

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA
NÍVEL MESTRADO**

CARINA PAIER

**DIATOMÁCEAS DO PALEÓGENO DO PLATÔ DE
SÃO PAULO
(DSDP *Leg 39, Site 356*)**

**São Leopoldo
2011**

Carina Paier

**DIATOMÁCEAS DO PALEÓGENO DO PLATÔ DE SÃO PAULO
(DSDP *Leg 39, Site 356*)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Geologia

Orientador: Dr. Gerson Fauth

Co-orientador: Dr. Carlos E. L. Vieira

Banca Examinadora:

Prof. Dra. Marinês Garcia - UFPel

Prof. Dr. Ernesto Luiz Correa Lavina - UNISINOS

São Leopoldo

2011

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador Dr. Gerson Fauth, pelo auxílio, por lutar contra o tempo, para que eu conseguisse terminar este mestrado.

Ao meu co-orientador Dr. Carlos Eduardo Lucas Vieira, por todo auxílio, desde a primeira vez que coloquei os pés nesta universidade, pela paciência as inúmeras explicações, pelas valiosas contribuições a este trabalho.

Aos colegas do laboratório de Micropaleontologia pelas dicas e conversas e brincadeiras, em especial aos geólogos Msc. Gislaine Bertoglio Rodrigues, Msc. Rodrigo do Monte Guerra, Karlos Guilherme Diemmer Kochhann; aos biólogos Msc. Daiane Ceolin, Patricia Krauspenhar; a Química Msc. Marlone Heliara Hunning Bom.

E principalmente aos meus pais, Eloi e Dalva, por sempre apoiarem as minhas escolhas, por acreditarem em mim, pela compreensão, força, e sobretudo pelo amor.

A minha irmã, Carla, por todo apoio e pelas inúmeras horas de conversa pelo *skype*.

Ao meu irmão, Rafael, pelo apoio e incentivo.

As minhas colegas de apartamento, Fabiana, Bárbara e Nicole, pela companhia, força, compreensão, apoio e amizade.

RESUMO

Diatomáceas são excelentes marcadores bioestratigráficos para as Eras Mesozoicas e são elementos bastante úteis para estudos paleoecológicos e paleoceanográficos. O presente trabalho consiste no estudo das diatomáceas do intervalo Paleógeno do Poço 356 (DSDP Leg 39), o qual foi perfurado na encosta oeste do Alto de São Paulo (margem sudoeste do Platô de São Paulo). As rochas deste local pertencem à porção distal da Bacia de Santos e as rochas deste intervalo Paleógeno pertencem à Formação Marambaia. Apesar das numerosas e diversas diatomáceas presentes, este intervalo foi zonado por seu conteúdo de foraminíferos plantônicos e nanofósseis calcários, mas não por suas diatomáceas. Este estudo procura proporcionar uma definição bioestratigráfica ao conteúdo diatomítico deste intervalo e discutir brevemente suas implicações geológicas e paleontológicas. Em termos taxonômicos, foram encontrados 92 taxa, sendo 29 gêneros, 68 espécies e 19 espécies previamente classificadas como “sp.”, além de 6 formas ontogenéticas variantes de *Asterolampra* spp. Em termos bioestratigráficos, quatro biozonas de diatomáceas foram identificadas, abrangendo idades do Mesoeoceno ao Neoligoceno. Quatro hiatus foram identificados, dois externos ao intervalo e dois internos. Os resultados aqui alcançados demandam algumas discussões sobre as correlações previamente feitas entre biozonas de foraminíferos plantônicos, nanofósseis calcários e diatomáceas deste intervalo, bem como sobre os padrões sedimentológicos previamente descritos para este intervalo.

Palavras-chave: Diatomáceas, Platô de São Paulo, Site 356-DSDP 39, Paleógeno

ABSTRACT

Diatoms are excellent biostratigraphic markers to Meso-Cenozoic Eras and are a very useful elements to paleoecologic and paleoceanographic studies. The present work is the study of the diatoms from the Paleogene interval of the 356 Hole (DSDP Leg 39) which was drilled at the southwestern slope of Sao Paulo Ridge (Southeastern margin of Sao Paulo Plateau). The rocks of this site belong to distal portions of Santos Basin, and the rocks of this Paleogene interval to the Marambaia Formation. Despite the numerous and diverse diatoms present, this interval was zoned by their planktonic foraminifers and calcareous nannofossils content but not by their diatoms. This study intent provides a biostratigraphical definition to the diatomite content of this interval and briefly discusses their geologic and paleontologic implications. In taxonomic terms, 92 taxa were found with 29 genera, 68 species, 19 species classified as sp., and 6 ontogenetic variants of *Asterolampra* spp. In biostratigraphic terms, four diatoms biozonas were identified ranging Mesoeocenic to Neoligocenic ages. Four hiatuses were detected, two external to the interval and two internal. The results achieved here require some discussion about the previously correlations made between planktonic foraminifers, calcareous nannofossils and diatoms biozonas of this interval, as well as about the previously sedimentologic patterns described to this interval.

Keywords: Diatoms, Sao Paulo Plateau, Site 356-DSDP 39, Paleogene

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Plate 1.....	38
Plate 2.....	40
Plate 3.....	42
Plate 4.....	44
Plate 5.....	46
Plate 6.....	48

SUMÁRIO

1. Introdução.....	8
1.1. Diatomáceas: aspectos taxonômicos e generalidades.....	8
1.2. Breve Histórico do Poço 356, Site 356, DSDP Leg 39.....	12
2. Problemática e Objetivos.....	13
3. Resultados.....	14
4. Referências Bibliográficas.....	28
5. Anexo – Lista de espécies.....	31
6. Artigo: Paleogene Diatoms From The Sao Paulo Plateau (DSDP Leg 39, Site 356).....	50
7. Referências Bibliográficas.....	75
8. Documentação Referente ao Artigo.....	80

1. INTRODUÇÃO

Levado a cabo entre os anos de 1968 a 1983, o Projeto de Perfuração em Mar Profundo (Deep Sea Drilling Project - DSDP) foi um marco na pesquisa geológica e oceanográfica mundial, fornecendo uma ampla gama de resultados que permitiram, entre outras coisas, demonstrar e fundamentar a nascente teoria da Tectônica de Placas (Gubbins, 1990). Ao todo foram 96 expedições que proporcionaram uma densa rede de amostragem por testemunhos em 624 locais (DSDP, 2011). O material aqui estudado corresponde às diatomáceas Paleógeno Superior do Poço 356, perfurado no Site 356 durante a expedição (Leg) 39 do DSDP. Este material constitui-se em amostras de testemunho de sondagem extraído da encosta sudoeste do Alto de São Paulo (Site 356), o qual está situado na margem sudeste do Platô de São Paulo.

1.1 Diatomáceas: aspectos taxonômicos e generalidades

Diatomáceas podem ser encontradas em praticamente todos os habitats aquáticos da Terra; no entanto, sua representatividade está condicionada às condições ambientais reinantes em cada um destes habitats (Round *et al.*, 1990). Nos oceanos, as diatomáceas acham-se restritas à zona fótica, quer como parte do plâncton, quer como parte do bento. Além da luz, os principais fatores limitantes para sua presença nos oceanos é a disponibilidade de macronutrientes (N, P, K, Fe e, em especial, o Si) e as condições hidrodinâmicas do meio (Sancetta, 1999).

A representatividade das diatomáceas no registro fóssil dependerá da taxa reprodutiva de cada táxon e do potencial de preservação de seus restos frente a seu histórico tafonômico. De modo geral, quanto maior a taxa reprodutiva de uma determinada espécie, maior a geração de restos *post-mortem* e, com isso, maior a probabilidade de seus restos virem a ser preservados

no sedimento. Similarmente, quanto mais resistentes os restos, maior a probabilidade de serem preservados. Em meios muito ácidos ou muito alcalinos, a preservação destes restos é dificultada, uma vez que a sílica das frústulas tende a ressolubilizar (Biddle & Azam, 1999; Rickert *et al.*, 2002). Nos demais meios, sua preservação é bastante satisfatória (Round *et al.*, 1990).

Dada às diferenças entre cada grupo de diatomácea quanto a sua representatividade e preservação em cada local específico, as diatomáceas mostram-se bioindicadores potencialmente úteis para estudos paleoceanográficos, paleoecológicos e bioestratigráficos (Denys & Wolf, 1999). Assim, por exemplo, áreas com altos níveis de nutrientes (desembocaduras de rios e áreas de ressurgência) podem ser detectadas a partir da abundância de *Paralia sulcata*, que tem sua reprodução extremamente favorecida nestes ambientes (McQuoid & Nordberg, 2003).

Outra qualidade das diatomáceas é sua alta taxa de especiação, que lhes habilitam a ser satisfatoriamente empregadas como marcadores bioestratigráficos para determinadas idades, em particular, aquelas do Neopaleógeno e do Neógeno, quando então, apresentaram uma alta diversificação taxonômica e ecológica (Sims *et al.*, 2006).

A despeito deste potencial, as diatomáceas ainda são muito pouco empregadas em estudos paleontológicos no Brasil, em parte pela dificuldade de preparação das amostras, em parte pela dificuldade de classificação dos espécimes. Um dos maiores obstáculos à taxonomia é a desatualização das diagnoses frente aos avanços da microscopia, em particular, à microscopia eletrônica (ME).

Normalmente, a taxonomia é realizada com base em diagnoses muito antigas, em que as diatomáceas eram observadas apenas através de microscopia ótica e figuravam nos trabalhos através de desenhos ou de fotografias nem sempre boas. Em tais casos, é comum que

estruturas fundamentais para a classificação dos espécimes simplesmente não estejam visíveis. Exemplo disso são as espécies cujas diagnoses são integralmente aquelas descritas por autores do século retrasado, como Grunow (1884) e Greville (1865).

Hoje em dia, a microscopia eletrônica está mais acessível aos pesquisadores e, por isso, vem sendo cada vez mais utilizada em trabalhos micropaleontológicos. Ela permite a visualização de uma riqueza de detalhes que não são visíveis sob microscopia óptica, facilitando assim, a identificação e classificação dos espécimes. Com base nisso, um franco processo de readequação taxonômica das diatomáceas estabeleceu-se a partir da década de 80 e grande parte dos resultados obtidos com a ME para o nível genérico é encontrada em Round *et al.* (1990).

Outro obstáculo é que análises moleculares modernas têm forçado uma significativa reclassificação das diatomáceas, a começar por seu próprio status de grupo (p. ex. Cavalier-Smith, 1993, 1995, 1998, 1999; Patterson, 1999; Medlin & Kaczmarska, 2004; Adl *et al.*, 2005; Burki, 2005; Sims *et al.*, 2006). Originalmente consideradas uma divisão (Filo) de algas unicelulares do reino Plantæ, elas são atualmente classificadas no reino Chromista. Internamente, muitas relações filogenéticas insuspeitas estão sendo descobertas a partir e um dos resultados óbvios é que uma grande miríade de termos, classificações e sistematizações taxonômicas e filogenéticas foram e estão sendo ainda propostos. Em função deste atual contexto, optou-se aqui por privilegiar o sistema de classificação empregado pelo Projeto ALGAE BASE (Guiry & Guiry, 2011), ainda que alguns dos clados aí constantes (em particular os de níveis mais altos) não tenham sido ainda formalmente estabelecidos de acordo com o Código Internacional de Nomenclatura Botânica.

Uma das principais consequências de toda esta revolução taxonômica sofrida pelas diatomáceas é que a antiga correspondência taxonômica feita entre as morfologias cêntricas e

penadas com as ordens Centrales e Pennales simplesmente não se sustentou, uma vez que os dados moleculares mostram, incontestavelmente, uma polifilia em Centrales (Medlin & Kaczmarska, 2004; Sims *et al.*, 2006). Diatomáceas com morfologia centríca heteropolar estão filogeneticamente mais relacionadas às de morfologia penada do que com as demais centrícas (isopolares). Além disso, as diatomáceas passaram a ter as bolidomonas como um grupo irmão direto (Riisberg *et al.* 2009). Por fim, há uma grande gama de gêneros cujas relações filogenéticas não puderam ser ainda definidas, razão pela qual, permanecem inclusos informalmente na classe Bacillariophyceae *incertae sedis* (como a espécie aqui encontrada, *Xanthiopyxis* sp.).

Assim, os gêneros e espécies encontrados neste estudo (ANEXO 1) se enquadram em uma ou outra das seguintes classes de diatomáceas:

Domínio EUKARYOTA Whittaker & Margulis, 1978

Reino CHROMISTA Cavalier-Smith, 1981

Subreino HAROSA Cavalier-Smith, 2010

Infra Reino HETEROKONTA Cavalier-Smith, 1995

Filo OCHROPHYTA Cavalier-Smith, 1995

Subfilo KHAKISTA Riisberg *et al.* 2009

Bolidomonas:

Classe BOLIDOPHYCEAE L.Guillou & M.-J.Chrétiennot-Dinet.

Diatomácaes

Classe COSCINODISCOPHYCEAE Round & Crawford *in* Round *et al.*, 1990 (= Centrícas unipolares)

Classe BACILLARIOPHYCEAE *incertae sedis*

Classe BACILLARIOPHYCEAE Haeckel, 1878 (Cêntricas bi ou multipolares + Thalassiosirales)

Classe MEDIOPHYCEAE (Jousé & Proshkina-Lavrenko) Medlin & Kaczmarska, 2004 (= Penadas)

Face este quadro, o presente trabalho visa a reestudar as diatomáceas do Poço 356, perfurado no Site 356 pela 39ª expedição do DSDP.

1.2 Breve Histórico Do Site 356

O Site 356 está sob uma lâmina d'água de 3.175 metros e dista 950 km da atual costa litorânea brasileira. Dois poços foram perfurados neste local, o primeiro, chamado de 356A encontrou problemas e teve uma penetração total de somente 27 m, da qual apenas 19 metros foram recuperados para estudo. O segundo poço, chamado de 356 foi mais bem sucedido e teve uma recuperação total de 741 metros, cujos sedimentitos mais antigos datam do Albiano Superior (Perch-Nielsen *et al.*, 1977).

O Site 356 é de grande relevância para o estudo da dinâmica sedimentar das porções mais distais da Bacia de Santos, uma vez que se registram aí várias desconformidades estratigráficas causadas por erosões, transgressões marinhas, progradação deltaica, deslizamentos e alguns retrabalhamentos que tem reflexo ou mesmo origem, nas porções plataformais (proximais) da bacia (Modica and Brush, 2004; Moreira *et al.*, 2007).

No poço 356, as diatomáceas são comuns apenas no intervalo correspondente ao Eoceno Médio, ocorrendo em quantidades vestigiais do Albiano ao Eoceno Inferior (Perch-Nielsen *et al.*, 1977). Este intervalo mesoeocênico corresponde aos cores 16 (Seção 1) e 6 (seção 1). A proposição de idade Mesoeocênica para este intervalo foi feita com base em seus nanofósseis e foraminíferos plantônicos (Boersma, 1977; Bukry, 1977). As diatomáceas constantes neste

mesmo intervalo, embora abundantes e diversas, não permitiram um biozoneamento formal (Fenner, 1978).

2. PROBLEMÁTICA E OBJETIVOS

Em função das dificuldades encontradas no estudo de diatomáceas fósseis citados anteriormente, poucos são os estudos paleontológicos no Brasil com diatomáceas pré-holocênicas. Os trabalhos existentes se limitam a relatos de ocorrência, sem fornecer descrições ou classificações das formas encontradas. Uma das conseqüências disto é que seu comprovado potencial bioestratigráfico é subaproveitado, ou mesmo ignorado em estudos paleontológicos das bacias brasileiras. O reconhecimento destes problemas é entendido aqui como o primeiro passo na identificação e entendimento das causas e conseqüências do mesmo e não como um mero relato negativista de uma determinada situação.

Recentemente, o Laboratório de Micropaleontologia da Unisinos encarou o desafio de estudar diatomáceas pré-Holocênicas e os resultados alcançados até o presente momento, ainda que incipientes, já permitem comprovar a importância de tais elementos para a bioestratigrafia e paleoecologia de nossas bacias costeiras, uma vez que elas permitiram situar bioestratigraficamente o Poço 356A do Site 356, outrora não zonado (Antiqueira *et al.*, 2011).

Neste contexto, o trabalho feito aqui busca testar a aplicabilidade das diatomáceas em estudos de estratos oriundos das zonas mais profundas de nossas bacias costeiras, em particular, das porções mais distais do sistema Bacia de Santos-Platô de São Paulo. Busca-se também um refinamento bioestratigráfico e uma melhor compreensão dos padrões de sedimentação que caracterizaram o Neopaleógeno da margem sudoeste do Platô de São Paulo (Site 356).

MATERIAL E MÉTODOS

O material constitui-se em 33 amostras de aproximadamente 30 cc cada, de sedimentos marinhos provenientes de testemunho do DSDP Leg 39, Site 356, Poço 356, e correspondem ao intervalo que vai do Core 6, seção 1, ao Core 16, seção 1. Três seções estavam estéreis, a saber, seções 2 e 4 do Core 10 e seção 3 do Core 11.

As amostras foram preparadas segundo a metodologia de Renaudie (2010). De 1 a 2 cm³ de sedimento foram colocados em um copo com 0,2 l de água e 0,05 - 0,1 l de peróxido de hidrogênio (~10%), e aquecidos por 1 h, a solução foi resfriada e deixada repousar durante a noite; no próximo dia, 0,05 - 0,1 l de ácido clorídrico (~ 30%) foi adicionado e deixou-se repousar por mais uma noite, no dia seguinte a maior parte da água foi removida, deixando cerca de 2 cm de solução água, com muito cuidado sem perturbar o resíduo depositado. O copo foi preenchido com 0,2 l de água de mili-Q e deixou-se descansar por mais de 1:50 h. A maior parte do líquido foi novamente removido. Este último processo foi repetido dez vezes.

Após o processamento das amostras fez-se a confecção das lâminas delgadas. Para isso, as amostras foram submetidas a uma nova diluição, adaptada por nós, que se mostrou satisfatória, pois deixou as lâminas com quantidade moderada de material a ser analisado, evitando a poluição de elementos. Para esta diluição, foi posto em um tubo 30 gotas de água destilada e uma gota da amostra bem concentrada após misturar retirou-se apenas uma gota desta mistura para a confecção das laminas, a qual foi feita com lamínulas de 18x18 mm e foram coladas com balsamos do Canadá, o qual confere maior contraste aos espécimes.

Após a leitura das laminas em microscopia ótica, Motic BA 400, os espécimes mais representativos das espécies aqui estudadas foram fotografados em microscópio eletrônico. Para isso, foram selecionadas as 10 amostras que apresentaram uma maior diversidade de diatomáceas por lamina, a saber, as amostras das seções 01, 02, 03, 04, 06 do Core 06, das

seções 2, 3, 5, 6, do Core 07 e seção 01 do Core 09. As amostras escolhidas foram separadas por peneiras em três frações 45, 38 e 10 μm , e secas em estufa a 50c°. As quais foram triadas em lupa Zeizz Discovery. V8 SteREO, e confeccionados os stubs. Dentre as peneiras utilizadas as frações que recuperaram maior quantidade de diatomáceas foram 10 e 38 μm , no entanto a fração de 45 μm recuperou alguns radiolários e raríssimas diatomáceas. Os espécimes foram analisados e fotografados no Microscópio eletrônico de varredura no Centro de Microscopia Eletrônica da PUC-RS. Os espécimes foram depositados no Museu de História Geológica do Rio Grande do Sul da UNISINOS com os códigos 8831; 8832 (1) – 8832 (16); 8833 (1) - 8833 (14); 8834 (1) - 8834 (3); 8835 (1) - 8835 (25); 8836 (1) - 8836 (16).

