich deposits: Jurassic through Holocene. *Journal of Foraminiferal Research*, v. 16, p. 207-215, 1986.
- BETZER, P.R.; SHOWERS, W.J.; LAWS, E.A.; WINN, C.D.; DI TULLIO, G.R.; KROOPNICK, P.P. Primary productivity and particle fluxes on a transect of the equator at 153°W in the Pacific Ocean. *Deep-Sea Research*, v. 31, p. 1-11, 1984.
- BILLET, D.S.M.; LAMPITT, R.S.; RICE, A.L.; MANTOURA, R.F.C. Seasonal sedimentation of phytoplankton to the deep-sea benthos. *Nature*, v. 302, p. 520-522, 1983.
- BIZZI, L. A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R. M.; GONÇALVES, J. H. 2003. *Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil*. Serviço Geológico do Brasil, Brasília, 673p.
- BUENO, J.G. Diacronismo de Eventos no rifte Sul-Atlântico. *Boletim de Geociências da Petrobras*, v. 12, n.2, p. 203-229, 2004.
- CAMPOS, E.J.D.; GONÇALVES, J.E.; IKEDA, Y. Water mass characteristics and geostrophic circulation in the South Brazil Bight: Summer of 1991. *Journal of Geophysical Research*, v. 100, n. C9, p. 18537-18550, 1995.
- CARALP, M.H. Quaternary calcareous benthic foraminifers. *Initial Reports of the Deep Sea Drilling Project*, v. 80, p. 725-755, 1984.
- CARALP, M.H. Deep-sea circulation in the northeastern Atlantic over the past 30 000 years: the benthic foraminiferal record. *Oceanologica Acta*, v. 10, p. 27-40, 1987.
- CARNEY, R.S. Examining relationship between organic carbon flux and deep-sea deposit feeding. *Lecture Notes on Coastal and Estuarine Studies*, v. 31, p. 24-58, 1989.
- CARNEY, R.S. Zonation of deep biota on continental margins. *Oceanography and Marine Biology, Annual Review*, v. 43, p. 211-278, 2005.



- CHANG, H.K.; KOWSMANN, R.O.; FIGUEIREDO, A.M.F. New Concepts on the Development of East Brazilian Marginal Basins. *Episodes*, v. 11, n.3, p. 194-202, 1988.
- CITA, M.B.; PODENZANI, M. Destructive effects of oxygen starvation and ash falls on benthic life: a pilot study. *Quaternary Research*, v.13, p. 230-241, 1980.
- COMPTON, J. S.; MALLINSON, D. J. Geochemical consequences of increased late Cenozoic weathering rates and the global CO₂ balance since 100 Ma. *Paleoceanography*, v. 11, p. 431-446, 1996.
- COOKE, S; ROHLING, E.J. 1999. Stable isotopes in foraminiferal carbonate. *In*: Sen Gupta, B.K. (ed.) *Modern Foraminifera*. Kluwer Academic Publishers, p.239 – 258.
- CORLISS, B.H. Quaternary Antarctic Bottom-water History: Deep-Sea benthonic Foraminiferal Evidence from the Southeast Indian Ocean: inferred bottom-water routes and ecological implications. *Marine Geology*, v. 31, p. 115-138, 1979.
- CORLISS, B.H. Quaternary circulation of the Antarctic Circumpolar Current. *Deep-Sea Research*, v. 30, p. 47-61, 1983.
- CORLISS, B.H. Microhabitats of benthic foraminifera within deep-sea sediments. *Nature*, v. 314, p. 435- 438, 1985.
- CORLISS, B.H. Morphology and microhabitat preferences of benthic foraminifera from the northwest Atlantic Ocean. *Marine Micropaleontology*, v. 17, p. 195-236, 1991.
- CORLISS, B.H.; CHEN, C. Morphotype patterns of Norwegian Sea deep-sea benthic foraminifera and ecological implications. *Geology*, v.16,p. 716-19, 1988.
- CORLISS, B.H.; EMERSON, S. Distribution of Rose Bengal stained deep-sea benthic foraminifera from the Nova Scotia continental margin and Gulf of Maine. *Deep-Sea Research*, v. 37, p. 381-400, 1990.
- CRAIG, H.; GORDON, L. I.; HORIBE, Y. Isotopic exchange effects in the evaporation of water. *Journal of Geophysical Research*, v. 68, p. 5079-5087, 1963.

- CUSHMAN, J.A. Foraminifera. Their classification and economic use. *Cushman Laboratory for Foraminiferal Research, Special Publications*, v.1, 401 p, 1928.
- De RIJK, S.; JORISSEN, F.J.; ROHLING E.J.; TROELSTRA, S.R. Organic flux control on bathymetric zonation of Mediterranean benthic foraminifera. *Marine Micropaleontology*, v. 40, p. 151-166, 2000.
- De STIGTER, H.C.; JORISSEN, F.J.; VAN DER ZWAAN, G.J. Bathymetric distribution and microhabitat partitioning of live (Rose Bengal stained) benthic foraminifera along a shelf to deep-sea transect in the southern Adriatic Sea. *Journal of Foraminiferal Research*, v. 28, p.40-65, 1998.
- DOUGLAS, R.G.; HEITMAN, H.L. Slope and basin benthic foraminifera of the California Borderland. *Society of Economic Paleontologists and Mineralogists*, v. 27, p. 231-246, 1979.
- DUARTE, C.S.L.; VIANA, A.R. Santos Drift System: stratigraphic organization and implications for late Cenozoic palaeocirculation in the Santos Basin, SW Atlantic Ocean. *Geological Society, London, Special Publications*, v. 276, n.1, p. 171-198, 2007.
- EPPLEY, R.; PETERSON, B. Particulate organic matter flux and planktonic new production in the deep ocean. *Nature*, v. 282, p. 677-680, 1979.
- FISCHER, G.; KALBERER, M.; DONNER, B.; WEFER, G. 1999. Stable isotopes of pteropods shells as recorders of sub-surface water conditions: Comparison to the record of *G. ruber* and to measured values. In: Fischer, G.; Wefer, G. (eds.) *Use of Proxies in Paleoceanography*. Springer, p.191-206.
- FLEMING, F.P.; MAIA, R.M.C.; REIS, A.T.; ALVES, E.C.; GORINI, C.; SILVA, C.G.; GUERRA, J.V. Variability and Evolution of Shallow Continental Shelf Systems off Rio de Janeiro State, Santos Basin - Brazil. *Journal of Coastal Research*, v.57, p.617-621, 2009.

- FONTANIER, C.; JORISSEN, F.J.; LICARI, L.; ALEXANDRE, A.; ANSCHUTZ, P.; CARBONEL, P. Live benthic foraminiferal faunas from the Bay of Biscay: faunal density, composition, and microhabitats. *Deep-Sea Research I*, v. 49, p. 751-785, 2002.
- FONTANIER, C.; JORISSEN, F.J.; CHAILLOU, G.; DAVID, C.; ANSCHUTZ, P.; LAFON, V. Seasonal and interannual variability of benthic foraminiferal faunas at 550 m depth in the Bay of Biscay. *Deep-Sea Research I*, v. 50, p. 457-494, 2003.
- FONTANIER, C.; JORISSEN, F.J.; CHAILLOU, G.; ANSCHUTZ, P.; GRÉMARE, A.; GRIVEAUD, C. Live foraminiferal faunas from a 2800 m deep lower canyon station from the Bay of Biscay: faunal response to focusing of refractory organic matter. *Deep-Sea Research I*, v. 52, p. 1189-1227, 2005.
- FONTANIER, C.; JORISSEN, F.J.; ANSCHUTZ, P.; CHAILLOU, G. Seasonal variability of foraminiferal faunas at 1000 m depth in the Bay of Biscay. *Journal of Foraminiferal Research*, v. 36, p. 61-76, 2006.
- GOLDSTEIN, S.T.; CORLISS, B.H. Deposit feeding in selected deep-sea and shallow-water benthic foraminifera. *Deep-Sea Research I*, v. 41, p. 229-241, 1994.
- GOODAY, A.J. A response by benthic Foraminifera to the deposition of phytodetritus in the deep-sea. *Nature*, v. 332, p. 70-73, 1988.
- GOODAY, A.J. Deep-sea benthic foraminifera species which exploit phytodetritus: characteristic features and controls on distribution. *Marine Micropaleontology*, v. 22, p.187-205, 1993.
- GOODAY, A.J. Epifaunal and shallow infaunal foraminiferal communities at three abyssal NE Atlantic sites subject to differing phytodetritus input regimes. *Deep-Sea Research I*, v. 43, p. 1395-1421, 1996.

- GOODAY, A.J. Benthic foraminifera (Protista) as tools in deep-water palaeoceanography: Environmental influences on faunal characteristics. *Advances in Marine Biology*, v. 46, p.1-90, 2003.
- GOODAY, A.J.; LAMBSHEAD, P.J.D. Influence of seasonally deposited phytodetritus on benthic foraminiferal populations in the bathyal northeast Atlantic: The species response. *Marine Ecology Progress Series*, v. 5, p. 53-67, 1989.
- GOODAY, A.J.; RATHBURN, A.E. Temporal variability in living deep-sea foraminifera: a review. *Earth Sciences Reviews*, v. 46, p.187-212, 1999.
- GOODAY, A.J.; HUGHES, J.A. Foraminifera associated with phytodetritus deposits at a bathyal site in the northern Rockall Trough (NE Atlantic): seasonal contrasts and a comparison of stained and dead assemblages. *Marine Micropaleontology*, v. 46, p. 83-110, 2002.
- GREINER, G.O.G. Environmental factors controlling the distribution of benthonic foraminifera. *Breviora*, v. 420, p. 1-35, 1974.
- GRIMSDALE, T.F.; VAN MORKHOVEN, F.P.C.M. The ratio between pelagic and benthonic foraminifera as a means of estimating depth of deposition of sedimentary rocks. *4th World Petroleum Congress, Proceedings, Section I/D4*, p.473-491, 1955.
- HEMLEBEN, C.; SPINDLER, M.; ANDERSON, O.R. *Modern Planktonic Foraminifera*. New York: Spinger-Verlag, 1989. 363p.
- HOEFS, J. *Stable Isotope Geochemistry*. Berlin: Springer-Verlag, 2004. 244 p.
- ISHMAN, S.E. A benthic foraminiferal record of middle to late Pliocene (3.15–2.85 Ma) deep water change in the North Atlantic. *Marine Micropaleontology*, v.27, p.165–180, 1996.

- JORISSEN, F.J.; DE STIGTER H.C.; WIDMARK, J.G.V. A conceptual model explaining benthic foraminiferal microhabitats. *Marine Micropaleontology*, v. 22, p. 3-15, 1995.
- JORISSEN, F.J.; WITTLING I.; PEYPOUQUET J.P.; RABOUILLE C.; RELEXANS, J.C. Live benthic foraminiferal faunas off Cap Blanc, NW Africa: community structure and microhabitats. *Deep-Sea Research I*, v.45, p. 2157-2188, 1998.
- KEIGWIN Jr., L.D. Late Cenozoic stable isotope stratigraphy and paleoceanography of DSDP Sites from the East Equatorial and Central North Pacific Ocean. *Earth and Planetary Science Letters*, v.45, p. 361-382, 1979.
- KITAZATO, H.; SHIRAYAMA, Y.; NAKATSUKA, T.; FUJIWARA, S.; SHIMANAGA, M.; KATO, Y.; OKADA, Y.; KANDA, J.; YAMAOKA, A.; MASUKAWA, T.; SUZUKI, K. Seasonal phytodetritus deposition and responses of bathyal benthic foraminiferal populations in Sagami Bay, Japan: preliminary results from "Project Sagami 1996-1999". *Marine Micropaleontology*, v. 40, p. 135-149, 2000.
- LICARI, L. N.; SCHUMACHER, S.; WENZHÖFER, F.; ZABEL, M.; MACKENSEN, A. Communities and microhabitats of living benthic foraminifera from the tropical East Atlantic: impact of different productivity regimes. *Journal of Foraminiferal Research*, v. 33, p. 10-31, 2003.
- LOHMANN, G.P. Abyssal benthonic foraminifera as hydrographic indicators in the western South Atlantic ocean. *Journal of Foraminiferal Research*, v. 8, p. 6-34, 1978.
- LOHRENZ, S.E.; KNAUER, G.A.; ASPER, V.L.; TUEL, M.; MICHAELS, A.F.; KNAP, A.H. Seasonal variability in primary production and particle flux in the northwestern Sargasso Sea: U.S. JGOFS Bermuda Atlantic Time-series Study. *Deep-Sea Research*, v. 39, p. 1373-1391, 1992.

LOUBERE, P. The surface ocean productivity and bottom water oxygen signals in deep water benthic foraminiferal assemblages. *Marine Micropaleontology*, v. 28, p. 247-261, 1996.

LOUBERE, P. The impact of seasonality on the benthos as reflected in the assemblages of deep-sea foraminifera. *Deep-Sea Research I*, v. 45, p. 409-432, 1998.

LOUBERE, P.; BANONIS, G. Benthic foraminiferal assemblage response to the onset of northern hemisphere glaciation: paleoenvironmental changes and species trends in the northeast Atlantic. *Marine Micropaleontology*, v. 12, p.161–181, 1987.

LOUBERE, P.; GARY A.; LAGOE, M. Benthic foraminiferal microhabitats and the generation of a fossil assemblage: theory and preliminary data. *Marine Micropaleontology*, v. 20, p. 165-181, 1993.

LUTZE, G.F. Depth distribution of benthic foraminifera on the continental margin off NW Africa. *Meteor Forschungs-Ergebnisse*, v. C32, p. 31-80, 1980.

LUTZE, G.F.; COULBOURN, W.T. Recent benthic foraminifera from the continental margin of northwest Africa: community structure and distribution. *Marine Micropaleontology*, v. 8, p. 361-401, 1984.

MACKENSEN, A.; SEJRUP, H.P.; JANSEN, E. The distribution of living and dead deep-water benthic foraminifera along the continental slope and rise off southwest Norway. *Marine Micropaleontology*, v. 9, p. 275–306, 1985.

MACKENSEN, A.; DOUGLAS, R.G. Down-core distribution of live and dead deep-water benthic foraminifera in box cores from the Weddell Sea and the California continental borderland. *Deep-Sea Research*, v. 36, p. 879-900, 1989.

MARTIN, J.H.; KNAUER, G.A.; KARL, D.M.; BROENKOW, W.W. VERTEX: carbon cycling in the northeast pacific. *Deep-Sea Research*, v. 34, p. 267-285, 1987.



- MARTINEZ, P.; BERTRAND, P.; SHIMMIELD, G.B.; COCHRANE, K.; JORISSEN, F.J.; FOSTER, J.; DIGNAN, M. Upwelling intensity and ocean productivity changes off Cape Blanc (northwest Africa) during the last 70,000 years: geochemical and micropalaeontological evidence. *Marine Geology*, v.158, p.57-74, 1999.
- MELLO, M.M. *Caracterização da Fauna de Foraminíferos Bentônicos do Talude da Bacia de Campos, R.J, e sua Correlação com os Parâmetros das Massas d'água do Atlântico Sul*. 2006. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006.
- MODICA, C.J.; BRUSH, E.R. Postrift sequence stratigraphy, paleogeography, and fill history of the deep-water Santos Basin, offshore southeast Brazil. *AAPG Bulletin*, v. 88, n.7, p. 923-945, 2004.
- MOHRIAK, W.U. 2003. Bacias Sedimentares da Margem Continental Brasileira. In: BIZZI, L.A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R.M. ; GONÇALVES, J.H. (eds.) *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil*. CPRM, p. 87-94.
- MOREIRA, J.L.P.; CARMINATTI, M. 2004. Sistemas Depositionais de Talude e de Bacia no Eoceno da Bacia de Santos. *Boletim de Geociências da Petrobras*, v. 12, n.1, p. 73-87.
- MOREIRA, J.L.P.; MADEIRA, C.V.; GIL, J.A.; MACHADO, M.A.P. Bacia de Santos. *Boletim de Geociências da Petrobras*, v. 15, n. 2, p. 531-549, 2007.
- MULLER, T.J.; IKEDA, Y.; ZANGENBERG, N.; NONATO, L.V. Direct measurements of western boundary currents off Brazil between 20 degrees S and 28 degrees S. *Journal of Geophysical Research-Oceans*, v. 103, n.C3, p. 5429-5437, 1998.
- MULITZA, S.; BOLTOVSKOY, D.; DONNER, B.; MEGGERS, H.; PAUL, A.; WEFER, G. Temperature: $\delta^{18}O$ relationships of planktonic foraminifera collected from surface waters. *Palaeo*, v. 202, p.143-152, 2003.



