

Radiolários do Cretáceo e Paleógeno nas bacias da margem continental brasileira: importância bioestratigráfica e aspectos diagenéticos

Cretaceous and Paleogene radiolarians from the Brazilian continental margin basins: biostratigraphical importance and diagenetic aspects

Valesca Maria Portilla Eilert | Marta Claudia Viviers | Thays de Souza Lima Fidalgo | Nadia Zélia Gomes Passos | João Graciano Mendonça Filho

resumo

Associações de radiolários do Cretáceo e Paleógeno foram reconhecidas pelo estudo de amostras provenientes de 19 poços exploratórios perfurados nas bacias de Pelotas, Santos, Campos, Espírito Santo, Mucuri e Sergipe. A distribuição dos radiolários ao longo das seções dos poços não é contínua, alternando-se intervalos muito ricos com outros mais pobres. A análise sistemática permitiu identificar representantes de três ordens, 40 famílias, 109 gêneros e 281 espécies. Dentre as espécies identificadas, foi possível reconhecer importantes táxons guias dos diversos andares do Cretáceo médio ao Superior (Aptiano-Maastrichtiano), bem como do Paleógeno (Paleoceno-Eoceno). A análise da distribuição estratigráfica dos táxons possibilitou a identificação de bioeventos, especialmente as primeiras e últimas ocorrências, que serviram de base para o reconhecimento das biozonas internacionais.

Similaridade faunística foi observada com elementos das associações cretáceas da Califórnia (Estados Unidos), Norte dos Montes Apeninos (Itália),

Cordilheira Bética (Espanha) e Plataforma Russa. As espécies do Paleógeno foram comparadas a elementos típicos das associações encontradas em sedimentos de regiões tropicais, tais como no Golfo do México, na Região Oriental de Cuba, nos mares do Caribe, nas Filipinas, na Região Central do Oceano Índico, no Pacífico Oriental e no Atlântico Norte Oriental e Ocidental. Diversos bioeventos significativos, identificados nos poços estudados, permitiram a correlação das associações das bacias brasileiras com o zoneamento padrão do Cretáceo e Paleógeno estabelecido para regiões de baixas e médias latitudes.

Esta pesquisa reporta parte dos resultados obtidos ao longo do desenvolvimento do projeto integrante da Rede de Micropaleontologia Aplicada: Projeto Radiolários - Prorad (Radiolários da Margem Continental Brasileira. Bioestratigrafia de alta resolução do Albiano ao Paleógeno), executado através de convênio entre a Petrobras e a Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ).

Palavras-chave: radiolários | Cretáceo | Paleógeno | bacias sedimentares brasileiras

abstract

Cretaceous to Paleogene radiolarian assemblages have been recognized through the study of samples from 19 exploratory wells drilled in the eastern Brazilian continental margin, in Pelotas, Santos, Campos, Espírito Santo, Mucuri and Sergipe basins. The distribution of radiolarians along the wells is discontinuous, with intervals showing an expressive number of specimens and others with low numbers. The systematical analysis permitted to identify three orders, 40 families, 108 genera and 281 infra-generic taxa. Among the identified species it was possible to recognize important index-fossils of the different stages from the mid to Upper Cretaceous (Aptian-Maastrichtian), as well as from the Paleogene (Paleocene-Eocene).

The analysis of the stratigraphical distribution of taxa made it possible to identify the bioevents, specially the first and last occurrences of taxa that represented the basis for the recognition of the international biozones.

Faunistic similarities were observed with cretaceous assemblages elements from California (United States), north of the Apeninnes Mountains (Italy), Betic Cordillera (Spain) and Russian Platform. The Paleogene species were compared to typical elements from the assemblages found in sediments from the tropical regions in the Gulf of Mexico, in the western region of Cuba, in the Caribbean Sea, in the Phillipines, in the central region of the Indian Ocean, in the eastern Pacific and in the eastern and western North Atlantic. Several bioevents identified in the studied wells permitted the correlation of the brazilian basins assemblages with the Cretaceous to Paleogene standard zonation established to low and middle latitude regions.

This survey reports part of the results obtained during the development of the project integrant of the Applied Micropaleontology Network: Projeto Radiolários - Prorad (Radiolarians from the Brazilian continental margin. High resolution biostratigraphy of the Albian to the Paleogene) - carried out through an agreement between Petrobras and UFRJ.

(Expanded abstract available at the end of the paper).

Keywords: radiolarians | Cretaceous | Paleogene | brazilian sedimentary basins

introdução

Em função da exploração petrolífera em áreas de águas profundas e ultraprofundas, poços perfurados nas regiões mais distais das bacias brasileiras passaram a revelar a ocorrência de radiolários abundantes e relativamente bem preservados. Estes microfósseis são reconhecidos no registro fóssilífero pelo seu endoesqueleto constituído por sílica amorfa hidratada (opala). Devido a sua composição química silicosa, os esqueletos preservam-se até mesmo em grandes profundidades, onde muitos grupos de microfósseis de carapaça calcária encontram-se alterados ou mesmo ausentes. Esta peculiaridade gerou o recente interesse pelo aprofundamento do estudo dos radiolários, que se constitui em importante ferramenta para estudos geológicos.

Pesquisas acadêmicas desenvolvidas no Brasil, apresentando estudos taxonômicos detalhados de radiolários, foram realizadas principalmente com material proveniente da Bacia de Pelotas no intervalo Pleistoceno-Holoceno (Kotzian, 1984; Kotzian e Eilert, 1985; Eilert, 1985; Kotzian *et al.*, 1987; Eilert, 1988). Investigações de caráter mais aplicado foram realizadas no Cretáceo médio da Bacia de Campos (Kotzian e Eilert, 1987) e em diversas outras bacias brasileiras, conforme posteriormente compilado por Eilert (2001a) e Eilert *et al.* (2004).

O conhecimento mais detalhado dos radiolários nas bacias brasileiras, assim como a aplicação deste conhecimento em outros campos de estudo, vem sendo realizado mais efetivamente nos últimos anos (Eilert, 2001b; Eilert *et al.*, 2007, 2008; Fidalgo, 2009; Fidalgo *et al.*, 2009; Eilert *et al.*, 2010; Eilert *et al.*, 2011).

Este trabalho apresenta parte dos resultados já obtidos em relação à sistemática das espécies de radiolários, à avaliação preliminar do grau de preservação dos seus esqueletos e sua aplicação no estudo de reservatórios, a sua distribuição estratigráfica e a correlação com as biozonas internacionais, visando aplicar a bioestratigrafia de radiolários ao refinamento estratigráfico do Cretáceo e Paleógeno nas bacias da margem continental brasileira.

material e área de estudo

O material estudado é proveniente de 19 poços perfurados na margem continental brasileira (fig. 1;

tabela 1), abrangendo, de Sul para Norte, as bacias de Pelotas (Formação Imbé), Santos (formações Guarujá, Carapebus, Outeiro, Imbetiba), Espírito Santo (formações Urucutuca, Regência, São Mateus, Mariricu), Mucuri (Formação Urucutuca) e Sergipe (Formação Riachuelo). Itanhaém, Itajaí-Açu e Marambaia), Campos (formações

Bacia	Código do Poço	Tipo de amostra	Intervalo Prof. (m)	Nº de amostras	Intervalo Estratigráfico
Sergipe	Poço 5	Testemunho 1	1193,90-1177,30	51	Albiano Médio
		Testemunho 2	1214,90-1194,30	32	
		Testemunho 3	1214,90-1212,30	9	
Mucuri	Poço 6	Testemunho	1119,65-1107,55	13	Sem registro de radiolários
		Calha	1395-1000	42	Paleoceno Superior
Espírito Santo	Poço 9	Amostra lateral	3155-3089	6	Eoceno Médio
	Poço 10	Calha	3330-3180	23	Paleoceno Superior
	Poço 11	Calha	3801-2901	101	Campaniano - Eoceno
	Poço 15	Calha/seção A	2352-2091	30	Eoceno Inferior
		Calha/seção B	2913-2361	55	Aptiano(?) - Albiano
Poço 20	Calha	3399-3201	23	Eoceno Inferior - Eoceno Superior	
Campos	Poço 8	Calha	5400-4401	112	Albiano Superior - Campaniano
Santos	Poço 1	Calha	2469-2301	48	Eoceno Médio
		Testemunho	2356,97-2351,30	20	Eoceno Inferior
	Poço 2	Calha	4764-4263	43	Albiano - Cenomaniano
	Poço 3	Calha	4410-3807	184	Albiano - Campaniano
	Poço 4	Testemunho 1	2390,45-2385,77	23	Eoceno Inferior
		Testemunho 2	2403,35-2394,92	13	
	Poço 7	Calha	4995-4050	106	Albiano Médio - Superior
	Poço 13	Calha	4707-4617 / 4005-3492	69	Cretáceo (Coniaciano - Campaniano)
	Poço 14	Calha	3654-2799	96	Cretáceo (Albiano - Maastrichtiano)
	Poço 16	Calha	5454-5301	18	Albiano Médio
	Poço 17	Calha	4100-2200	187	Cretáceo - Paleógeno
Poço 19	Calha	4500-4000	27	Albiano - Turoniano	
Pelotas	Poço 12	Calha/seção A	3804-3102	79	Paleoceno Inferior
		Calha/seção B	3093-2400	78	
		Calha/seção C	4008-3801	24	

Tabela 1
Poços estudados.

Table 1
Studied wells.

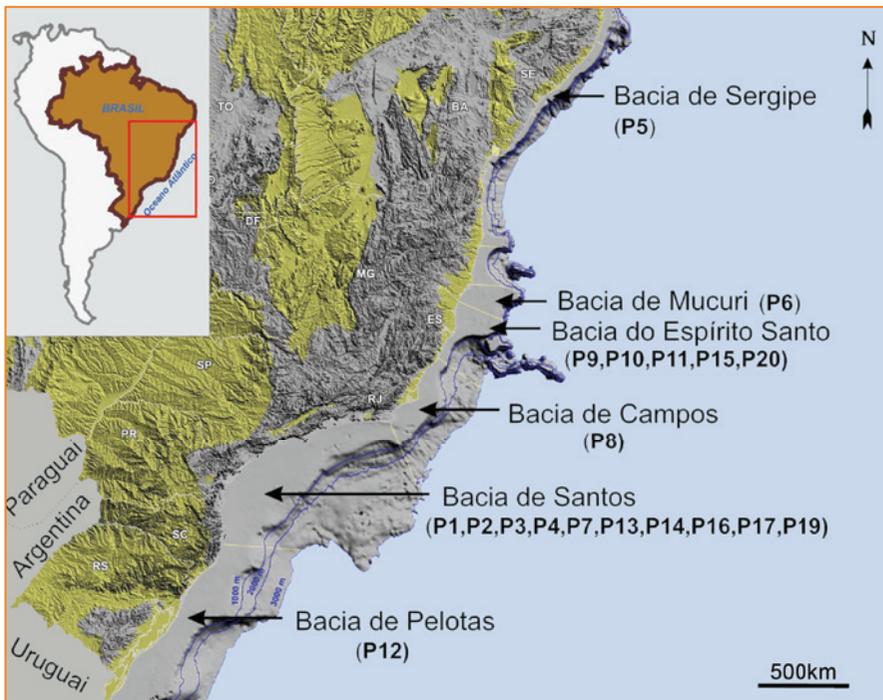


Figura 1
Mapa de localização das bacias e dos poços estudados.

Figure 1
Location map of the basins and the studied wells.

Descrição detalhada das características geológicas das bacias estudadas pode ser encontrada em Bueno *et al.* (2007) - Bacia de Pelotas; Moreira (2007) - Bacia de Santos; Winter *et al.* (2007) - Bacia de Campos; França *et al.* (2007b) - Bacia do Espírito Santo; França *et al.* (2007a) - Bacia de Mucuri e Campos Neto *et al.* (2007) - Bacia de Sergipe-Alagoas.

metodologia

Os esqueletos dos radiolários foram extraídos das amostras por meio de processamento químico, que consistiu na desagregação do material e na liberação dos esqueletos da matriz de rocha. O procedimento variou em função da composição mineralógica, do grau de litificação e da natureza do cimento das amostras.