3. RESULTADOS

Foram identificados 92 táxons de diatomáceas, sendo 27 gêneros, 67 espécies e 20 classificadas previamente como sp, além de uma forma correspondente a um possível estágio ontogenético de *Asterolampra* spp. (Estampas 1 a 6). Os padrões de distribuição estratigráfica destes táxons permitiram identificar quatro biozonas de diatomáceas ao intervalo estudado, a saber, as biozonas *Pyxilla caput avis*, *Hemiaulus alatus*, *Asterolampra marylandica* e *Rocella gelida*. Foi possível, também, identificar um padrão descontínuo de deposição para o referido intervalo, anteriormente imaginado contínuo. Neste sentido, o intervalo caracteriza-se por hiatos erosivos em seu limite basal e superior, bem como entre as biozonas *Hemiaulus alatus* e *Asterolampra marylandica* e entre esta última e a biozona *Rocella gelida*. Em termos geocronológicos, este biozoneamento permitiu estabelecer idades que vão do Lutetiano (Eoceno Médio) ao Chattiano (Oligoceno Superior) ao intervalo estudado, expandindo assim, as idades anteriormente atribuídas ao mesmo.

As biozonas de diatomáceas identificadas não se coadunaram à correlação esperada com as biozonas de foraminíferos plantônicos e nanofósseis calcários previamente identificados para este intervalo. Porém, acredita-se que a razão disto deve-se ao retrabalhamento associado aos freqüentes hiatos erosivos que pontuam o registro do Sistema Bacia de Santos-Platô de São Paulo. Os resultados e conclusões aqui listados, bem como toda a discussão que lhe sustentam são apresentados no artigo subsequente, intitulado “Diatomáceas Paleógenas do Oeste do Platô de São Paulo”.

Os espécimes que puderam ser atribuídos a espécies aceitas encontram-se listados no Anexo 1 e são apenas citadas aqui desacompanhadas de suas respectivas diagnoses e descrições. Aqueles espécimes que não puderam ter sua identidade específica assegurada foram informalmente classificados em terminologia aberta e, por esta razão, são brevemente descritos a seguir.

Classe MEDIOPHYCEA (Jousé & Proshkina-Lavrenko) Medlin & Kaczmarska 2004

Subclasse BIDDULPHIOPHYCIDAE Round & Crawford 1990

Ordem BIDDULPHIALES Krieger 1954

Família BIDDULPHIACEAE Kützing 1844

Gênero: *Biddulphia* Gray, 1821

***Biddulphia* sp. 1**

Descrição: Frústulas com valvas retangulares, constituídos por hipoteca ou epiteca. Face valvar de contorno elíptico irregular em vista valvar, apresentando três lobos circulares em sua porção central (separados por sulcos de diferentes tamanhos) e um chifre circular em cada pólo. Na superfície destas estruturas ocorrem campos areolados. Em vista lateral, os lobos

apresentam-se como elevações arredondadas, sendo o central mais proeminente do que os demais. O manto valvar apresenta-se como uma área hialina desprovida de aréolas, bem como a região inter-lobos. Os chifres apresentam-se como projeções cilíndricas mais elevadas do que os lobos, mais ou menos retos até quase o ápice, quando então, curvam-se para fora. Os chifres apresentam aréolas até quase o ápice e apenas em suas porções interna e externa. Próximo ao ápice dos chifres há uma cinta hialina sem qualquer aréola; no ápice aréolas menores ocorrerem em fileiras alinhadas transversalmente ao eixo longitudinal da valva.

Discussão: A posição do espécime na foto não permite a sua visualização em vista valvar plena, porém, ainda que pouca, sua inclinação permite ver diferenças na largura do espécime que são condizentes com um contorno elíptico. Assemelha-se a *Biddulphia capusina* Schmidt, 1988, porém, esta possui o ápice dos chifres mais robusto e arredondado, invaginações na base do manto valvar e um espaçamento maior e mais profundo entre as ondulações na face valvar, ao contrário de *Biddulphia* sp. 1. Distinguem-se da *Biddulphia* sp. 2 e *Biddulphia* sp. 3 pelo tamanho, por ter o lobo central é mais proeminente e sulcos bem definidos, além disto o espessamento entre o último lobo e os chifres são menores e por apresentar chifres maiores e curvados para fora proximo do ápice, o qual é abobadado.

***Biddulphia* sp. 2**

Descrição: Fragmentos de valvas retangulares, constituídos por hipoteca ou epiteca. Face valvar elíptica levemente ondulada, pólos com elevações proeminentes, a ondulação central é mais acentuada. Os sulcos entre as ondulações são presumivelmente homogêneos. Os chifres são afilados, pouco elevados, com comprimento equivalente a ondulação central, e sua base é aparentemente retilínea. Em vista singular os poros estão dispostos nas porções elevadas, concentrados no meio entre as ultimas elevações e os pólos, e nos pólos. Poros aparentemente

homogêneos, arranjados em linhas transversais. O apice dos chifres possui um campo de poros. Manto valvar não é bem delimitado, mas nota-se uma ondulação. Em vista singular distingue-se uma linha reta horizontal estendendo-se de pólo a pólo, menos saliente ao passar pelas porções com aréolas.

Discussão: Chifres aparentam ter ápices retilíneos, provavelmente contendo ornamentações, as quais não são perceptíveis em vista singular. A posição do espécime na foto não nos permite a sua visualização em vista valvar. Espécie singular, a princípio não se assemelha-se a espécies conhecidas. Distingue-se de *Biddulphia* sp. 1 e *Biddulphia* sp. 3 por ser mais alongado, ter o manto valvar bem delimitado e chifres com ápice retilíneo.

***Biddulphia* sp. 3**

Descrição: Fragmentos de valvas retangulares, constituídos por hipoteca ou epiteca. Face valvar elíptica, pólos com elevações proeminentes, a ondulação central é mais acentuada. Os sulcos entre as ondulações são quase imperceptíveis. Os pólos são afilados. As extremidades são pouco elevadas, e acentuadamente afiladas. Em vista singular os poros são esparsos e maiores nas porções elevadas, e são concentrados e menores na porção central próxima à base. Manto valvar não é bem delimitado.

Discussão: Espécime em péssimo estado de preservação, as ornamentações e estruturas se possui, não estão visíveis. Com isso, se torna impossível a identificação desta espécie. Distingue-se de *Biddulphia* sp. 1 e *Biddulphia* sp. 2 por apresentar uma ondulação central bem acentuada e aparentemente não conter sulcos entre as ondulações.

Família: HEMIAULACEAE Heiberg 1863

Gênero: *Hemiaulus* Heiberg 1863

***Hemiaulus* sp. 1**

Descrição: Frústulas elípticas em vista valvar, na qual observam-se grandes aréolas circunscritas por um grosso ânulo na porção central. Desta, partem radialmente em direção à margem grossas costelas. Chifres dispostos nos pólos e aparentes como pequeno círculo hialino. O manto valvar não é visível.

Discussão: O estado de preservação dos espécimes não é bom, razão pela qual, importantes estruturas não são visualizadas. Dada sua semelhança com espécimes do gênero *Hemiaulus*, é provável que os pólos apresentem chifres que se projetam acima do plano da face valvar, porém, não foram observados espécimes em vista cingular para comprovar esta suspeita. Não pode ser comparado com as espécies de *Hemiaulus* sp. 2, *Hemiaulus* sp. 3, *Hemiaulus* sp. 4, pois estes, estão dispostos em vista cingular, já *Hemiaulus* sp. 1 é registrado somente em vista valvar. As demais espécies de *Hemiaulus* dispostas em vista valvar, a princípio não acemelhan-se a *Hemiaulus* sp. 1.

***Hemiaulus* sp. 2**

Descrição: Frústulas aproximadamente retangulares em vista valvar e lateral com sulcos bem marcados formando três lobos aparentemente individualizados entre si, sendo o lobo central maior que os demais e portando um pequeno espinho central na sua face valvar. A superfície da valva é perfurada por grandes e dispersas aréolas que diminuem sensivelmente em direção aos pólos, quando então, arranjam-se em fileiras perpendiculares ao eixo longitudinal da

valva. Pólos com chifres ligeiramente decorrentes na porção basal interna e retos no restante. Chifres aparentemente quilhados em sua face externa.

Discussão: espécimes semelhantes a *Hemiaulus reticulatus*, no entanto, esta última possui lobos mais proporcionais entre si e menos salientes e individualizados pelos sulcos. Por fim, a ausência de espécimes com chifres completos impossibilita uma determinação taxonômica segura, e a comparação com as outras espécies de *Hemiaulus*.

Hemiaulus sp. 3

Descrição: Frústulas elípticas em vista valvar e em forma de U em vista lateral. Pólos com chifres longos e finos, terminados em espinho cônico em sua porção interna. Em vista lateral, a junção dos chifres com a valva é dada por um abrupto afinamento, de modo a formar uma espécie de barriga na base de cada chifre, as quais se conectam entre si e formam uma área superior aparentemente mais densamente silicificada. Também em vista lateral, a valva apresenta caracteristicamente uma linha curva de aréolas pequenas em sua porção central, a qual se estende até próximo ao espinho dos chifres. Próximo às extremidades da valva ocorrem algumas poucas aréolas. O manto valvar parece estar representado por uma ligeira cinta proeminente logo abaixo da linha de aréolas em sua porção central. A margem inferior apresenta-se serrilhada.

Discussão: Espécime muito singular, diferindo das outras formas de *Hemiaulus* por possuir somente uma linha com aréolas em sua valva. Difere-se também ao apresentar uma densa área acima da linha de poros, entre os processos alongados. Os chifres são claramente poligonais em vista transversal, porém, não é possível precisar quantas faces existem. Aparentemente, os vértices destas faces formam pequenas quilhas.

***Hemiaulus* sp. 4**

Descrição: Frústulas retangulares em vista valvar e em forma de U em vista lateral.

Face valvar aparentemente plana. Pólos com chifres espessos na base e afilados em direção ao ápice. Aréolas aparentemente grandes e distribuídas irregularmente.

Discussão: Alguns espécimes aparentemente constituídos por hipo e hepiteca, embora não esteja visível a união das mesmas. Espécime em péssimo estado de preservação, por isto, não é possível compara-lo a outras espécies de *Hemiaulus*.

Gênero: *Trinacria* Heiberg, 1863

***Trinacria* sp. 1**

Descrição: Frústulas triangulares em vista valvar e retangulares em vista lateral. Porção central da face valvar abaulada com estrias radiais constituídas por aréolas irregulares partido do centro para a borda. Três rimoportulas localizadas na parte mediana da face valvar, cada uma direcionada a um prolongamento da valva. As porções abauladas são separadas do resto da válvula por sulcos rasos. Margem da face valvar elevada, as pontas possuem uma elevação mais acentuada com o ápice achatado. Manto valvar é extenso e ondulado na parte superior, constituído por uma grande área hialina, com uma linha de poros na parte superior, a qual acompanha a curvatura. As extremidades são compridas, com uma porção hialina inferior, e poros com uma maior densidade do meio para o ápice. Internamente possui uma concavidade central com uma elevação nas extremidades tornando a uma leve concavidade, findando em bordas elevadas. Aréolas uniformes irradiando do centro para as bordas. Cinco rimopórtulas visíveis, distribuídas na porção mediana.

Discussão: Formas triangulares foram encontradas tanto em microscopia ótica, quando eletrônica, a exata correspondência entre elas, porém, não pode ser determinada. Trata-se de formas bastante singulares e que podem ser seguramente atribuídas ao gênero *Trinacria*, embora o mesmo não possa ser dito quanto à espécie. Destingue-se das demais espécies de *Trinacria* por possuir extremidades compridas, afiladas com elevação nas porções distais, e três rimoportulas localizadas na parte mediana da face valvar.

Trinacria sp. 2

Descrição: Frústulas triangulares em vista valvar e retangulares em vista lateral. Face valvar plana e convexa com as extremidades proeminentes. Aréolas grandes e uniformes, aparentemente irradiando a partir do centro em direção a periferia. Borda ondulada. Ocelos dispostos sobre as extremidades elevadas. Manto valvar plano. Aréolas grandes e uniformes dispostas perpendiculares a base. Área hialina na porção ondulada na união do manto com a face valvar, as extremidades desta união é composta por ocelos. A borda do manto valvar é mais expeça, retilínea com uma leve ornamentação ondulada.

Discussão: Espécimes encontrados somente em vista cingular sob microscopia eletrônica. A face valvar pode estar um pouco visível e, neste caso, é possível notar que as aréolas aparentemente se irradiam do centro para a periferia e não possuem ornamentações. Destingue-se das demais espécies de *Trinacria* por ter a Borda da valva ondulada e a do manto ornamentada, por apresentar areolas grandes tanto na face valvar quanto no manto.

Ordem: TRICERATIALES Round and Crawford, 1990

Família: TRICERATIACEAE (Schütt) Lemmermann 1899

Gênero: *Sheshukovia* Z.I.Glezer, 1975

Sheshukovia sp. 1

Descrição: Frústulas triangulares em vista valvar e retangulares em vista lateral. Valva com as extremidades arredondadas e levemente achatadas. Face valvar ligeiramente abaulada com as extremidades levemente proeminentes. Aréolas em sua maioria grandes e desiguais, aparentemente divididas em setores com um grupo de aréolas centrais e outros três grupos nas extremidades, os quais são separados por curtas áreas hialinas. Áreas hialinas nas extremidades.

Discussão: Espécimes com partículas de sedimento aderidas em sua superfície, ocultando o tipo de disposição das aréolas, as quais aparentam ser divididas em setores, escondendo as possíveis ornamentações. Por estes motivo torne-se difícil comparar esta espécie com as demais espécies de *Sheshukovia*, o único diferenciais mais visível são as suas características extremidades levemente achatadas.

Sheshukovia sp. 2

Descrição: Frústulas triangulares em vista valvar e retangulares em vista lateral. Valva com as extremidades afiladas. Face valvar côncava com as extremidades proeminentes. Aréolas em sua maioria grandes e desiguais, aparentemente irradiando a partir do centro em direção a periferia. Dois tubos proeminentes de rimoportulas dispostos na porção central. Bordas e extremidades da face valvar elevadas, as extremidades são constituídas por uma área hialina, esta mais espessa e mais elevada na porção distal.

Discussão: Difere das demais formas triangulares aqui descritas pelas rimopórtulas. Seu grau de preservação, no entanto, não possibilita a visualização de maiores detalhes que poderiam auxiliar na sua identificação a nível de espécie.

Ordem TRICERATIALES Round & Crawford, 1990

Família TRICERATIACEAE (Schütt) Lemmermann, 1899

***Triceratium* sp. 1**

Descrição: Frústulas triangulares em vista valvar e retangulares em vista lateral. Porção central da face valvar levemente abaulada com as extremidades elevadas. Estrias radiais constituídas por aréolas irregulares. Três rimopórtulas localizadas na parte mediana da face valvar, cada uma direcionada a um prolongamento da valva.

Discussão: Porção central não está visível, podendo se constituídas por aréolas que se irradiam do centro em direção a periferia. As prováveis rimopórtulas assemelham-se a poros bem arredondados. As extremidades aparentam ser levemente elevadas. Difere-se das outras espécies de *Triceratium* por conter bordas retilíneas, aréolas grandes e irregulares.

***Triceratium* sp. 2**

Descrição: Frústulas triangulares em vista valvar e retangulares em vista lateral. Porção central da face valvar lisa com o centro bem marcado e extremidades elevadas. Estrias radiais constituídas por aréolas aparentemente homogêneas, irradiando no centro para a periferia. As bordas da face valvar são levemente onduladas, e possuem uma linha hialina. As extremidades são alongadas e arredondadas.

Discussão: Difere-se das outras espécies de *Triceratium* pela sua porção central, a qual apresenta uma cicatriz causada por um provável tubo de união entre os espécimes. As extremidades aparentam ser ligeiramente elevadas.

Triceratium sp. 3

Descrição: Frústulas triangulares em vista valvar e retangulares em vista lateral. Porção central da face valvar lisa e levemente abaulada. Estrias radiais constituídas por aréolas aparentemente maiores no centro, tornando-se menores em direção a periferia. As extremidades aparentam ser elevadas. Extremidades superiores diferem quanto a o formato das outras duas extremidades inferiores, as quais aparentam ser alongadas e arredondadas, enquanto a superior aparenta ser mais afilada.

Discussão: As extremidades inferiores são aparentemente diferentes da superior, a superior aparenta estar dividida a partir de dois estrangulamentos, o primeiro próximo ao início do prolongamento e o segundo na porção mais distal deste mesmo prolongamento. Estas características tornão esta espécie singular.

Triceratium sp. 4

Descrição: Frústulas triangulares em vista valvar e retangulares em vista lateral. Porção central da face valvar lisa com estrias radiais constituídas por aréolas aparentemente homogêneas, irradiando no centro para a periferia. Afilando em direção as extremidades.

Discussão: Aréolas são pouco visíveis, mas forma uma estrutura que se irradia do centro para a periferia. A periferia da valva não está muito nítida, no entanto aparenta conter uma linha hialina. Esta espécie não se assemelha as outras espécies de *Triceratium* descritas neste trabalho.

Triceratium sp. 5

Descrição: Frústulas triangulares em vista valvar e retangulares em vista lateral. Valva robusta. Porção central da face valvar constituída por sulcos, com uma porção triangular marcando o centro. As extremidades são bem arredondadas.

Discussão: É provável que este espécime esteja corroído, com isso, o que se observa são as estruturas secundárias da sua valva. Por isso as aréolas não são visíveis.

Classe COSCINODISCOPHYCEAE Round & Crawford, 1990

Subclasse COSCINODISCOPHYCIDAE Round & Crawford, 1990

Ordem: COSCINODISCALES Round & Crawford, 1990

Família: COSCINODISCACEAE Kützing 1844

Gênero: *Coscinodiscus* Ehrenberg, 1839

***Coscinodiscus* sp.**

Descrição: Frústulas com valvas circulares em vista valvar e retangular em vista lateral. Face valvar plana, com uma leve depressão central. O centro da valva é composto por uma pequena área hialina circular da qual partem radialmente aréolas que aumentam progressivamente de tamanho em direção à margem e formam estrias aproximadamente retilíneas. Por vezes, estrias secundárias de menor tamanho dispõem-se na porção marginal da face valvar entre duas estrias principais consecutivas. O manto valvar é perfurado por aréolas menores arranjadas em fileiras oblíquas às estrias principais.

Discussão: Espécie muito semelhante à espécie *Coscinodiscus argus*, no entanto, esta possui uma aréola no centro da face e não uma pequena área hialina como a aqui descrita. Além disso, as aréolas de *C. argus* tem bordos serrilhados e não lisos.

Ordem: MELOSIRALES Crawford *in* Round *et al.*, 1990

Família: STEPHANOPYXIDACEAE Nikolaev 1969

Gênero: *Stephanopyxis* (Ehrenberg) Ehrenberg, 1845

***Stephanopyxis* sp.**

Descrição: Frústulas circulares em vista valvar e côncavas de base reta em vista lateral. Valva espessa, abobadada, hemisférica para discóide; sem distinção entre a face valvar e manto. Face valvar achatada, com aréolas esparsamente distribuídas e com tamanhos variados. Estrias dispostas em espiral a partir da porção achatada, as quais circundam toda a valva. As aréolas são arredondadas e uniformes, maiores no manto valvar.