MURRAY, J.W. *Distribution and Ecology of Living Benthic Foraminiferids*. London: Heinemann, 1973. 274p.

NATLAND, M.L. The temperature- and depth-distribution of some Recent and fossil Foraminifera in the Southern California Region. *Scripps Institute of Oceanography Bulletin, Technical Series*, v.3, p. 225- 230, 1933.

NUNES, M.C.V.; VIVIERS, M.C.; LANA, C.C. Bacias Sedimentares Brasileiras - Bacia de Santos. *Phoenix*, v. 6, n. 66, p. 1-6, 2004.

OHGA, T.; KITAZATO, H. Seasonal changes in bathyal foraminiferal populations in response to the flux of organic matter (Sagami Bay, Japan). *Terra Nova*, v. 9, p. 33-37, 1997.

OHKUSHI, K.; THOMAS, E.; KAWAHATA, H. Abyssal benthic foraminifera from the Northwestern Pacific (Shatsky Rise) during the last 298 kyr. *Marine Micropaleontology*, v.38, p. 119-147, 2000.

PACE, M.L.; KNAUER, G.A.; KARL, D.M.; MARTIN, J.H. Primary production, new production, and vertical flux in the eastern Pacific Ocean. *Nature*, v. 325, p. 803-804, 1987.

PARKER, F.L. Foraminifera of the continental shelf from the Gulf of Maine to Maryland. *Bulletin of the Harvard Museum of Comparative Zoology*, v. 100, n. 2, p. 213-244, 1948.

PARKER, F.L. Eastern Mediterranean foraminifera, sediment cores from the Mediterranean Sea, and the Red Sea. *Reports of the Swedish Deep-Sea Expedition, 1947-1948*, v.8, n. 4, p. 219-285, 1958.

PETERSON, R.G.; STRAMMA, L. Upper-Level Circulation in the South-Atlantic Ocean. *Progress in Oceanography*, v. 26, n.1, p. 1-73, 1991.

- PFLUM, C.E.; FRERICHS, W.E. Gulf of Mexico Deep-Water Foraminifers. *Cushman Foundation for Foraminiferal Research, Special Publication*, v. 14, 125 pp, 1976.
- PHLEGER, F. B.; PARKER, F. L. Ecology of foraminifera, Northwest Gulf of Mexico. Part II. Foraminifera Species. *Memoirs of the Geological Society of America*, v. 46, p.1-64, 1951.
- PHLEGER, F.L.; SOUTAR, A. Production of benthic foraminifera in three east Pacific oxygen minima. *Micropaleontology*, v. 19, p. 110-115, 1973.
- PIOLA, A.R.; GORDON, A.L. Intermediate Waters in the Southwest South-Atlantic. *Deep-Sea Research*, v. 36, n.1, p.1-16, 1989.
- RATHBURN, A.E.; CORLISS, B.H.; TAPPA, K.D.; LOHMANN, K.C. Comparison of the ecology and stable isotopic compositions of living (stained) benthic foraminifera from the Sulu and South China Seas. *Deep-Sea Research I*, v. 43, p. 1617-1646, 1996.
- REID, J.L. On the Total Geostrophic Circulation of the South-Atlantic Ocean - Flow Patterns, Tracers, and Transports. *Progress in Oceanography*, v. 23, n.3, p. 149-244, 1989.
- SCHMIEDL, G.; MACKENSEN, A. Late Quaternary paleoproductivity and deep water circulation in the eastern South Atlantic Ocean: evidence from benthic foraminifera. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, v.130, p.43-80, 1997.
- SCHMIEDL, G.; DE BOVÉE, F.; BUSCAIL R.; CHARRIÈRE B.; HEMLEBEN C.; MEDERNACH L.; PICON, P. Trophic control of benthic foraminiferal abundance and microhabitat in the bathyal Gulf of Lions, western Mediterranean Sea. *Marine Micropaleontology*, v. 40, p.167-188, 2000.
- SCHNITKER, D. Western Atlantic abyssal circulation during the past 12,000 years. *Nature*, v. 248, p. 385-387, 1974.

SCHNITKER, D. The deep waters of the western North Atlantic during the past 24,000 years and the re-initiation of the Western Boundary Undercurrent. *Marine Micropaleontology*, v. 4, p. 264-280, 1979.

SCHNITKER, D. Quaternary deep-sea benthic foraminifera and bottom water masses. In: DONATH, F.A., STEHLI, F.G., WETHERILL, G.W. (Eds.), Annual Reviews of Earth and Planetary Sciences, v. 8, p. 343–370, 1980.

SLITER, W.V.; BAKER, R.A. Cretaceous bathymetric distribution of benthic foraminifera. *Journal of Foraminiferal Research*, v. 2, p. 167-183, 1972.

SMART, C.W. Abyssal NE Atlantic benthic foraminifera during the last 15 kyr: relation to variations in seasonality of productivity. *Marine Micropaleontology*, v. 69, p.193–211, 2008.

SMART, C.W.; KING, S.C.; GOODAY, A.J.; MURRAY, J.W. & THOMAS, E. A benthic foraminiferal proxy of pulsed organic matter paleofluxes. *Marine Micropaleontology*, v. 23, p.89-99, 1994.

SMITH, P.B., 1964. Recent foraminifera off Central America. Ecology of benthic species. *USGS Professional Paper*, v. 429B, p. 1-55.

SOUZA, M.C.A. *A Corrente do Brasil ao largo de Santos: medições diretas*. 2000. 169 p. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Oceanografia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

SPERO, H.J.; BIJMA, J.; LEA, D.W.; BEMIS, E.B. Effect of seawater carbonate concentration on foraminiferal carbon and oxygen isotopes. *Nature*, v.390, p.497-500, 1997.

STRAMMA, L. Geostrophic Transport of the South Equatorial Current in the Atlantic. *Journal of Marine Research*, v. 49, n. 2, p. 281-294,1991.



STREETER, S. S. Bottom water and benthonic foraminifera in the North Atlantic glacial-interglacial contrasts. *Quaternary Research*, v.3, p. 131-141, 1973.

STREETER, S.S.; SHACKLETON, N.J. Paleocirculation of the deep North Atlantic: 150,000 year record of benthic foraminifera and oxygen-18. *Science*, v. 203, p. 168-171, 1979.

STREETER, S.S.; BELANGER P.E.; KELLOGG T.B.; DUPLESSY, J.C. Late Pleistocene paleo-oceanography of the Norwegian-Greenland sea: benthic foraminiferal evidence. *Quaternary Research*, v.18, p.72-90, 1982.

SUESS, E. Particulate organic carbon flux in the ocean-surface productivity and oxygen utilization. *Nature*, v. 280, p. 260-263, 1980.

THOMAS, E.; BOOTH, L.; MASLIN, M.; SHACKLETON, N. J. Northeastern Atlantic benthic foraminifera during the last 45,000 years: Changes in productivity seen from the bottom up. *Paleoceanography*, v. 10, p. 545-562, 1995.

THOMAS, E.; GOODAY, A.J. Cenozoic deep-sea benthic foraminifers: Tracers for changes in oceanic productivity? *Geology*, v. 24, p. 355-358, 1996.

VAN DER ZWAAN, G.J. Paleoecology of Late Miocene Mediterranean Foraminifera. *Utrecht Micropaleontological Bulletins*, v. 25, p. 202 pp, 1982.

VOLKMANN, R.; MENSCH, M. Stable isotope composition ($\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{13}\text{C}$) of living planktic foraminifers in the outer Laptev Sea and Fram Strait. *Marine Micropaleontology*, v.41, p.163-188, 2001.

WILLIAMS, D. F.; SOMMER, M. A.; BENDER, M. L. Carbon isotopic compositions of recent planktonic foraminifera of the Indian Ocean. *Earth and Planetary Science Letters*, v.36, p.391-403, 1977.



ZALÁN, P.V.; OLIVEIRA, J.A. Origem e evolução estrutural do sistema de riftes cenozóicos do sudeste do Brasil. *Boletim de Geociências da Petrobras*, v. 13, n.2, p. 269-300, 2005.

CAPÍTULO 2
ARTIGO CIENTÍFICO

CAROLINA JARDIM LEÃO

**INTERPRETAÇÕES PALEOAMBIENTAIS DO QUATERNÁRIO
DA BACIA DE SANTOS (BRASIL) COM BASE EM
FORAMINÍFEROS BENTÔNICOS**

Artigo apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre, pelo Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade do Vale do Rio dos Sinos-UNISINOS, área de concentração Geologia Sedimentar.

Orientador: Prof. Dr. Itamar Ivo Leipnitz

Banca examinadora:

Dr^a. Tânia L. Dutra - UNISINOS

Dr^a. Karen B. Costa - USP

São Leopoldo
2011



REVISTA BRASILEIRA DE PALEONTOLOGIA

Porto Alegre, 22 de novembro de 2011.

Ilmo. Sr.
CAROLINA JARDIM LEÃO
PPG-Geologia/Unisinos
São Leopoldo, RS

Prezada Carolina

É com satisfação que acuso o recebimento do MS intitulado "INTERPRETAÇÕES PALEOAMBIENTAIS DO QUATERNÁRIO DA BACIA DE SANTOS (BRASIL) COM BASE EM FORAMINÍFEROS BENTÔNICOS", o qual foi submetido à publicação na Revista Brasileira de Paleontologia – RBP.

O MS em tela será enviado para dois consultores *ad hoc* para avaliação de mérito. Em tempo oportuno entraremos novamente em contato com a primeira autora, pelo que solicitamos que mantenha o seu e-mail atualizado junto aos editores da RBP.

Atenciosamente,


JOÃO CARLOS COIMBRA
Editor-chefe da RBP

Dra. Ana Maria Ribeiro FZB-RS, Av. Dr. Salvador França, 1427 90690-000, Porto Alegre, RS, Brasil ana.ribeiro@fzb.rs.gov.br	CORPO EDITORIAL - RBP Dr. João Carlos Coimbra UFRGS/IG, Av. Bento Gonçalves, 9500 91501-970, Porto Alegre RS, Brasil joao.coimbra@ufrgs.br	Dra. Renata Guimarães Netto, UNISINOS, Av. Unisinos, 950 93022-000, São Leopoldo, RS, Brasil nettor@unisinos.br
---	--	--

INTERPRETAÇÕES PALEOAMBIENTAIS DO QUATERNÁRIO DA BACIA DE SANTOS (BRASIL) COM BASE EM FORAMINÍFEROS BENTÔNICOS

CAROLINA JARDIM LEÃO¹, ITAMAR IVO LEIPNITZ¹, KAREN BADARACO COSTA²,

¹Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), Laboratório de Micropaleontologia: Av. Unisinos, 950, Cristo Rei, CEP 93022-000 São Leopoldo, RS. carolinaj@unisinos.br, itamar@unisinos.br.

²Universidade de São Paulo (USP), Laboratório de Paleoc oceanografia do Atlântico Sul (LaPAS): Praça do Oceanográfico, 191, Cidade Universitária, CEP:05508-120, São Paulo,SP. karen.costa@usp.br.

ABSTRACT - PALEOENVIRONMENTAL INTERPRETATIONS OF QUATERNARY FROM SANTOS BASIN (BRAZIL) BASED ON BENTHIC FORAMINIFERA. In this study, the benthic foraminiferal fauna of two cores collected in continental slope of Santos Basin (~2,000 m water depth) was analyzed as well as the stable isotopes of carbon and oxygen extracted from the shells. *Pseudoparrella exigua* is more abundant during glacial stages, characterizing these periods as strongly influenced by seasonal phytodetritus input, while *Alabaminella weddellensis* dominates in the interglacial stages, indicating a more intense and continuous deposition of organic material. *Cassidulina californica*, that had significant abundance in both stages, responds to high amount of total organic carbon in sediments. Variations in relative abundance of this species suggest periods with different intensities of flow of nutrients and different sources of organic matter deposited on the ocean floor in the last 545,000 years.

Key words: Benthic foraminifera, paleoproductivity, Southwest Atlantic.

RESUMO - Uma análise da fauna de foraminíferos bentônicos proveniente de dois testemunhos do talude continental da Bacia de Santos (~2.000 metros de lâmina d'água), bem como os dados de isótopos estáveis de carbono e oxigênio das carapaças é aqui apresentada. *Pseudoparrella exigua* tem maior abundância nos estágios glaciais, o que caracteriza esses períodos como sendo influenciados por aportes sazonais de fitodetrítos, enquanto *Alabaminella weddellensis* domina nos estágios interglaciais, indicando uma deposição mais intensa e contínua de matéria orgânica. Já *Cassidulina californica*, que teve abundância expressiva tanto em glaciais como em interglaciais, é uma espécie que responde a quantidades elevadas de carbono orgânico total nos sedimentos. As variações na abundância relativa dessas espécies sugerem períodos com distintas intensidades de fluxo de nutrientes e diferentes origens da matéria orgânica depositada no assoalho oceânico nos últimos 545 mil anos.

Palavras-chave: Foraminíferos bentônicos, paleoprodutividade, Atlântico Sudoeste.

INTRODUÇÃO

Entre os organismos da microfauna marinha utilizados em estudos paleoceanográficos, os foraminíferos bentônicos merecem especial atenção por ocuparem uma posição bastante significativa na biota oceânica e por serem reconhecidamente excelentes indicadores ecológicos e paleoecológicos. A importância atribuída ao grupo deve-se, entre outros fatores, a sua rápida evolução, grande sensibilidade às variações ambientais, elevada abundância e diversidade, além de ampla distribuição geográfica e batimétrica (Barbosa, 2002).

Os fatores ambientais que influenciam o desenvolvimento dos foraminíferos ainda são bastante discutidos, sendo sugeridos como os principais fatores controladores a concentração de oxigênio e disponibilidade de nutrientes e, secundariamente, batimetria, incidência de luz, pH, tipo de sedimento e salinidade (Gooday *et al.*, 2000; Murray, 2001; Fontanier *et al.*, 2002, 2005).

Nas últimas duas décadas diversos estudos tem indicado que a quantidade, o tipo e o modo de entrada de matéria orgânica no fundo oceânico podem influenciar fortemente a composição, distribuição e abundância das associações de foraminíferos bentônicos (*e.g.* Gooday, 1988, 1993, 1996, 1999; Corliss, 1991; Thomas *et al.*, 1995; Loubere, 1998). Certas espécies, como *Pseudoparrella exigua* e *Alabaminella weddellensis*, são características de áreas influenciadas por aporte de fitodetritos advindos da zona fótica, onde ocorrem os episódios de *bloom* de fitoplâncton (Smart *et al.*, 1994). Loubere & Fariduddin (1999) sugerem que essas espécies fitodetríticas tem grande potencial para estudos envolvendo a reconstituição da paleoprodutividade primária oceânica e também para a determinação do grau de sazonalidade dessa deposição. A análise dessa sazonalidade pode ser empregada para auxiliar a

compreensão de como o ciclo de carbono nos oceanos tem sido influenciado pelas mudanças climáticas globais (Sun *et al.*, 2006).

Sabe-se que as maiores alterações nas associações de foraminíferos bentônicos (diversidade de espécies e abundância) ocorreram entre os ciclos glaciais-interglaciais. Essas mudanças foram interpretadas, primeiramente, como sendo ligadas estritamente ao padrão de circulação em águas profundas e às massas d'água dominantes (Streeter, 1973; Schnitker, 1980), porém, nas décadas seguintes, pesquisas apontaram a flutuação da produtividade marinha como sendo um dos fatores de maior influência (*e.g.* Schmiedl & Mackensen, 1997; Ohkushi *et al.*, 2000). Nesse contexto, informações mais amplas sobre as condições oceânicas durante os períodos glaciais e interglaciais podem ser obtidas aliando o estudo das associações de foraminíferos bentônicos à análise de isótopos estáveis dos mesmos.

O conhecimento sobre as características da fauna de foraminíferos bentônicos fósseis da porção sudoeste do Oceano Atlântico ainda é escasso, bem como sua ligação com os pulsos de produtividade oceânica em tempos pretéritos. Este trabalho tem como objetivo analisar as associações de foraminíferos bentônicos do talude da Bacia de Santos e, a partir da integração de dados paleoecológicos e geoquímicos, utilizar essa microfauna como base para uma interpretação paleoambiental da zona batial desta bacia durante o Quaternário.