Cada amostra foi retirada com peso de 50g e dividida em duas subamostras: uma submetida ao processamento químico e a outra arquivada para uso em caso de eventual perda de material ou para análises complementares. A técnica padrão de processamento químico, adotada de acordo com as características das amostras (Sanfilippo e Riedel, 1989 e Sanfilippo *et al.*, 1989), utilizou basicamente os seguintes reagentes: 1) peróxido de hidrogênio - para a eliminação da matéria orgânica; 2) ácido clorídrico - para a eliminação da fração carbonática e 3) hexametáfosfato de sódio - que

atua como defloculante, auxiliando na eliminação das argilas que aderem ou preenchem os esqueletos.

Após cessar cada reação, a amostra é lavada em água corrente em peneira com abertura de malha de 0,044mm. Ao final de todo o processo, o resíduo da preparação de cada amostra é seco em estufa e acondicionado em pequenos frascos etiquetados até o início do processo de triagem dos exemplares.

A triagem consiste no isolamento manual dos esqueletos do resíduo final da preparação, sendo habitualmente triados 300 espécimes por amostra. Pela observação em lupa binocular, é possível identificar os radiolários, retirá-los com auxílio de um pincel de cerdas muito finas e colocá-los em células micropaleontológicas, onde são agrupados os morfotipos semelhantes presentes em cada amostra, iniciando assim a primeira etapa para a identificação das espécies.

Com a finalidade de ilustrar os táxons identificados e auxiliar na identificação das espécies, foram obtidas fotomicrografias em microscopia eletrônica de varredura (MEV).

preservação e diagênese

O estudo sobre a preservação dos esqueletos dos radiolários contribui para o conhecimento dos processos diagenéticos que atuaram nas rochas hospedeiras apresentando, portanto, grande importância para o reconhecimento de fatores que influenciaram o grau de porosidade e permeabilidade das rochas associadas (Thurrow, 1988).

A maioria dos radiolários encontrados como fósseis pertence à superordem Polycystina (De Wever *et al.*, 2001), que apresenta o melhor potencial de preservação por possuir esqueletos formados exclusivamente por sílica amorfa hidratada – opala. A opala é instável sob determinadas condições ambientais e pode ser substituída nos esqueletos dos radiolários por outros minerais, tais como: calcita, pirita, dolomita, esmectita, zeólitas e outros com maior estabilidade química, atuando, assim, na sua preservação. A sílica amorfa biogênica dos esqueletos dos radiolários também pode ser recristalizada, passando por diversos graus de cristalinidade até atingir a fase mais estável (calcedônia/quartzo) durante o processo diagenético (De Weaver *et al.*, 1994).

Com o objetivo de reconhecer os diferentes graus de preservação dos esqueletos e identificar as

possíveis alterações diagenéticas, foram realizadas análises em microscopia óptica estereoscópica em MEV e em EDS (análise por energia dispersiva de raios X). Estas análises possibilitaram avaliar os processos físicos e químicos, respectivamente, responsáveis pelas alterações observadas nos esqueletos dos radiolários que futuramente poderão ser utilizados para interpretar os processos que influenciam a porosidade e a permeabilidade das rochas-reservatório.

Inicialmente, utilizando-se o critério de análise visual em microscopia estereoscópica, foram identificadas cinco categorias de preservação: boa, moderada a boa, moderada, ruim a moderada e ruim, segundo os critérios descritos abaixo e exemplificados na figura 2 e tabela 2.

1º) preservação boa: o aspecto “translúcido” foi identificado como indício de boa preservação, pela possibilidade de observação nítida das

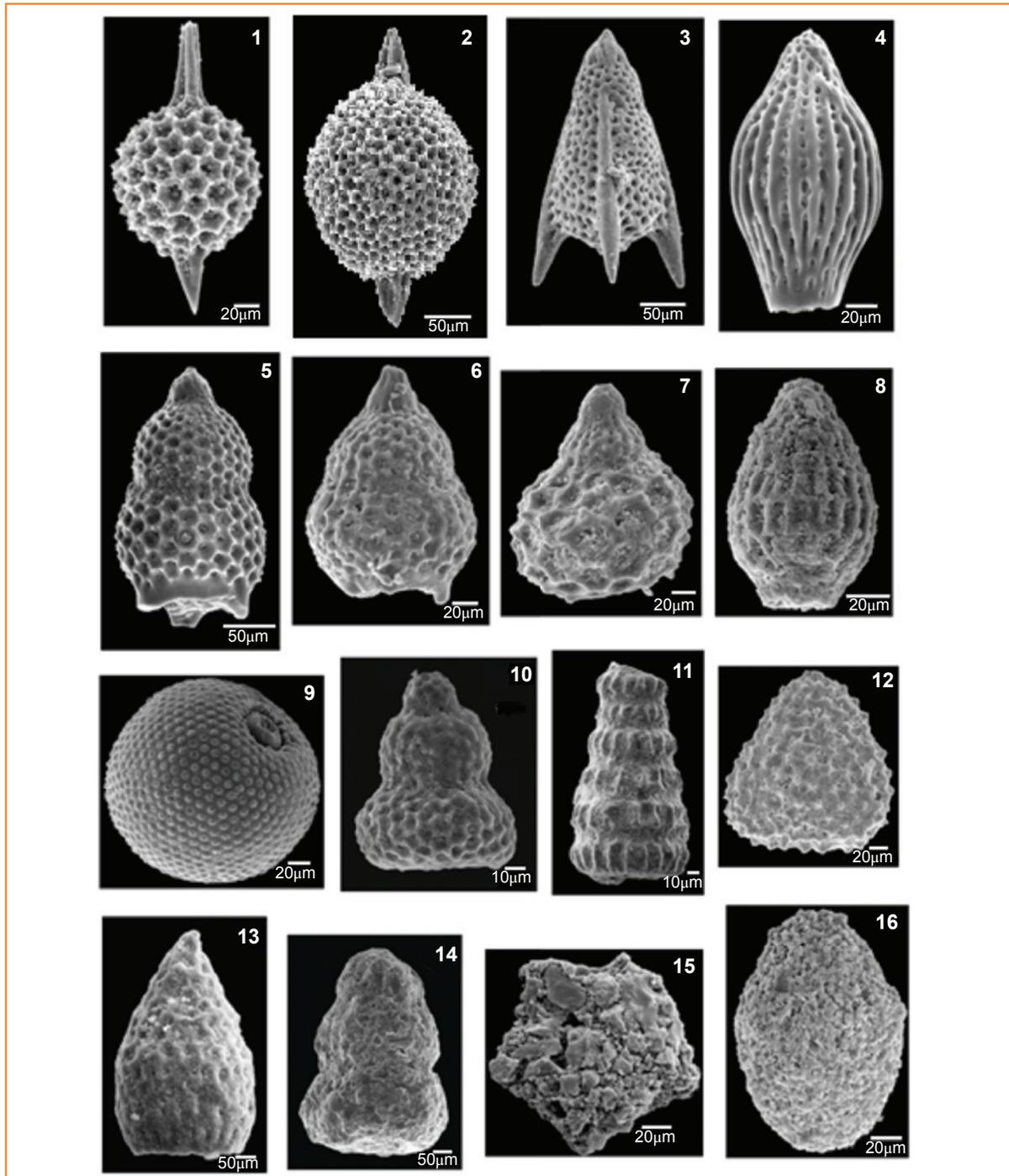


Figura 2

Graus de preservação dos esqueletos dos radiolários - forma visual. Preservação boa: 1 - poço 4 (T1); 2 e 3 - poço 4 (T2); 4 e 5 - poço 1 (calha). Preservação moderada a boa: 6 - poço 1 (calha); 7 - poço 1(T1). Preservação moderada: 8 - poço 5 (T1); 9 - poço 7 (calha); 10 - poço 11 (calha). Preservação ruim a moderada: 11 - poço 13 (calha); 12 - poço 3 (calha); 13 - poço 12 (calha). Preservação ruim: 14 - poço 16 (calha); 15 e 16 - poço 5 (T3). Fotos: 1-7, 9, 11, 12, 14 (Bacia de Santos); 8, 15, 16 (Bacia de Sergipe); 10 (Bacia do Espírito Santo) e Foto 13 (Bacia de Pelotas).

Figure 2

Radiolarian skeleton preservation rate - visual form - Good preservation: 1 - well 4 (T1); 2-3 - well 4 (T2); 4-5 - well 1 (cutting). Good to moderate preservation: 6 - well 1 (cutting); 7 - well 1 (T1). Moderate preservation: 8 - well 5 (T1); 9 - well 7 (cutting); 10 - well 11 (cutting). Moderate to bad preservation: 11 - well 13 (cutting); 12 - well 3 (cutting); 13 - well 12 (cutting). Bad preservation: 14 - well 16 (cutting); 15-16 - well 5 (T3). Photos: 1-7, 9, 11, 12, 14 (Santos Basin); 8, 15, 16 (Sergipe Basin); 10 (Espírito Santo Basin) and 13 (Pelotas Basin).

Tabela 2

Avaliação do grau de preservação dos esqueletos de radiolários nos poços analisados.

Table 2

Evaluation of the radiolarian skeleton preservation rate in the studied wells.

Avaliação visual da preservação (predominante)	Bacia	Código do Poço	Poço (tipo)
Boa	Santos	Poço 4	Testemunho 1
			Testemunho 2
	Espírito Santo	Poço 9	Amostra lateral
Moderada a Boa	Espírito Santo	Poço 15	Calha/seção A
	Santos	Poço 1	Calha
		Poço 1	Testemunho
		Poço 17	Calha
Moderada	Sergipe	Poço 5	Testemunho 1
			Testemunho 2
	Mucuri	Poço 6	Calha
	Espírito Santo	Poço 11	
	Campos	Poço 8	
	Santos	Poço 7	
Pelotas	Poço 12	Calha/seção A	
Ruim a Moderada	Espírito Santo	Poço 10	Calha
		Poço 15	Calha/ Seção B
		Poço 20	Calha
	Santos	Poço 2	
		Poço 3	
		Poço 13	
		Poço 14	
		Poço 16	
	Poço 19		
	Pelotas	Poço 12	Calha/seção B
		Calha/seção C	
Ruim	Sergipe	Poço 5	Testemunho 3
Sem registro de radiolários	Mucuri	Poço 6	Testemunho

características morfológicas do esqueleto. Essa preservação pode estar relacionada a esqueletos não alterados ou a um processo diagenético de recristalização;

2º) preservação moderada a boa: o aspecto transicional entre exemplares mostra esqueletos bem preservados com aspecto translúcido, mas com sinais iniciais de alteração. Essa preservação pode estar relacionada a um processo de recristalização ou substituição;

3º) preservação moderada: aspecto “leitoso/porcelanoso” do esqueleto que mantém a

forma externa, porém, sem estruturas morfológicas visíveis. A preservação pode estar relacionada tanto a um processo de substituição quanto a recristalização;

4º) preservação ruim a moderada: aspecto transicional entre exemplares moderadamente preservados, com características morfológicas externas pouco identificáveis e espécimes com elementos da morfologia básica praticamente não reconhecíveis;

5º) preservação ruim: o aspecto “grosso/ru-goso/açucarado/aglutinado” foi identificado

como indício de preservação ruim, quando as estruturas morfológicas do esqueleto não são reconhecidas, podendo esta preservação estar relacionada à substituição por outros compostos químicos diferentes de sílica, tais como CaCO_3 (calcita), FeS_2 (pirita) e etc.