Discussão: Assemelha-se a várias espécies de *Stephanopyxis*, porém, ante a falta de maiores detalhes, são classificadas abertamente aqui neste gênero.

Subclasse RHIZOLENOPHYCIDAE Round & Crawford, 1990

Ordem: RHIZOLENIALES Silva 1962

Família: PYXILLACEAE (Schütt) Simonsen 1972

Gênero: *Pyxilla* Greville, 1865

***Pyxilla* sp.**

Descrição: Fragmento de frústulas aproximadamente elípticas em vista lateral, sendo uma extremidade mais afilada do que a outra. Valva com grandes aréolas dispostas em linhas unisseriadas, praticamente retas, paralelas ao longo do maior eixo e separadas entre si por estreitas costelas elevadas. Por vezes, restritas à porção mediana da valva ocorrem duas novas séries oblíquas de aréolas entre duas linhas consecutivas, podendo ocorrer um pequeno poro

entre tais linhas. Aréolas elípticas nas extremidades das linhas e circulares e maiores em direção a outra extremidade.

Discussão: Este espécime lembra vagamente *Pyxilla reticulata*, embora a valva do espécime acima descrito difira por sua porção mais ampla localizar-se no meio da valva e não na base. Além disso, sua porção afilada também não é tão extensa quanto em *P. reticulata*. No entanto, como o espécime está quebrado, é possível que estejam faltando justamente as porções essenciais para a sua identificação.

Classe BACILLARIOPHYTA *incertae sedis*

Subclasse BACILLARIOPHYTA *incertae sedis*

Ordem BACILLARIOPHYTA *incertae sedis*

Família BACILLARIOPHYTA *incertae sedis*

***Gloiophyllis* sp.**

Descrição: Frústulas com valvas elípticas alongadas em vista valvar com extremidade oblonga. Ocorrência de uma área hialina central sem ornamentações ou aréolas ao longo do eixo longitudinal marginada por área parcialmente hialina, aparentemente areolada e/ou ornamentada.

Discussão: Não é possível assegurar a presença de rafe. Seu estado de preservação ruim impossibilita sua identificação. Formas como esta já foram enquadradas no gênero *Grunowiella*, porém, como seu status taxonômico está sob revisão e a espécie *G. barkerae* foi declarada uma sinonímia de *Gloiophyllis barkerae* (Harvey) Agardh, optou-se aqui por seguir essa possibilidade.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adl, S.M.; Simpson, A.G.; Farmer, M.A.; Andersen, R.A.; Anderson, O.R.; Barta, J.R.; Bowser, S.S.; Brugerolle, G.; Fensome, R.A.; Fredericq, S.; James, T.Y.; Karpov, S.; Kugrens, P.; Krug, J.; Lane, C.E.; Lewis, L.A.; Lodge, J.; Lynn, D.H.; Mann, D.G.; McCourt, R.M.; Mendoza, L.; Moestrup, O.; Mozley-Standridge, S.E.; Nerad, T.A.; Shearer, C.A.; Smirnov, A.V. Spiegel, F.W.; Taylor, M.F. 2005. The New Higher Level Classification of Eukaryotes with Emphasis on the Taxonomy of Protists. *Journal of Eukaryotic Microbiology*, **52**(5): 399-451
- Bidle, K.D. & Azam, F. 1999. Accelerated dissolution of diatom silica by marine bacterial assemblages. *Nature*, **397**: 508–512.
- Burki, F.; Shalchian-Tabrizi, K.; Minge, M.; Skjæveland, Å; Nikolaev, S. I.; Jakobsen, K. S. & Pawlowski, J. 2007. Phylogenomics Reshuffles the Eukaryotic Supergroups. *PLoS One*, **2**(8) e 790: 1-6.
- Cavalier-Smith, T. 1993. Kingdom Protozoa and Its 18 Phyla. *Microbiological Reviews*, **57**(4): 953-994.
- Cavalier-Smith, T. 1981. Eukaryote kingdoms: seven or nine? *Biosystems*, **14**: 461-481.
- Cavalier-Smith, T. 1995. Membrane heredity, symbiogenesis, and the multiple origins of Algae. In: Arai, R. *et al.* (eds.), “Biodiversity and Evolution”. The National Science Museum Foundation, Tokyo, Japan: pp.75-144.
- Cavalier-Smith, T. 1998. A revised six-kingdom system of life. *Biological Reviews*, **73**: 203-266

- Cavalier-Smith, T. 1999. Principles of Protein and Lipid Targeting in Secondary Symbiogenesis: Euglenoid, Dinoflagellate, and Sporozoan Plastid Origins and the Eukaryote Family Tree. *Journal of Eukaryotic Microbiology*, **46**(4): 347-366
- Cavalier-Smith, T. 2010. Kingdoms Protozoa and Chromista and the eozoan root of the eukaryotic tree. *Biological Letters*, **6** (3): 342–5.
- Denys, L. & Wolf, H. 1999. Diatoms as indicators of coastal paleoenvironments & relative sea level change. *In: The Diatoms: Applications for the Environmental & Earth Sciences* (Eds E.F. Stoermer & J.P. Smol), pp. 277-297. Cambridge University Press.
- Engler, A. & Gilg, E. 1924. Syllabus der Pflanzen- familien. *Berlin: Gebrüder Borntraeger*, 9th and 10th ed., 420 pp.
- Fenner, J. 1978. Cenozoic diatom biostratigraphy of the Equatorial & Southern Atlantic Ocean. *DSDP Initial Reports*, **39**: 491–624.
- Greville, R. K. 1865. Descriptions of New and Rare Diatoms Series XVI. *Transactions of the Microscopical Society of London New Series*. **13**, 43-57.
- Grunow, A. 1884. Die Diatomeen Von Franz Josefs-Land. Denkschriften der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften. *Mathematisch-Naturwissenschaftliche Classe Achtundvierzigster Band, Wien*. **48**, 53-112.
- Gubbins, D. 1990. Seismology and plate tectonics. *Cambridge: Cambridge University Press*, 1a. ed., 339 pp.
- Guiry, M.D. & Guiry, G.M. 2011. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. Disponível em <http://www.algaebase.org>; Acessado em 18 Outubro de 2011.
- McQuoid & Nordberg. 2003. The diatom *Paralia sulcata* as an environmental indicator species in coastal sediments. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* **56**, 339–354.

- MEDLIN, L. K. & KACZMARSKA, I. 2004. Evolution of the diatoms: morphological and cytological support for the major clades and a taxonomic revision. *Phycologia*, **43**(3): 245-270.
- Modica and Brush. 2004. Postrift sequence stratigraphy, paleogeography, and fill history of the deep-water Santos Basin, offshore southeast Brazil. *AAPG Bulletin*, V. 88, no. 7 pp. 923-945.
- 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.
- Patterson, D. J. 1999. The diversity of eukaryotes. *American Naturalist*, **154**: S96-S124
- Perch-Nielsen, K.; Supko, P. R.; Boersma, A.; Carlosn, R. L.; Dinkelman, M. G.; Fodor, R. V.; Kumar N.; NcCoy, F.; Thiede, J.; Zimmerman H. B. 1977. Site 356: Sao Paulo Plateau. *DSDP Initial Reports*, **39**: 141-230.
- Rickert, D.; Schlüter, M. & Wallmann, K. 2002. Dissolution kinetics of biogenic silica from the water column to the sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **66** (3): 439-455.
- Riisberg, I.; Orr, R.J.S; Kluge, R.; Shalchian-Tabrizi, K.; Bowers, H.A.; Patil, V.; Edvardsen, B. & Jakobsen, K.S. 2009. Seven gene phylogeny of heterokonts. *Protist*, **160**(2): 191–204
- Round, F.E., Crawford, R.M. & Mann, D.G. 1990. The Diatoms – biology & morphology of the genera. *Cambridge University Press, Cambridge*.
- Sims, Patricia A.; Mann, David G. & Medlin, Linda K. 2006. Evolution of the diatoms: insights from fossil, biological and molecular data. *Phycologia*, **45** (4), 361–402.
- Whittaker, R. H. & Margulis, L. 1978. Protist classification and the kingdoms of organisms. *Biosystems*, **10**: 3–18.

5. ANEXO

Lista dos táxons identificados neste trabalho

Reino CHROMISTA Cavalier-Smith, 1981

Subreino HAROSA Cavalier-Smith, 2010

Infra Reino HETEROKONTA Cavalier-Smith, 1995

Filo OCHROPHYTA Cavalier-Smith, 1995

Subfilo KHAKISTA Riisberg *et al.* 2009

Classe MEDIOPHYCEAE (Jousé & Proshkina-Lavrenko) Medlin & Kaczmarska

A. Subclasse BIDDULPHIOPHYCIDAE Round & Crawford

A.1. Ordem Anaulales Round & Crawford

A.1.1. Família Anaulaceae (Schütt) Lemmermann, 1899

Eunotogramma productum Grunow

Eunotogramma weissii Ehrenberg var. *producta* Grove and Sturt, 1887

A.2. Ordem Biddulphiales Round & Crawford

A.2.1. Família Biddulphiaceae Kützing, 1844

Bidulphia regina W. Smith, 1856

Bidulphia rigida Schmidt, 1888

Bidulphia tridens (Ehrenberg) Ehrenberg, 1840

Bidulphia sp. 1

Bidulphia sp. 2

Bidulphia sp. 3

A.3. Ordem Hemiaulales Round & Crawford

A.3.1. Família Hemiaulacaceae Heiberg, 1863

Hemiaulus alatus Greville
Hemiaulus altus in Hajós and Stradner, 1975
Hemiaulus dubius Grunow, 1884
Hemiaulus lyriformis Greville 1865
Hemiaulus polycystinorum Ehrenberg, 1854
Hemiaulus polycystinorum var. *dissona* Fenner, 1978
Hemiaulus polycystinorum var. *mesolepta* Ehrenberg, 1854
Hemiaulus polymorphus Grunow, 1884
Hemiaulus polymorphus var. *glacialis* Grunow, 1884
Hemiaulus reticulatus Greville, 1865
Hemiaulus polymorphus var. *virginica* Grunow, 1884
Hemiaulus schmidti Hajós
Hemiaulus subacutus Grunow, 1884
Hemiaulus sp. 1
Hemiaulus sp. 2
Hemiaulus sp. 3
Riedelia sublevata Fenner, 1978
Trinacria excavata Heiberg, 1863
Trinacria exculpta (Heiberg) Hustedt
Trinacria simulacrum Grove and Sturt, 1887
Trinacria sp. 1
Trinacria sp. 2

A.4. Ordem Triceratiales Round & Crawford

A.4.1. Familia Triceratiaceae (Schütt) Lemmermann, 1899

Sheshukovia sp. 1

Sheshukovia sp. 2

Triceratium amplexum A.W.F.Schmidt

Triceratium antipodum Pantocsek, 1892

Triceratium brachiatum Brightwell, 1856

Triceratium castelliferum Grunow in Schmidt *et al.*, 1874

Triceratium groningenensis Reinhold, 1937

Triceratium inconspicuum Grev. var. *trilobata* Fenner, 1978

Triceratium morlandii Grove & Sturt, 1887

Triceratium oamaruense E.Grove & G.Sturt

Triceratium pulvinar A.W.F.Schmidt

Triceratium subcapitatum Greville

Triceratium Kanayae Fenner, 1984

Triceratium sp. 1

Triceratium sp. 2

Triceratium sp. 3

Triceratium sp. 4

Triceratium sp. 5

B. Subclasse LITHODESMIOPHYCIDAE Round & Crawford

B.1. Ordem Lithodesmiales Round & Crawford

B.1.1. Familia Lithodesmiaceae Round *in* Round *et al.*, 1990

Lithodesmium margaritaceum Long, Fuge & Smith, 1946

Classe COSCINODISCOPHYCEAE Round & Crawford

A. Subclasse COSCINODISCOPHYCIDAE Round & Crawford

A.1. Ordem Arachnoidiscales Round 1990

A.1.1. Família Arachnoidiscaceae Round, *in* Round et al., 1990

Arachnoidiscus decorus Brown, 1933

Arachnoidiscus russicus Pantocsek, 1889

Arachnoidiscus schmidti Hajós, 1976

A.2. Ordem Asterolamprales Round 1990

A.1.2.1. Família Asterolampraceae H.L. Smith, 1872

Asterolampra affinis Greville, 1862

Asterolampra marylandica Ehrenberg, 1844

Liostephania stagio de *Asterolampra* spp.

A.3. Ordem Coscinodiscales Round 1990

A.3.1. Família Coscinodiscaceae Kützing, 1844

Coscinodiscus argus Ehrenberg, 1839

Coscinodiscus decrescens Grunow, 1878

Coscinodiscus lineatus Ehrenberg, 1841

Coscinodiscus marginatus Ehrenberg, 1844

Coscinodiscus morenoensis Hanna, 1927

Coscinodiscus radiatus Ehrenberg, 1840

Craspedodiscus ellipticus (Grunow) Gombos, 1982

A.3.2. Família Aulacodiscaceae (Schütt) Lemmermann, 1903

Aulacodiscus janischii Grove & Sturt, 1887

A.3.3. Família Hemidiscaceae Hendey, 1937

Actinocyclus ingens Rattray, 1890

Actinoptychus splendens (Shadbolt) Ralfs in Pritchard, 1861

Actinoptychus senarius (Ehrenberg) Ehrenberg, 1843

A.3.4. Família Rocellaceae Round & Crawford, in Round *et al.*, 1990

Rocella praenitida Fenner 1978

Rocella gelida (A.Mann) D.Bukry

A.4. Ordem Melosirales Crawford in Round *et al.*, 1990

A.4.1. Família Stephanopyxidaceae Nikolaev 1969

Stephanopyxis biseriata N.I.Strelnikova

Stephanopyxis corona (Ehrenberg) Grunow

Stephanopyxis grunowii Grove and Sturt, 1888

Stephanopyxis hannai Hatos in Hatos & Schader, 1975

Stephanopyxis lavrenkoi Jousé

Stephanopyxis marginata Grunow, 1884

Stephanopyxis punctata Jousé

Stephanopyxis turris (Grev. & Arn.) Ralfs in Pritchard, 1861

Stephanopyxis sp.1

Stephanopyxis sp. 2

A.5. Ordem Paraliales Crawford in Round *et al.*, 1990

A.5.1. Família Paraliaceae Crawford in Round *et al.*, 1990

Paralia sulcata (Ehrenberg) Cleve, 1873

B. Subclasse RHIZOLENOPHYCIDAE Round & Crawford

B.1. Ordem Rhizosoleniales Round & Crawford

B.1.1. Família Pyxillaceae (Schütt) Simonsen, 1972

Pyxilla caput avis Brun

Pyxilla reticulata Grove and Sturt, 1887

Pyxilla sp. 1

Classe BACILLARIOPHYCEAE Haeckel

A. Subclasse BACILLARIOPHYCIDAE Mann

A.1. Ordem Naviculales Bessey

A.1.1. Família Diploneidaceae Mann, *in* Round *et al.*, 1990

Diploneis crabro (Ehrenberg) Ehrenberg, 1854

A.2. Ordem Raphoneidales Round

A.2.1. Família Raphoneidaceae Forti, 1912

Sceptroneis grunowii N.V. Anissimowa

A.3. Ordem Mastogloiales Mann

A.3.1. Família Mastogloiaceae Mereschkowsky, 1903

Mastogloia sp. 1

A.4. Ordem Thalassionematales Round

A.4.1. Família Thalassionemataceae Round *in* Round *et al.*, 1990

Thalassionema nitzschioides Grunow

Classe BACILLARIOPHYTA *incertae sedis*

A. Subclasse BACILLARIOPHYTA *incertae sedis*

A.1. Ordem Bacillariophyta *incertae sedis*

A.1.1. Familia Bacillariophyta *incertae sedis*

Cladogramma jordanii Hanna, 1927

Grunowiella sp. 1

Pterotheca aculeifera Van Heurck, H., 1896

Stephanogonia horridus Schrader and Fenner

Xanthiopyxis panduriformis Pantocsek

Xanthiopyxis structuralis Fenner

Plate 1

(Magnificência: 1000x; escala = 20 µm.)

Figura A: *Actinoptychus senarius*. Vista valvar, 8836 (9), (Amostras 1-9, 11-16).

Figura B: *Biddulphia tridens*. Vista lateral, 8836 (6), (Amostras 8, 15-16).

Figura C: *Biddulphia* sp. 1. Vista lateral, 8835 (22), (Amostra 11).

Figura D: *Biddulphia* sp. 2. Vista lateral, 8833 (9), (Amostra 3).

Figura E - G: *Coscinodiscus argus*. Vista valvar. G - detalhe da face valvar, 8832 (5) (8-9), 8833 (3), 8836 (3-4), (Amostras 4, 6-8, 15).

Figura H - L: *Coscinodiscus radiatus*. Vista latero-valvar (H) e valvar (L), 8833 (5) (10), 8834 (1), 8836(1), (Amostras 1-16).

Figura M: *Coscinodiscus* sp. Vista valvar, 8836 (11), (Amostra 4).

Figura N-O: *Craspedodiscus ellipticus*. Vista valvar. O - Detalhe da face valvar, 8832 (1) (10), 8833 (13), 8836 (2) (5), (Amostras 1-12, 15-16).

Figura P: *Eunotogramma weissii*. Vista valvar, 8835 (13), (Amostras 4, 7-16).

Figura Q: *Hemiaulus dubius*. Vista lateral, 8833 (8), (Amostras 2-17, 28).

Figura R-W: *Hemiaulus polycystinorum*. Vista lateral (R-U) e valvar (V-W), 8832 (6-7), 8833 (11), 8835 (12) (24), 8836 (10), (Amostras 1-16).

Figura X: *Hemiaulus polycystinorum* var. *dissona*. Vista Lateral, 8836 (12), (Amostra 3).

Figura Y: *Hemiaulus polycystinorum* var. *mesolepta*. Vista valvar, 8834 (2), (Amostras 1-16).

Figura Z: *Hemiaulus* sp. 3. Vista lateral, 8835 (19), (Amostras 4).

Figura AA: *Liostephania* estágio de *Asterolampra* spp. Vista valvar, 8836 (6), (Amostras 1-16).

Figura BB - CC: *Paralia sulcata*, Vista valvar, 8833 (12), 8834 (3), 8835 (2-3) (5) (16), (Amostras 1-17, 24, 27, 29-30).