ÁREA DE ESTUDO

Contexto geológico da Bacia de Santos

A Bacia de Santos está localizada na porção sudeste da margem continental brasileira, e se estende desde o litoral sul do Rio de Janeiro, São Paulo, Paraná até o norte de Santa Catarina (Figura 1). Geologicamente, trata-se de uma depressão limitada

a norte pelo Alto de Cabo Frio (23°S) e a sul pela Plataforma ou Alto de Florianópolis (28°S). As duas estruturas confinantes (norte e sul) são, na verdade, prolongamentos de lineamentos oceânicos expressivos de direção noroeste. A bacia recobre uma área de cerca de 350.000 km², dos quais 200.000 km² encontram-se sob lâminas d'água de até 400 m e 150.000 km² entre as cotas de 400 e 3.000 m. O limite oeste da Bacia é dado pelo cinturão de serras costeiras (Maciço da Carioca, serras do Mar e da Mantiqueira), com altitudes que variam entre 800 e 2.200m. Para leste, a Bacia de Santos estende-se até o sopé da feição fisiográfica conhecida como o Platô de São Paulo (Mohriak, 2003).

Os testemunhos analisados neste trabalho estão inseridos no contexto litoestratigráfico da Formação Marambaia (Figura 2), que é constituída por uma espessa seção de folhelho cinzento e margas cinza claro, intercalados com sedimentos arenosos finos e lamosos. Dados bioestratigráficos indicam idades que se estendem do Plioceno Inferior ao Recente (Moreira *et al.*, 2007).

Contexto oceanográfico local

A área onde se localiza a Bacia de Santos é influenciada por diversas massas d'água, divididas em superficiais e profundas. As principais massas d'água profundas que atuam nas proximidades do local de coleta dos testemunhos são a Água Intermediária Antártica (*Antartic Intermediate Water - AAIW*), corrente fria e bem oxigenada que flui para o norte entre as profundidades de 550 e 1.200 metros e a Água Profunda do Atlântico Norte (*North Atlantic Deep Water - NADW*), que flui em direção ao sul entre as profundidades de 1.200 e 3.500 metros, com águas mais quentes, altamente salinas, pobres em nutrientes e ricas em oxigênio (Viana *et al.*, 1998).

Segundo Oppo & Fairbanks (1987), as mudanças na intensidade da NADW provocam grandes alterações no Atlântico Sul, contribuindo com o incremento de temperatura e salinidade, quando se encontra com as águas frias vindas da Antártica.

Além disso, mudanças ligadas ao fluxo da NADW e sua baixa taxa de nutrientes afetam o ciclo de vida da fauna e flora marinha, sendo mais visíveis no ciclo de glaciações-interglaciações (Hays *et al.*, 1976). Entretanto, a influência pretérita dessa e de outras massas d'água na Bacia de Santos ainda é pouco conhecida, visto que a complexidade do padrão moderno de circulação dificulta a reconstrução da paleocirculação na área (Duarte & Viana, 2007).

MATERIAL E MÉTODOS

Os dois testemunhos utilizados neste trabalho (BS-6 e BS-8) foram coletados no talude continental da Bacia de Santos no ano de 2007, a uma profundidade de aproximadamente 2.100 metros de lâmina d'água pelo navio de sondagem Fugro Explorer, utilizando um amostrador “*Jumbo Piston Core*”. Os testemunhos foram amostrados no Laboratório de Exploração e Pesquisa - Bacia de Campos/PETROBRAS, na cidade de Macaé (RJ) e as fácies foram identificadas pela textura como margas (MG), lama rica em carbonatos (LR), lama levemente carbonática (LL), vasa carbonática (VFN), e areias (AS) (Figura 3).

Para a análise quantitativa e qualitativa da fauna de foraminíferos bentônicos foram analisadas 68 amostras, 31 coletadas no testemunho BS-6 e 37 no testemunho BS-8 (Figura 3). A amostragem dos testemunhos envolveu a coleta de 10 cm³ de sedimento por amostra, com espaçamento de 30 cm entre elas ou quando se observou mudança litológica.

Cada amostra foi lavada sob água corrente em peneira com malha 63 µm, seca em estufa a 50°C e quarteada. Posteriormente, o material foi peneirado em malhas de 63, 125 e 500 µm e entre 300 e 600 foraminíferos bentônicos (somatório de espécimes retidos nas três malhas) foram triados de cada amostra. As principais espécies de ambos

os testemunhos foram fotografadas em Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) no CenPes/PETROBRAS (RJ).

A diversidade de espécies foi obtida por meio do Índice de Shannon (H'), que leva em consideração a riqueza das espécies e sua abundância relativa, sendo definido por:

$$H' = \sum p_i \cdot \log p_i$$

em que $p_i = n_i/N$; n_i = valor de importância de cada espécie ou grupo; N = total dos valores de importância (Magurran, 1987).

Para a análise de isótopos estáveis de $\delta^{18}\text{O}$ e $\delta^{13}\text{C}$ foram coletados em média três espécimes do foraminífero bentônico *Cibicidoides wuellerstorfi* em cada amostra, tendo como critério de seleção das carapaças a preservação, tamanho e estágio ontogenético (somente formas adultas). As medições foram feitas no “*Stable Isotopic Laboratory*” na Universidade da Califórnia (EUA), utilizando um espectrômetro de massa “*Fisons Prism III*”. A análise das razões isotópicas de carbono e oxigênio foi realizada em parceria com o Laboratório de Paleoceanografia do Atlântico Sul (LaPAS), do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo (IO-USP). Os resultados são emitidos em relação ao padrão internacional VPDB (*Vienna Pee Dee Belemnite*) em partes por mil (‰). As estimativas de idade foram efetuadas através da comparação entre os isótopos de oxigênio em escala orbital LR04 de Lisiecki & Raymo (2005) com os dados de isótopos de oxigênio. O modelo de idade para os dois testemunhos analisados está representado na Figura 4.

RESULTADOS

Estratigrafia Isotópica

Isótopos de Oxigênio

A estratigrafia isotópica de oxigênio do testemunho BS-6 permitiu a identificação dos estágios isotópicos marinhos (Marine Isotopic Stages - MIS) 1 ao 11, que abrangem aproximadamente os últimos 380 ka (mil anos). Cabe salientar que o topo do testemunho não foi recuperado, uma vez que a amostra com menor idade corresponde a ~6 ka. Os valores mais baixos de $\delta^{18}\text{O}$ foram medidos durante os MIS 5 (3,25‰), 7 (2,85‰) e 9 (2,96‰), os quais caracterizam os períodos interglaciais. Os valores mais elevados de $\delta^{18}\text{O}$ foram mensurados durante os MIS 2 (4,33‰), 6 (4,27‰), 8 (4,00‰), e 10 (3,98‰), todos estágios glaciais (Figura 5).

No testemunho BS-8 os valores isotópicos de oxigênio permitiram a identificação dos estágios 1 ao topo do 14, abrangendo aproximadamente os últimos 545 ka (Figura 6). Também neste testemunho o topo não foi recuperado, tendo a amostra mais nova ~10 ka. Os valores mais baixos de $\delta^{18}\text{O}$ foram medidos durante os MIS 1 (2,69‰), 3 (3,37‰), 7 (3,20‰) e 9 (2,79‰), todos estágios interglaciais. Os maiores valores foram registrados nos MIS 2 (4,27‰), 6 (4,15‰), 10 (4,29‰) e 12 (4,10‰), estágios glaciais.

Isótopos de Carbono

Os registros de $\delta^{13}\text{C}$ no testemunho BS-6 mostram um padrão similar com os ciclos glaciais-interglaciais definidos com os dados de $\delta^{18}\text{O}$. Os intervalos com valores mais negativos de $\delta^{13}\text{C}$ correspondem aos MIS 3 (0,35‰), 6 (0,21‰), 8 (-0,06‰) e 10 (0,14‰). Os valores mais positivos de $\delta^{13}\text{C}$ foram medidos durante os MIS 5 (1,27‰), 7 (1,25‰) e 9 (1,09‰) (Figura 5).

No testemunho BS-8, os valores de $\delta^{13}\text{C}$ mais negativos foram registrados nos MIS 3 (0,27‰), 7 (0,37‰), 8 (-0,08‰) e 10 (0,16‰) e os mais positivos nos MIS 1 (1,49‰), 5 (1,28‰), 12 (1,53‰) e 13 (1,31‰) (Figura 6).

Fauna de foraminíferos bentônicos

Testemunho BS-6

Nesse testemunho foram computados 28.447 espécimes, pertencentes a 119 espécies. A abundância absoluta de foraminíferos bentônicos (número de espécimes por grama de sedimento) variou entre 33 e 882, com o maior valor ocorrendo no MIS 6 e picos de menor valor nos MIS 8 e 2 (Figura 5). As principais espécies que compõem a fauna desse testemunho estão ilustradas nas Figuras 7 e 8.

A espécie mais abundante é *Pseudoparrella exigua*, que ocorre em 29 das 31 amostras analisadas, com abundância relativa variando entre 0,58% e 62,47%. Essa espécie tem picos entre ~290 ka. A.P. e ~260 ka. A.P. (MIS 8), ~235-220 ka. A.P. (porção inferior do MIS 7), ~175-160 ka. A.P. (MIS 6), ~78-60 ka. A.P. (porção superior do MIS 5 e MIS 4) e entre 23-15 ka. A.P. (MIS 2) (Figura 9).

A segunda maior abundância é da espécie *Alabaminella weddellensis*, que varia entre 0,63 e 38,27% nas 27 amostras onde foi registrada sua presença. Apresenta picos entre ~316-300 ka. A.P. (MIS 9) ~245-220 ka. A.P. (porção superior do MIS 8 e MIS 7), ~123-97 ka. A.P. (MIS 5) e em ~6 ka. A.P. (MIS 1).

Destaca-se também a ocorrência de *Cassidulina californica*, cuja abundância relativa se mostrou expressiva ao longo de todo o testemunho, variando entre 5,51% em ~41ka. A.P. (MIS 3) e 47,10% em ~140 ka. A.P. (MIS 6). Essa espécie apresentou picos em praticamente todos os estágios, tanto glaciais quanto interglaciais (Figura 9). *C. carinata* apresenta picos de abundância isolados nos MIS 7 (17,2%) e 6 (20,15%), enquanto *C. laevigata* tem maior abundância somente nos estágios glaciais 10 (19,45%), 6 (12,54%) e 4 (20,9%). *Bolivina lowmani* também é mais abundante nos glaciais (MIS 10, 8, 6 e 2), com exceção de um pequeno pico de 2,6% no interglacial 7 (Figura 9).

Bolivina ordinaria, *Bulimina aculeata* e *Cassidulina delicata* tem máximo de abundância relativa no MIS 7, com 8,03%, 16,04% e 10,28%, respectivamente. Já *Globocassidulina subglobosa* apresenta um pequeno pico de abundância (5,7%) apenas no MIS 5.

O índice de diversidade das espécies varia consideravelmente ao longo do testemunho, com predomínio de maiores valores nos estágios interglaciais, mas também exibe picos um pouco menores nos glaciais 8 e 6. Esse índice oscila entre 1,7 em ~264 ka. A.P. (MIS 8) e 3 em ~216 ka. A.P. e ~42 ka. A.P. (MIS 7 e 3, respectivamente) (Figura 9).

Testemunho BS-8

No testemunho BS-8 foram computados 40.551 espécimes de foraminíferos bentônicos, pertencentes a 112 espécies. As principais espécies que compõem a fauna desse testemunho, que foram as mesmas do testemunho BS-6, estão ilustradas nas Figuras 7 e 8. O número de espécimes/grama de sedimento oscilou entre 28, no MIS 9 e 381, no MIS 6 (Figura 5).

Pseudoparrella exigua é a espécie mais abundante, variando entre 1,54% e 48,09%, nas 36 amostras onde ocorreu. Apresentou picos de abundância nos MIS 14 (~546 ka. A.P.) e 12 (~473-425 ka. A.P.), seguido de uma queda abrupta em ~420 ka. A.P. (porção inferior do MIS11) e novo pico em ~414 ka. A.P.. Ainda no MIS 11, essa espécie tem uma queda a 1,2% em ~393 ka. A.P. e mantém a baixa abundância (menos de 10%) até ~313 ka. A.P., na metade do MIS 9. Tem novos picos de abundância no MIS 8 (~294-244 ka. A.P.), na metade do MIS 7, pequenos picos na base e topo do MIS 6, bem como nos MIS 4 e 2 (Figura 10).

Alabaminella weddellensis oscilou entre 0,33% e 53,5%, apresentando um pequeno pico no MIS 12 (~474 ka. A.P.), seguido de queda a menos de 5% de

abundância até a metade do MIS 11 (~394 ka. A.P.) (Figura 10). Em seguida, apresentou aumento de abundância na base do MIS 10 (~368 ka. A.P.), MIS 9 (~328-309 ka. A.P.), 7 (~220-218 ka. A.P.), 5 (~84 ka. A.P.), 3 (~50 ka. A.P.) e 1 (~10 ka. A.P.). Durante todo o período abrangido pelo MIS 6 (~187-131 ka. A.P.) a abundância relativa dessa espécie não ultrapassou os 5%.

Cassidulina californica também apresentou abundância considerável nesse testemunho, com pequenos picos no topo do MIS 12 (~437 ka. A.P.) e base do MIS 11 (~421 ka. A.P.). A maior abundância relativa dessa espécie (65%) ocorreu no MIS 10 (~347 ka. A.P.), seguida de pequenos picos nos MIS 9, 6, 5 e 2.

As demais espécies apresentam picos isolados e menores de abundância, como *C. carinata* nos MIS 14 (~546 ka. A.P.), 12 (~433 ka. A.P.), 6 (~178 ka. A.P.) e 4 (~62 ka. A.P.). *Bulimina aculeata* apresentou maior abundância nos MIS 11 (19%), 7 (6%) e na porção inferior do MIS 6 (6%), enquanto *Bolivina lowmani* teve picos na porção superior do MIS 13 (4%), MIS 12 (8%) e 6 (8%). O índice de diversidade variou de 1,3 no MIS 10 (em ~347 ka. A.P.) a 2,8 nos MIS 9 (~328 ka. A.P.) e 7 (~234 ka. A.P. e ~217 ka. A.P.) (Figura 10).

DISCUSSÃO

A análise da fauna de foraminíferos bentônicos proveniente dos dois testemunhos analisados evidenciou um grande número de espécies. Porém, a grande maioria apresentou uma média de abundância relativa abaixo dos 3% e/ou presença em menos de 30% das amostras. A fauna aqui discutida engloba as espécies que demonstraram um padrão de abundância consistente ao longo do testemunho e que fornecem respostas mais acuradas às variações ambientais.

As espécies mais abundantes em ambos os testemunhos foram *Pseudoparrella exigua* e *Alabaminella weddellensis*, que, além da notável abundância, também foram encontradas em praticamente todas as amostras analisadas.

Uma série de estudos tem sugerido que a abundância de *A. weddellensis* e *P. exigua* (espécies fitodetríticas) pode ser usada para reconhecer pulsos de matéria orgânica no registro fóssil (Thomas & Gooday, 1996; Jorissen *et al.*, 2007). Fitodetritos exercem uma forte influência sobre a fauna de foraminíferos bentônicos e certas espécies oportunistas, principalmente as citadas, rapidamente colonizam e se desenvolvem quando há adição desse tipo de alimento, formando grandes populações (Gooday, 1993, 1994; Smart & Gooday, 1997).

No testemunho BS-6 a abundância de *Pseudoparrella exigua* demonstra estar ligada aos estágios isotópicos glaciais, sugerindo que essa espécie possa ter afinidade com ambientes dominados por águas mais frias. Esse padrão, ainda que não tão marcado, também é observado no testemunho BS-8 (Figuras 11 e 12). Sabe-se que no assoalho oceânico as oscilações térmicas são menos drásticas que na coluna d'água e, além disso, a temperatura da água não é um dos fatores mais importantes que influenciam a fauna de foraminíferos bentônicos.