Posteriormente foram realizadas análises em MEV e EDS (Fidalgo, 2009; Fidalgo *et al.*, 2009) que revelaram os seguintes tipos de alteração dos esqueletos: (1) dissolução parcial e total dos esqueletos, evidenciada pela preservação na forma de moldes internos; (2) deformação dos esqueletos, evidenciada pela ocorrência de exemplares achatados; (3) registro de

substituição parcial por pirita e (4) recristalização, evidenciada pelas altas porcentagens peso de SiO_2 e sendo o processo diagenético mais observado na maior parte dos exemplares.

dissolução parcial e total e deformação dos esqueletos

Exemplares preservados na forma de moldes internos (esqueleto original dissolvido) e alguns indivíduos com esqueleto mecanicamente deformado foram identificados no material estudado (fig. 3).

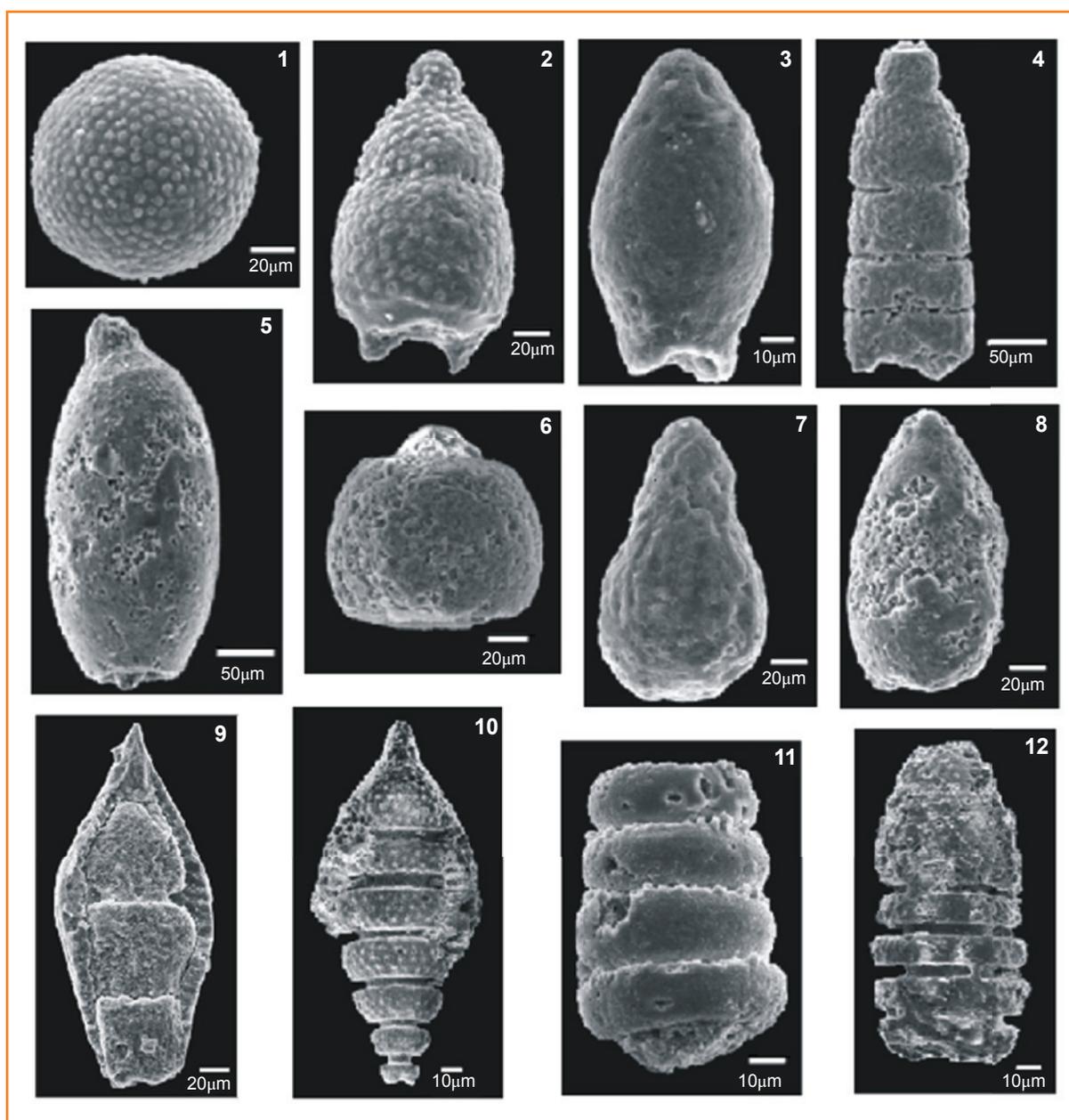


Figura 3

Exemplares preservados na forma de moldes internos: 1-4 - Poço 11; 5-8 - Poço 12; 9 - Poço 15; 10 e 11 - Poço 19; 12 - Poço 20. Fotos: 1-4, 9, 12 (Bacia do Espírito Santo); 5-8 (Bacia de Pelotas); 10 e 11 (Bacia de Santos).

Figure 3

Preservation as internal casts: 1-4 - well 11; 5-8 - well 12; 9 - well 15; 10-11 - well 19; 12 - well 20. Photos: 1-4, 9, 12 (Espírito Santo Basin); 5-8 (Pelotas Basin); 10 and 11 (Santos Basin).

substituição mineralógica

Alguns esqueletos apresentaram registro da presença dos elementos Al, Ca, C, Fe, Mg, Na, Mn, K, Cl, S e Ti identificados nas análises em EDS, embora com valores baixos. A presença dos elementos Mg, Ca, Na, Al e K como elementos-traço na composição original das paredes dos esqueletos dos radiolários já é conhecida na literatura. Entretanto, outra interpretação para a presença desses elementos químicos seja, possivelmente, devido à contaminação por argilominerais, que não foram totalmente eliminados durante a preparação das amostras. Nestes indivíduos, o elemento presente em maior concentração é o silício.

Foi identificada uma alta concentração de FeS_2 em um dos exemplares analisados, indicando uma possível substituição (fig. 4). O resultado dessa análise foi comprovado pela observação de estruturas com a morfologia de pirita framboidal, como observado em detalhe na figura 5.

As áreas 1 e 2 selecionadas na fotomicrografia, sendo visualmente diferentes, indicam os locais microanalisados por EDS, cujos dois espectros evidenciam um alto pico de porcentagem de peso

de Si e picos menores de S, Al, Mg, Fe, Na, C, O, K e Cl. A primeira tabela composicional apresenta o O e o Si com maiores percentuais de peso atômico (49,71% e 16,87%, respectivos ao ponto 1 e 50,05% e 37,32%, respectivos ao ponto 2). A segunda tabela confirma a maior taxa percentual de SiO_2 , respectivamente 36,09% e 79,84% nos pontos 1 e 2. Porém, ao observar em particular o espectro da área 1 (visualmente mais clara que a outra área), foi notada alta taxa de S e Fe, cujas tabelas composicionais percentual de peso do S e Fe são respectivamente 13,28% e 11,78% e o percentual dos compostos químicos são 33,17% para SO_3 e 6,85% para Fe_2O_3 . De acordo com essas análises, é provável que uma substituição parcial por pirita tenha ocorrido no esqueleto do radiolário.

recristalização

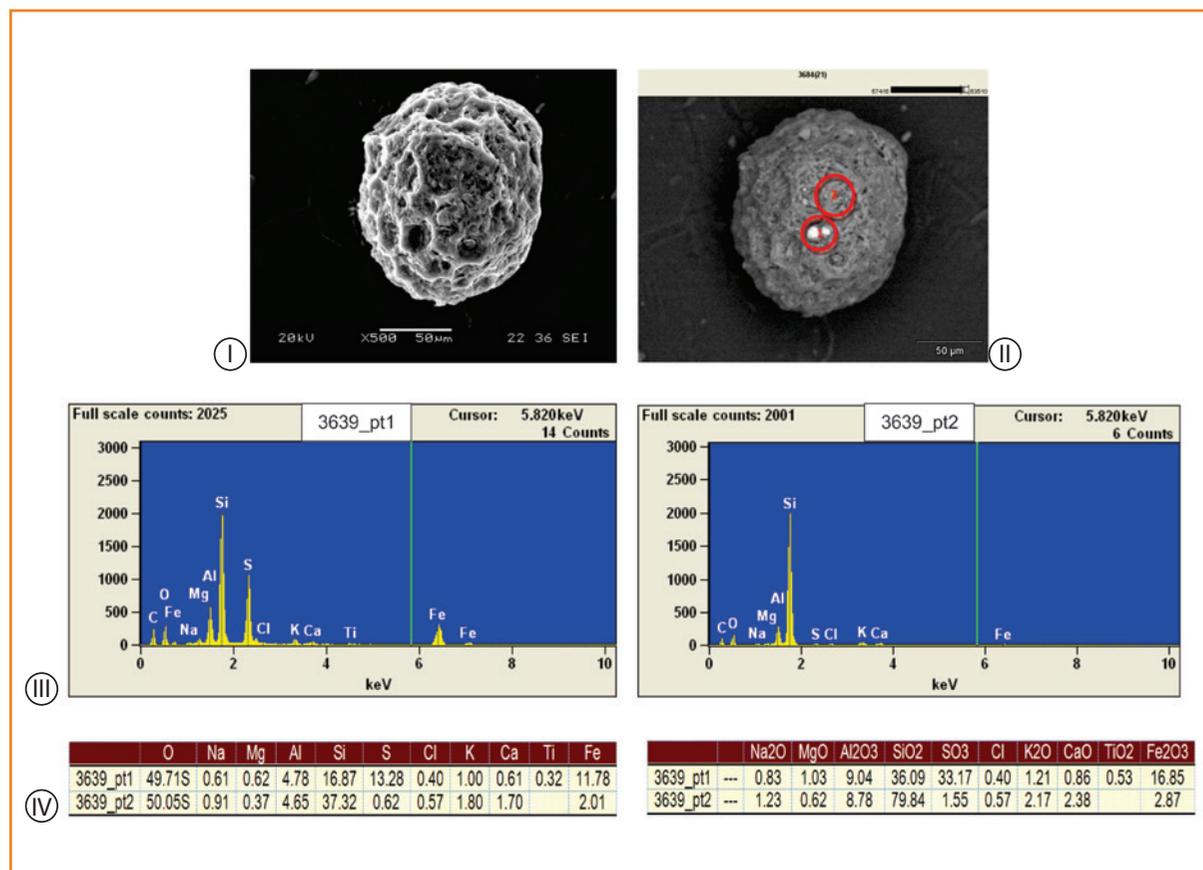
O processo diagenético identificado na maior parte dos exemplares analisados (figs. 6 e 7) foi a recristalização, identificada pelas altas taxas de silício registradas nos espectrogramas e pelas altas taxas de peso de SiO_2 . Possivelmente, são indícios

Figura 4

Fotomicrografia do exemplar de radiolário em (I) imagem por elétrons secundários (SE), (II) elétrons retroespalhados (BSE), (III) espectros das áreas 1 e 2 e (IV) tabelas com porcentagem de peso de cada elemento químico e compostos químicos, respectivamente.

Figure 4

Radiolarian photomicrography - (I) secondary electrons image (SE), (II) backscattered electrons (BSE), (III) spectra of the 1 and 2 areas and (IV) tables with weight percentage of each chemical elements and chemical compounds, respectively.