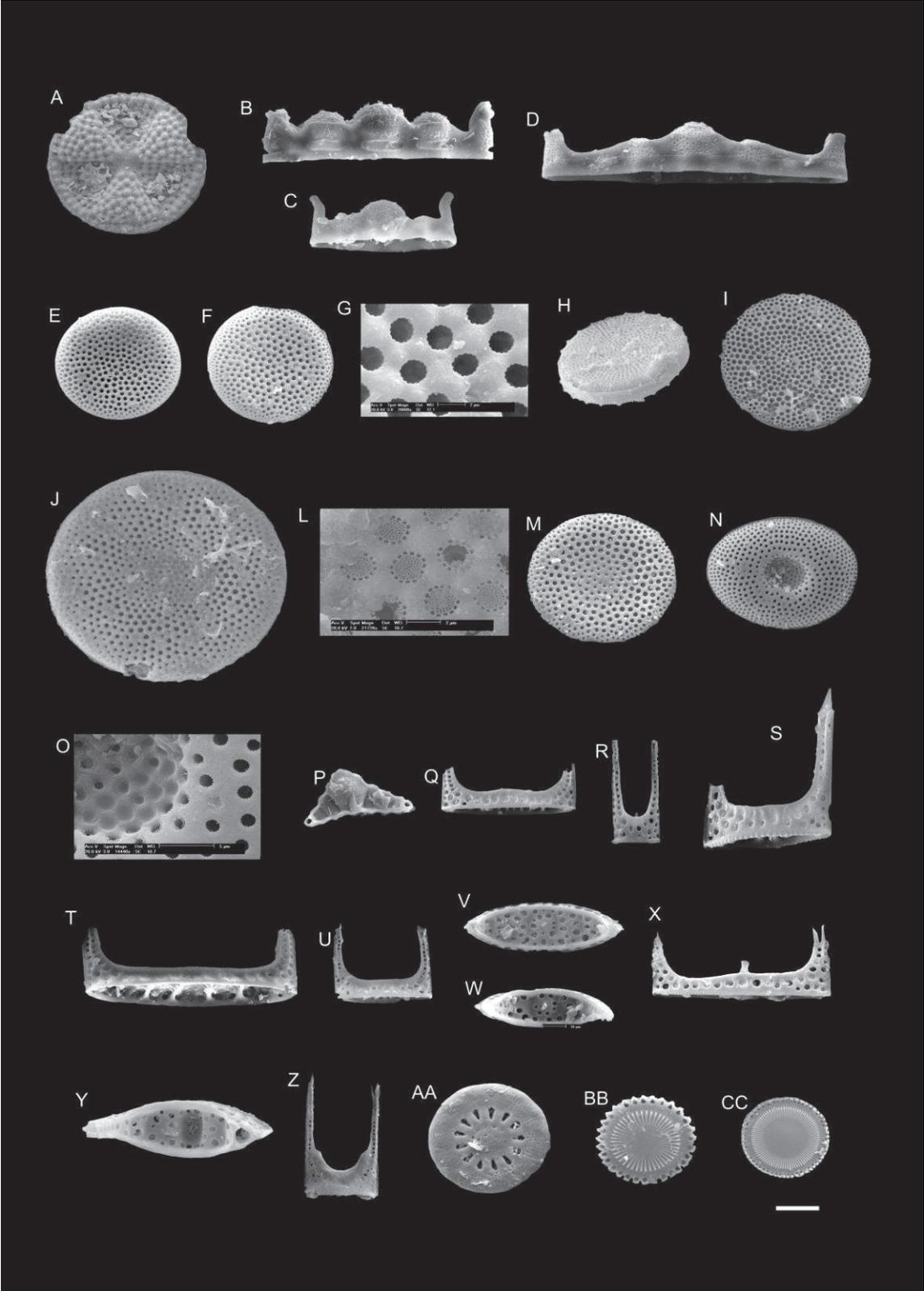


Plate 2

(Magnificência: 1000x; escala = 20 µm)

Figura A-B: *Paralia sulcata*. Vista valvar, 8833 (12), 8834 (3), 8835 (2-3) (5) (16), (Amostras 1-17, 24, 27, 29-30).

Figura C-D: *Pyxilla caput avis*. Vista lateral, 8833 (4), 8833 (13), (Amostra 3).

Figura E-F: *Pyxilla reticulata*. Vista lateral, 8832 (15), 8835 (25), (Amostras 1-6, 15-16, 22, 26-27, 31-32).

Figura G - *Pyxilla* sp. Vista lateral, 8835 (15), (Amostras 1-16).

Figura H-I: *Sheshukovia* sp. 1. Vista valvar, (H - tamanho original, I aumento digital de 2x), 8835 (20-21), (Amostras 4, 11).

Figura J - *Sheshukovia* sp. 2. Vista valvar, 8836 (14), (Amostras 3-4).

Figura L - *Stephanopyxis biseriata*. Vista valvar, 8832 (2), (Amostras 3-6, 8-9, 15).

Figura M - *Stephanopyxis corona*. Vista valvar, 8835 (4), (Amostra 15).

Figura N-O: *Stephanopyxis grunowi*. Vista valvar, 8832 (13) 8833 (2), (Amostras 1-17, 21).

Figura P - *Stephanopyxis hannai*. Vista valvar, 8835 (18), (Amostras 3, 5-16, 29).

Figura Q-R: *Stephanopyxis turris*. Vista valvar (Q) e lateral (R), 8833 (1) (14), 8835 (1) (14), (Amostras 1-13, 15-16, 25).

Figura S-V: *Triceratium inconspicuum* var. *trilobata*. Vista valvar (S e U – tamanho original, T e V – aumento digital 2x), 8835 (6-11) (17), (Amostras 1-16).

Figura W: *Trinacria simulacrum*. Vista valvar, 8833 (7), (Amostras 3-4, 7-9, 11-13, 15-16).

Figura X-Z: *Trinacria* sp. 1. Vista valvar (X-Y) e latero-valvar (Z), 8832 (4) (11) (14) (16), 8836 (7) (15-16), (Amostras 3-4, 6).

Figura AA: *Trinacria* sp. 2. Vista lateral, 8836 (8), (Amostras 4).

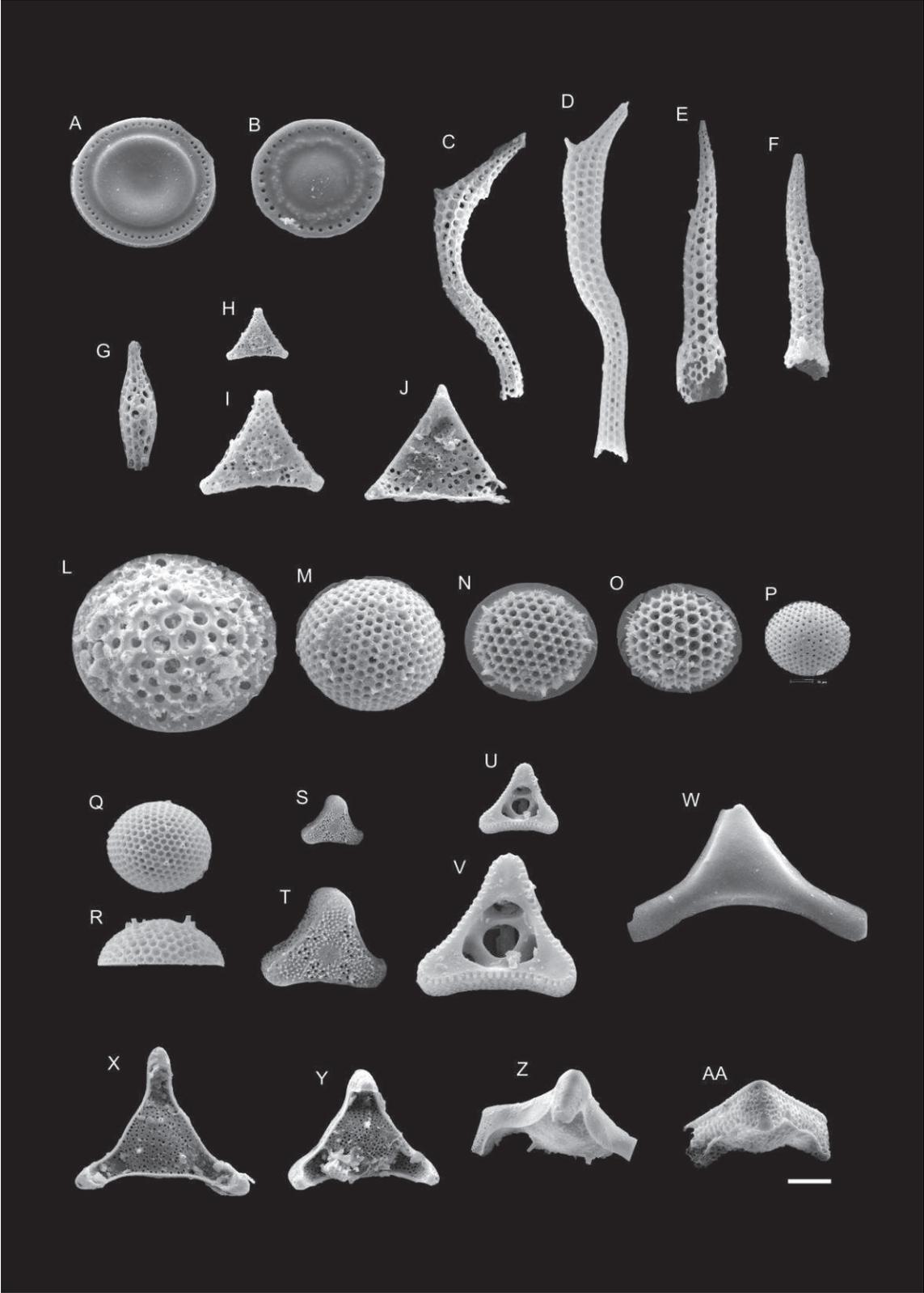


Plate 3

(Magnificência 1000x, escala = 20 µm)

Figura A: *Actinocyclus ingens*. Vista valvar (Amostras 6, 9, 12).

Figura B: *Actinoptychus senarius*. Vista valvar (Amostras 1-9, 11-16).

Figura C: *Actinoptychus splendens*. Vista valvar (Amostra 1).

Figura D: *Arachnoidiscus decorus*. Vista valvar (Amostras 1, 3, 19, 33).

Figura E: *Arachnoidiscus russicus*. Vista valvar (Amostras 2-3, 16).

Figura F-G: *Arachnoidiscus schmidti*. Vista valvar (Amostras 10, 12-14).

Figura H: *Asterolampra affinis*. Vista valvar (Amostra 11).

Figura I: *Asterolampra marylandica*. Vista valvar (Amostras 3-4, 6).

Figura J: *Aulacodiscus janischii*. Vista valvar (Amostras 2, 6).

Figura L: *Biddulphia regina*. Vista valvar (Amostras 9, 12, 14).

Figura M: *Biddulphia rigida*. Vista lateral (Amostras 7, 8-10, 12-14).

Figura N: *Biddulphia* sp. 1. Vista lateral (Amostra 11).

Figura O: *Biddulphia tridens*. Vista valvar (Amostras 8, 15-16).

Figura P: *Cladogramma jordani*. Vista valvar (Amostra 14).

Figura Q: *Coscinodiscus decrescens*. Vista valvar (Amostras 10-11, 14-16).

Figura R: *Coscinodiscus lineatus*. Vista valvar (Amostras 3-16).

Figura S: *Coscinodiscus marginatus*. Vista valvar (Amostras 2-16, 27).

Figura T: *Coscinodiscus morenoensis*. Vista valvar (Amostras 5-7, 9, 12, 15-16).

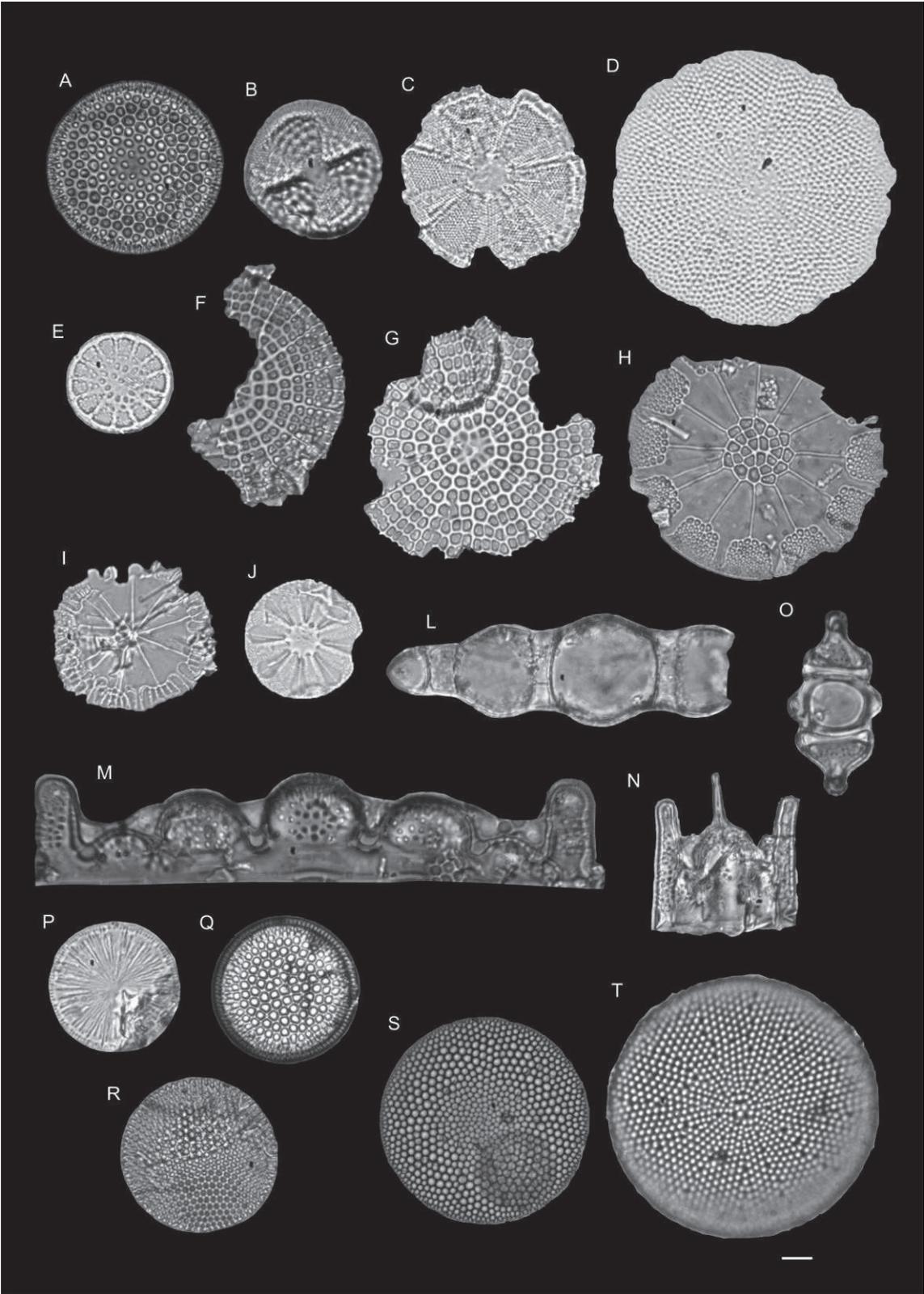


Plate 4

(Magnificência 1000x, escala = 20 µm)

- Figura A:** *Coscinodiscus radiatus*. Vista valvar (Amostras 1-16).
- Figura B:** *Craspedodiscus ellipticus*. Vista valvar (Amostras 1-12, 15-16).
- Figura C:** *Diploneis crabro*. Vista valvar (Amostras 1).
- Figura D:** *Eunotogramma productum*. Vista valvar (Amostras 9-10).
- Figura E:** *Grunowiella* sp. Vista valvar (Amostras 3, 6, 8-9, 12, 14).
- Figura F:** *Hemiaulus alatus*. Vista lateral (Amostras 2-4, 6, 15).
- Figura G:** *Eunotogramma weissii* var. *producta*. Vista valvar (Amostras 4, 7-16).
- Figura H:** *Hemiaulus altus*. Vista lateral (Amostras 15-16).
- Figura I-J:** *Hemiaulus lyriformis*. Vista lateral (Amostras 4-6, 14-15).
- Figura L-N:** *Hemiaulus polycystinorum*. Vista valvar (L) lateral (M-N) (Amostras 1-16).
- Figura O-P:** *Hemiaulus polycystinorum* var. *mesolepta*. Vista lateral (Amostras 1-16).
- Figura Q-R:** *Hemiaulus polymorphus*. Vista lateral (Amostras 11-12, 14).
- Figura S:** *Hemiaulus reticulatus*. Vista lateral (Amostras 11-16).
- Figura T:** *Hemiaulus schmidtii*. Vista valvar (Amostras 1-16, 31-32).
- Figura U:** *Hemiaulus subacutus*. Vista lateral (Amostras 5-6, 8, 11-12).
- Figura V:** *Hemiaulus* sp. 1. Vista valvar (Amostra 5).
- Figura X:** *Biddulphia* sp. 3. Vista lateral (Amostra 11).

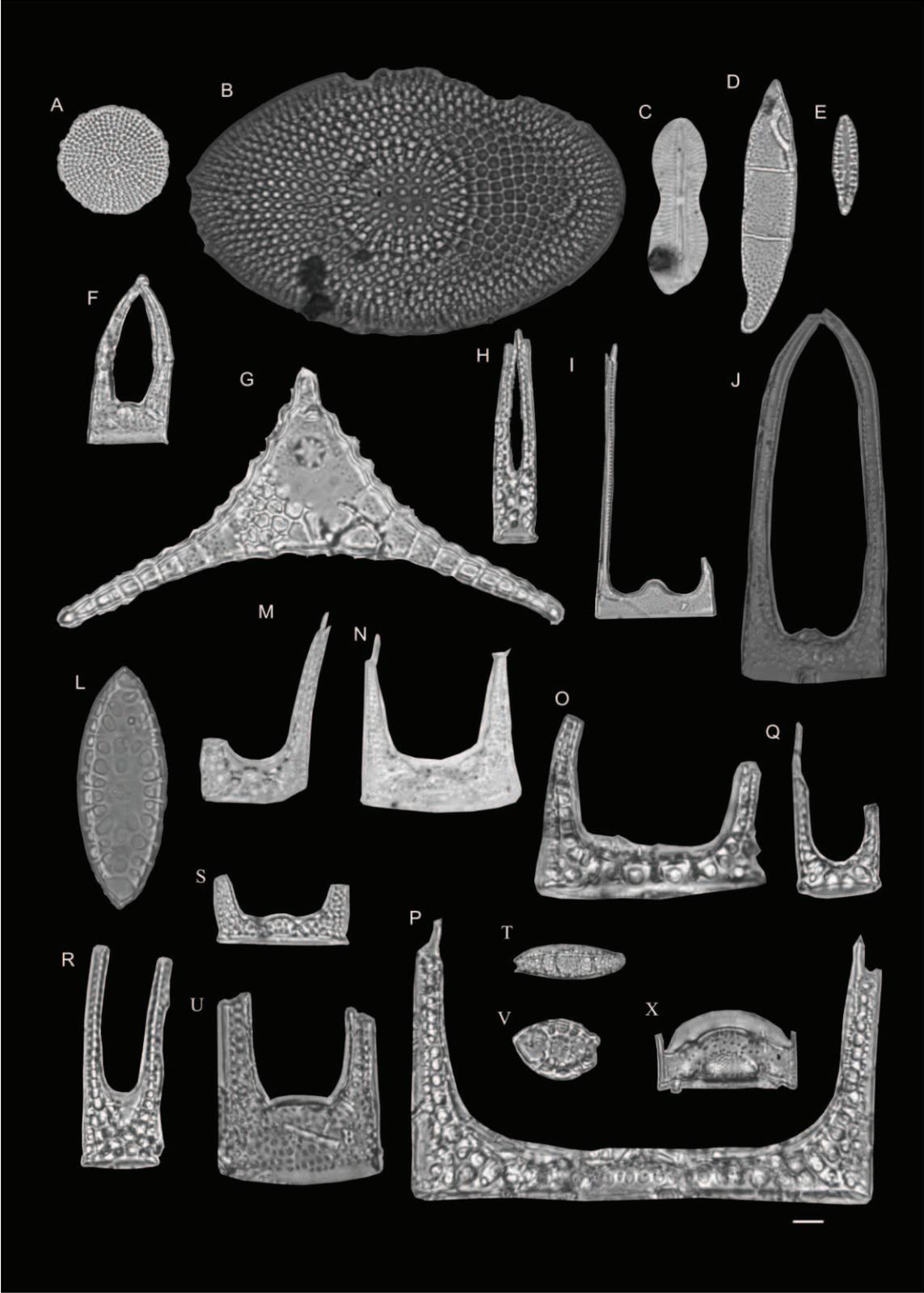


Plate 5

(Magnificência 1000x; escala = 20 µm)

- Figura A:** *Hemiaulus* sp. 2. Vista lateral (Amostras 11-12).
- Figura B:** *Hemiaulus* sp. 4. Vista lateral (Amostras 3-5, 7, 14-15).
- Figura C:** *Hemiaulus tenuicornis*. Vista lateral (Amostras 2-4, 6).
- Figura D-E:** *Liostephania* estágio de *Asterolampra* spp. Vista valvar (Amostras 2-16);
- Figura F:** *Lithodesmium margaritaceum*. Vista valvar (Amostras 8-12, 14-15).
- Figura G:** *Mastogloia lamprostica*. Vista valvar (Amostra 4).
- Figura H-M:** *Paralia sulcata*. Vista valvar (Amostras 1-17, 24, 27, 29-30).
- Figura N-O:** *Pterotheca aculeifera*. Vista lateral (Amostras 3-16).
- Figura P:** *Pyxilla reticulata*. Vista lateral (Amostras 2-16).
- Figura Q:** *Rocella gelida*. Vista valvar, 8831, (Amostras 1-2, 5).
- Figura R:** *Rocella praenitida*. Vista valvar (Amostras 2, 5-6, 8-16).
- Figura S:** *Sceptroneis grunowii*. Vista valvar (Amostras 2-3, 11, 13-16).
- Figura T:** *Stephanogonia horridus*. Vista lateral (Amostras 12).
- Figura U e V:** *Stephanopyxis grunowii*. Vista lateral (U) e valvar (V) (Amostras 1-17, 21).
- Figura X:** *Stephanopyxis hannai*. Vista valvar (Amostras 3, 5-16, 28).
- Figura Z:** *Stephanopyxis lavrenkoi*. Vista lateral (Amostras 1-17, 21, 32).
- Figura AA e BB:** *Stephanopyxis marginata*. Vista valvar (AA) e lateral (BB) (Amostras 7-14).