A análise dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ das carapaças de foraminíferos bentônicos permite a identificação de períodos com maior ou menor concentração de nutrientes no assoalho oceânico (Pierre *et al.*, 2001). Utilizando essa ferramenta foi possível reconhecer no testemunho BS-6 um maior incremento de nutrientes nos estágios glaciais ou próximo ao limite entre estágios, em ~47 ka A.P. (MIS 3), de ~140 a 175 ka A.P. (MIS 6), ~233 ka A.P. (MIS 7), de ~280 a 300 ka A.P. (MIS 8) e em ~353 ka A.P. (MIS 10). Essa oscilação, com picos ocorrendo aproximadamente a cada 50 mil anos, é concordante com a abundância de *Pseudoparrella exigua* (Figura 11), demonstrando que fluxos de

matéria orgânica predominantemente fitodetrítica ocorreram durante esses períodos mais frios, com deposição em pulsos sazonais.

O testemunho BS-8 apresentou um padrão semelhante de oscilação nos valores de $\delta^{13}\text{C}$, indicando períodos mais ricos em nutrientes em ~50 ka A.P. (MIS 3), ~220 ka A.P. (MIS 7), ~294 ka A.P. (MIS 8), ~368 ka A.P. (MIS 10) e de ~415 a 437 ka A.P. (final do MIS 12 e início do MIS 11). Os picos de maior concentração de nutrientes aparentemente tem uma ciclicidade em torno de 70 mil anos (um pouco maior que a observada no testemunho BS-6) e também ocorrem principalmente nos estágios glaciais (Figura 12).

Também foi observado que as amostras onde *Pseudoparrella exigua* é mais abundante apresentam os menores valores de diversidade (Figuras 9 e 10), o que também foi reportado por Gooday *et al.* (1998) e Gooday (1999). Esse pesquisador destaca em diversos outros estudos (Gooday, 1988, 1993; Gooday & Lamshead, 1989; Gooday & Turley, 1990, Gooday & Rathburn, 1999) que populações de foraminíferos com grande abundância e baixa diversidade são associadas a áreas de depósito fitodetrítico, reforçando as afirmações sobre a preferência ecológica de *P. exigua*.

Alabaminella weddellensis apresentou maior abundância durante os estágios interglaciais em ambos os testemunhos, embora mostre pequenos picos isolados no MIS 8 do testemunho BS-6 e nos MIS 12 e 10 do testemunho BS-8. A abundância dessa espécie demonstrou não ser correlacionável com a de *Pseudoparrella exigua*, mesmo sendo ambas consideradas indicadoras de fluxo de matéria orgânica (Figuras 11 e 12). A falta de uma correlação positiva entre essas duas espécies foi reportada por Sun *et al.* (2006), que descrevem maiores abundâncias de *A. weddellensis* em regiões com maior produtividade primária, enquanto *P. exigua* mostrou maiores valores de abundância em áreas com deposição sazonal.

De acordo com os dados de $\delta^{13}\text{C}$ de ambos os testemunhos, os intervalos interglaciais, onde se observou maiores abundâncias de *Alabaminella weddellensis*, foram períodos nos quais houve uma menor concentração de nutrientes chegando ao assoalho oceânico. Uma hipótese para esse comportamento pode ser levantada se levarmos em consideração o aumento da concentração de fósforo, nutriente limitante para a produtividade biológica e, segundo alguns estudos, o maior controlador da produtividade marinha em escala de tempo geológico (Tyrrell 1999; Bjerrum & Canfield, 2002).

O fósforo pode ser encontrado em rochas sedimentares na forma de carbonato-fluorapatita, mineral que se forma principalmente em sedimentos da margem continental de regiões com alta produtividade primária (Filippelli, 2008). Durante os estágios glaciais, o mar recua e deixa exposta parte da plataforma continental, fazendo com que a carbonato-fluorapatita sofra dissolução pelas condições de exposição subaérea e intemperismo. Nos estágios interglaciais o nível do mar sobe e o fósforo é carregado para áreas mais profundas do oceano. Filippelli *et al.* (2007) identificaram no Atlântico Sul um padrão para o fluxo de fósforo que chegou a águas profundas nos últimos 400 mil anos: há um ligeiro aumento durante os glaciais, atinge seu máximo próximo ao limite glacial/interglacial e diminui quando inicia o episódio glacial.

Esse mesmo padrão é observado na abundância relativa de *Alabaminella weddellensis*, que demonstra nesse estudo ter preferências e estratégias alimentares distintas de *Pseudoparrella exigua*. Sabe-se que espécies de fitoplâncton tem diferentes necessidades de carbono, nitrogênio e fósforo para florescerem (Michaels *et al.*, 2001) e *A. weddellensis* pode estar se alimentando de certas espécies de picofitoplâncton (que medem de 0,2 a 2 μm) que apresentam altas taxas de reprodução como resposta ao aumento na concentração de fósforo na água (Bertilsson *et al.*, 2003).

Outra possibilidade é que *A. weddellensis* não seja estritamente fitodetrítica e se alimente bactérias que remineralizam o fósforo e, conseqüentemente, aumentam sua população quando da adição deste nutriente. Porém, análises mais aprofundadas são necessárias para confirmar a influência do fósforo na dinâmica das populações de foraminíferos bentônicos. O fósforo é, historicamente, muito menos estudado do que o nitrogênio e o carbono no que diz respeito a sua participação no ciclo de produtividade oceânica, ainda hoje existindo lacunas na identificação das formas que esse elemento assume em ambientes marinhos e como determinados organismos utilizam cada uma delas (Paytan & McLaughlin, 2007).

Além das duas espécies discutidas anteriormente, somente *Cassidulina californica* apresentou um número consistente de indivíduos no decorrer dos testemunhos. Essa espécie apresentou picos de abundância tanto em estágios glaciais quanto interglaciais (Figuras 11 e 12), porém, se destaca principalmente nas amostras onde *Pseudoparrella exigua* e *Alabaminella weddellensis* tem baixa abundância. No testemunho BS-6 isso ocorre em ~140 ka A.P., em uma amostra proveniente de uma fácies arenosa (porção superior do MIS 6) e em ~112 ka A.P. (MIS 5).

O mesmo ocorre no testemunho BS-8, onde *C. californica* apresenta grande abundância em amostras arenosas, em ~420 ka A.P. (parte superior do MIS 12) e em ~347 ka A.P. (MIS 10) e pode estar indicando períodos de fluxo muito intenso de matéria orgânica degradada, provavelmente ligada ao aporte de areias (Hermelin & Schmiedl, 1995; Thomas *et al.*, 1995). Espécies do gênero *Cassidulina* são apontadas como relacionadas a amostras ricas em Carbono Orgânico Total, além de indicar forte depleção das taxas de oxigênio (Schmiedl & Mackensen, 1997), fator que não foi possível avaliar devido à escassez de taxa indicadores de ambientes anóxicos.

A alta produtividade da área de estudo nos últimos 545 mil anos é evidente, tanto durante estágios glaciais quanto interglaciais. Segundo Ohkushi *et al.* (2000), a interpretação ecológica de uma associação se torna bastante complexa quando as amostras são dominadas por um pequeno número de espécies, como ocorre neste estudo. Entretanto, a oscilação na abundância relativa das espécies dominantes e a variação nos registros de isótopos estáveis de carbono indicam que o Talude da Bacia de Santos vem sofrendo a influência constante de fluxos de nutrientes dissolvidos, bem como de matéria orgânica com diferentes origens e intensidades de deposição.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo micropaleontológico da fauna de foraminíferos bentônicos do Talude continental da bacia de Santos, aliado aos dados obtidos por meio da análise geoquímica de isótopos estáveis de carbono e oxigênio possibilitou as seguintes constatações:

- Nos últimos 545 mil anos a fauna de foraminíferos bentônicos do Talude da bacia de Santos apresentou grandes flutuações na composição e diversidade de espécies. A maior flutuação resulta da variação na abundância relativa de três espécies mais abundantes: *Pseudoparrella exigua*, *Alabaminella weddellensis* e *Cassidulina californica* e foram provavelmente causadas pela variação na produtividade marinha e na sazonalidade da mesma.

- Durante os estágios glaciais, a dominância de *P. exigua* indica fluxo de matéria orgânica predominantemente fitodetrítica, depositada em pulsos sazonais.

- A dominância de *A. weddellensis* durante os estágios interglaciais indica que durante esses períodos a deposição de matéria orgânica ocorreu de forma mais contínua do que nos estágios glaciais. É provável que o tipo de fitodetrito seja diferente, podendo estar associado à oscilação do fluxo de fósforo.

- A abundância contínua de *C. californica* tanto em estágios glaciais quanto interglaciais indica a presença de grandes quantidades de carbono orgânico total nos sedimentos de ambos os testemunhos. Essa abundância se acentua em amostras constituídas por areia, nas quais *P. exigua* e *A. weddellensis* tem baixíssima abundância relativa.

- A grande abundância das três espécies citadas demonstra que a área de estudo vem sofrendo desde o Pleistoceno um contínuo aporte de matéria orgânica com origens diversas e intensidade variável, caracterizando o Talude da Bacia de Santos como uma zona de alta produtividade marinha.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barbosa, V. P. 2002. *Sistemática, Bioestratigrafia e Paleoceanografia de Foraminíferos do Quaternário do talude continental das bacias de Santos e Campos*. Programa de Pós Graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Tese de Doutorado, 455p.
- Bertilsson, S.; Berglund, O.; Karl, D.M. & Chisholm, S.W. 2003. Elemental composition of marine *Prochlorococcus* and *Synechococcus*: Implications for the ecological stoichiometry of the sea. *Limnology and Oceanography*, **48**: 1721-1731.
- Bjerrum, C.J. & Canfield, D.E. 2002. Ocean productivity before about 1.9 Gyr ago limited by phosphorus adsorption onto iron oxides. *Nature*, **417**: 159-162.
- Corliss, B.H.1991. Morphology and microhabitat preferences of benthic foraminifera from the northwest Atlantic Ocean. *Marine Micropaleontology*, **17**:195-236.
- Duarte, C.S. & Viana, A. 2007. Santos Drift System: stratigraphic organization and implications for late Cenozoic palaeocirculation in the Santos Basin, SW Atlantic Ocean. In: A. Viana & M. Rebesco (eds.) *Economic and Palaeoceanographic*

- Significance of Contourite Deposits*, Geological Society of London Special Publication, **276**:171-198.
- Filippelli, G.M. 2008. The global phosphorus cycle: past, present and future. *Elements*, **4**:89-95.
- Filippelli, G.M.; Latimer, J.C.; Murray, R.W. & Flores, J-A. 2007. Productivity records from the Southern Ocean and the equatorial Pacific Ocean: Testing the glacial Shelf-Nutrient Hypothesis. *Deep Sea Research II: Topical Studies in Oceanography*, **54**: 2443-2452
- Fontanier, C.; Jorissen, F.J.; Licari, L.; Alexandre, A.; Anschutz, P. & Carbonel, P. 2002. Live benthic foraminiferal faunas from the Bay of Biscay: faunal density, composition, and microhabitats. *Deep-Sea Research I*, **49**:751-785.
- Fontanier, C.; Jorissen, F.J.; Chaillou, G.; Anschutz, P.; Grémare, A. & Griveaud, C. 2005. Live foraminiferal faunas from a 2,800 m deep lower canyon station from the Bay of Biscay: faunal response to focusing of refractory organic matter. *Deep-Sea Research I*, **52**:1189-1227.
- Gooday, A.J. 1988. A response by benthic foraminifera to the deposition of phytodetritus in the deep sea. *Nature*, **332**:70-73.
- Gooday, A.J. 1993. Deep-sea benthic foraminiferal species which exploit phytodetritus: characteristic features and controls on distribution. *Marine Micropaleontology*, **22**:187-205.
- Gooday, A.J. 1994. The biology of deep-sea foraminifera: a review of some advances and their applications in paleoceanography. *Palaios*, **9**:14-31.
- Gooday, A.J. 1996. Epifaunal and shallow infaunal foraminiferal communities at three abyssal NE Atlantic sites subject to differing phytodetritus input regimes. *Deep-Sea Research*, **43**:1395-1421.

- Gooday, A.J., 1999. Biodiversity of foraminifera and other protists in the deep sea: scales and patterns. *Belgium Journal of Zoology*, **129**:61-80.
- Gooday, A.J. & Lambshead, P.J.D. 1989. Influence of seasonally deposited phytodetritus on benthic foraminiferal populations in the bathyal northeast Atlantic: the species response. *Marine Ecology Progress Series*, **58**:53-67.
- Gooday, A.J. & Turley, C.M. 1990. Responses by benthic organisms to inputs of organic material to the ocean floor: a review. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series A, Mathematical and Physical Sciences*, **331**:119-138.
- Gooday, A.J. & Rathburn, A.E. 1999. Temporal variability in living deep-sea foraminifera: a review. *Earth Science Review*, **46**:187-212.
- Gooday, A.J.; Bett, B.J.; Shires, R. & Lambshead, P.J.D. 1998. Deep-sea benthic foraminiferal species diversity in the NE Atlantic and NW Arabian Sea: a synthesis. *Deep Sea Research II*, **45**:165-201.
- Gooday, A.J.; Bernhard, J.M.; Levin, L.A. & Suhr, S.B. 2000. Foraminifera in the Arabian Sea oxygen minimum zone and other oxygen deficient settings: taxonomic composition, diversity and relation to metazoan faunas. *Deep-Sea Research II*, **47**: 25-54.
- Hays, J.D.; Imbrie, J. & Shackleton, N.J. 1976. Variations in the Earth's orbit: pacemaker of the ice ages. *Science*, **194**: 1121-1132.
- Hermelin, J.O.R. & Schmiedl, G.B. 1995. Impact of productivity events on the benthic foraminiferal fauna in the Arabian Sea over the last 150,000 years. *Paleoceanography*, **10**:85-116.
- Jorissen, F.J.; Fontanier, C. & Thomas, E. 2007. Paleoceanographical proxies based on deep-sea benthic foraminiferal assemblage characteristics. *In*: C. Hillaire-Marcel &

- A. de Vernal (eds.) Proxies in Late Cenozoic Paleoceanography, Pt. 2: Biological Tracers and Biomarkers, Elsevier, p. 263-326.
- Lisiecki, L.E. & Raymo, M.E. 2005. A Pliocene-Pleistocene stack of 57 globally distributed benthic $\delta^{18}O$ records. *Paleoceanography*, **20**: 1-17, PA1003.
- Loubere, P. 1998. The impact of seasonality on the benthos as reflected in the assemblages of benthic foraminifera. *Deep Sea Research I*, **45**:409-432.
- Loubere, P. & Fariduddin, M. 1999. Quantitative estimation of global patterns of surface ocean biological productivity and its seasonal variation on time scales from centuries to millennia. *Global Biogeochemical Cycles*, **13**:115-133.
- Magurran, A. E. 1987. *Ecological diversity and its measurement*. New Jersey, Princeton, 179p.
- Michaels, A. F.; Karl, D. M. & Capone, D. G. 2001. Elemental stoichiometry, new production and nitrogen fixation. *Oceanography*, **14**: 68-77.
- Mohriak, W.U. 2003. Bacias Sedimentares da Margem Continental Brasileira. In: L.A. Bizzi; C. Schobbenhaus; R.M. Vidotti & J.H. Gonçalves (eds.) *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil*. CPRM, p. 87-94.
- Moreira, J.L.P.; Madeira, C.V.; Gil, J.A. & Machado, M.A.P. 2007. Bacia de Santos. *Boletim de Geociências da Petrobrás*, **15**(2):531-549.
- Murray, J.W. 2001. The niche of benthic foraminifera, critical thresholds and proxies. *Marine Micropaleontology*, **41**:1-7.
- Nunes, M.C.V.; Viviers, M.C. & Lana, C.C. 2004. Bacias Sedimentares Brasileiras - Bacia de Santos. *Phoenix*, **6**(66): 1-6.
- Ohkushi, K.; Thomas, E. & Kawahata, H. 2000. Abyssal benthic foraminifera from the northwestern Pacific (Shatsky Rise) during the last 298 kyr. *Marine Micropaleontology*, **38**:119-147.