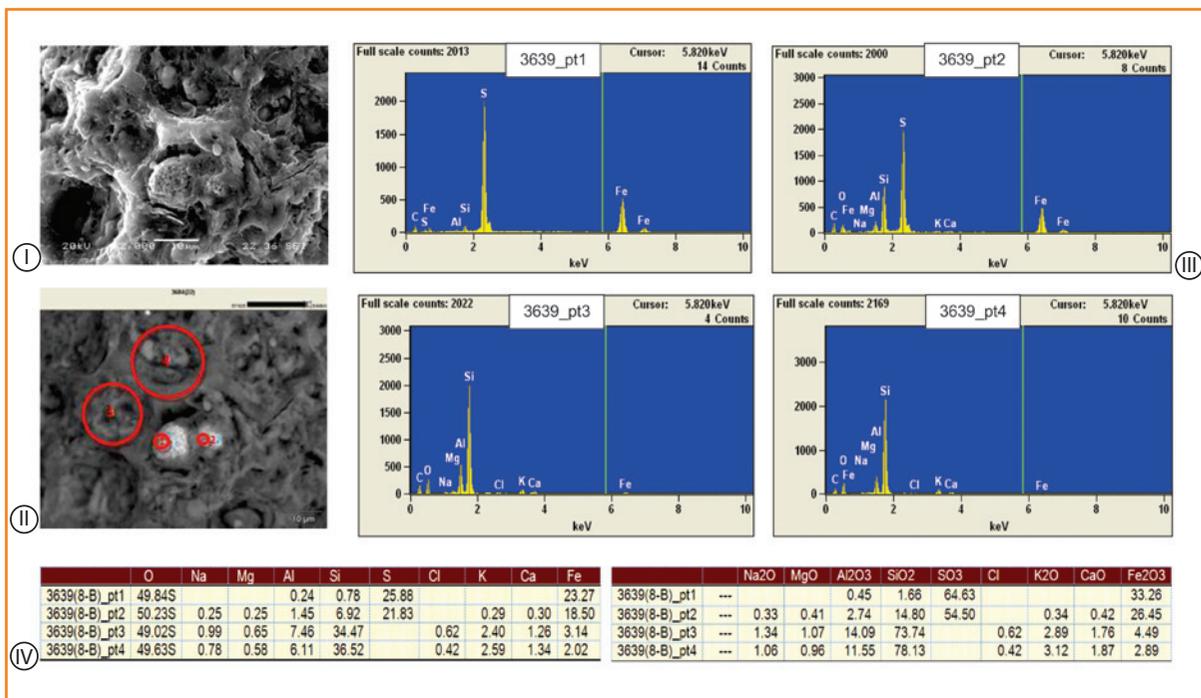


Figura 5
Fotomicrografia, em detalhe, do exemplar de radiolário anterior em (I) imagem por elétrons secundários (SE), (II) elétrons retroespalhados (BSE), (III) espectros das áreas 1, 2, 3 e 4 e (IV) tabelas com porcentagem de peso de cada elemento químico e compostos químicos, respectivamente.

Figure 5
Radiolarian photomicrography, detail of figure 4 - (I) secondary electrons image (SE), (II) backscattered electrons (BSE), (III) spectra of the 1, 2, 3 and 4 areas, (IV) tables with weight percentage of each chemical elements and chemical compounds, respectively.

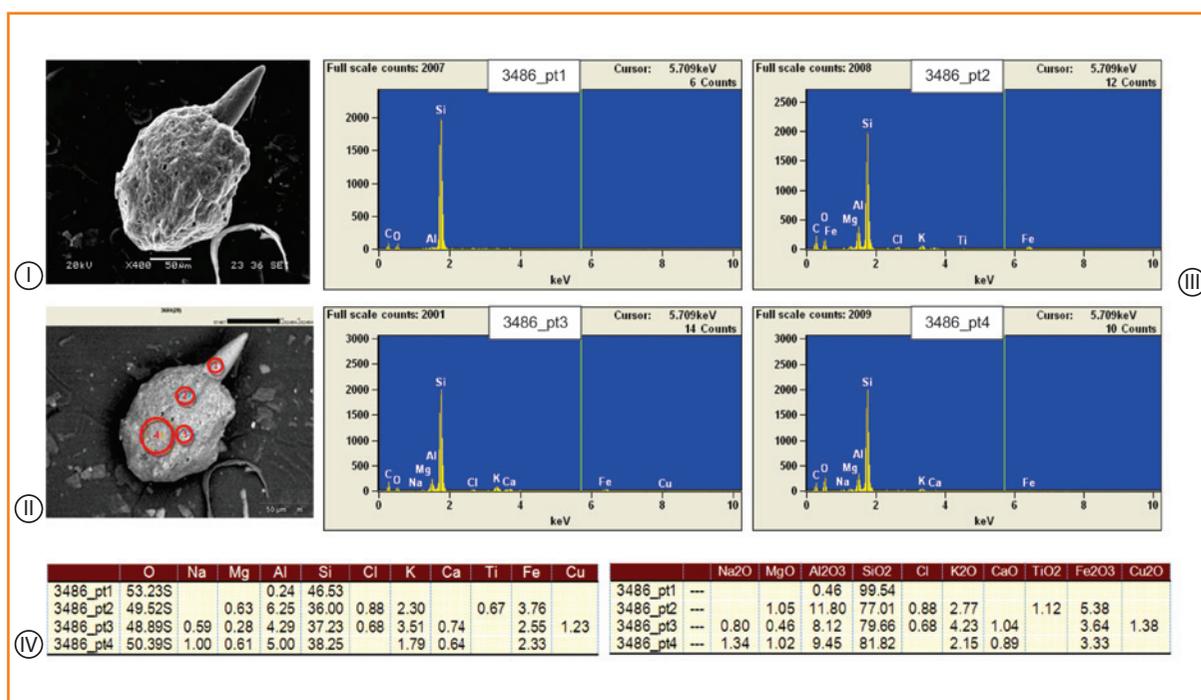


Figura 6
Fotomicrografia do exemplar de radiolário em (I) imagem por elétrons secundários (SE), (II) elétrons retroespalhados (BSE), (III) espectros das áreas 1, 2, 3 e 4 e (IV) tabelas com porcentagem de peso de cada elemento químico e compostos químicos, respectivamente.

Figure 6
Radiolarian photomicrography - (I) secondary electrons image (SE), (II) backscattered electrons (BSE), (III) spectra of the 1, 2, 3 and 4 areas, (IV) tables with weight percentage of each chemical elements and chemical compounds, respectively.

da passagem da sílica hidratada opala A (orgânica e hidratada) instável original para uma fase mais estável (calcedônia/quartzo), o que poderia ser confirmado a partir de análises em difratometria de raios X.

As áreas 1, 2, 3 e 4, selecionadas na fotomicrografia (visualmente diferentes), indicam os locais microanalisados por EDS cujos quatro espectros mostram um alto pico de porcentagem de peso

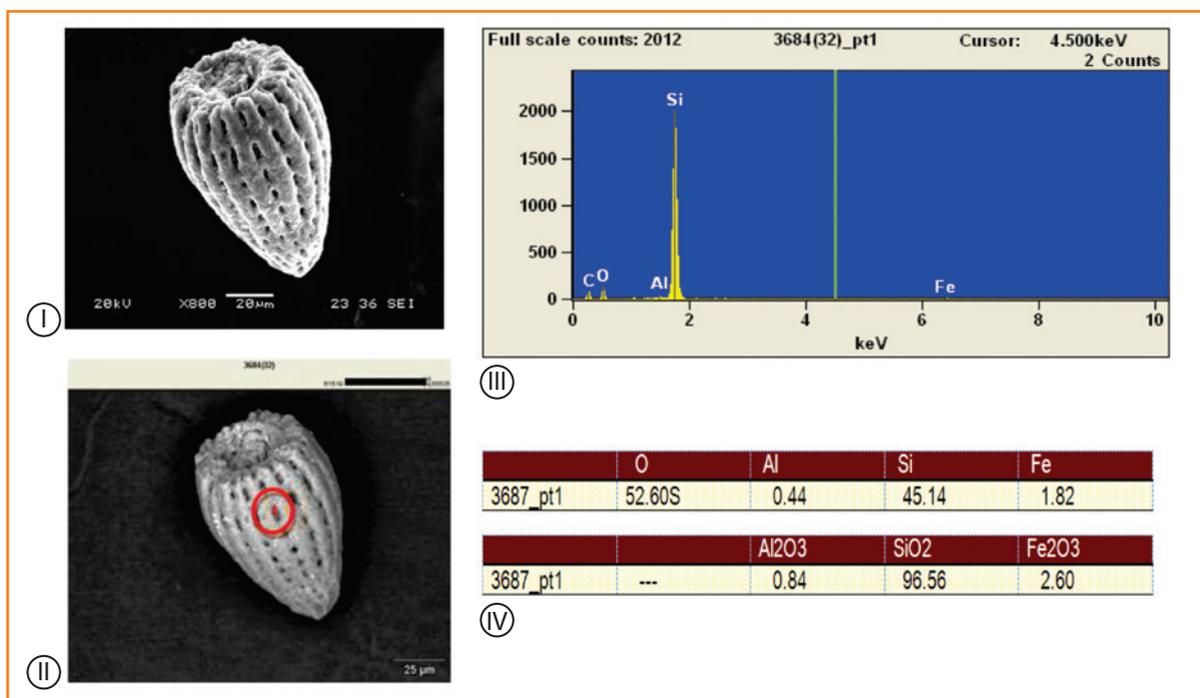
de Si e picos menores de Al, Mg, Na, C, O, K, Fe, Cl, Ti, Ca e Cu. A primeira tabela composicional apresenta o O e o Si com maiores percentuais de peso atômico (53,23% e 46,53%, respectivos ao ponto 1; 49,52% e 36,00%, respectivos ao ponto 2; 48,89% e 37,23%, respectivos ao ponto 3 e 50,39% e 38,25%, respectivos ao ponto 4). Na segunda tabela, confirma a maior taxa percentual de seu composto químico SiO₂, respectivamente

Figura 7

Fotomicrografia do exemplar de radiolário em (I) imagem por elétrons secundários (SE), (II) elétrons retroespalhados (BSE), (III) espectro da área 1 e (IV) tabela com porcentagem de peso de cada elemento químico e compostos químicos, respectivamente.

Figure 7

Radiolarian photomicrography - (I) secondary electrons image (SE), (II) backscattered electrons (BSE), (III) spectrum of the 1 area, (IV) tables with weight percentage of each chemical elements and chemical compounds, respectively.



99,54%, 77,01%, 79,66% e 81,82% nos pontos 1, 2, 3 e 4. Dessa forma, conclui-se que o esqueleto é constituído basicamente por sílica (SiO_2).

De acordo com a tabela percentual do composto químico da área 1, observa-se que o resultado da análise em EDS mostrou que 99,54% é de SiO_2 , indicando que nesse ponto o espinho está preservado e constituído quase totalmente por sílica.

A área 1, selecionada na fotomicrografia, indica o local microanalisado por EDS cujo espectro evidencia um alto pico de porcentagem de peso de Si e picos menores de Al, C, O e Fe. A primeira tabela composicional apresenta o O e o Si com maiores percentuais de peso atômico, respectivamente 52,60% e 45,14% e na segunda tabela confirma a maior taxa percentual de seu composto químico SiO_2 (96,56%). Dessa forma, conclui-se que o esqueleto é constituído basicamente por sílica (SiO_2).

De acordo com a tabela percentual do composto químico, observa-se que o resultado da análise em EDS mostrou que 96,56% é de SiO_2 , indicando que nesse ponto o esqueleto está preservado e constituído quase totalmente de sílica.