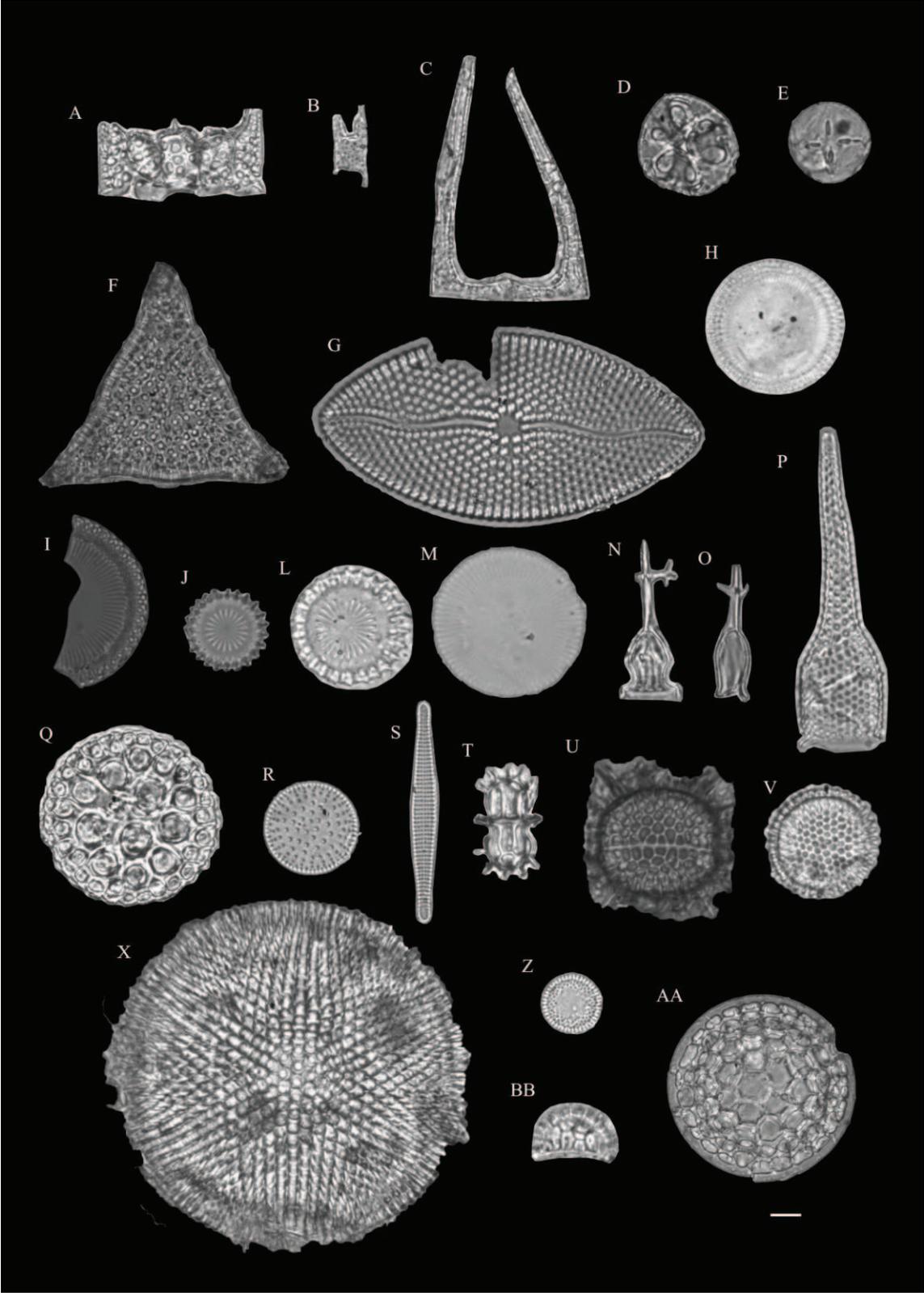
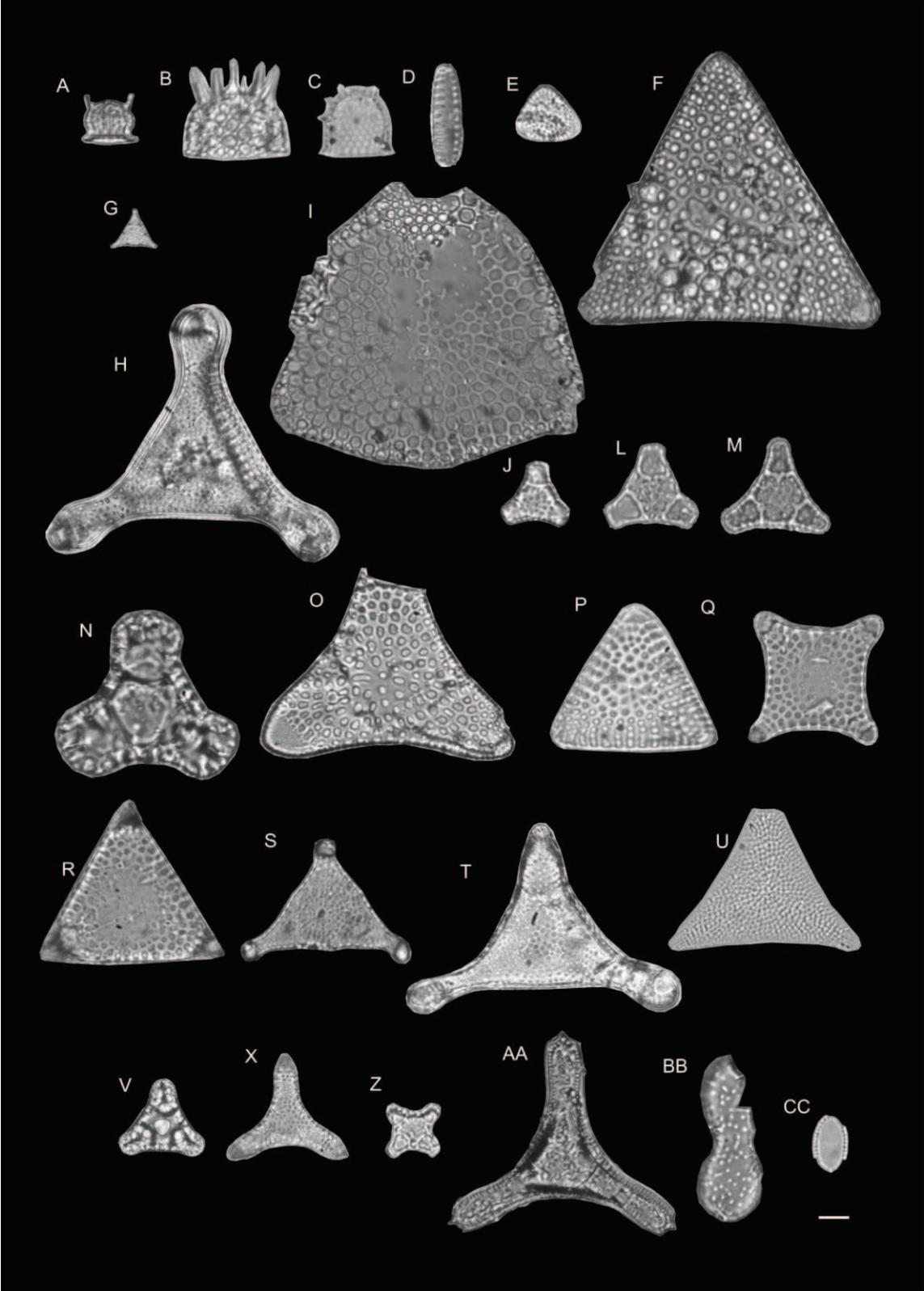


Plate 6

(Magnificência 1000x; barra de escala = 20 µm)

- Figura A:** *Costopyxis antiqua*. Vista lateral (Amostras 8-10).
- Figura B-C:** *Stephanopyxis turris*. Vista lateral (Amostras 1-13, 15-16, 25).
- Figura D:** *Thalassionema nitzschioides*. Vista lateral (Amostras 2-16).
- Figura E:** *Triceratium amplexum*. Vista valvar (Amostras 5-10, 14-15).
- Figura F:** *Triceratium antipodum*. Vista valvar (Amostras 4, 6, 10-11, 13, 15).
- Figura G:** *Triceratium brachiatum*. Vista valvar (Amostras 1-17, 28-29).
- Figura H:** *Triceratium castelliferum*. Vista valvar (Amostras 2, 6, 15).
- Figura I:** *Triceratium groningenensis*. Vista valvar (Amostra 16).
- Figura J-M:** *Triceratium inconspicuum* var. *trilobata*. Vista valvar (Amostras 1-16).
- Figura N:** *Triceratium kanayae*. Vista valvar (Amostras 1-17).
- Figura O:** *Triceratium morlandii*. Vista valvar (Amostra 15).
- Figura P:** *Triceratium oamaruense*. Vista valvar (Amostras 3-5, 8, 12, 14, 16).
- Figura Q:** *Triceratium pulvinar*. Vista valvar (Amostras 3-9, 11-12, 15-16).
- Figura R:** *Triceratium* sp. 1. Vista valvar (Amostras 7-8, 10, 12, 14-16).
- Figura S:** *Triceratium* sp. 2. Vista valvar (Amostra 16).
- Figura T:** *Triceratium* sp. 3. Vista valvar (Amostras 2-12).
- Figura U:** *Triceratium* sp. 4. Vista valvar (Amostras 2-5).
- Figura V:** *Triceratium* sp. 5. Vista valvar (Amostras 15-29).
- Figura X:** *Trinacria excavata* forma tetrágona. Vista valvar (Amostras 13)
- Figura Z:** *Trinacria exculpta*. Vista valvar (Amostras 2-5, 9-16).
- Figura AA:** *Trinacria simulacrum*. Vista valvar (Amostras 3-4, 7-9, 11-13, 15-16).
- Figura BB:** *Xanthiopyxis panduraeformis*. Vista valvar (Amostras 3-5, 7-9, 11-12, 15).
- Figura CC:** *Xanthiopyxis structuralis*. Vista valvar (Amostras 1-3, 10, 12).



6. Paleogene Diatoms From The Sao Paulo Plateau (Dsdp Leg 39, Site 356)

Paier, Vieira, & Fauth 2011.

Revista Brasileira de Paleontologia, em
submissão

Este artigo apresenta o estudo das diatomáceas presentes no Sites 356 DSDP visando um enquadramento biostratigráfico.

PALEOGENE DIATOMS FROM THE SAO PAULO PLATEAU

(DSDP Leg 39, Site 356)

CARINA PAIER, CARLOS EDUARDO LUCAS VIEIRA, GERSON FAUTH

PPG-Geo, Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), Av. Unisinos 950, CEP 93022-000, São Leopoldo – RS, Brasil. *carinapaier@gmail.com*, *carlosev@unisinos.br*,
gersonf@unisinos.br

RESUMO – O presente trabalho é um estudo das diatomáceas presentes no intervalo entre os cores 16 a 6 do Sites 356 DSDP Leg 39 visando um enquadramento biostratigráfico e discutir brevemente as suas implicações geológicas e paleontológicas. Abrangendo idades que vão do Eoceno Médio ao Oligoceno Superior, as seguintes biozonas foram identificadas: *Pyxilla caput avis*, *Hemiaulus alatus*, *Asterolampra marylandica* e *Rocella gelida*. Tal biozoneamento revela a existência de quatro hiatos ao longo do intervalo, um no seu limite basal, outro no seu limite superior e dois internamente. Estes resultados levam a uma significativa reinterpretação dos padrões de sedimentação local, bem como das idades atribuídas ao intervalo, uma vez que eles não se coadunaram àqueles obtidos com os foraminíferos plantônicos e nanofósseis calcários destes mesmos níveis.

Palavras-chave: diatomáceas, Platô de São Paulo, Site 356 DSDP leg 39, Paleógeno

ABSTRACT – The present paper is a study of the diatoms present in the interval between the cores 16 to 6 of the Sites 356 DSDP Leg 39 aiming a biostratigraphic framework and briefly discussing their geological and paleontological implications. Ranging from the Middle Eocene to the Upper Oligocene, the following biozones were identified: *Pyxilla caput avis*,

Hemiaulus alatus, *Asterolampra marylandica*, and *Rocella gelida*. This biozonement reveals the existence of four gaps along the interval, one at its basal limit, another at the superior limit and two internally. These results bring a significant reinterpretation of local sedimentation patterns, as well as ages attributed to the interval, since they did not conform to those obtained with planktonic foraminifera and calcareous nanofossils at these same levels.

Key words: diatoms, Sao Paulo Plateau, Site 356 DSDP 39, Eocene-Oligocene

INTRODUCTION

Drilled in the southeast slope of the Sao Paulo Ridge (Figure 1), in 1974, site 356 of leg 39 of the Deep Sea Drilling Project (DSDP) is an important source of geological data (Perch-Nielsen *et al.*, 1977). In paleontological terms, groups as diverse as planktonic foraminifera, calcareous nanofossils, radiolarians, diatoms, silicoflagellates, and calcareous dinoflagellates have been recovered. Its microfossil content was correlated with other wells from the same and other expeditions, which allowed for the elaboration of biostratigraphic schemes for different groups that serve until today as a reference for the temporal positioning of strata of the South Atlantic (Perch-Nielsen, 1977c; Bolli *et al.*, 1989).

Site 356 is of vital importance for understanding the evolution of the Santos Basin, since there is no structural separation between this basin and the São Paulo Plateau, both areas can be considered genetically correlated as to their sedimentary deposits (Pech-Nielsen *et al.*, 1977). The oldest rocks recovered from the well 356 date from the Lower Albian and the younger are from the Holocene (Perch-Nielsen *et al.*, 1977). Diatoms were recovered in levels of the Lower Cretaceous, but are only abundant in the Eocene (Fenner 1978).

Despite the good recovery at these Eocene levels, the interval remained non-zoned for diatoms, given the frequent and expressive erosive gaps, as well as the high degree of

reworking present (Fenner, 1978). These difficulties were also obstacles for the composition of a zone and/or greater detail of the Middle Eocene in these levels from silicoflagellates, radiolarians, ostracods, palynomorphs, and benthic foraminifera (Benson, 1977; Bukry, 1977; Ionnides & Colin, 1977; Perch-Nielsen, 1977b). The only groups that allowed for establishing a secure Eocene age for the interval and a certain biozone were the planktonic foraminifera and calcareous nanofossils found (Boersma, 1977; Bukry, 1977). However, even with these groups the problems arising from the presence of erosive gaps and reworkings (Supko & Perch-Nielsen, 1977) were felt in the difficulty of correlating the respective biozones (Perch-Nielsen, 1977c).

The present work aims to study the diatoms of the interval from sections 16 to 6 of well 356 (site 356, DSDP Leg 39), in order to verify that a biostratigraphic framework can be carried out, and, if so, verify the implications for other biostratigraphic frameworks in this section.

GEOLOGY OF THE AREA

The São Paulo Plateau (PSP) is a physiographic oceanic feature associated to the Santos Basin, with which it has genetic relationships, and, therefore, is sometimes called the “Santos Basin- São Paulo Plateau System (SBSPSP)” (Moulin *et al*, 2010). It is a large oceanic plateau parallel to the platform of the Santos Basin, which is separated by a slope of up to 1800 m. Situated between the latitudes 23° and 28°S, the PSP is approximately 950 km long, by 600 km wide with average depths from 2250 to 2750m (Figure 1). It is bordered to the North by the Campos Basin through the Cruzeiro do Sul Lineament (which connects to the Cabo Frio Ridge close to the continent) and to the South by the Pelotas Basin, through the Florianópolis Fracture Zone (which connects to the Florianópolis Platform close to the

continent). These lineaments are associated, respectively, to the region Jean Charcot Seamounts and to the region of the São Paulo Rise, where site 356 of DSDP 39 is found.

The origin of SBSPS began during the formation process of the South Atlantic, which generated during the Upper Aptian-Comian oceanic crust on which lies the plateau (Kumar *et al.*, 1977; Kumar & Gambôa, 1979). Its formation is closely linked to the formation of the Elevation of the Rio Grande and Walvis Mountains on the African correspondent of the Atlantic Ocean (Perch-Nielsen *et al.*, 1977; Kumar & Gambôa, 1979; Moreira *et al.*, 2007; Mohriak *et al.*, 2010; Moulin *et al.*, 2010).

During the Aptian, the sea that developed over the region was shallow and had restricted circulation because it was isolated from the sea of the Pelotas Basin by the ridges of the Florianópolis Thrust-Fault Zone. This condition subjected the system to frequent droughts, which led to the formation of massive evaporative deposits north of the Abimael Ridge (Kumar & Gambôa, 1979; Moreira *et al.*, 2007; Moulin *et al.*, 2010). Beginning with the Albian, the system presents carbonate deposits of shallow platforms equivalent to the Santos Basin (proximal) and carbonates of deep ocean equivalent to the São Paulo Plateau (distal), indicating the beginning of an east-west sedimentological difference to the system, which is maintained until present (Perch-Nielsen *et al.*, 1977; Kumar & Gambôa, 1979; Moreira *et al.*, 2007).