- Oppo, D.W. & Fairbanks, R.G. 1987. Variability in the deep and intermediate water circulation of the Atlantic Ocean during the past 25,000 years: Northern Hemisphere modulation of the Southern Ocean. *Earth and Planetary Science Letters*, **86**: 1-115.
- Paytan, A & McLaughlin, K. 2007. The oceanic phosphorus cycle. *Chemical Reviews*, **107**: 563-576
- Pierre, C.; Saliege, J. F.; Urrutiaguer, M. J. & Giraudeau, J. 2001. Stable isotope record of the last 500 k.y. at Site 1087 (Southern Cape Basin). *In*: Wefer, G., Berger, W.H., and Richter, C. (Eds.), *Proceedings of the ODP, Scientific Results*, **175**: 1–22.
Disponível on line em: <http://www-odp.tamu.edu/publications/175_SR/VOLUME/CHAPTERS/SR175_12.PDF>.
- Schmiedl, G. & Mackensen, A. 1997. Late Quaternary paleoproductivity and deep water circulation in the eastern South Atlantic Ocean: evidence from benthic foraminifera. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **130**;43-80.
- Schnitker, D.1980. Quaternary deep-sea benthic foraminifers and bottom water masses. *Annual Review of Earth and Planetary Science*, **8**:343-370.
- Smart, C.W. & Gooday, A.J. 1997. Recent benthic foraminifera in the abyssal northeast Atlantic Ocean: relation to phytodetrital inputs. *Journal of Foraminiferal Research* **27**, 85–92.
- Smart, C.W.; King, S.C.; Gooday, A.J.; Murray, J.W. & Thomas, E. 1994. A benthic foraminiferal proxy of pulsed organic matter paleofluxes. *Marine Micropaleontology*, **23**:89-99.
- Streeter, S.S. 1973. Bottom water and benthonic foraminifera in the North Atlantic glacial- interglacial cycles. *Quaternary Research*, **3**:131-141.

- Sun, X.; Corliss, B.H.; Brown, C.W. & Showers, W.J. 2006. The effect of primary productivity and seasonality on the distribution of deep-sea benthic foraminifera in the North Atlantic. *Deep-Sea Research I*, **53**:28-47.
- Thomas, E. & Gooday, A.J. 1996. Cenozoic deep-sea benthic foraminifers: tracers for changes in oceanic productivity? *Geology*, 24:355–358.
- Thomas, E.; Booth, L.; Maslin, M. & Shackleton, N.J. 1995. Northeastern Atlantic benthic foraminifera during the last 45,000 years: changes in productivity seen from the bottom up. *Paleoceanography*, **10**:545-562.
- Tyrrell, T. 1999. The relative influences of nitrogen and phosphorus on oceanic primary production. *Nature*, **400**: 525-531.
- Viana, A.R.; Faugères, J.C.; Kowsmann, R.O.; Lima, J.A.M.; Caddah, L.F.G. & Rizzo, J.G. 1998. Hydrology, morphology and sedimentology of the Campos continental margin, offshore Brasil. *Sedimentary Geology*, **115**:133-157.

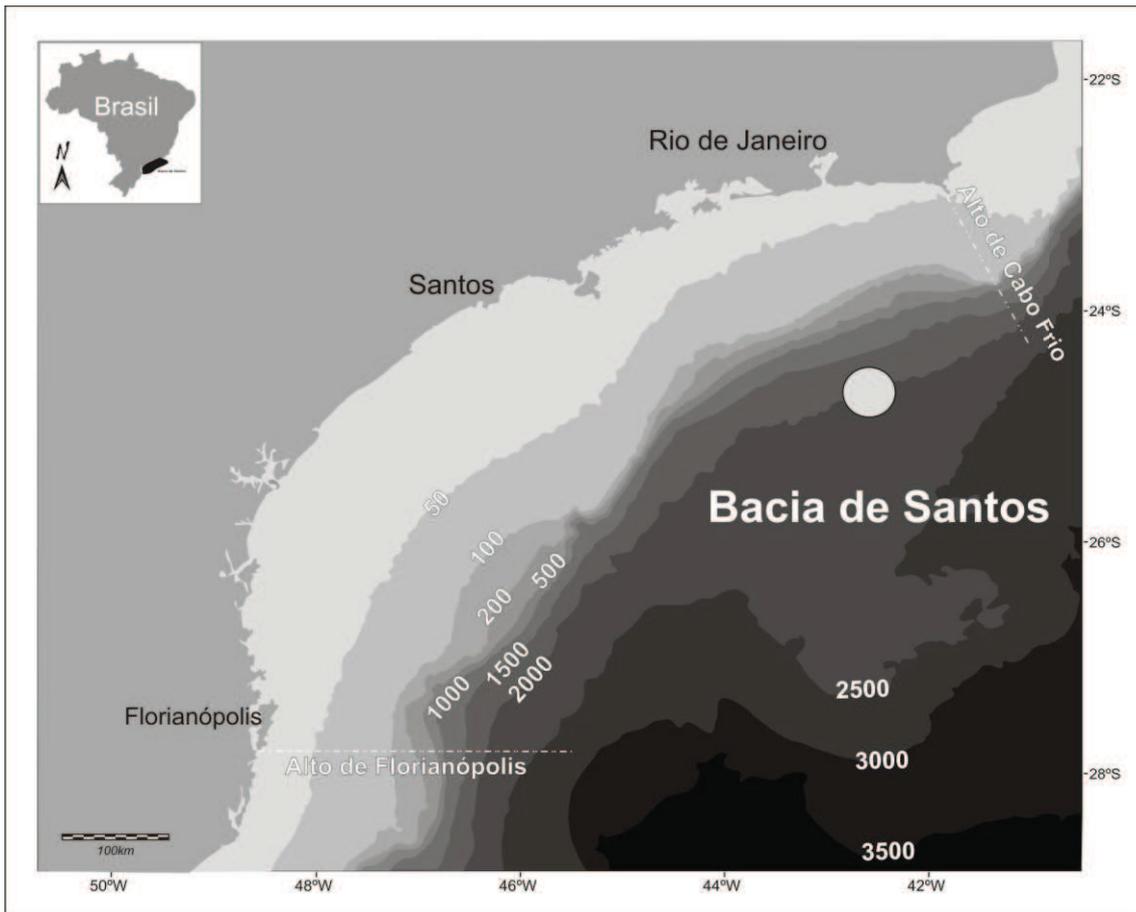


Figura 1: mapa de localização da área de estudo. O círculo branco indica o local aproximado de coleta dos testemunhos (modificado de Nunes *et al.*, 2004).

Figure 1: location map of study area. The white circle indicates the approximate location of the cores (modified from Nunes *et al.*, 2004).

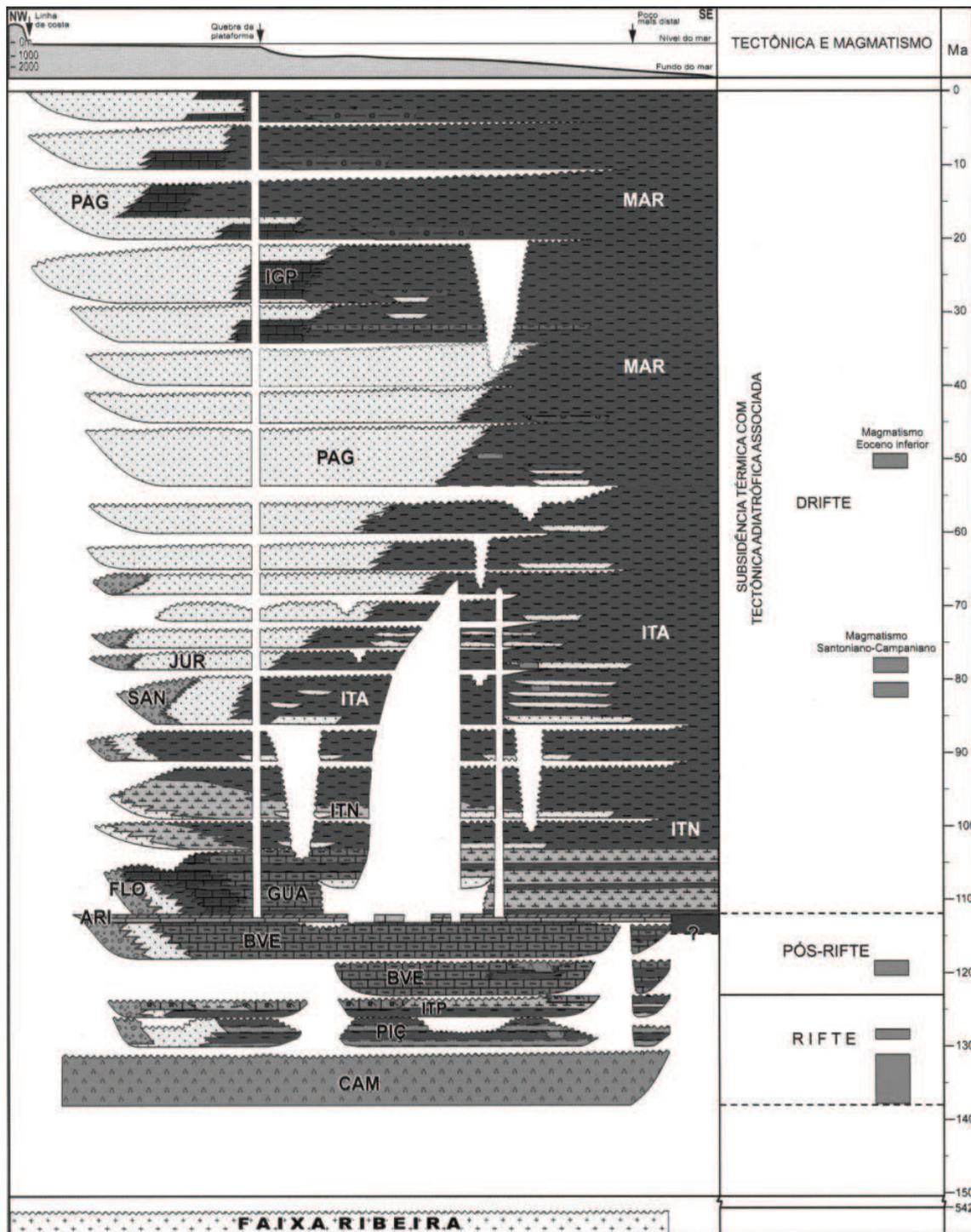


Figura 2: carta estratigráfica da Bacia de Santos (modificado de Moreira *et al.*, 2007). A Formação Marambaia é identificada pela sigla MAR.

Figure 2: stratigraphic chart of Santos Basin (modified from Moreira *et al.*, 2007). Marambaia Formation is identified by the acronym MAR.

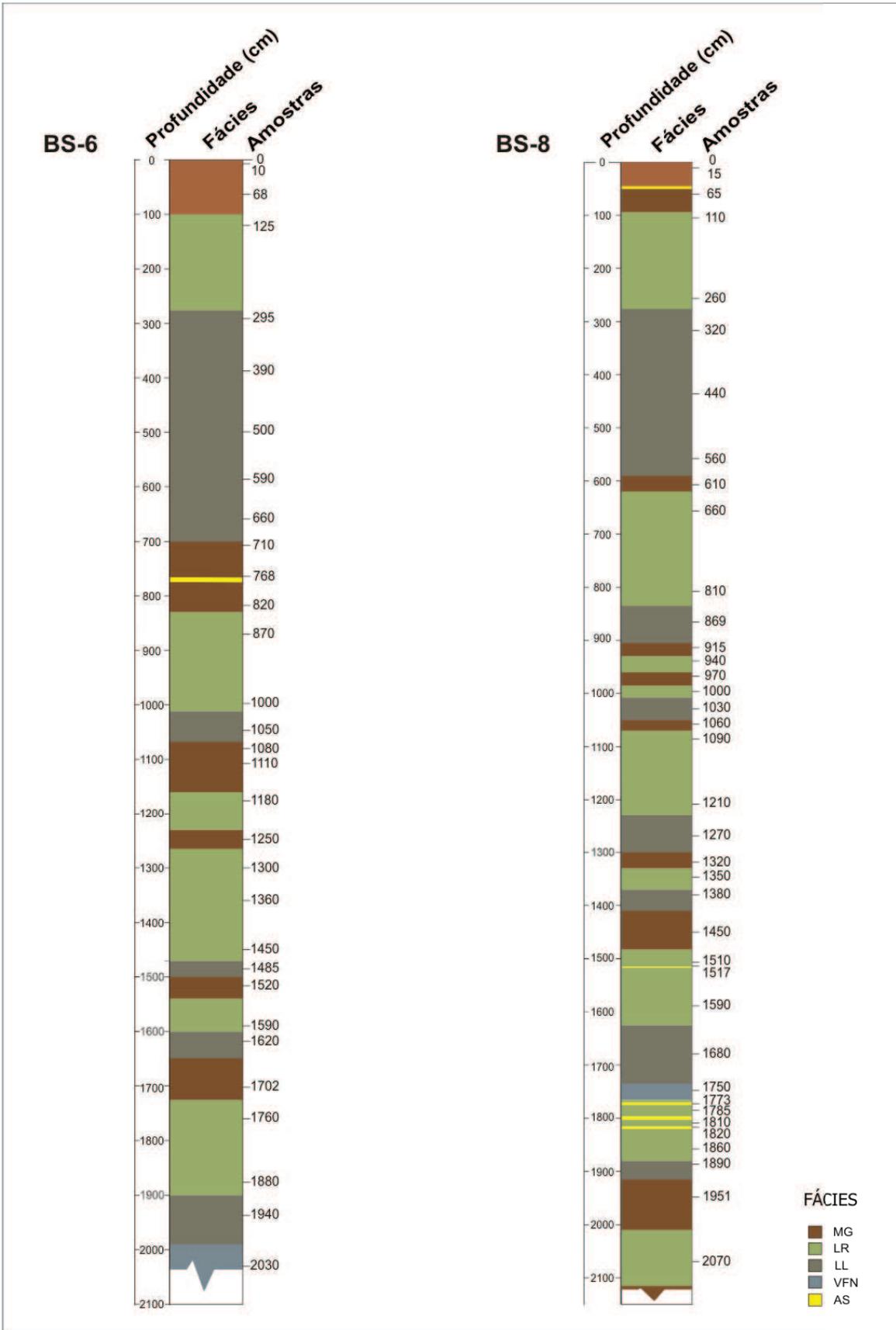


Figura 3: perfil de fácies dos testemunhos BS-6 e BS-8 e localização das amostras analisadas. Legenda das fácies: marga (MG), lama rica em carbonatos (LR), lama levemente carbonática (LL), vasa carbonática (VFN) e areias (AS).

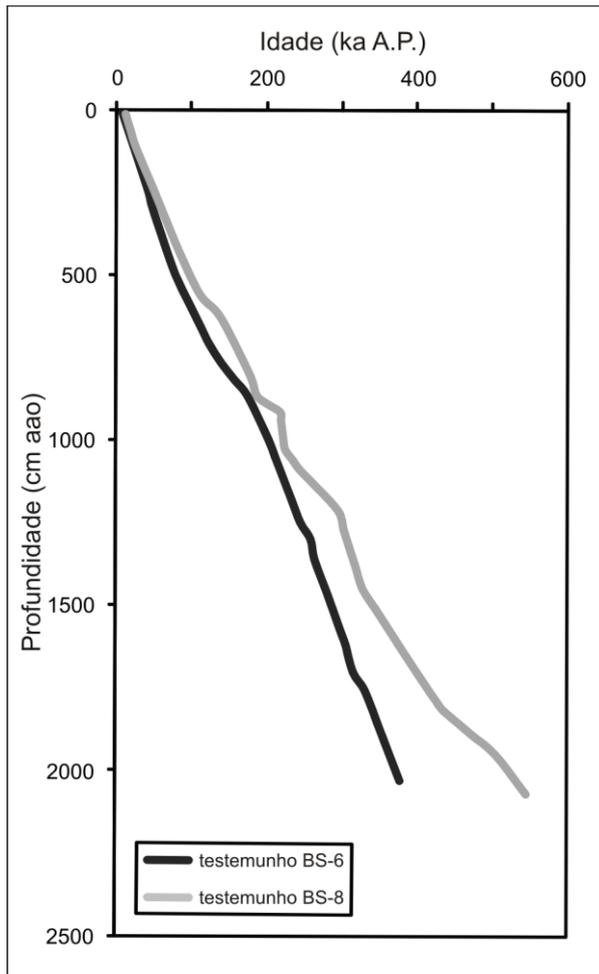


Figura 4: modelo de idade dos testemunhos BS-6 e BS-8. A profundidade é expressa em centímetros abaixo do assoalho oceânico (cm aao).

Figure 4: age model of cores BS-6 and BS-8. The depth is expressed in centimeters below the sea floor.