Entre os exemplares submetidos às análises de EDS, foi registrada a substituição parcial por pirita em alguns esqueletos e, na maior parte dos exemplares, o processo diagenético mais observado foi a recristalização, evidenciada pelas altas porcentagens peso de SiO_2 .

sistemática

Nos 19 poços estudados, foram registrados radiolários pertencentes a três ordens, 40 famílias e 109 gêneros, perfazendo um total de 281 espécies. A identificação dos táxons foi baseada principalmente no esquema taxonômico apresentado por De Weaver *et al.* (2001), complementado por outros trabalhos relevantes (Pessagno, 1971, 1972, 1973; Foreman, 1973, 1975; O'Dogherty, 1994; Hollis, 1997; Vishnevskaya, 2001; O'Dogherty, 2009 e O'Dogherty *et al.*, 2009). As três ordens identificadas foram: Spumellaria, Entactinaria e Nassellaria. Alguns táxons selecionados estão ilustrados nas figuras 8, 9 e 10.

bioestratigrafia

Estudos bioestratigráficos com base em radiolários do Cretáceo tiveram início na década de 1970. O surgimento do Deep Sea Drilling Project (DSDP) e o novo interesse em datar sedimentos silicosos revitalizaram as pesquisas. Estudos baseados principalmente em material cretáceo do DSDP (Moore, 1973; Riedel e Sanfilippo, 1974; Foreman, 1975),

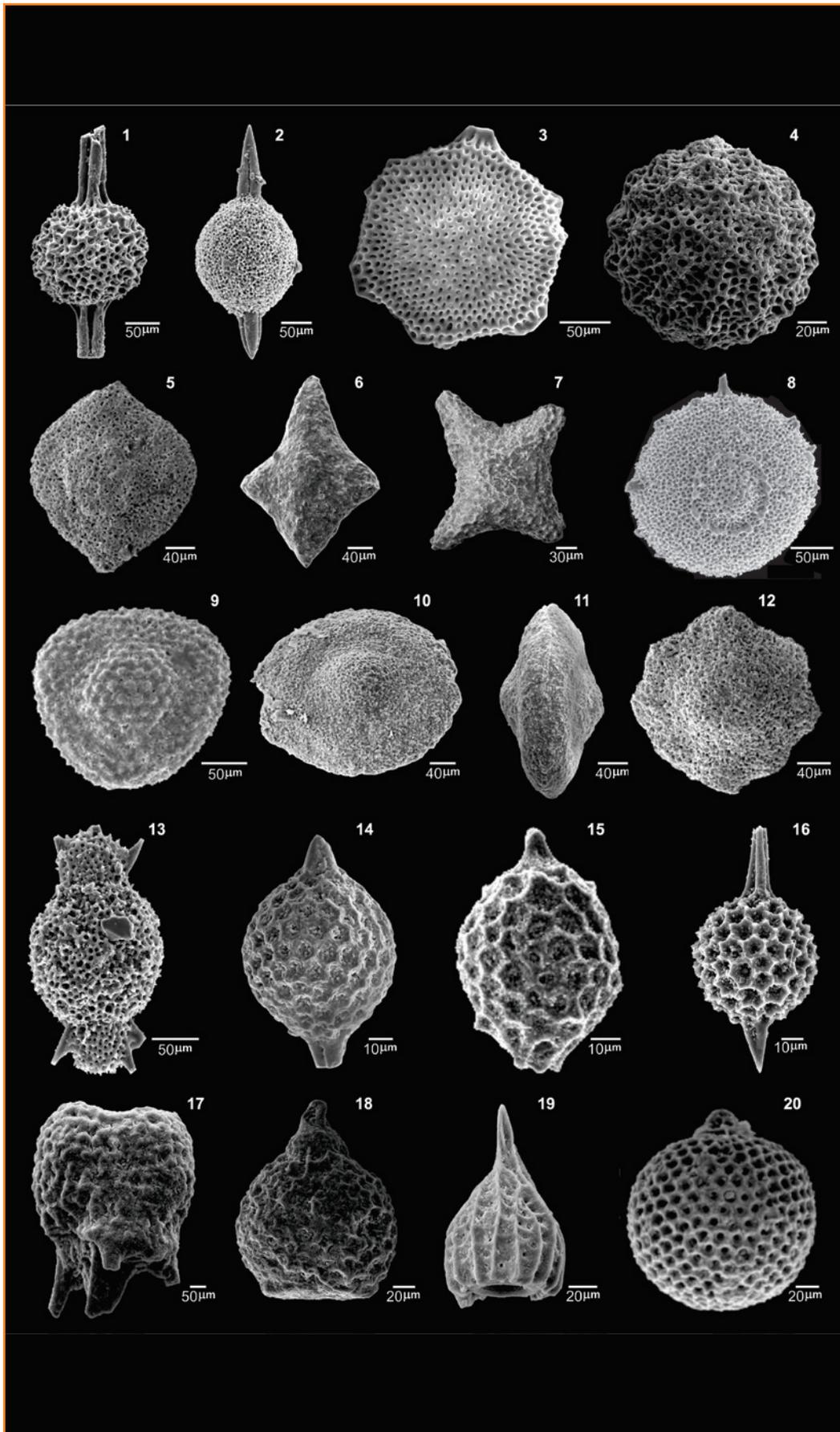


Figura 8 - 1. *Acaeniotyle umbilicata* - Poço 5 (Test.1-1181,30m), Albiano Médio; 2. *Spongatractus balbis* - Poço 4 (Test.2-2397,53m), Eoceno Inferior; 3. *Periphaena delta* - Poço 1 (2.310m), Eoceno Médio; 4. *Praenocaryomma universa* - Poço 5 (Test.1-1191,30m), Albiano médio; 5. *Dactyliosphaera lepta* - Poço 8 (4.950m), Cenomaniano; 6. *Crucella aster* - Poço 14 (3.573m), Albiano; 7. *Crucella irwini* - Poço 17 (3.310m), Campaniano; 8. *Godia pelta* - Poço 3 (3.867m), Cenomaniano (?); 9. *Pseudoaulophachus floresensis* - Poço 3 (4.017m), Campaniano; 10. *Pseudoaulophachus lenticulatus* - Poço 17 (3.460m), Campaniano; 11. *Pseudoaulophachus lenticulatus* (vista lateral) - Poço 17 (3.460m), Campaniano; 12. *Pseudoaulophachus pargueraensis* - Poço 8 (4.968m), Campaniano; 13. *Amphicraspedum murrayanum* - Poço 4 (Test.2-2397,53m), Eoceno Inferior; 14. *Amphisphaera coronata* - Poço 17 (2.550m), Eoceno Inferior; 15. *Amphisphaera kina* - Poço 12 (3.291m), Paleoceno Inferior; 16. *Amphisphaera macrosphaera* - Poço 4 (Test.2-2397,53m), Eoceno inferior; 17. *Dorcadospyris confluens* - Poço 15 (2244m), Eoceno Inferior; 18. *Rhopalosyrigium mosquensis* - Poço 5 (Test.1-1184,60m), Albiano Médio; 19. *Rhopalosyrigium* sp. - Poço 17 (3.340m), Campaniano; 20. *Cryptamphorella conara* - Poço 13 (3942m), Cretáceo médio.

Figure 8 - 1. *Acaeniotyle umbilicata* - Well 5 (Core 1-1,181.30m) Middle Albian; 2. *Spongatractus balbis* - Well 4 (Core 2-2,397.53m) Lower Eocene; 3. *Periphaena delta* - Well 1 (2.310m) Middle Eocene; 4. *Praenocaryomma universa* - Well 5 (Core 1-1,191.30m) middle Albian; 5. *Dactyliosphaera lepta* - Well 8 (4.950m) Cenomanian; 6. *Crucella aster* - Well 14 (3.573m) Albian; 7. *Crucella irwini* - Well 17 (3.310m) Campanian; 8. *Godia pelta* - Well 3 (3.867m) Cenomanian (?); 9. *Pseudoaulophachus floresensis* - Well 3 (4.017m) Campanian; 10. *Pseudoaulophachus lenticulatus* - Well 17 (3.460m) Campanian; 11. *Pseudoaulophachus lenticulatus* (vista lateral) - Well 17 (3.460m) Campanian; 12. *Pseudoaulophachus pargueraensis* - Well 8 (4.968m) Campanian; 13. *Amphicraspedum murrayanum* - Well 4 (Core 2-2,397.53m) Lower Eocene; 14. *Amphisphaera coronata* - Well 17 (2.550m) Lower Eocene; 15. *Amphisphaera kina* - Well 12 (3.291m) Lower Paleocene; 16. *Amphisphaera macrosphaera* - Well 4 (Core 2-2,397.53m) Lower Eocene; 17. *Dorcadospyris confluens* - Well 15 (2.244m) Lower Eocene; 18. *Rhopalosyrigium mosquensis* - Well 5 (Core 1-1,184.60m) Middle Albian; 19. *Rhopalosyrigium* sp. - Well 17 (3.340m) Campanian; 20. *Cryptamphorella conara* - Well 13 (3.942m) middle Cretaceous.

Figura 9 - 1. *Cryptamphorella sphaerica* - Poço 14 (3.636m), Albiano; 2. *Holocryptocanium barbui* - Poço 7 (4.599m), Albiano; 3. *Dictyoprora mongolfieri* - Poço 9 (3.119m), Eoceno Médio; 4. *Pseudotheocampe abshinnitta* - Poço 17 (2.870m), Campaniano; 5. *Theocampe salillum* - Poço 17 (3.490m), Campaniano; 6. *Theocampe urna* - Poço 17 (3.490m), Campaniano; 7. *Theocampe vollendeta* - Poço 17 (3.490m), Campaniano; 8. *Podocyrtis diamesa* - Poço 1 (2.313m), Eoceno Médio; 9. *Podocyrtis mitra* - Poço 9 (3.103m), Eoceno Médio; 10. *Podocyrtis papalis* - Poço 1 (2.301m), Eoceno Médio; 11. *Archaeodictyomitra lamellicostata* - Poço 17 (3.160m), Campaniano-Maastrichtiano (?); 12. *Dictyomitra formosa* - Poço 8 (4.545m), Campaniano; 13. *Amphipyndax pseudoconulus* - Poço 17 (3.300m), Campaniano; 14. *Amphipyndax stocki* - Poço 14 (3.411m), Albiano (?); 15. *Amphipyndax* sp. - Poço 17 (3.140m), Campaniano-Maastrichtiano (?); 16. *Amphipyndax tylotus* - Poço 14 (3.411m), Albiano (?); 17. *Squinabollum fossilis* - Poço 14 (3.402m), Albiano (?); 18. *Obeliscoites maximus* - Poço 14 (3.339m), Cenomaniano (?); 19. *Pseudodyctiomitra carpatica* - Poço 3 (4.014m), Turoniano (?); 20. *Pseudodyctiomitra pentacolaensis* - Poço 14 (3.330m), Cenomaniano (?).