According to Moreria *et al.* (2007), SBSPSP can be divided into three major supersequences (or phases) regarding its sedimentary deposits, namely the Rift Supersequence, Post-Rift Supersequence, and the Drift Supersequence. Each one of these supersequences was subdivided by these authors in various depositional sequences according to the particular history of the region over a determined time. The levels here studied correspond to the sequences E50 to E80 of the Drift phase. This supersequence is

characterized basically by platformal to continental sandstones in the proximal portions and siltstones, shales, and diamictites in the distal portions, besides turbidites that dug the platform and the slope. The predominance of one or another of these lithologies was controlled by eustatic oscillations, as well as variations between phases of continental progradation, aggradation, and retrogradation. In lithostratigraphic terms, these packages correspond to the Ponta Aguda and Iguapé Formations at the proximal portions and Marambaia at the distal portions. The combination of an igneous reservoir with immense diapirics generated by deformations in the salt layers (due to tectonics and significant sedimentary cover) resulted in a very irregular plateau surface (Moreira *et al.*, 2007).

MATERIALS AND METHODS

The samples come from the interval that, from bottom to top, go from Section 1 of Core 16 to Section 1 of Core 6, from well 356, drilled at location 356 of the expedition 39 of the DSDP. Location 356 is currently at 3,175m in depth and is located on the western slope of Alto de São Paulo, at coordinates 28°17,22'S and 41°05,28'W, which lies on the eastern edge of São Paulo Plateau, at approximately 650 km from the Brazilian coast (Figs. 1, 2). The range studied was dated by Perch-Nielsen (1977c) as Middle Eocene based on the observation of planktonic foraminifera and calcareous nanofossils.

Thirty-three sections of rocks with gray-green (dark or light), consisting of calcareous-siliceous oozes or siliceous-calcareous oozes were studied, sometimes zeolitic chalk (Figure 2). The processing of the samples followed the methodology described by Renaudie (2010). The slides were made with coverslips measuring 18x18 mm, where a drop of Acácia gum was dripped. Next, a drop of the processed sample was mixed with approximately 30 drops of distilled water, and one drop of this mixture was placed on the gum. This dilution was created

so that the resulting slides could contain an adequate quantity of specimen and, at the same time, not become polluted with the remaining elements and siliceous fragments that often accompany such preparations. Finally, the coverslip was placed on the slide with Canada balsam. The Canada balsam was more suitable for the bonding of the coverslips, because of its capacity to add more contrast to the specimens.

Overall, 33 slides were mounted, one for each section. Slides were analyzed (identification and classification) initially using a Motic® BA 400 optical microscope, in magnification at 400 to 1.000X. Afterwards, photographs were taken of the most frequent and/or stratigraphically relevant specimens observed in the light microscopy, using a scanning electron microscope at the Scanning Electron Microscope Center of PUC-RS. For this, 10 samples from sections 1, 2, 3, 4 and 6 of nucleus 6, of sections 2, 3, 5 and 6 of nucleus 7 and section 1 of nucleus 9 were prepared by picking. This preparation involved reprocessing and drying the samples. The resulting sediment was analyzed with the aid of a Zeiss Discovery V8 Stereo magnifying glass, with a resolution of up to 500x for picking of the specimens. The selected specimens were placed on a *stub* and taken for analysis and photography with SEM at the referred center. The specimens identified here were based on description of Greville (1865) and Gronow (1884). The type material of the current study is deposited at the Museu de História Geológica do Rio Grande do Sul (UNISINOS), São Leopoldo, Brasil, Micropaleontology Section, numbers 8831; 8832 (1) – 8832 (16); 8833 (1) - 8833 (14); 8834 (1) - 8834 (3); 8835 (1) - 8835 (25); 8836 (1) - 8836 (16).

RESULTS

Altogether, 92 taxa were identified, with 27 genera and 67 species and 20 species previously classified as sp., as well as one form corresponding to a pretense ontogenetic stage

of *Asterolampra* spp. (Supplement 1). The most abundant species were (in order of abundance) *Paralia sulcata*, *Triceratium kanayae*, *Stephanopyxis grunowii*, *Hemiaulus schmidti*, *Hemiaulus polycystinorum*, *Coscinodiscus marginatus*, *Triceratium brachiatum*, *Coscinodiscus radiatus*, *Liostephania* stage of *Asterolampra* spp., *Triceratium inconspicuum* var. *trilobata*, *Stephanopyxis turris*, and *Trinacria exculpta* (Figs. 3, 4). Associations of this nature are considered typical for tropical and subtropical regions (Fenner, 1978).

From the stratigraphic distribution of species registered in the interval studied here (Figure 5), it was possible to distinguish four biostratigraphic subintervals according to international biozones for diatom associations of low latitudes (Fenner, 1989). According to general correlation between the constant microfossil biozones in Bolli *et al.* (1989) and the delimitation of ages for the radiolária according to the magnetic chrons by Sanfillipo & Nigrini (1998), it was possible to define ages ranging from Middle Eocene to Upper Oligocene for the interval here studied (Fig. 6).

Subinterval 1: *Pyxilla caput avis* Biozone (Lutetian)

Core 16 of Section 1 to Core 9 of Section 2 (Samples 33 to 16)

The base of this biozone was identified here by the first occurrence of *Pyxilla reticulata* and its upper limit for the first occurrence of *Hemiaulus alatus* (Figure 5).

Subinterval 2: *Hemiaulus alatus* Biozone (Lutetian)

Section 2 of Core 9 to Section 1 of Core 8 (Samples 16 to 13)

The base of this biozone was marked here by the first occurrence of *Hemiaulus alatus* and its top was marked by the first occurrence of *H. subacutus* (Figure 5)

Subinterval 3: *Asterolampra marylandica* Biozone (Bartonian – Priabonian)

Sections 6 to 1 of Core 7 and section 6 of Core 6 (Samples 12 to 6)

The base of this biozone was marked by the first occurrence of *Hemiaulus subacutus* and its top by the first occurrence of *Rocella gelida* (Figure 5).

Subinterval 4: *Rocella gelida* Biozone (Chattian)

Sections 5 to 1 of Core 6 (Samples 5 to 1)

The base of this biozone is marked by the first occurrence of *Rocella gelida* (Figure 5).

DISCUSSIONS

Subinterval 1: *Pyxilla caput avis* Biozone (Lutetian)

In this subinterval *Triceratium kanayae* has its first occurrence (Figure 5). This fact, initially, would identify the underlying zone *Triceratium kanayae*, however *T. kanayae* has its occurrence registered up to *Asterolampra marylandica* biozone (Figure 6) and, thus, might occur in *Pyxilla caput avis* biozone. The species *P. reticulata* was not mentioned directly as an incidental element of *Pyxilla caput avis* biozone, however it is listed in the table of stratigraphic distribution of diatoms of low altitude as a biostratigraphic important species (Fenner, 1989). It should be noted that in this subinterval *Pyxilla caput avis* is also found, although in higher levels (Figure 5). For these reasons, the biozone in question was identified by the first occurrence of *Pyxilla reticulata*.

Subinterval 2: *Hemiaulus alatus* Biozone (Lutetian)

In low latitudes, both the species index *H. alatus*, and the incidental species *H. lyriformis* have their first occurrence in *Hemiaulus alatus* biozone of Lutetian (Fenner, 1989). Both are recorded in this interval (Figure 5).

Subinterval 3: *Asterolampra marylandica* Biozone (Bartonian – Priabonian)

This biozone was identified from the first occurrence of the incidental species *Hemiaulus subacutus*, however, it should be noted that *A. marylandica*, its indicator species is recorded by the first at the top of this subinterval (Figure 5).

Subinterval 4: *Rocella gelida* Biozone (Chattian)

In this subinterval, were also found for the first time the species *Pyxilla caput avis* and *Hemiaulus dubius* (Figure 5), which mark, respectively, the biozones *Pyxilla caput avis* and *Triceratium kanayae*, both of the Lutetian age (Figure 6). As *P. caput avis* has its last occurrence in the *Hemiaulus gondolaformis* biozone and *H. dubius* has its last known occurrence in the *Bogorovia veniamini* biozone (Figure 6), they could not be found in ages as recent as those of the *Rocella gelida* biozone. Considering the existence of a large gap between the biozones *Asterolampra marylandica* and *Rocella gelida* (Figure 6), the presence of *P. caput avis* and *H. dubius* in the last is credited to reworkings associated to the erosive nature of this contact.

It is interesting to note that the biozones hereby identified show a very significant correspondence with the depositional sequences of Moreira *et al.* (2007), when their respective ages are considered. Thus, biozones *Pyxilla caput avis* and *Hemiaulus alatus* are temporally correspondent to sequence E50, *Asterolampra marylandica* biozone is correspondent to sequence E60 and *Rocella gelida* biozone is correspondent to sequence E80 (Figure 7).

The results obtained (Figures 5 to 7) allow to discuss the existence and scope of some previously identified gaps, as well as to establish new ones. According to reports of DSDP (Supko & Perch Nielsen, 1977), the studied interval would correspond to a short, however, continuous phase of deposition during a part of the Lower to Middle Eocene (Ypresian – Bartonian), with gaps recorded only between cores 17 and 16, at the base, and cores 6 and 5,

at the top. These ages were established based on the planktonic foraminifera and calcareous nanofossils present in the interval in question, however, when they are adjusted to the current bio-and chronostratigraphic frameworks (Bolli *et al.*, 1989; Sanfilippo & Nigrini, 1998), the interval would have as base the biozones of Ypressian and as top biozones of Lutetian, totaling approximately 13 Ma (Figure 7).

With the results hereby obtained, this interval would involve at least 21 million years (Figure 7), because its base is related to the biozones of radiolaria dated as Lutetian (~45 Ma) and its peak is related to the biozones of radiolaria dated as Chattian (~24Ma). This means that the gaps of the base and the peak are more and less expressive, respectively, of what was initially imagined. Two new gaps are observed within the interval, descharacterizing the character that has been previously attributed. The first corresponds to the absence of biozones *Hemiaulus gondolaformis* and *Brightwellia imperfecta* between biozones *Hemiaulus alatus* and *Asterolampra marylandica*, while the second corresponds to the absence of biozones *Baxteriopsis brunii*, *Coscinodiscus excavatus*, *Cestodiscus reticulatus*, *Rocella vigillans* and *Bogorovia veniamini*, between biozones *Asterolampra marylandica* and *Rocella gélida* (Figures 6 and 7). According to the modern biochronostratigraphic schemes currently in use (Bolli *et al.*, 1989; Sanfilippo & Nigrini, 1998), the first internal gap would correspond to the peak of the Lutetian to the base of the Bartonian (~41-39 Ma), while the second would correspond to the peak of the Priabonian to the base of the Chattian (~35 a 28 Ma). When compared to the distribution, amplitude and stratigraphic positioning of the gaps recorded in other sites in the South Atlantic, which were sampled by the DSDP, there is no significant difference (Supko & Perch Nielsen, 1977).

From the biostratigraphic framework proposed for the interval, the species *Craspedodiscus ellipticus*, *Hemiaulus polycystinorum* var. *mesolepta*, *Hemiaulus lyriformis*,

Triceratium brachiatum and *Triceratium inconspicuum* var. *trilobata* seem to have their last occurrences expanded beyond those originally considered, since they were recorded in the biozone *Rocella gelida*, of the Chattian (Figure 5). Regardless of the continuous or discontinuous character of each of these occurrences, the amplitude and degree of the gaps within the interval in question do not allow the elimination of the possibility of reworking for these anomalous occurrences.

The results hereby obtained are very different from those expected from the correlation with the biostratigraphic schemes based on planktonic foraminifera, calcareous and radiolarian nanofossils (Figure 7). Thus, the *Rocella gelida* biozone identified for Core 6 is significantly younger than biozone P13 (*Morozovella aragonensis*) of planktonic foraminifera and biozone NP16 (*Discoaster tani nodifer*) of calcareous nanofossils, both registered for this core as well (Boersma, 1977, Perch-Nielsen, 1977a). Instead, according to Bolli *et al.* (1989) the zones of planktonic foraminifera and calcareous nanofossils correspondent to biozone *Rocella gelida* of diatoms, should be, respectively, biozones N4 (*Globigerinoides primordius*) and NN1 (*Triquetrorhabdulus carinatus*).

The same pattern is seen among the other diatom biozones identified and the biozones of planktonic foraminifera and calcareous nanofossils, or, in other words, the diatom biozones always indicate younger ages than those suggested by foraminifera and nanofossils (Figure 7). This pattern might be due to incorrect taxonomic delimitations that resulted in biozones equally erroneous. This alternative, however, can be ruled out when considering the existence of some species biostratigraphically useful of easy recognition, such as *Rocella gelida*, *Pyxilla reticulata* and *P. caput avis*, for example (Figure 4).

Thus, another possible explanation is that the gaps previously discussed might have caused reworking throughout the interval and younger guide fossils have not been found in

biozones of planktonic foraminifera and nanofossils previously established, only the forms reworked of older levels. Something similar was registered for Site 357, when the interval between cores 11 to 8 provided biozones of planktonic foraminifera and calcareous nanofossils discrepant among themselves and the lack of guide fossils was given as a reason for this (Boersma, 1977; Perch-Nielsen, 1977a,c). Finally, the difficulty of correlation of these levels, as to their distinct biozonings was the main reason for which Fenner (1978) did not provide a zoning with diatoms for them, in spite of this author having found many species, including some indicator-fossils.

CONCLUSIONS

In total, 92 taxa were identified, with 27 genera and 67 species formally classified and 20 species informally classified as sp., as well as one form corresponding to a pretense ontogenetic stage of *Asterolampra* spp. When confronted with the biostratigraphic scheme used for the South Atlantic (Fenner, 1989), the distribution pattern of diatoms reported and discussed here allowed us to distinguish four Eocene-Oligocene biozones, namely (from bottom to top): *Pyxilla caput avis* Biozone (base of the Lutetian), *Hemiaulus alatus* Biozone (Lutetian), *Asterolampra marylandica* Biozone (Bartonian-Priabonian), and *Rocella gelida* Biozone (Chattian)

The studied interval covers approximately 21 million years, whose base is marked by a gap from the end of the Thanetian to the Lutetian and its top by a gap that extends from the Chattian to the Aquitanian. Internally, the interval furthermore presents a gap between the Lutetian and the Bartonian, as well as one between the Priabonian and the Chattian.

The occurrence of the species *Craspedodiscus ellipticus*, *Hemiaulus polycystinorum* var. *mesolepta*, *H. dubius*, and *Triceratium brachiatum* in the *Rocella gelida* Biozone, from

the top of the Chattian is interpreted here as a result of gaps resulting from the erosive reworking recorded. The same is true for the lack of correspondence between the diatom biozones identified here and those of planktonic foraminifera and calcareous nanofossils previously identified for these same levels.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors would like to thank: Dr. Walter Hale, superintendent of Bremen Core Repository (Germany), for the samples for the present study; IODP for allowing this study with these samples; CAPES/PROSUP, for the MS fellowship (CP); and to RM Fischer and HD Laughinghouse IV for reviewing the final text.

REFERENCES

- Benson, R.H. 1977. The Cenozoic ostracode faunas of the Sao Paulo Plateau and the Rio Grande Rise (DSDP Leg 39, Sites 356 and 357). *DSDP Initial Reports*, **39**:869-883.
- Boersma, A. 1977. Cenozoic planktonic foraminifera - DSDP Leg 39 (South Atlantic). *DSDP Initial Reports*, **39**:567-590.
- Bolli, H.; Saunders, J.B. & Perch-Nielsen, K. 1989. *Plankton Stratigraphy, vol. 2: Radiolaria, Diatoms, Silicoflagellates, Dinoflagellates and Ichthyoliths*. Cambridge, Cambridge University Press, 456p.
- Bukry, D. 1977. Coccolith and silicoflagellate stratigraphy, South Atlantic Ocean, Deep Sea Drilling Project Leg 39. *DSDP Initial Reports*, **39**:825-839.

- Dzinoridze, R.N.; Jousé, A.P.; Koroleva-Golikova, G.S.; Kozlova, G.E.; Nagaeva, G.S.; Petrushevskaya, M.G. & Strelnikova, N.I. 1978. Diatom and radiolarian Cenozoic stratigraphy, Norwegian Basin; DSDP Leg 38. *DSDP Initial Reports*, **38**:289-427.
- Fenner, J. 1978. Cenozoic Diatom Biostratigraphy of the Equatorial and Southern Atlantic Ocean. *DSDP Initial Reports*, **39**:491-624.
- Fenner, J. 1989. Late Cretaceous to Oligocene planktic diatoms. In: *Bolli, H.; Saunders, J.B. & Perch-Nielsen (eds.), Plankton Stratigraphy, v. 2: Radiolaria, Diatoms, Silicoflagellates, Dinoflagellates and Ichthyoliths*. Cambridge: Cambridge University Press, p: 713- 762.
- Ionnides, N.S. & Colin, J.P. 1977. Palynology of Sites 358, 356, 355 DSDP, Leg 39, Southwestern Atlantic Ocean. *DSDP Initial Reports*, **39**:885-897.
- Kumar, N. & Gambôa, L.A.P. 1979. Evolution of the São Paulo Plateau (southeastern Brazilian margin) and implications for the early history of the South Atlantic. *Geological Society of America Bulletin*, **90(3)**:281-293.
- Kumar, N.; Schreiber, B.C. & Mascle, J. 1977. Geologic history and origin of São Paulo Plateau (Southeastern Brazilian Margin), comparison with the Angolan Margin, and the Early evolution of the Northern South Atlantic. *DSDP Initial Reports*, **39**:927-945.
- Mohriak, W.U.; Nóbrega, M.; Odegard, M.E.; Gomes, B.S & Dickson, W.G. 2010. Geological and geophysical interpretation of the Rio Grande Rise, south-eastern Brazilian margin: extensional tectonics and rifting of continental and oceanic crusts. *Petroleum Geoscience*, **16**:231–245.
- 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.

- Moulin, M., Aslanian, D. & Unternher, P. 2010. A new starting point for the South and Equatorial Atlantic Ocean. *Earth Science Review*, **98**: 1–37.
- Perch-Nielsen, K. 1977a. Albian to Pleistocene Calcareous Nannofossils from the Western South Atlantic, DSDP Leg 39. *DSDP Initial Reports*, **39**:699-823.
- Perch-Nielsen, K. 1977b. Tertiary Silicoflagellates and other siliceous microfossils from the Western South Atlantic, Deep Sea Drilling Project, Leg 39. *DSDP Initial Reports*, **39**:863-867.
- Perch-Nielsen, K. 1977c. Synthesis of the Leg 39 biostratigraphy (Central and South Atlantic). *DSDP Initial Reports*, **39**:1081-1098.
- Perch-Nielsen, K.; Supko, P.R.; Boersma, A.; Carlson, R.L.; Dinkelman, M.G.; Fodor, R.V.; Kumar, N.; McCoy, F.; Thiede, J. & Zimmerman, H.B. 1977. Site 356: São Paulo Plateau. *DSDP Initial Reports*, **39**:141-230.
- Renaudie, J.; Danelian, T.; Martin, S.S.; Callonnec, L.L. & Tribovillard, N. 2010. Siliceous phytoplankton response to a Middle Eocene warming event recorded in the tropical Atlantic (Demerara Rise, ODP Site 1260A). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **286**:121–134.
- Sanfilippo, A. & Nigrini, C. 1998. Code numbers for Cenozoic low latitude radiolarian biostratigraphic zones and GPTS conversion tables. *Marine Micropaleontology*, **33**:109-156.
- Supko, P.R. & Perch-Nielsen, K. 1977. General synthesis of Central and South Atlantic drilling results, Leg 39, Deep Sea Drilling Project. *DSDP Initial Reports*, **39**:1099-1131.