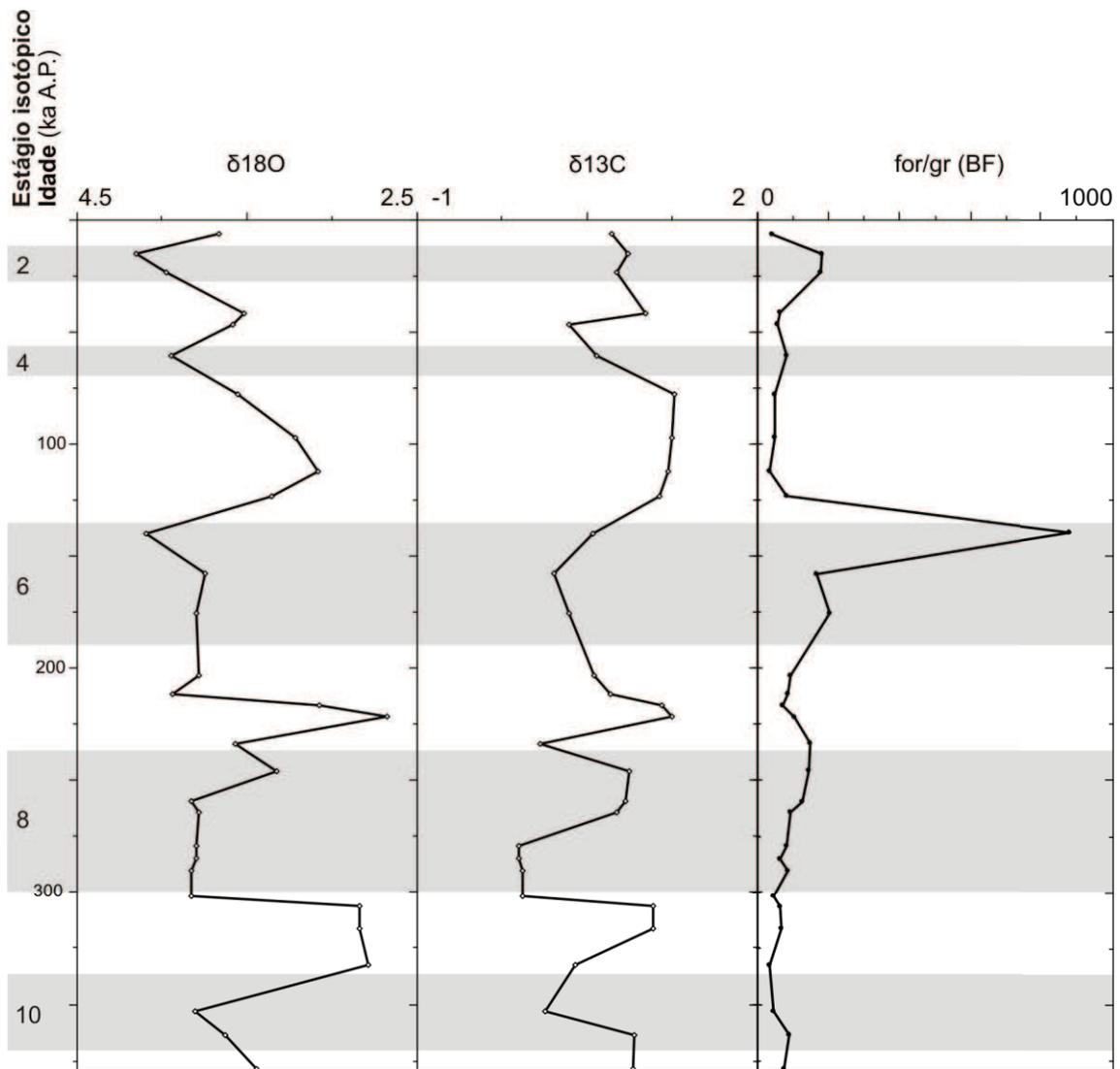


Figura 5: gráfico dos estágios isotópicos marinhos identificados para o testemunho BS-6, valores de isótopos estáveis de oxigênio ($\delta^{18}\text{O}$) e carbono ($\delta^{13}\text{C}$) das carapaças de foraminíferos bentônicos e número de foraminíferos bentônicos por grama de sedimento (for/gr BF).

Figure 5: marine isotopic stages identified for the core BS-6, stable isotopic values of oxygen ($\delta^{18}\text{O}$) and carbon ($\delta^{13}\text{C}$) measured in the shells of benthic foraminifera and number of benthic foraminifera/gram of sediment (for/gr BF).

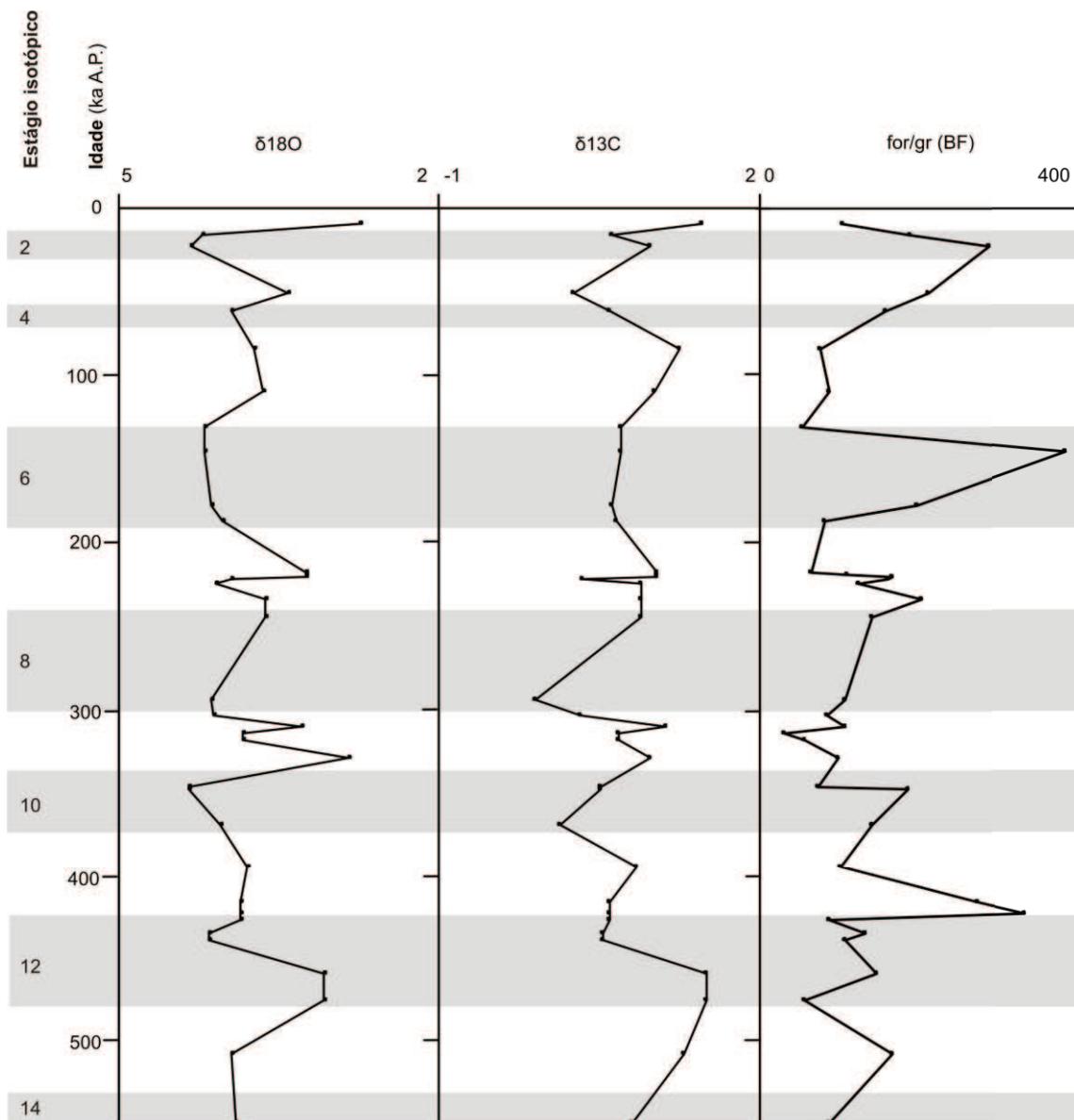


Figura 6: gráfico dos estágios isotópicos marinhos identificados para o testemunho BS-8, valores de isótopos estáveis de oxigênio ($\delta^{18}O$) e carbono ($\delta^{13}C$) das carapaças de foraminíferos bentônicos e número de foraminíferos bentônicos por grama de sedimento (for/gr BF).

Figure 6: marine isotopic stages identified for the core BS-8, stable isotopic values of oxygen ($\delta^{18}O$) and carbon ($\delta^{13}C$) measured in the shells of benthic foraminifera and number of benthic foraminifera/gram of sediment (for/gr BF).

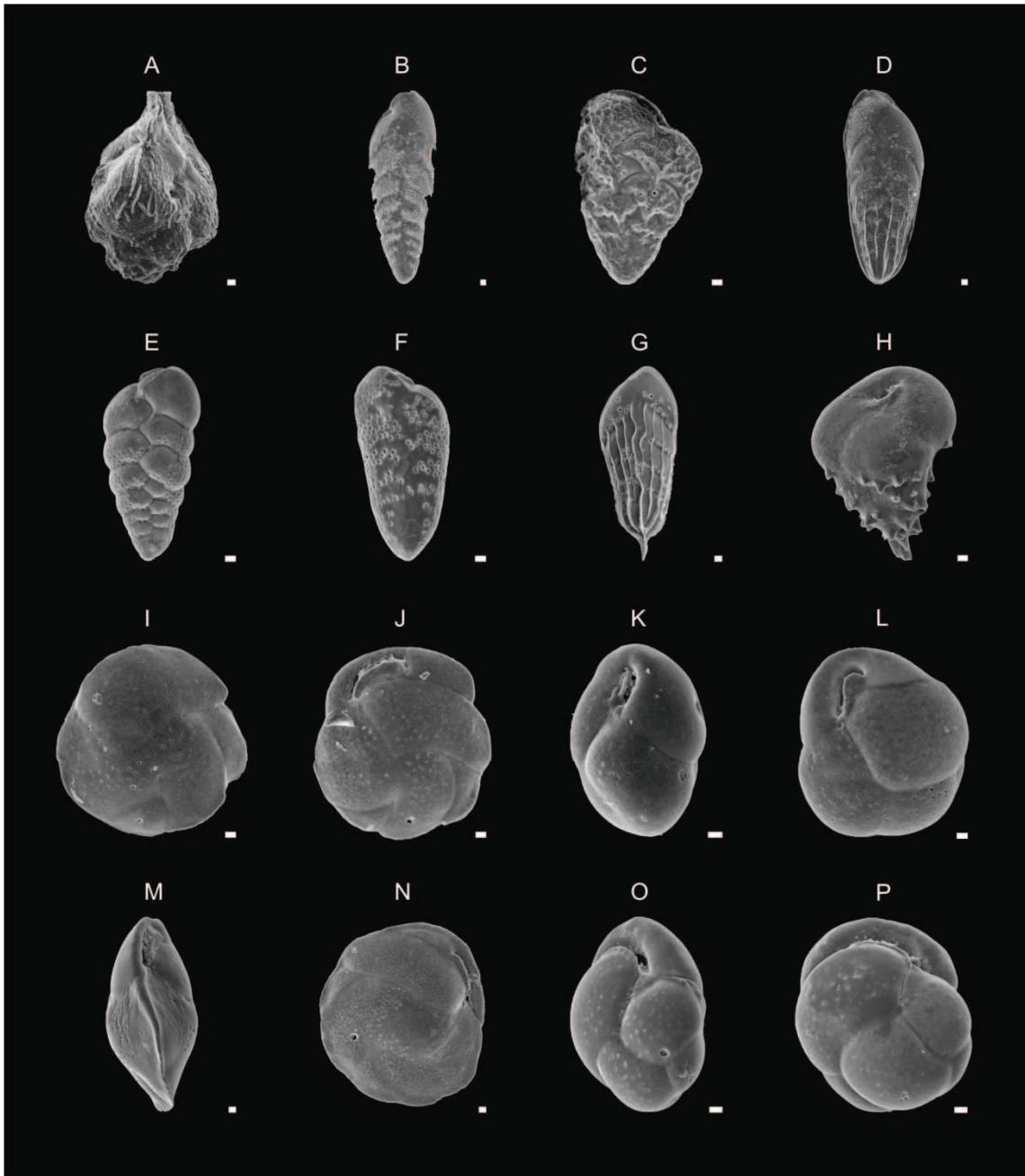


Figura 7: Fotomicrografias de algumas das principais espécies que compõem a fauna dos testemunhos BS-6 e BS-8. **A-** *Angulogerina angulosa*; **B-** *Bolivina barbata*; **C-** *Bolivina compacta*; **D-** *Bolivina fragilis*; **E-** *Bolivina lowmani*; **F-** *Bolivina ordinaria*; **G-** *Bolivina subaenariensis*; **H-** *Bulimina aculeata*; **I-J:** *Cassidulina angulosa*; **K-L:** *Cassidulina californica*; **M-N:** *Cassidulina carinata*; **O-P:** *Cassidulina delicata*.

Figure 7: Photomicrographs of some of main species that compound the benthic foraminiferal fauna from cores BS-6 e BS-8.

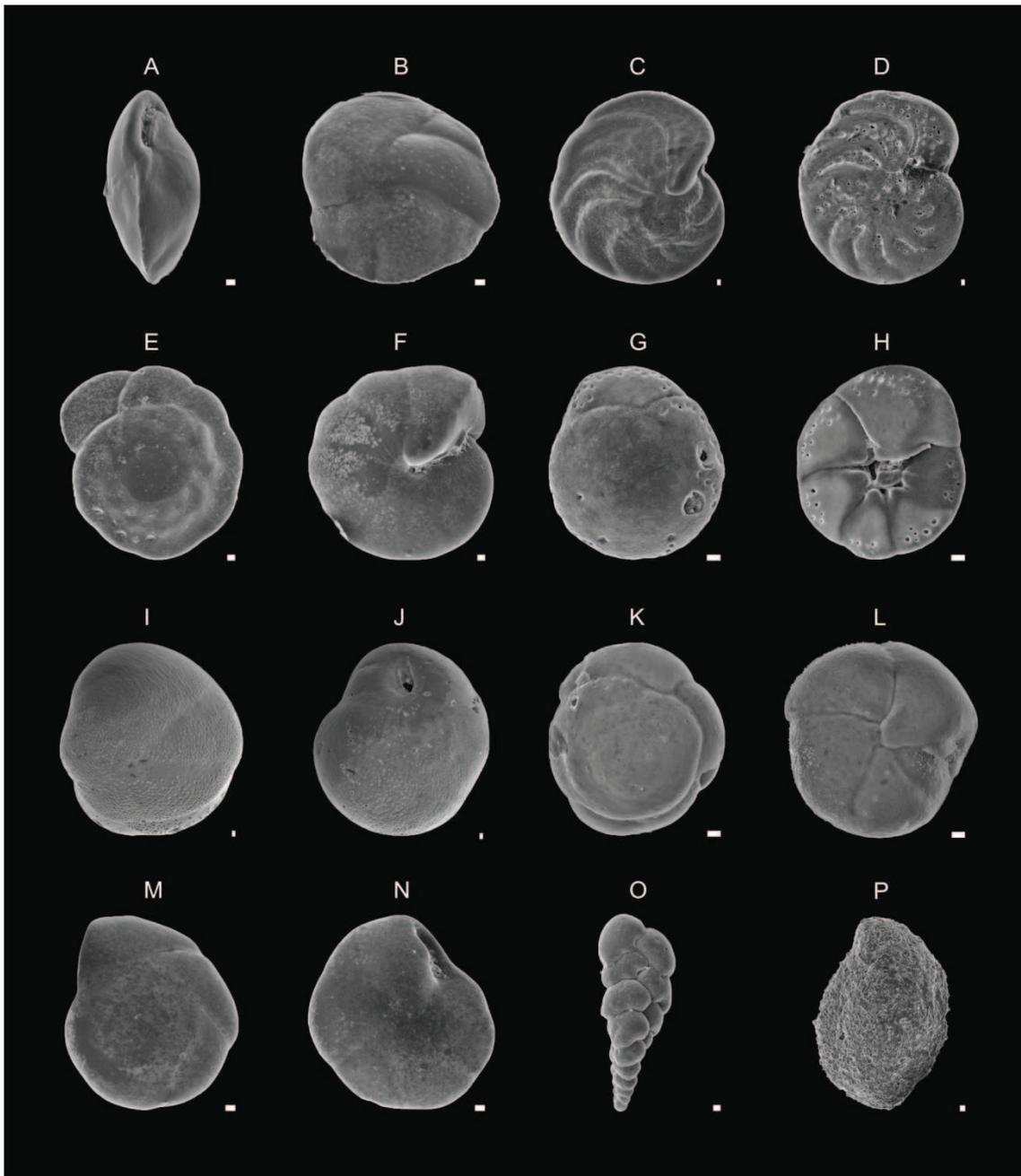


Figura 8: Fotomicrografias de algumas das principais espécies que compõem a fauna dos testemunhos BS-6 e BS-8. **A-B:** *Cassidulina laevigata*; **C-D:** *Cibicides wuellerstorfi*; **E-F:** *Eponides alabaminaeformis*; **G-H:** *Gavelinopsis vesiformis*; **I-J:** *Globocassidulina subglobosa*; **K-L:** *Alabaminella weddellensis*; **M-N:** *Pseudoparrella exigua*; **O-** *Bolivina* sp.1; **P-** *Sigmioilopsis schlumbergeri*.