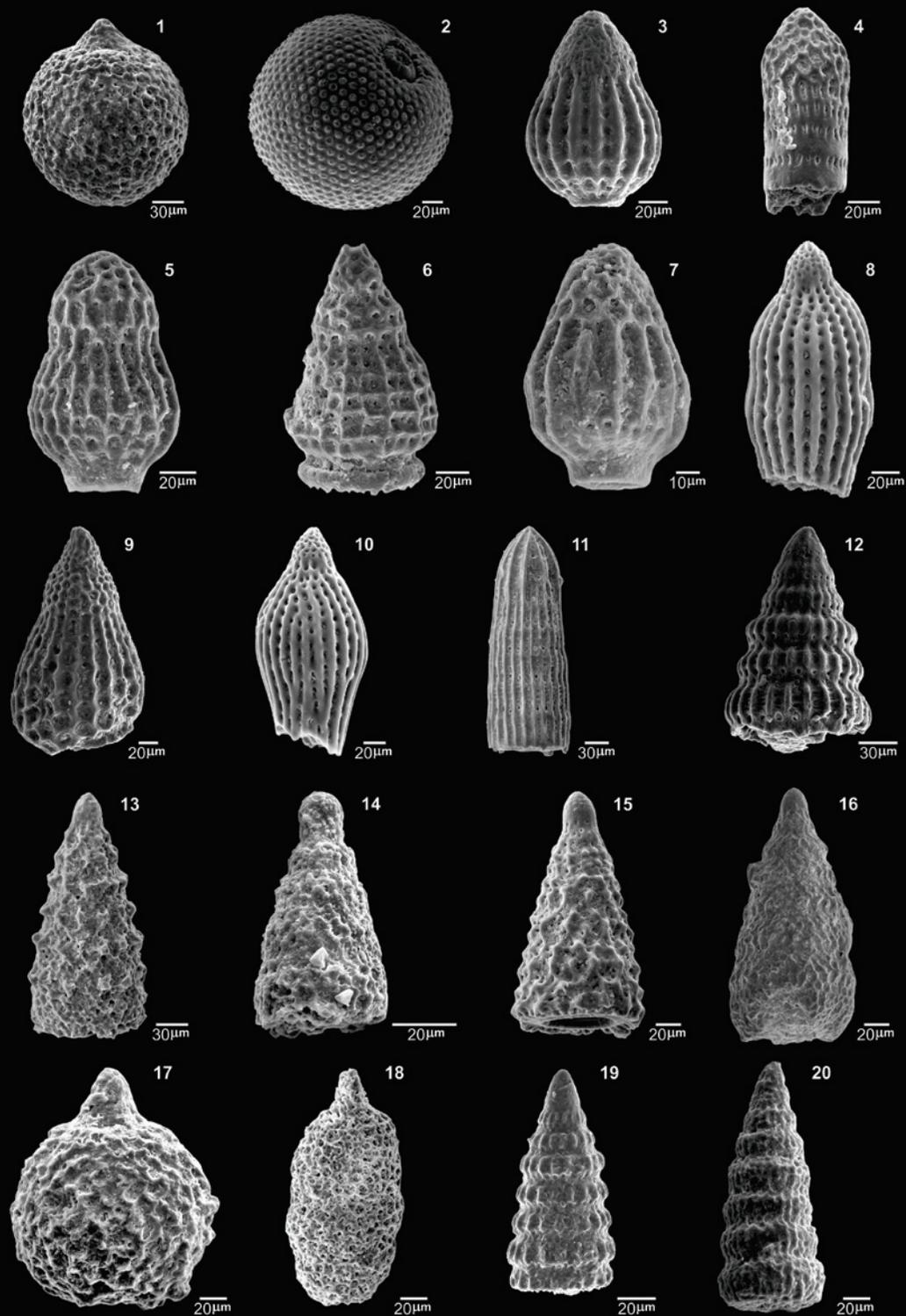


Figure 9 - 1. *Cryptamphorella sphaerica* - Well 14 (3.636m) Albian; 2. *Holocryptocanium barbui* - Well 7 (4.599m) Albian; 3. *Dictyoprora mongolfieri* - Well 9 (3.119m) middle Eocene; 4. *Pseudotheocampe abshinnitta* - Well 17 (2.870m) Campanian; 5. *Theocampe salillum* - Well 17 (3.490m) Campanian; 6. *Theocampe urna* - Well 17 (3.490m) Campanian; 7. *Theocampe vollendeta* - Well 17 (3.490m) Campanian; 8. *Podocyrtis diamesa* - Well 1 (2.313m) middle Eocene; 9. *Podocyrtis mitra* - Well 9 (3.103m) middle Eocene; 10. *Podocyrtis papalis* - Well 1 (2.301m) middle Eocene; 11. *Archaeodictyomitra lamellicostata* - Well 17 (3.160m) Campanian-Maastrichtian (?); 12. *Dictyomitra formosa* - Well 8 (4.545m) Campanian; 13. *Amphipyndax pseudoconulus* - Well 17 (3.300m) Campanian; 14. *Amphipyndax stocki* - Well 14 (3.411m) Albian (?); 15. *Amphipyndax* sp. - Well 17 (3.140m) Campanian-Maastrichtian (?); 16. *Amphipyndax tylotus* - Well 14 (3.411m) Albian (?); 17. *Squinabollum fossilis* - Well 14 (3.402m) Albian (?); 18. *Obeliscoites maximus* - Well 14 (3.339m) Cenomanian (?); 19. *Pseudodyctiomitra carpatica* - Well 3 (4.014m) Turonian (?); 20. *Pseudodyctiomitra pentacolaensis* - Well 14 (3.330m) Cenomanian (?).

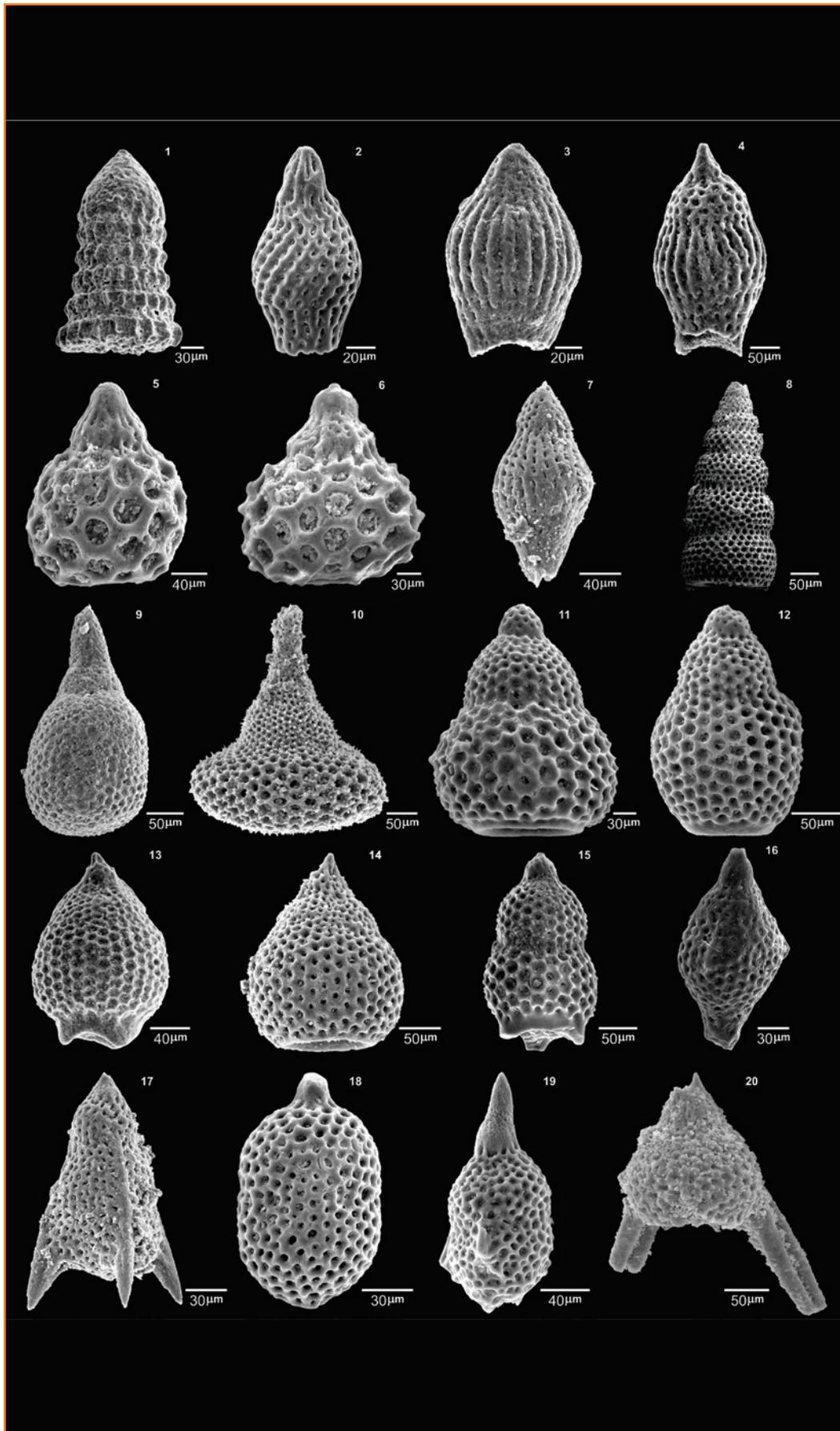


Figura 10 - 1. *Pseudodyctiomitra pseudomacrocephala* - Poço 14 (3.339m), Cenomaniano (?); 2. *Buryella clinata* - Poço 17 (2.770m), Eoceno inferior; 3. *Buryella tetradica* - Poço 12 (3.282m), Paleoceno inferior; 4. *Buryella tridica* - Poço 9 (3.723m), Eoceno médio; 5. *Calocyclus ampulla* - Poço 1 (2.451m), Eoceno Médio; 6. *Calocyclus castum* - Poço 1 (2.436m), Eoceno Médio; 7. *Phormocyrtis striata striata* - Poço 4 (Test.2-2.394,98m), Eoceno Inferior; 8. *Stichomitra communis* - Poço 5 (Test.1-1.191,30m), Albiano Médio; 9. *Lamptonium sanfilippaiae* - Poço 1 (Test.1-2.353,30m), Eoceno Inferior; 10. *Lamptonium* sp. - Poço 4 (Test.2-2.397,53m), Eoceno Inferior; 11. *Theocotyle venezuelensis* - Poço 1 (2.301m), Eoceno Médio; 12. *Theocotyle venezuelensis* - Poço 1 (2.313m), Eoceno médio; 13. *Theocotylissa alpha* - Poço 15 (2.262m), Eoceno Inferior; 14. *Theocotylissa ficus* - Poço 4 (Test.2-2.397,53m), Eoceno Inferior; 15. *Thyrsoyrtis hirsuta* - Poço 1 (2.304m), Eoceno Médio; 16. *Eusyrgium fistuligerum* - Poço 9 (3.089m), Eoceno Médio; 17. *Lithochytris vespertilio* - Poço 4 (Test.2-2.397,53m), Eoceno Inferior; 18. *Lychnocanoma amphitrite* - Poço 1 (Test.1-2.352m), Eoceno Inferior; 19. *Rhopalocanium ornatum* - Poço 1 (2.304m), Eoceno Médio; 20. *Bekoma divaricata* - Poço 4 (Test.2-2.402,19m) Eoceno Inferior.

Figure 10 - 1. *Pseudodyctiomitra pseudomacrocephala* - Well 14 (3.339m) Cenomanian (?); 2. *Buryella clinata* - Well 17 (2.770m) Lower Eocene; 3. *Buryella tetradica* - Well 12 (3.282m) Lower Paleocene; 4. *Buryella tridica* - Well 9 (3.723m) middle Eocene; 5. *Calocyclus ampulla* - Well 1 (2.451m) middle Eocene; 6. *Calocyclus castum* - Well 1 (2.436m) Middle Eocene; 7. *Phormocyrtis striata striata* - Well 4 (Core 2-2.394.98m) Lower Eocene; 8. *Stichomitra communis* - Well 5 (Core 1-1.191.30m) Middle Albian; 9. *Lamptonium sanfilippaiae* - Well 1 (Core 1-2.353.30m) Lower Eocene; 10. *Lamptonium* sp. - Well 4 (Core 2-2.397.53m) Lower Eocene; 11. *Theocotyle venezuelensis* - Well 1 (2.301m) Middle Eocene; 12. *Theocotyle venezuelensis* - Well 1 (2.313m) middle Eocene; 13. *Theocotylissa alpha* - Well 15 (2.262m) lower Eocene; 14. *Theocotylissa ficus* - Well 4 (Core 2-2.397.53m) Lower Eocene; 15. *Thyrsoyrtis hirsuta* - Well 1 (2.304m) Middle Eocene; 16. *Eusyrgium fistuligerum* - Well 9 (3.089m) Middle Eocene; 17. *Lithochytris vespertilio* - Well 4 (Core 2-2.397.53m) Lower Eocene; 18. *Lychnocanoma amphitrite* - Well 1 (Core 1-2.352m) Lower Eocene; 19. *Rhopalocanium ornatum* - Well 1 (2.304m) Middle; 20. *Bekoma divaricata* - Well 4 (Core 2- 2.402,19m) Lower Eocene.

Figura 11

Registro estratigráfico das espécies-guia e espécies-acessórias das zonas de radiolários do intervalo Albiano-Maastrichtiano.