FIGURES

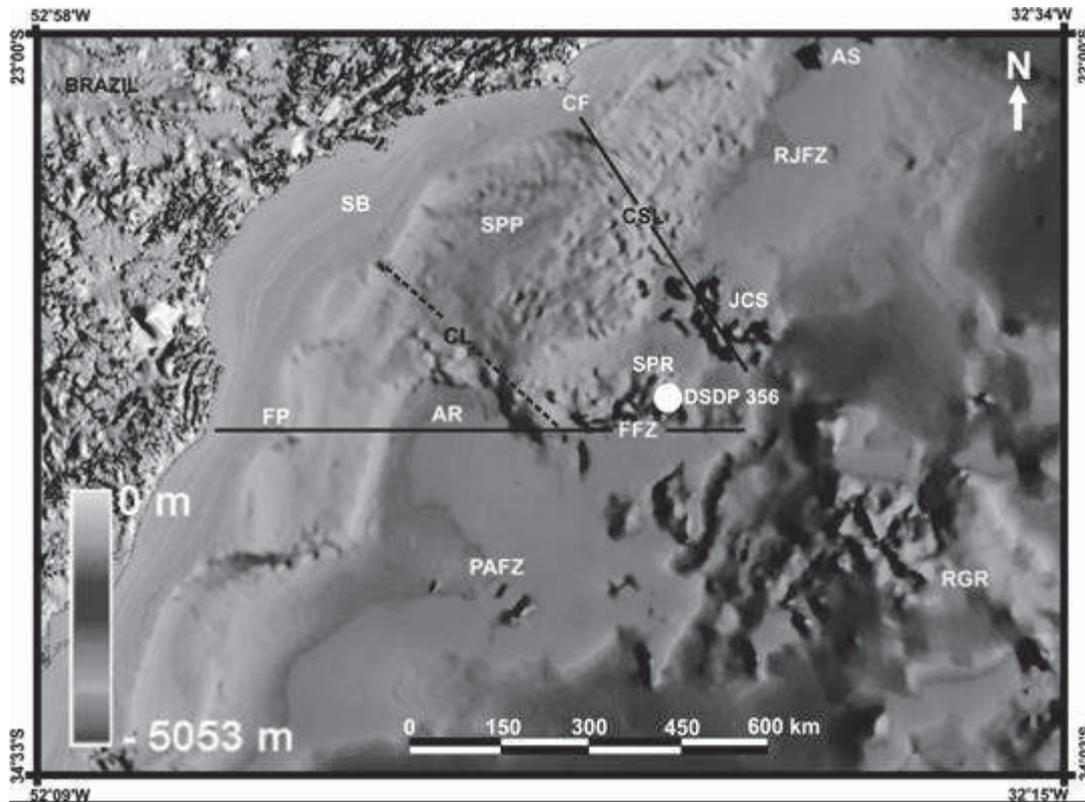
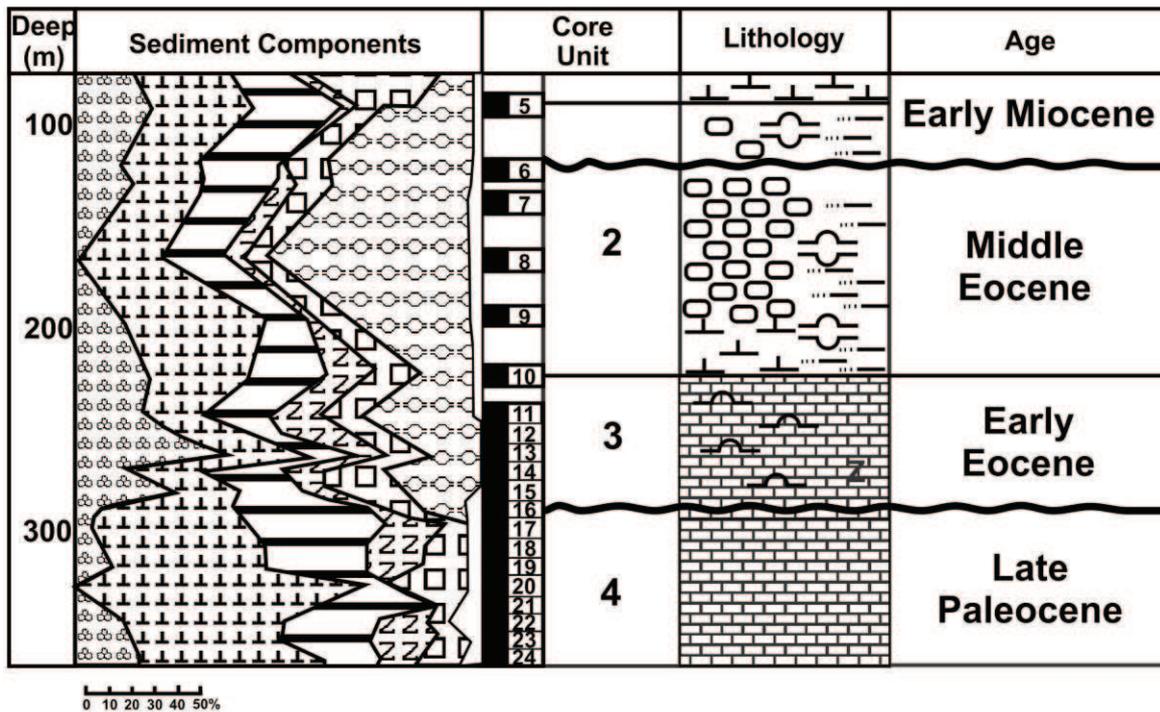


Figure 1 – Location map of the Site 356. Where: AS = Almirante Saldanha Seamount, CF = Cabo Frio Arch, RJFZ = Rio de Janeiro Fracture Zone, CSL = Cruzeiro do Sul Lineament, JCS = Jean Charcot Seamounts, SB = Santos Basin, SPP = São Paulo Plateau, SPR = Sao Paulo Rise, CL = Capricórnio Lineament, AR = Abimael Rise, FP = Florianópolis Platform, FFZ = Florianópolis Fracture Zone, RGR = Rio Grande Rise, PAFZ = Porto Alegre Fracture Zone (adapted from Mohriak et al 2010).



KEY

- Foraminifers
- Nannofossils
- Clay (Clay minerals, Qtz, Feldspar & mica)
- Co₃ Fragments
- Diatoms-Rads + authigenic silica
- Fe oxides + Opaque minerals
- Zeolites

Figure 2 – Lithological profile of the DSDP Site 356 (adapted from Perch-Nielsen *et al.*, 1977).

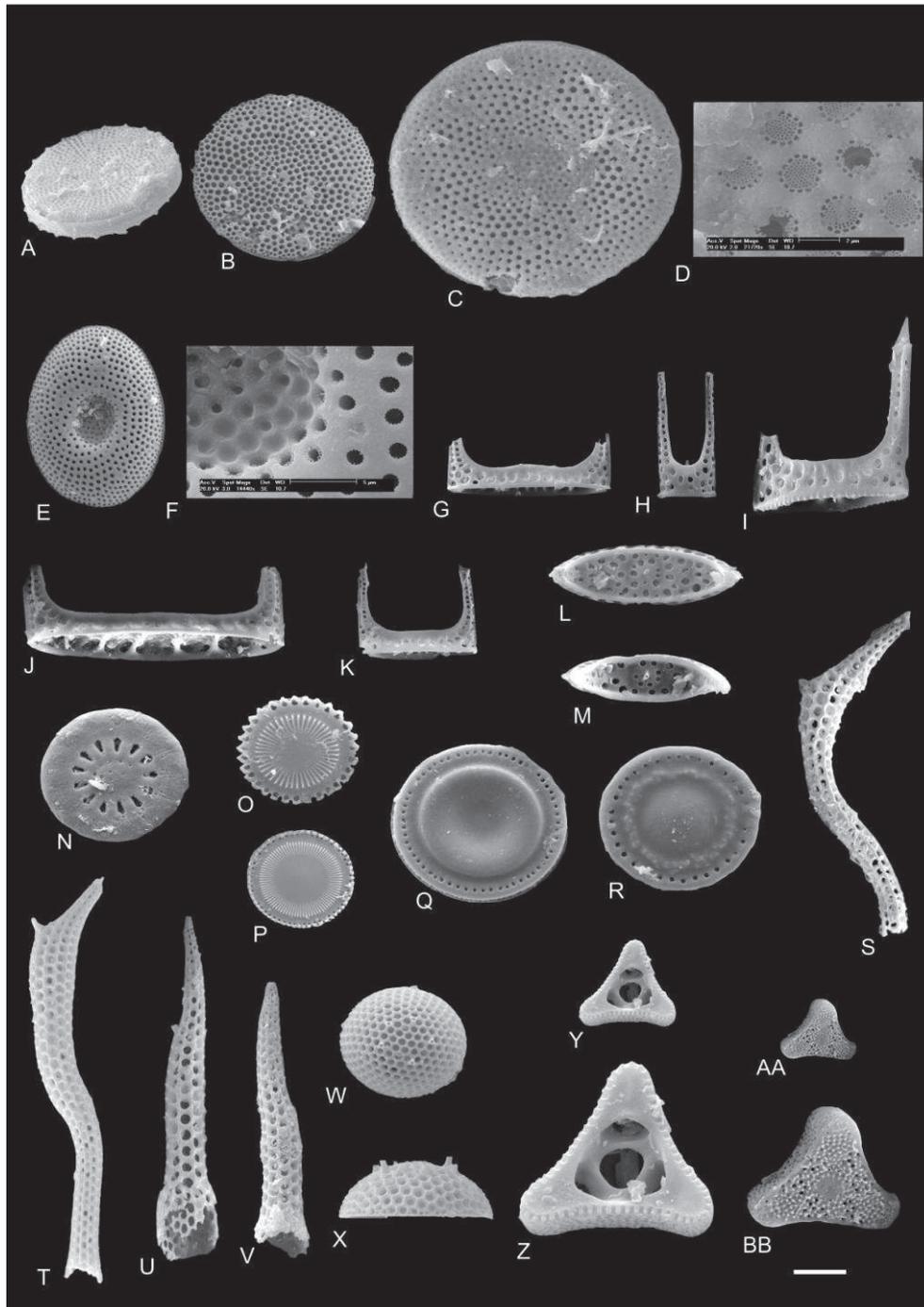


Figure 3 – Principal species of biostratigraphic significance to Neogene: **A-D.** *Coscinodiscus radiatus* 8833 (5), 8834 (1), 8836 (1) (Samples 1-16); **E-F.** *Craspedodiscus ellipticus* 8832 (1) (10), 8833 (13), 8836 (2) (5) (Samples 1-12, 14-16); **G.** *Hemiaulus dubius* 8833 (8) (Samples 3); **H-M.** *Hemiaulus polycystinorum* 8832 (3) (6-7), 8833 (11), 8835 (24) (Samples 1-16); **N.** *Liostephania* stage of *Asterolampra* spp. 8836 (6) (Samples 2-16); **O-R** *Paralia sulcata* 8833 (12), 8834 (3), 8835 (2-3) (5) (Samples 1-17, 24, 27, 29-30); **S-T.** *Pyxilla caput avis* 8836 (13) (Sample 3); **U-V.** *Pyxilla reticulata* 8832 (15), 8835 (25) (Samples 2-16); **W-X.** *Stephanopyxis turris* 8833 (1) (14), 8835 (1) (14) (Sample 1-13, 15-16, 25); **Y-BB.** *Triceratium inconspicuum* Grev. var. *trilobata* 8835 (6-11) (17) (Sample 1-16) (**Z, BB**) increased to 2x of the original size. SEM images (Scale bar = 20 μ m).

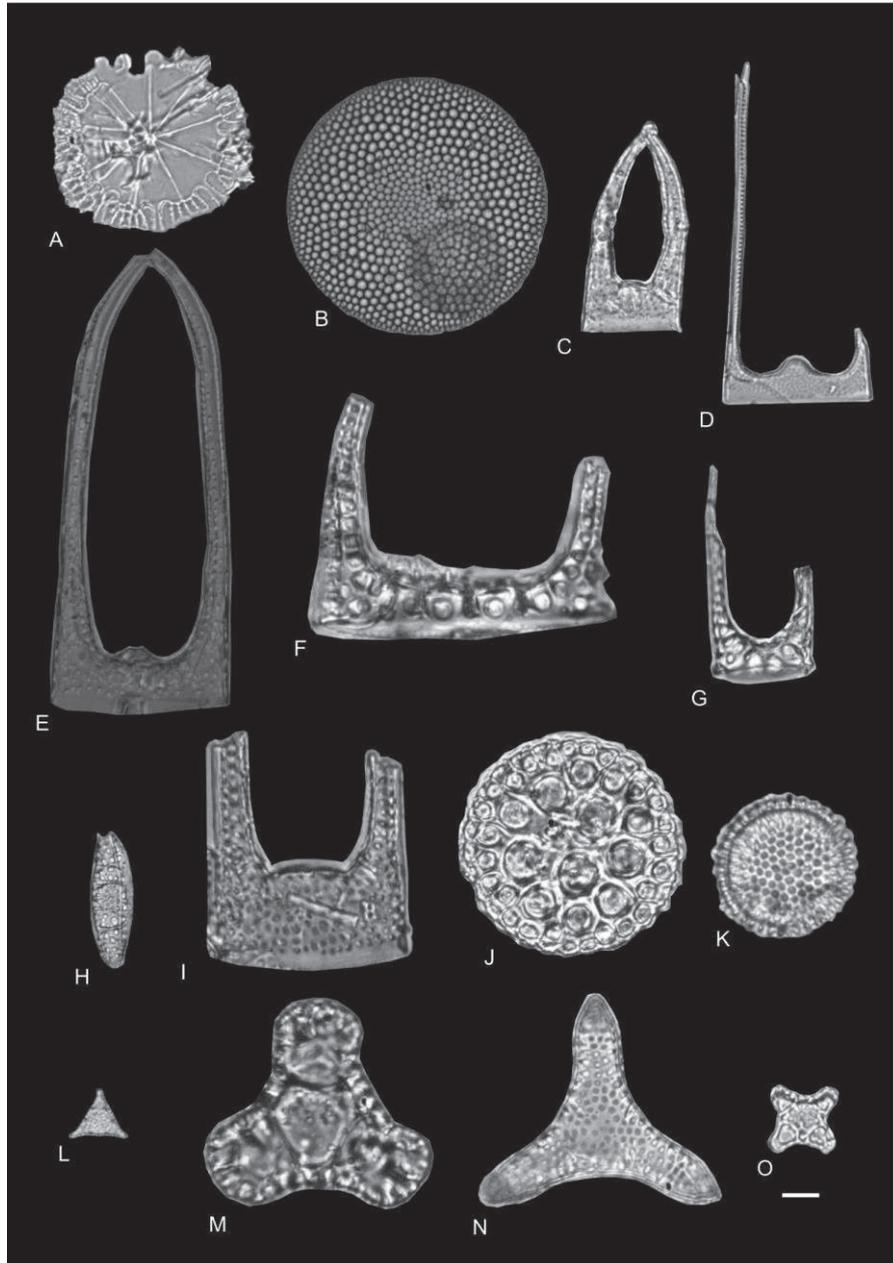


Figure 4 – Principal species of biostratigraphic significance to Neogene: **A.** *Asterolampra marylandica* (Samples 3-4, 6); **B.** *Coscinodiscus marginatus* (Samples 2-16, 27); **C.** *Hemiaulus alatus* (Samples 2-4, 6, 15); **D-E.** *Hemiaulus lyriformis* (Samples 4-6, 14-15); **F-G.** *Hemiaulus polycystinorum* var *mesolepta* (Samples 1-16); **H.** *Hemiaulus schmidti* (Samples 1-16, 31-32); **I.** *Hemiaulus subacutus* (Samples 5-6, 8, 11-12); **J.** *Rocella gelida* 8831, (Samples 1-2, 5); **K.** *Stephanopyxis grunowii* (Samples 1-17, 21); **L.** *Triceratium brachiatum* (Samples 1-7, 28-29); **M.** *Triceratium Kanayae* (Samples 1-17); **N.** *Trinacria excavata* forma tetragona (Samples 13); **O.** *Trinacria exculpta* (Samples 2-5, 9-16). Optic microscopy images (Scale bar = 20 μ m).