Figure 8: Photomicrographs of some of main species that compound the benthic foraminiferal fauna from cores BS-6 e BS-8.

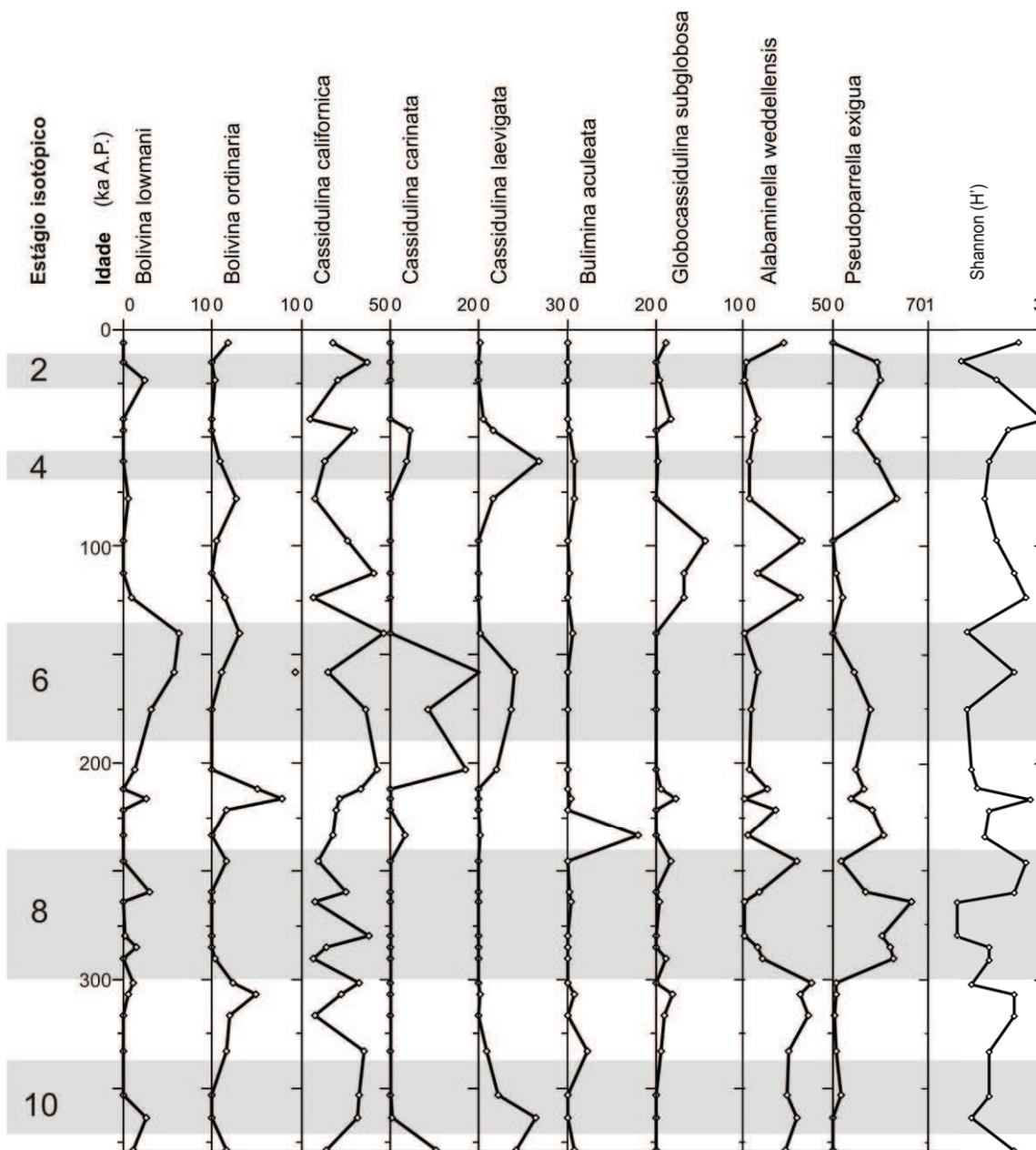


Figura 9: gráfico de abundância relativa das espécies mais significativas de foraminíferos bentônicos identificados no testemunho BS-6 e Índice de diversidade de espécies (Índice de Shannon).

Figure 9: relative abundance of most significant species identified in the core BS-6 and species diversity index (Shannon Index).

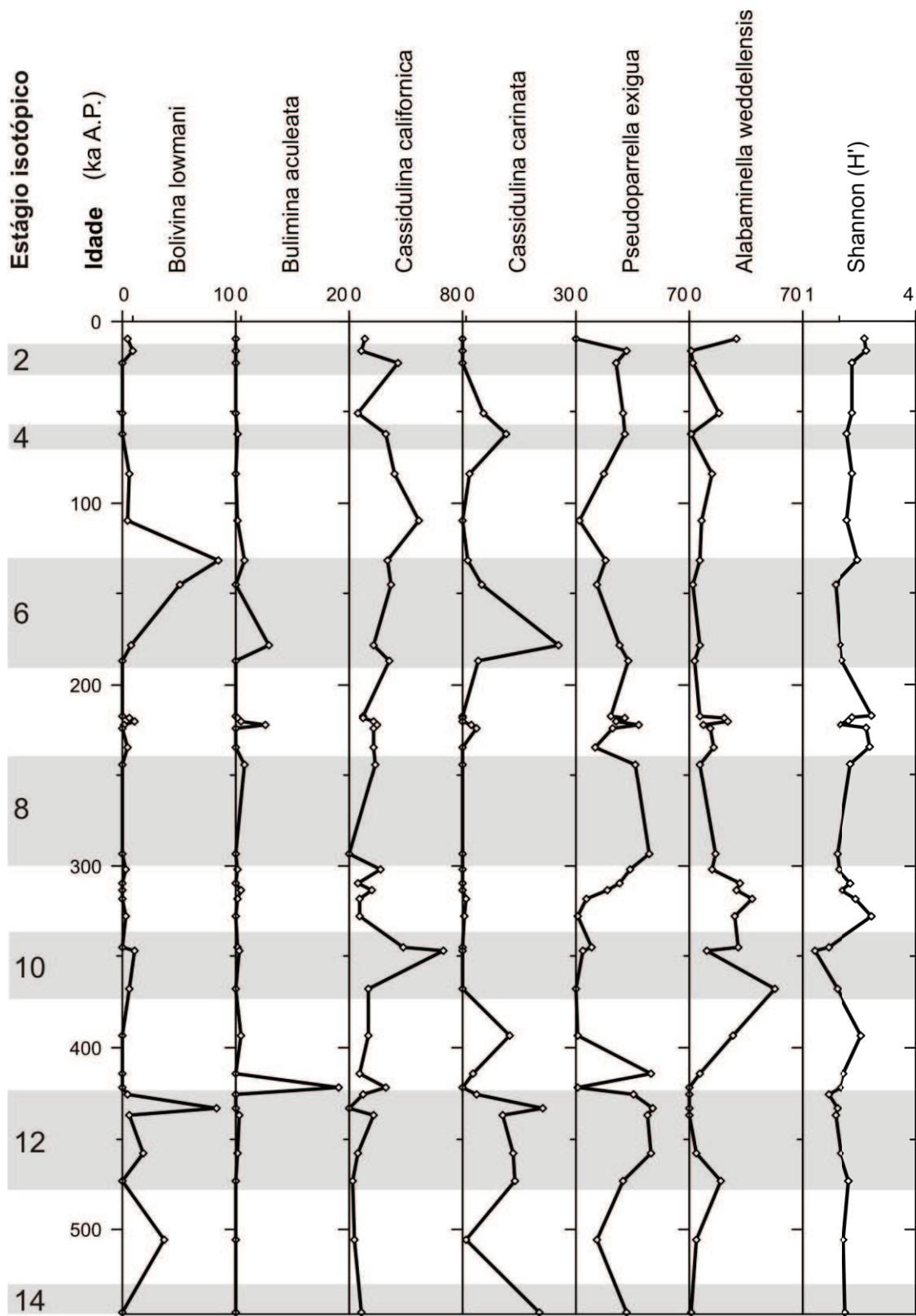


Figura 10: gráfico de abundância relativa das espécies mais significativas de foraminíferos bentônicos identificados no testemunho BS-8 e Índice de diversidade de espécies (Índice de Shannon).

Figure 10: relative abundance of most significant species identified in the core BS-8 and species diversity index (Shannon Index).

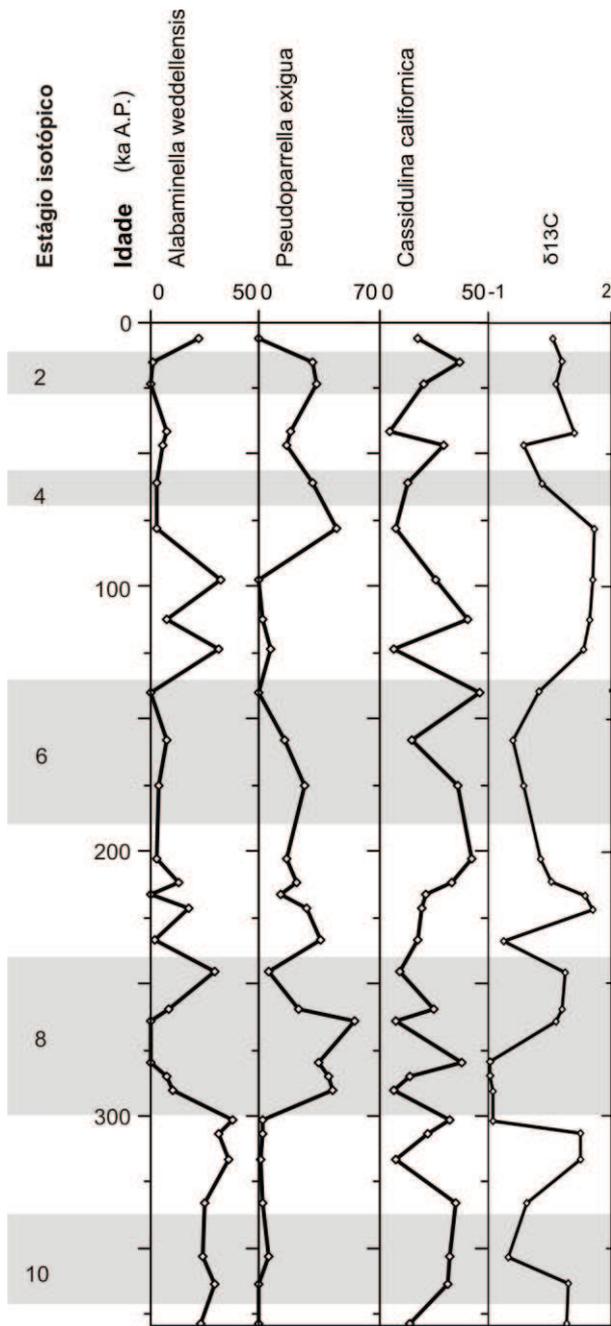


Figura 11: gráfico de abundância relativa das três espécies mais abundantes identificadas no testemunho BS-6 e valores de isótopos estáveis de carbono ($\delta^{13}C$) das carapaças de foraminíferos bentônicos.

Figure 11: relative abundance of three most abundant species identified in the core BS-6 and stable isotopic values of carbon ($\delta^{13}C$) measured in the shells of benthic foraminifera.

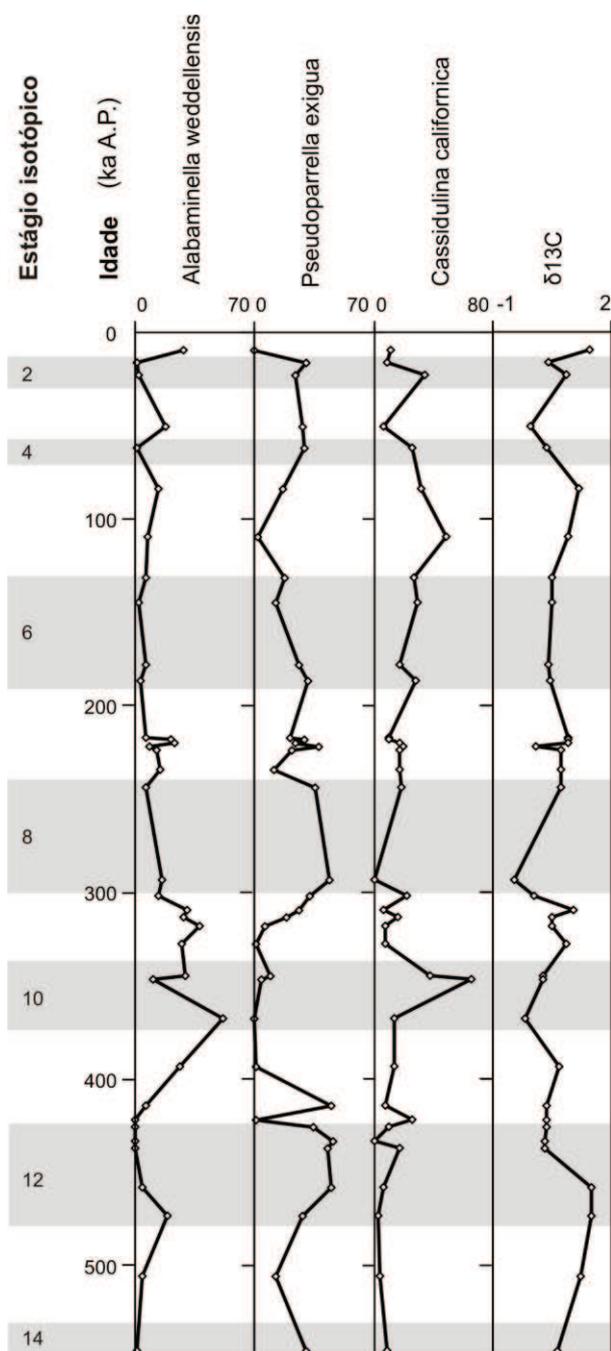
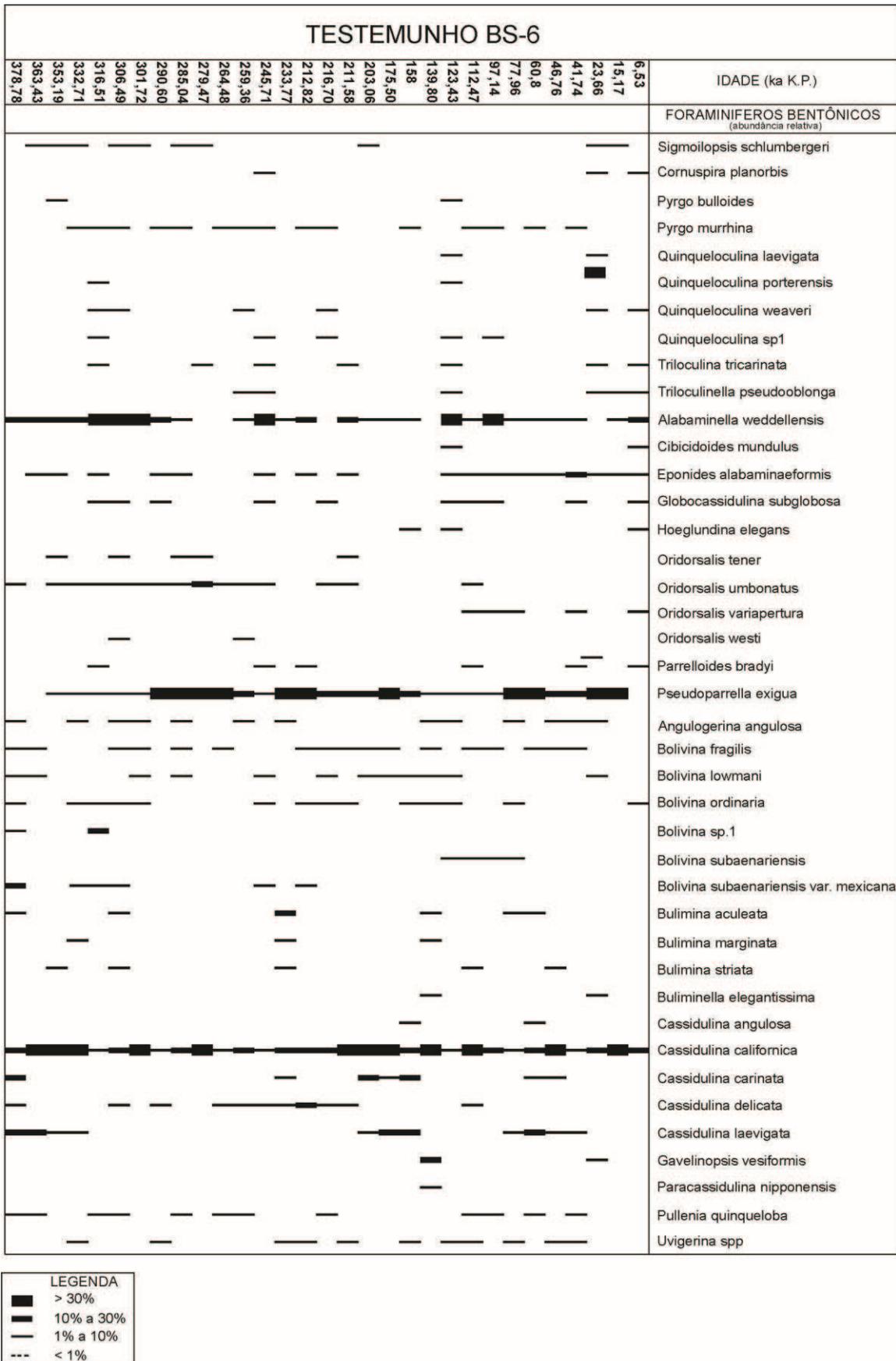