Figure 11

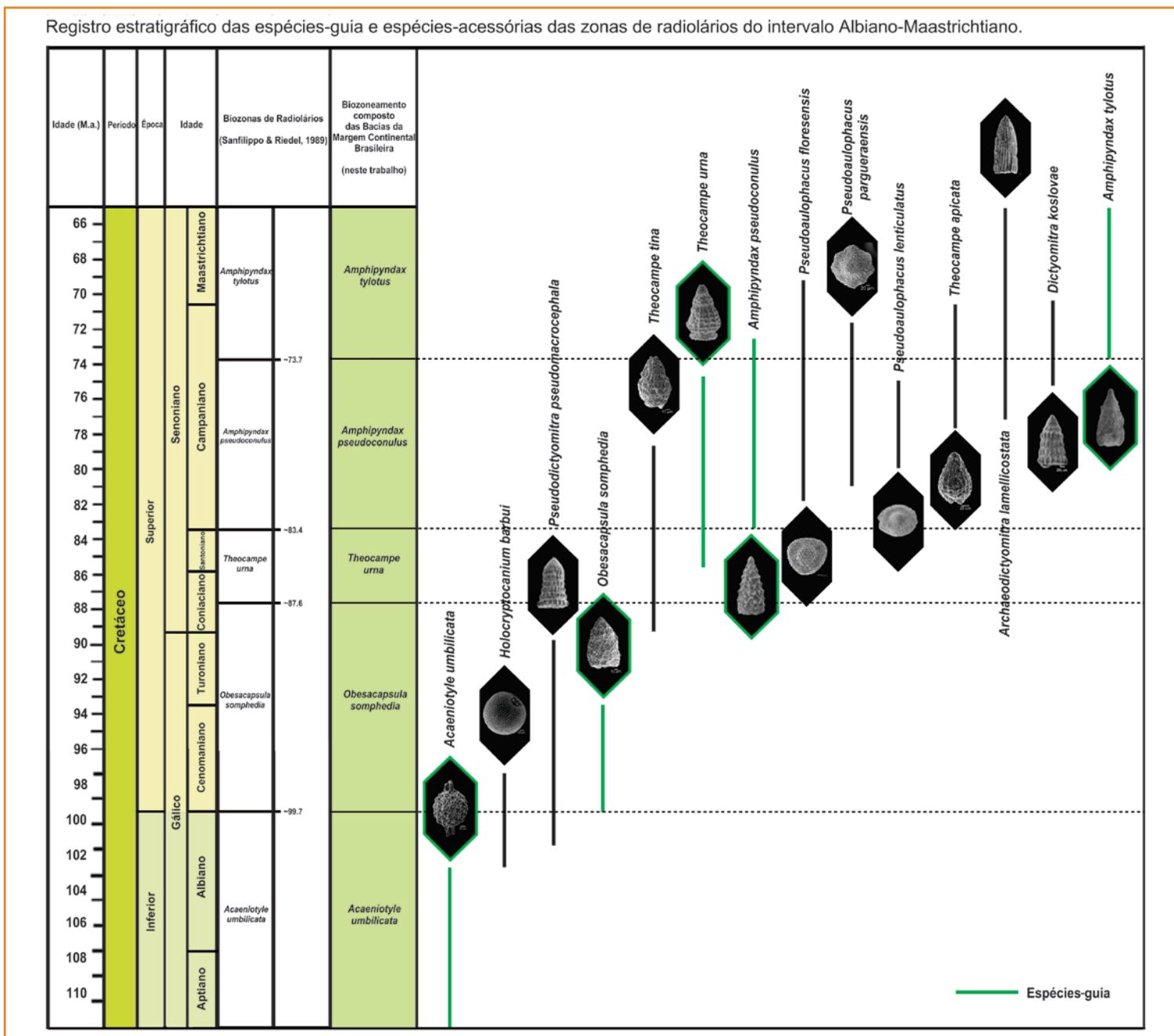
Stratigraphical ranges of the guide and accessory species from the Albian-Maastrichtian radiolarian biozones.

além de amostras de afloramentos cretáceos da Califórnia (Pessagno, 1976, 1977), demonstraram claramente o potencial bioestratigráfico dos radiolários mesozoicos, que anteriormente haviam tido seu valor estratigráfico questionado. Os zoneamentos estabelecidos permitiram um esboço de datação de sedimentos silicosos, especialmente onde os demais grupos de microfósseis estavam ausentes. Uma síntese dos principais zoneamentos propostos para o Cretáceo foi apresentada por Sanfilippo e Riedel (1989).

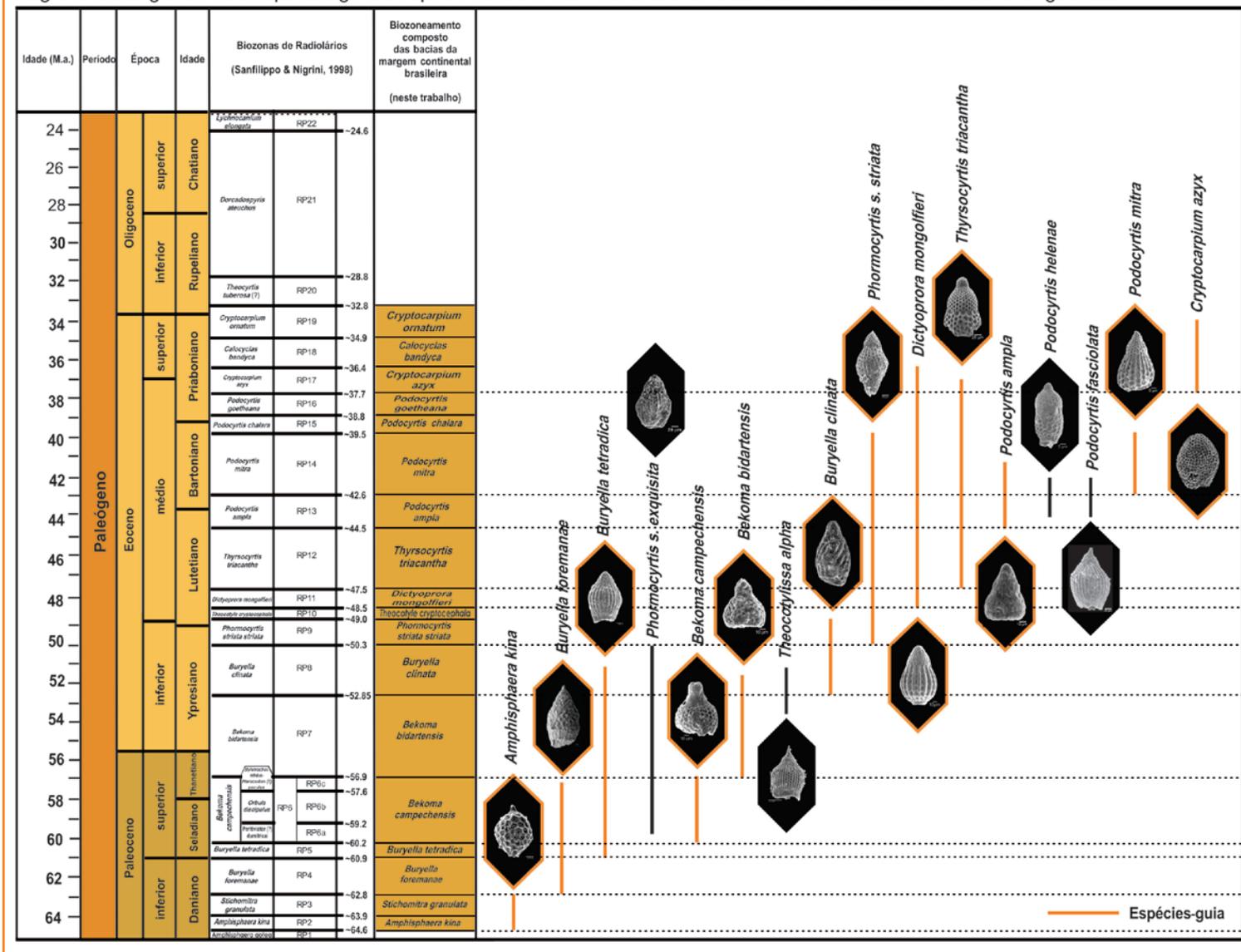
O conhecimento sobre a distribuição estratigráfica dos radiolários do Paleoceno e Eoceno Inferior é

limitada, pois, de forma geral, seções do Paleoceno Inferior com radiolários preservados são raros (Sanfilippo e Nigrini, 1998). Por essa razão, evidencia-se a importância do estudo de seções dessa idade, como apresentado neste trabalho, pois, até o momento, existiam poucos registros, especialmente em seções de afloramentos da Nova Zelândia (Hollis, 1993, 1997).

Foreman (1973) definiu quatro zonas para o Paleoceno Superior até o Eoceno Médio, com base em material do Golfo do México. O intervalo entre o limite Cretáceo-Paleógeno e o Paleoceno Superior permaneceu não zonado, conforme apresentado por



Registro estratigráfico das espécies-guia e espécies-acessórias das zonas de radiolários do intervalo Paleoceno-Oligoceno.



Sanfilippo *et al.* (1989), até Nishimura (1992) apresentar uma nova zona do Paleoceno Superior, *Bekoma campechensis*, subdividida em três subzonas. Posteriormente, Hollis (1993) ampliou o biozoneamento para os demais intervalos do Paleoceno, ao propor cinco novas zonas (*Amphisphaera aotea*, *A. kina*, *Stichomitra granulata*, *Buryella foremanae* e *B. tetradica*), abrangendo o limite Maastrichtiano-Daniano e o Paleoceno Inferior e Médio, a partir de radiolários coletados em afloramentos de depósitos marinhos na Nova Zelândia.

Neste estudo, a análise bioestratigráfica foi realizada a partir de amostras de calha e de testemunhos provenientes de poços de diferentes bacias brasileiras, visando reconhecer e aplicar o zoneamento padrão internacional com base em radiolários,

conforme Sanfilippo e Riedel (1989) para o Cretáceo e Sanfilippo *et al.* (1989) e Sanfilippo e Nigrini (1998), para o Paleógeno.

Em função da maior parte do material analisado ser composto por amostras de calha, foram inicialmente enfatizadas as últimas ocorrências das espécies-guia e registradas todas as evidências e suposições de retrabalhamento.

Dentre os táxons identificados foram reconhecidas importantes espécies-guia dos diversos andares do Cretáceo médio ao Superior (Aptiano-Maastrichtiano) (fig. 11), assim como as do Paleógeno (Paleoceno-Eoceno) (fig. 12).

Com base nas espécies-guia identificadas em todos os poços estudados, cinco biozonas do Cretáceo foram estabelecidas em função da distribuição vertical dos

Figura 12 Registro estratigráfico das espécies-guia e espécies-acessórias das zonas de radiolários do intervalo Paleoceno-Eoceno.

Figure 12 Stratigraphical ranges of the guide and accessory species from the Paleocene-Eocene radiolarian biozones.

Tabela 3

Biozonas de radiolários identificadas nas bacias estudadas.

Bacia	Crono	Biozonas
Sergipe	Albiano Médio	Zona <i>Acaeniotyle umbilicata</i>

Tabela 3

Radiolarian biozones identified in the studied basins.