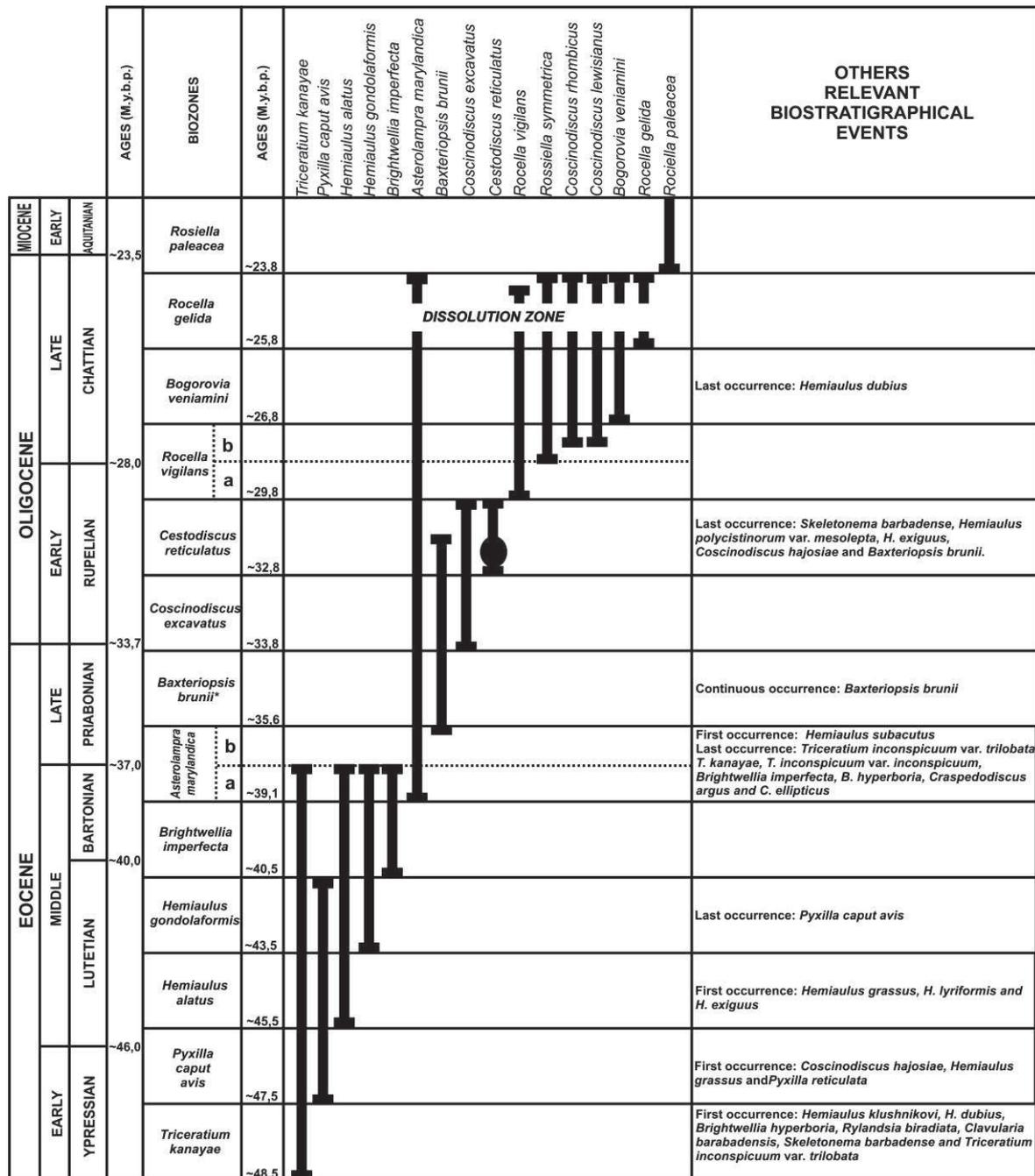
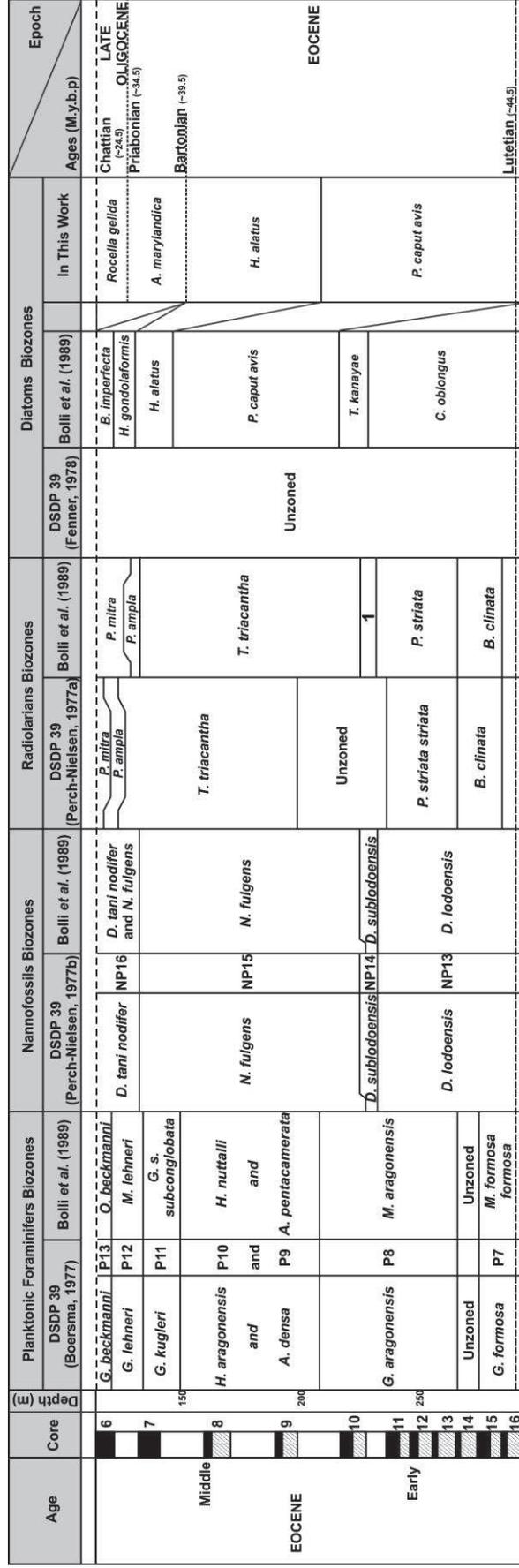


Figure 6 – Biostratigraphic scheme for low latitudes (adapted from Fenner, 1989).



Zones *D. mongolfieri*, *T. cryptocephala* and *P. striata*

Figure 7 – Diatom biozones for low latitudes found in the interval studied here (Cores 16 to 6 of the Well 356, Site 356 - DSDP 39) and their correlation to other microfossil groups according to Bolli *et al.* (1989). The ages were adjusted based on the correlation of the radiolaria biozones and magnetic crons according to Sanfilippo & Nigrini (1998). The dashed lines represent external gaps to the interval and the dotted lines internal gaps.

SUPPLEMENT - LIST OF THE TAXA FOUND IN THIS WORK

- Actinocyclus ingens* Rattray, 1890
Actinoptychus splendens (Shadbolt) Ralfs in Pritchard, 1861
Actinoptychus senarius (Ehrenberg) Ehrenberg, 1843
Arachnoidiscus decorus Brown, 1933
Arachnoidiscus russicus Pantocsek, 1889
Arachnoidiscus schmidti Hajós, 1976
Asterolampra affinis Greville, 1862
Asterolampra marylandica Ehrenberg, 1844
Aulacodiscus janischii Grove & Sturt, 1887
Biddulphia regina W. Smith, 1856
Biddulphia rigida Schmidt, 1888
Biddulphia tridens (Ehrenberg) Ehrenberg, 1840
Biddulphia sp. 1
Biddulphia sp. 2
Biddulphia sp. 3
Cladogramma jordani Hanna, 1927
Coscinodiscus argus Ehrenberg, 1839
Coscinodiscus decrescens Grunow, 1878
Coscinodiscus lineatus Ehrenberg, 1841
Coscinodiscus marginatus Ehrenberg, 1844
Coscinodiscus morenoensis Hanna, 1927
Coscinodiscus radiatus Ehrenberg, 1840
Coscinodiscus sp.
Costopyxis antiqua (Jousé) Gleser
Craspedodiscus ellipticus (Grunow) Gombos, 1982
Diploneis crabro (Ehrenberg) Ehrenberg, 1854
Eunotogramma productum Grunow
Eunotogramma weissii Ehrenberg var. *producta* Grove and Sturt, 1887
Grunowiella sp. 1
Hemiaulus alatus Greville
Hemiaulus altus in Hajós and Stradner, 1975
Hemiaulus dubius Grunow, 1884
Hemiaulus lyriformis Greville 1865
Hemiaulus polycystinorum Ehrenberg, 1854
Hemiaulus polycystinorum var. *dissona* Fenner, 1978
Hemiaulus polycystinorum var. *mesolepta* Ehrenberg, 1854
Hemiaulus polymorphus Grunow, 1884
Hemiaulus polymorphus var. *glacialis* Grunow, 1884
Hemiaulus reticulatus Greville, 1865
Hemiaulus polymorphus var. *virginica* Grunow, 1884
Hemiaulus schmidti Hajós
Hemiaulus subacutus Grunow, 1884
Hemiaulus tenuicornis Greville
Hemiaulus sp. 1
Hemiaulus sp. 2
Hemiaulus sp. 3
Hemiaulus sp. 4
Liostephania stagio de *Asterolampra* spp.
Lithodesmium margaritaceum Long, Fuge & Smith, 1946
Mastogloia lamprostica (Gregory) des. & Sri.
Paralia sulcata (Ehrenberg) Cleve, 1873
Pterotheca aculeifera Van Heurck, H., 1896
Pyxilla caput avis Brun
Pyxilla reticulata Grove and Sturt, 1887
Pyxilla sp. 1
Riedelia sublevata Fenner, 1978
Rocella praenitida Fenner
Rocella gelida (A.Mann) D.Bukry
Sceptroneis grunowii N.V. Anissimowa
Sheshukovia sp. 1
Sheshukovia sp. 2
Stephanogonia horridus Schrader and Fenner
Stephanopyxis biseriata N.I. Strelnikova
Stephanopyxis corona
Stephanopyxis grunowii Grove and Sturt, 1888

Stephanopyxis hannai Hatos in Hatos & Schader, 1975
Stephanopyxis lavrenkoi A.P.Jousé
Stephanopyxis marginata Grunow, 1884
Stephanopyxis punctata Jousé
Stephanopyxis turris (Grev. and Arn.) Ralfs in Pritchard, 1861
Thalassionema nitzschioides Grunow
Triceratium amplexum A.W.F.Schmidt
Triceratium antipodum Pantocsek, 1892
Triceratium brachiatum Brightwell, 1856
Triceratium castelliferum Grunow in Schmidt *et al.*, 1874
Triceratium groningenensis Reinhold, 1937
Triceratium inconspicuum Grev. var. *trilobata* Fenner, 1978
Triceratium morlandii Grove & Sturt, 1887
Triceratium oamaruense E.Grove & G.Sturt
Triceratium pulvinar A.W.F.Schmidt
Triceratium subcapitatum Greville
Triceratium Kanayae Fenner, 1984
Triceratium sp. 1
Triceratium sp. 2
Triceratium sp. 3
Triceratium sp. 4
Triceratium sp. 5
Trinacria excavata Heiberg, 1863
Trinacria exculpta (Heiberg) Hustedt
Trinacria simulacrum Grove and Sturt, 1887
Trinacria sp. 1
Trinacria sp. 2
Xanthiopyxis panduriformis Pantocsek
Xanthiopyxis structuralis Fenner

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adl, S.M. et al. 2005. The New Higher Level Classification of Eukaryotes with Emphasis on the Taxonomy of Protists. *Journal of Eukaryotic Microbiology*, 52(5): 399-451
- Benson, R.H. 1977. The Cenozoic ostracode faunas of the Sao Paulo Plateau and the Rio Grande Rise (DSDP Leg 39, Sites 356 and 357). *DSDP Initial Reports*, 39:869-883.
- Bidle, K.D. & Azam, F. 1999. Accelerated dissolution of diatom silica by marine bacterial assemblages. *Nature*, 397: 508–512.
- Boersma, A. 1977. Cenozoic planktonic foraminifera - DSDP Leg 39 (South Atlantic). *DSDP Initial Reports*, 39:567-590.
- Bolli, H.; Saunders, J.B. & Perch-Nielsen, K. 1989. *Plankton Stratigraphy, vol. 2: Radiolaria, Diatoms, Silicoflagellates, Dinoflagellates and Ichthyoliths*. Cambridge, Cambridge University Press, 456p.
- Bukry, D. 1977. Coccolith and silicoflagellate stratigraphy, South Atlantic Ocean, Deep Sea Drilling Project Leg 39. *DSDP Initial Reports*, 39:825-839.
- Burki, F.; Shalchian-Tabrizi, K.; Minge, M.; Skjæveland, Å; Nikolaev, S. I.; Jakobsen, K. S. & Pawlowski, J. 2007. Phylogenomics Reshuffles the Eukaryotic Supergroups. *PLoS One*, 2(8) e 790: 1-6.
- Cavalier-Smith, T. 1993. Kingdom Protozoa and Its 18 Phyla. *Microbiological Reviews*, 57(4): 953-994.
- Cavalier-Smith, T. 1981. Eukaryote kingdoms: seven or nine? *Biosystems*, 14: 461-481.
- Cavalier-Smith, T. 1995. Membrane heredity, symbiogenesis, and the multiple origins of Algae. *In: Arai, R. et al. (eds.), "Biodiversity and Evolution". The National Science Museum Foundation, Tokyo, Japan: pp.75-144.*

- Cavalier-Smith, T. 1998. A revised six-kingdom system of life. *Biological Reviews*, 73: 203-266
- Cavalier-Smith, T. 1999. Principles of Protein and Lipid Targeting in Secondary Symbiogenesis: Euglenoid, Dinoflagellate, and Sporozoan Plastid Origins and the Eukaryote Family Tree. *Journal of Eukaryotic Microbiology*, 46(4): 347-366
- Cavalier-Smith, T. June 2010. Kingdoms Protozoa and Chromista and the eozoan root of the eukaryotic tree. *Biological Letters*, 6 (3): 342–5.
- Denys, L. & Wolf, H. 1999 - Diatoms as indicators of coastal paleoenvironments & relative sea level change. In: *The Diatoms: Applications for the Environmental & Earth Sciences* (Eds E.F. Stoermer & J.P. Smol), pp. 277-297. Cambridge University Press.
- Dzinoridze, R.N.; Jousé, A.P.; Koroleva-Golikova, G.S.; Kozlova, G.E.; Nagaeva, G.S.; Petrushevskaya, M.G. & Strelnikova, N.I. 1978. Diatom and radiolarian Cenozoic stratigraphy, Norwegian Basin; DSDP Leg 38. *DSDP Initial Reports*, **38**:289-427.
- Engler, A. & Gilg, E. 1924. *Syllabus der Pflanzen- familien*. Berlin: Gebrüder Borntraeger, 9th and 10th ed., 420 pp.
- Fenner, J. 1978. Cenozoic Diatom Biostratigraphy of the Equatorial and Southern Atlantic Ocean. *DSDP Initial Reports*, **39**:491-624.
- Fenner, J. 1989. Late Cretaceous to Oligocene planktic diatoms. In: *Bolli, H.; Saunders, J.B. & Perch-Nielsen (eds.), Plankton Stratigraphy, v. 2: Radiolaria, Diatoms, Silicoflagellates, Dinoflagellates and Ichthyoliths*. Cambridge: Cambridge University Press, p: 713- 762.
- Greville, R. K. 1865. Descriptions of New and Rare Diatoms Series XVI. *Transactions of the Microscopical society of London New Series*. 13, 43-57.

- Grunow, A. 1884. Die Diatomeen Von Franz Josefs-Land. Denkschriften der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften. Mathematisch-Naturwissenschaftliche Classe Achtundvierzigster Band, Wien. 48, 53-112.
- Gubbins, D. 1990. Seismology and plate tectonics. Cambridge: Cambridge University Press, 1a. ed., 339 pp.
- Guiry, M.D. & Guiry, G.M. 2011. AlgaeBase. World-wide electronic publication, National University of Ireland, Galway. Disponível em <http://www.algaebase.org>; Acessado em 18 Outubro de 2011.
- Ionnides, N.S. & Colin, J.P. 1977. Palynology of Sites 358, 356, 355 DSDP, Leg 39, Southwestern Atlantic Ocean. *DSDP Initial Reports*, **39**:885-897.
- Kumar, N. & Gambôa, L.A.P. 1979. Evolution of the São Paulo Plateau (southeastern Brazilian margin) and implications for the early history of the South Atlantic. *Geological Society of America Bulletin*, **90(3)**:281-293.
- Kumar, N.; Schreiber, B.C. & Mascle, J. 1977. Geologic history and origin of São Paulo Plateau (Southeastern Brazilian Margin), comparison with the Angolan Margin, and the Early evolution of the Northern South Atlantic. *DSDP Initial Reports*, **39**:927-945.
- McQuoid and Nordberg. 2003. The diatom *Paralia sulcata* as an environmental indicator species in coastal sediments. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 56, 339–354.
- Medlin & Kaczmarska, 2004 □ tem no meu capítulo
- Modica and Brush. 2004. Postrift sequence stratigraphy, paleogeography, and fill history of the deep-water Santos Basin, offshore southeast Brazil. *AAPG Bulletin*, V. 88, no. 7 pp. 923-945.
- Mohriak, W.U.; Nóbrega, M.; Odegard, M.E.; Gomes, B.S & Dickson, W.G. 2010. Geological and geophysical interpretation of the Rio Grande Rise, south-eastern

- Brazilian margin: extensional tectonics and rifting of continental and oceanic crusts. *Petroleum Geoscience*, **16**:231–245.
- 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.
- Moulin, M., Aslanian, D. & Unternher, P., 2010. A new starting point for the South and Equatorial Atlantic Ocean. *Earth Science Review*, **98**: 1–37.
- Patterson, D. J. 1999. The diversity of eukaryotes. *American Naturalist*, 154: S96-S124
- Perch-Nielsen, K. 1977a. Albian to Pleistocene Calcareous Nannofossils from the Western South Atlantic, DSDP Leg 39. *DSDP Initial Reports*, **39**:699-823.
- Perch-Nielsen, K. 1977b. Tertiary Silicoflagellates and other siliceous microfossils from the Western South Atlantic, Deep Sea Drilling Project, Leg 39. *DSDP Initial Reports*, **39**:863-867.
- Perch-Nielsen, K. 1977c. Synthesis of the Leg 39 biostratigraphy (Central and South Atlantic). *DSDP Initial Reports*, **39**:1081-1098.
- Perch-Nielsen, K.; Supko, P.R.; Boersma, A.; Carlson, R.L.; Dinkelman, M.G.; Fodor, R.V.; Kumar, N.; McCoy, F.; Thiede, J. & Zimmerman, H.B. 1977. Site 356: São Paulo Plateau. *DSDP Initial Reports*, **39**:141-230.
- Renaudie, J.; Danelian, T.; Martin, S.S.; Callonnec, L.L. & Tribovillard, N. 2010. Siliceous phytoplankton response to a Middle Eocene warming event recorded in the tropical Atlantic (Demerara Rise, ODP Site 1260A). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, **286**:121–134.
- Rickert, D.; Schlüter, M. & Wallmann, K. 2002. Dissolution kinetics of biogenic silica from the water column to the sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **66(3)**: 439-455.

- Riisberg, I.; Orr, R.J.S; Kluge, R.; Shalchian-Tabrizi, K.; Bowers, H.A.; Patil, V.; Edvardsen, B. & Jakobsen, K.S. 2009. Seven gene phylogeny of heterokonts. *Protist*, 160(2): 191–204
- Round, F.E., Crawford, R.M. & Mann, D.G. 1990. *The Diatoms - biology&morphology of the genera*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Sanfilippo, A. & Nigrini, C. 1998. Code numbers for Cenozoic low latitude radiolarian biostratigraphic zones and GPTS conversion tables. *Marine Micropaleontology*, 33:109-156.
- Sims, Patricia A.; Mann, David G. & Medlin, Linda K. 2006. Evolution of the diatoms: insights from fossil, biological and molecular data. *Phycologia*, V. 45 (4), 361–402.
- Supko, P.R. & Perch-Nielsen, K. 1977. General synthesis of Central and South Atlantic drilling results, Leg 39, Deep Sea Drilling Project. *DSDP Initial Reports*, 39:1099-1131.
- Whittaker, R. H. & Margulis, L. 1978. Protist classification and the kingdoms of organisms. *Biosystems*, 10: 3–18.

8. DOCUMENTAÇÃO REFERENTE AO ARTIGO

 **João Carlos Coimbra** joao.coimbra@ufrgs.br 4 nov (13 dias atrás) ☆  

para gersonf, carlosev, mim ▾

Cara Carina

Acuso o recebimento do MS intitulado PALEOGENE DIATOMS FROM THE SAO PAULO PLATEAU (DSDP Leg 39, Site 356), da autoria de Paier, Vieira & Fauth. Em tempo oportuno entraremos novamente em contato.

Att.
JCCoimbra
RBP

Citando Carina Paier <carinapaier@gmail.com>:


Dr. João Carlos Coimbra
UFRGS/IGEO/DPE
Campus do Vale, Bairro Agronomia
Cx.P. 15001, CEP. 91501-970
Porto Alegre, RS
Brasil
www.ufrgs.br/microfosseis

"Aprendi que um homem só tem o direito de olhar um outro de cima para baixo para ajudá-lo a levantar-se." Gabriel García Marques

"Quem não sabe o que procura, não percebe quando encontra." Irajá Damiani Pinto