Figura 12: gráfico de abundância relativa das três espécies mais abundantes identificadas no testemunho BS-8 e valores de isótopos estáveis de carbono ($\delta^{13}C$) das carapaças de foraminíferos bentônicos.

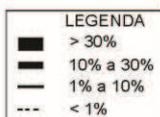
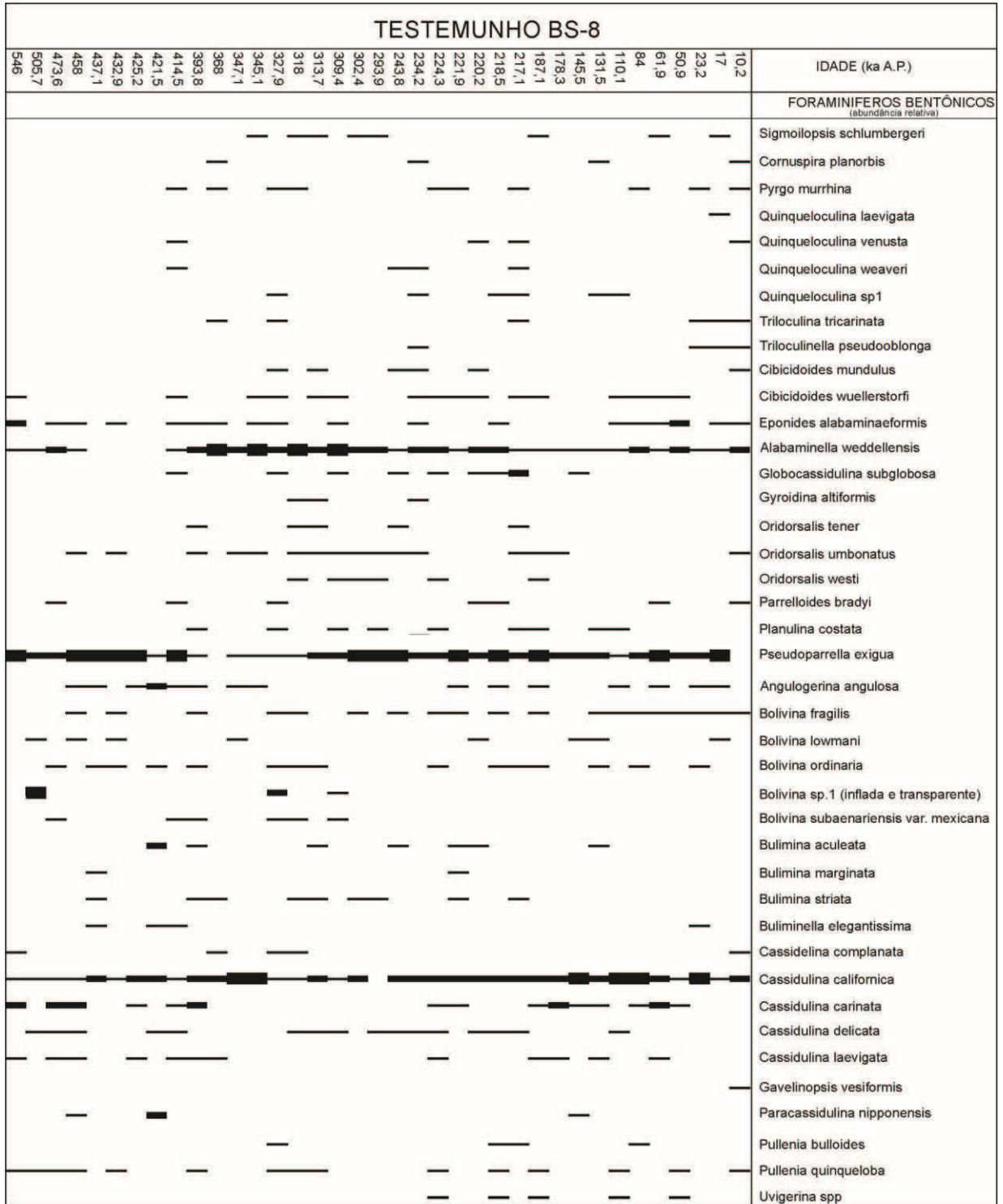
Figure 12: relative abundance of three most abundant species identified in the core BS-8 and stable isotopic values of carbon ($\delta^{13}C$) measured in the shells of benthic foraminifera.

ANEXO I

GRÁFICOS DE ABUNDÂNCIA RELATIVA DAS
PRINCIPAIS ESPÉCIES DE FORAMINÍFEROS
BENTÔNICOS



Gráficos de abundância relativa das principais espécies de foraminíferos bentônicos no testemunho BS-6.



Gráficos de abundância relativa das principais espécies de foraminíferos bentônicos no testemunho BS-8.

ANEXO II

**FOTOMICROGRAFIAS DAS PRINCIPAIS
ESPÉCIES DE FORAMINÍFEROS BENTÔNICOS**

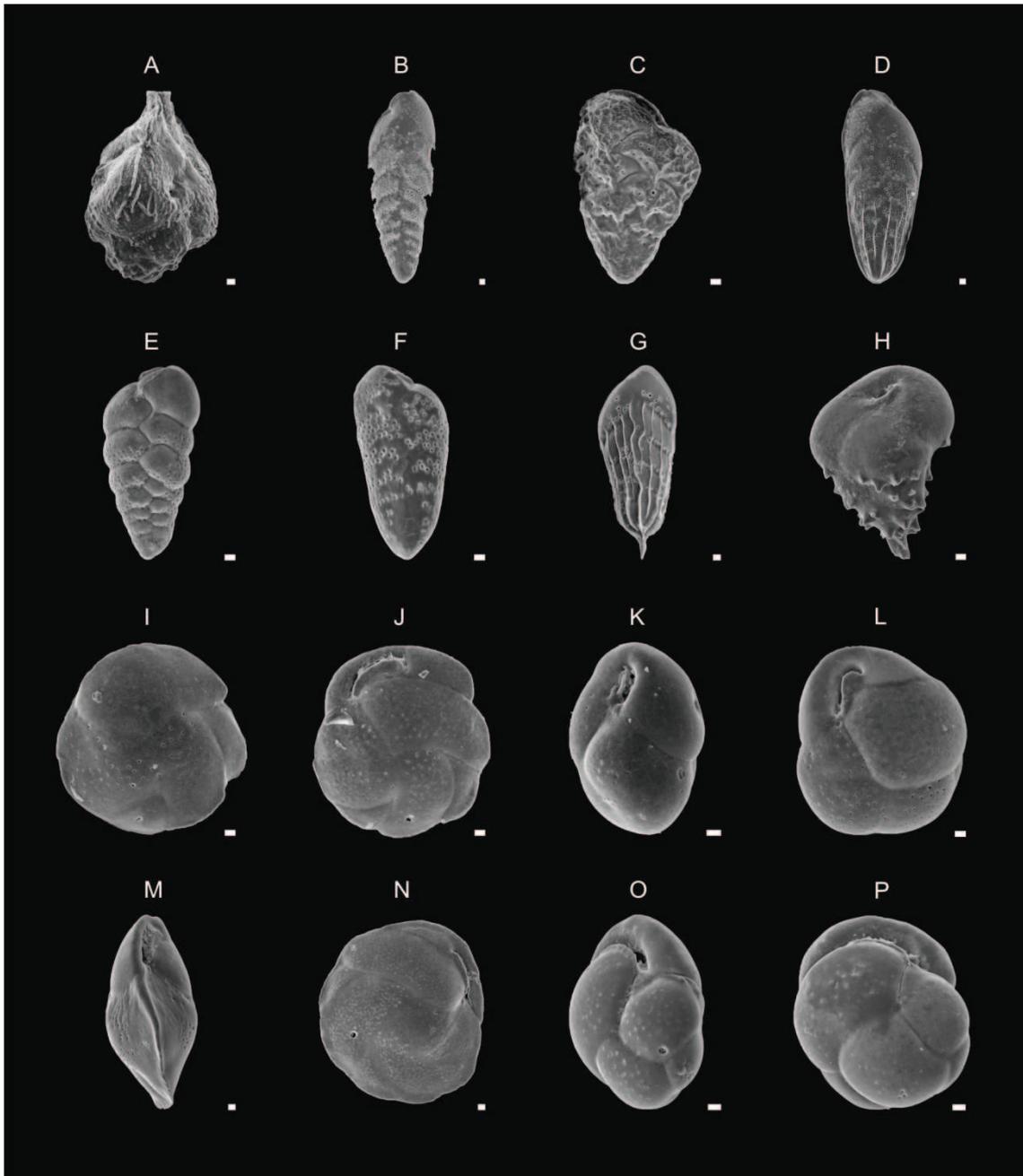


Figura 1: **A-** *Angulogerina angulosa*; **B-** *Bolivina barbata*; **C-** *Bolivina compacta*; **D-** *Bolivina fragilis*; **E-** *Bolivina lowmani*; **F-** *Bolivina ordinaria*; **G-** *Bolivina subaenariensis*; **H-** *Bulimina aculeata*; **I-** *Cassidulina angulosa*, vista dorsal; **J-** *Cassidulina angulosa*, vista ventral; **K-** *Cassidulina californica*, vista lateral; **L-** *Cassidulina californica*, vista ventral; **M-** *Cassidulina carinata*, vista lateral; **N-** *Cassidulina carinata*, vista ventral; **O-** *Cassidulina delicata*, vista lateral; **P-** *Cassidulina delicata*, vista ventral.

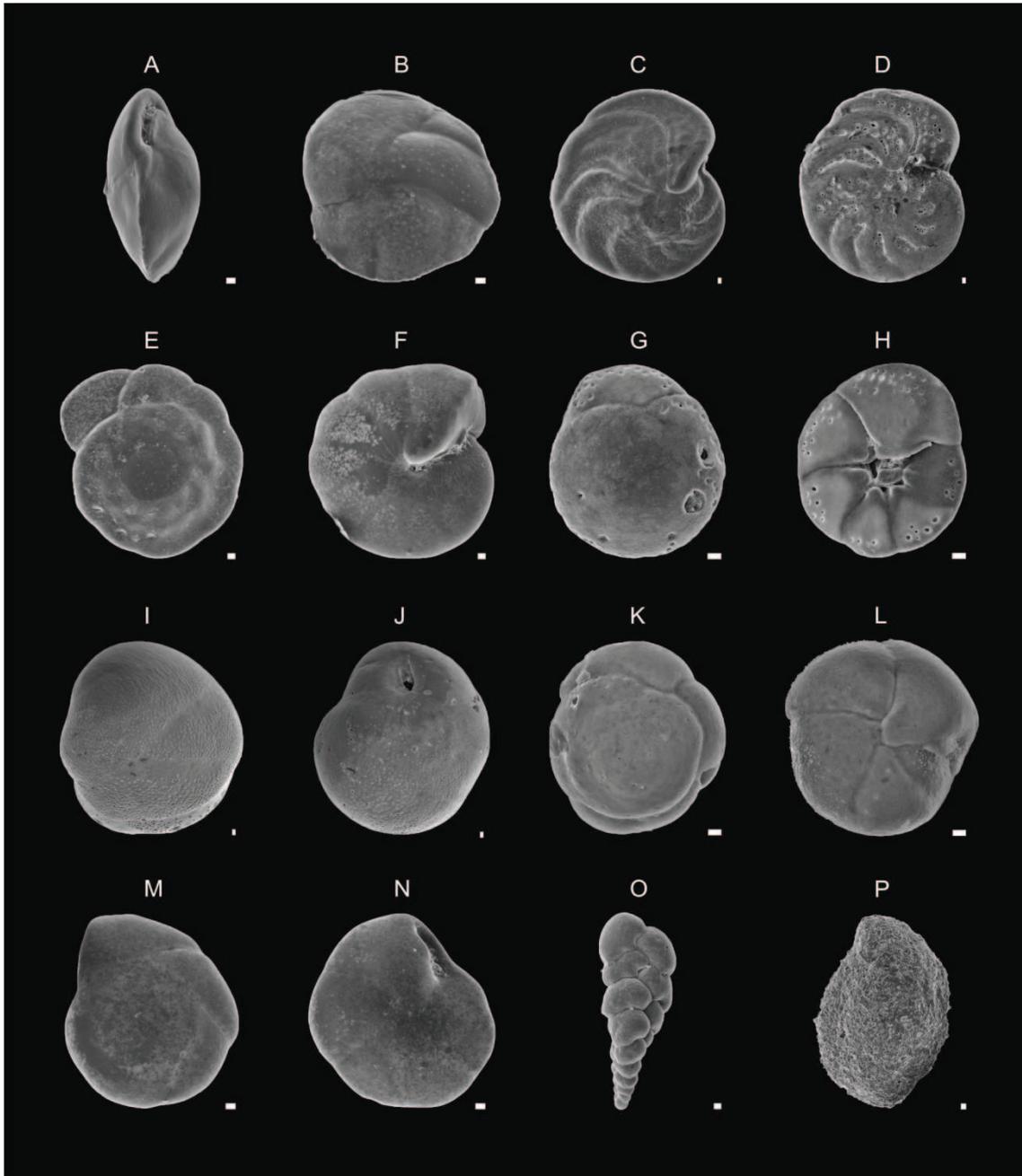


Figura 2: **A-** *Cassidulina laevigata*, vista lateral; **B-** *Cassidulina laevigata*, vista dorsal; **C-** *Cibicidoides wuellerstorfi*, vista dorsal; **D-** *Cibicidoides wuellerstorfi*, vista ventral; **E-** *Eponides alabaminaeformis*, vista dorsal; **F-** *Eponides alabaminaeformis*, vista ventral; **G-** *Gavelinopsis vesiformis*, vista dorsal; **H-** *Gavelinopsis vesiformis*, vista ventral; **I-** *Globocassidulina subglobosa*, vista dorsal; **J-** *Globocassidulina subglobosa*, vista ventral; **K-** *Alabaminella weddellensis*, vista dorsal; **L-** *Alabaminella weddellensis*, vista ventral; **M-** *Pseudoparrella exigua*, vista dorsal; **N-** *Pseudoparrella exigua*, vista ventral; **O-** *Bolivina* sp.1; **P-** *Sigmoidopsis schlumbergeri*.