Bacia	Crono	Biozonas
Mucuri	Paleoceno Superior	RP 6 - Zona <i>Bekoma campechensis</i>

Bacia	Crono	Biozonas
Espírito Santo	Paleoceno Superior- Eoceno Superior	RP 19 - Zona <i>Cryptocarpium ornatum</i> RP 18 - Zona <i>Calocyclus bandyca</i> RP 17 - Zona <i>Cryptocarpium azyx</i> RP 16 - Zona <i>Podocyrtis goetheana</i> RP 15 - Zona <i>Podocyrtis chalara</i> RP 14 - Zona <i>Podocyrtis mitra</i> RP 13 - Zona <i>Podocyrtis ampla</i> RP 12 - Zona <i>Thyrsoyrtis triacantha</i> RP 11 - Zona <i>Dictyoprora mongolfieri</i> RP 10 - Zona <i>Theocotyle cryptocephala</i> RP 9 - Zona <i>Phormocyrtis striata striata</i> RP 8 - Zona <i>Buryella clinata</i> RP 7 - Zona <i>Bekoma bidartensis</i>
	Aptiano(?)-Albiano-Campaniano	Zona <i>Amphipyndax tylotus</i> Zona <i>Amphipyndax pseudoconulus</i> Zona <i>Theocampe urna</i> Zona <i>Obesacapsula somphedia</i> Zona <i>Acaeniotyle umbilicata</i>

Bacia	Crono	Biozonas
Campos	Albiano Superior- Campaniano	Zona <i>Amphipyndax pseudoconulus</i> Zona <i>Theocampe urna</i> Zona <i>Obesacapsula somphedia</i> Zona <i>Acaeniotyle umbilicata</i>

Bacia	Crono	Biozonas
Santos	Paleoceno Superior- Eoceno Médio	RP 12 - Zona <i>Thyrsoyrtis triacantha</i> RP 11 - Zona <i>Dictyoprora mongolfieri</i> RP 10 - Zona <i>Theocotyle cryptocephala</i> RP 9 - Zona <i>Phormocyrtis striata striata</i> RP 8 - Zona <i>Buryella clinata</i> RP 7 - Zona <i>Bekoma bidartensis</i> RP 6 - Zona <i>Bekoma campechensis</i>
	Albiano-Campaniano	Zona <i>Amphipyndax pseudoconulus</i> Zona <i>Theocampe urna</i> Zona <i>Obesacapsula somphedia</i> Zona <i>Acaeniotyle umbilicata</i>

Bacia	Crono	Biozonas
Pelotas	Paleoceno Inferior	RP 4 - Zona <i>Buryella foremanae</i> RP 3 - Zona <i>Stichomitra granulata</i> RP 2 - Zona <i>Amphisphaera kina</i>

diversos táxons encontrados, da identificação das primeiras e últimas ocorrências de alguns táxons-guia reconhecidos internacionalmente, além das associações de espécies presentes.

No intervalo do Paleógeno, as zonas identificadas foram correlacionadas com as 18 biozonas do zoneamento padrão internacional (biozonas RP2 a RP19). Os intervalos identificados estão caracterizados por associações típicas dos zoneamentos bioestratigráficos apresentados por Sanfilippo *et al.* (1989) e Sanfilippo e Nigrini (1998), complementados e refinados por Nishimura (1992) e Nigrini e Sanfilippo (2000).

As biozonas identificadas para cada bacia foram agrupadas segundo a cronoestratigrafia (tabela 3).

conclusões

As associações de radiolários estudadas foram reconhecidas em sequências marinhas das áreas de águas profundas relacionadas a ambientes de talude e bacia oceânica. Este estudo revelou a ocorrência de um número bastante significativo de espécies de radiolários, cuja distribuição não ocorre de forma contínua ao longo de toda a extensão dos poços, mas encontra-se concentrada em determinados intervalos.

A maior parte das espécies de radiolários encontradas nos poços estudados apresenta ampla distribuição geográfica, incluindo espécies reconhecidamente cosmopolitas.

As espécies identificadas, em sua maioria, fazem parte das associações de águas tropicais e subtropicais reconhecidas mundialmente.

A maior parte das espécies-guia utilizadas nos zoneamentos do intervalo Cretáceo médio – Paleógeno em regiões de médias e altas latitudes foram reconhecidas nas bacias brasileiras.

A ocorrência de táxons ainda não descritos na literatura, na maioria identificados apenas até a categoria de gênero, será objeto de estudos futuros.

De acordo com o zoneamento padrão para radiolários, a sequência completa, considerando todos os poços estudados, corresponde estratigraficamente ao intervalo da Zona *Acaeniotyle Umbilicata* (Cretáceo médio) até a Zona *Cryptocarpium Ornatum*. Nesta sequência, foram reconhecidas cinco biozonas do Cretáceo médio ao Superior e 18 biozonas do Paleógeno.

Na seção do Paleoceno Inferior da Bacia de Pelotas, destaca-se o registro de espécies-guia de radiolários da Zona *Amphisphaera kina*, cuja ocorrência em nível global é rara, devido ao problema de preservação em depósitos dessa idade

Considerando os resultados obtidos até o momento, os radiolários do Cretáceo e Paleógeno podem ser considerados como ferramentas úteis para os estudos bioestratigráficos de sequências marinhas das bacias da margem continental brasileira, particularmente em alguns intervalos, onde outros grupos de microfósseis são menos abundantes, mal preservados ou mesmo ausentes.

agradecimentos

À Gerência de Bioestratigrafia e Paleoecologia - BPA Cenpes/PDGeo - Petrobras, que viabilizou a realização do estudo, bem como a divulgação dos resultados parciais do mesmo.

Ao técnico químico de petróleo Rogério da Silva Martins da Costa, responsável pelo Laboratório MEV-BPA do Centro de Pesquisas da Petrobras, por ter realizado as análises morfológicas por elétrons secundários e retroespalhados e microanálises por energia dispersiva de raios X e as fotomicrografias em microscopia eletrônica de varredura (MEV).

À coordenação do Laboratório de Palinofácies e Fácies Orgânica - LAFO, Departamento de Geologia da UFRJ, onde foram desenvolvidas as demais etapas do trabalho.

referências bibliográficas

BUENO, G. V.; ZACHARIAS, A. A.; OREIRO, S. G.; CUPERTINO, J. A.; FALKENHEIN, F. U. H.; MARTINS NETO, M. A. B. Bacia de Pelotas. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 551-559, maio/nov. 2007.

CAMPOS NETO, O. P. A.; LIMA, W. S.; CRUZ, F. E. G. Bacia de Sergipe-Alagoas. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 405-415, maio/nov. 2007.

DE WEVER, P.; AZÉMA, J.; FOURCADE, E. Radiolares et radiolarites: production primaire, diagenèse et

paléogéographie **Bulletin du Centre de Recherches Elf Exploration Production**, Pau, v. 18, n. 1, p. 315-379, 1994.

DE WEVER, P.; DUMITRICA, P.; CAULET, J. P.; NIGRINI, C.; CARIDROIT, M. **Radiolarians in the sedimentary record**. New York: Gordon and Breach Science Publishers, 2001. 533 p.

EILERT, V. P. Ocorrência de Polycystina (Protozoa, Radiolaria) antárticos e subantárticos em sedimentos superficiais do Atlântico Sudoeste. (31°-35°S; 45°-54°W). **Pesquisas em Geociências**, Porto Alegre, v. 17, n. 17, p. 151-167, jan./dez. 1985.

EILERT, V. M. P. **Radiolários Polycystina (Família Collosphaeridae) em sedimentos pleisto-holocênicos da Margem Continental Sul-brasileira: sistemática. Considerações gerais sobre ecologia, paleoecologia, distribuição geográfica e geológica**. 1988. 205 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1988.

EILERT, V. M. P. Polycystine radiolarians in Brazilian sedimentary basins: a synthesis on the current status. **Revista Brasileira de Paleontologia**, Porto Alegre, v. 2, p. 7-19, jul./dez. 2001a.

EILERT, V. M. P. Bioestratigrafia com base em Radiolários do Cretáceo Superior na Bacia de Santos – Resultados Preliminares. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO SUDESTE, 7., 2001, Rio de Janeiro. **Boletim de Resumos...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geologia, 2001b. p. 118.

EILERT, V. M. P.; FAUTH, S. B. e SOUZA, V. Radiolários. In: CARVALHO, I. S. (Ed.). **Paleontologia**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2004. v. 1, p. 297-310.

EILERT, V. M. P.; BENEDICTO JR., R. M. M.; FIDALGO, T. S. L.; BRAGA, D. D.; VIVERS, M. C. Radiolários do Intervalo Cretáceo Paleógeno em depósitos de águas profundas na Bacia do Espírito Santo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 44., Curitiba. **Anais...** Curitiba: Acqua Consultoria, 2008. p. 930.

EILERT, V. M. P.; CARREIRA, V. R.; LAMM, F.; FIDALGO, T. S. L.; VIVERS, M. C. Investigação sobre a influência dos eventos climáticos globais do paleógeno em associações de radiolários na Bacia de Santos,

Margem Continental Leste Brasileira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 45., Belém, PA. **Anais...** Belém: SBG, 2010.

EILERT, V. M. P.; PASSOS, N. Z. G.; ARAÚJO, P. Pioneer Investigations on Paleogene Radiolarians as useful tools for the study of deep-water sequences in the eastern Brazilian margin basins. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 20. Búzios, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro, 2007. p. 240.

EILERT, V. P.; FIDALGO, T. S. L.; PASSOS, N. Z. G.; VIVERS, M. C.; MEDONÇA FILHO, J. G. Radiolários do cretáceo ao paleógeno nas bacias da margem continental leste brasileira. In: CARVALHO, I. S.; SRISVASTAVA, N. K.; STROHSCHOEN, O. J.; LANA, C. C. (Ed.). **Paleontologia: cenários da vida**. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. v. 3, p. 429-441.

FIDALGO, T. S. L. **Análise diagenética dos radiolários no intervalo cretáceo superior (Maastrichtiano) – paleoceno nas Bacias do Espírito Santo e Pelotas, Margem Continental Leste Brasileira**. 2009. 95 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

FIDALGO, T. S. L.; EILERT, V. P.; VIVERS, M. C. Análise diagenética do radiolários no intervalo cretáceo superior (Maastrichtiano): paleoceno nas Bacias do Espírito Santo e Pelotas, Margem Continental Leste Brasileira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 21., Belém, PA, **Livro de Resumos...** Belém: SBP, 2009. p. 34.

FOREMAN, H. P. Radiolaria of Leg 10 with systematics and ranges for the families Amphipyndacidae, Artostrobiidae, and Theoperidae. **Deep Sea Drilling Project Reports and Publications**, Washington, v. 10, p. 407-474, Mar. 1973. (Initial Reports).

FOREMAN, H. P. Radiolaria from the North Pacific, Deep Sea Drilling Project, Leg 32. **Deep Sea Drilling Project Reports and Publications**, Washington, v. 32, p. 579-676, Aug. 1975. (Initial Reports).

FRANÇA, R. L.; DEL REY, A. C.; TAGLIARI, C. V.; BRANDÃO, J. R.; FONTANELLI, P. R. Bacia de Mucuri. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 493-499, maio/nov. 2007a.

FRANÇA, R. L.; DEL REY, A. C.; TAGLIARI, C. V.; BRANDÃO, J. R.; FONTANELLI, P. R. Bacia do Espírito Santo. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 501-509, maio/nov. 2007b.

HOLLIS, C. J. Latest Cretaceous to Late Paleocene radiolarian biostratigraphy: a new zonation from the New Zealand region. **Marine Micropaleontology**, Amsterdam, v. 21, n. 4, p. 295-327, May 1993.

HOLLIS, C. J. **Cretaceous-Paleocene Radiolaria from the Eastern Marlborough, New Zealand**. New Zealand: Institute of Geological and Nuclear Sciences, 1997. 152 p. (Institute of Geological & Nuclear Sciences monograph, 17).

KOTZIAN, S. C. B. Radiolários (Polycystina) pleistoholocênicos do testemunho T 15. Margem Continental Sul-brasileira (33° 33.S – 48° 28.W). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33., 1984, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBG, 1984. v. 3, p. 627-644.

KOTZIAN, S. C. B.; EILERT, V. P. Radiolários Polycystina (Spumellaria: Sponguridae, Spongodiscidae) cenozoicos em testemunho da Margem Continental Sul-brasileira. In: **Coletânea de trabalhos paleontológicos**, Brasília: DNPM, Ministério das Minas e Energia, 1985. v. 27, p. 34-53.

KOTZIAN, S. C. B.; EILERT, V. P. Radiolários do Cretáceo médio na Bacia de Campos - Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 10., Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBS, 1987. p. 783-796.

KOTZIAN, S. C. B.; EILERT, V. P.; RUTHNER, M. P. Nova contribuição sobre a ocorrência de radiolários Polycystina na margem continental do Rio Grande do Sul, Brasil. **Pesquisas em Geociências**, Porto Alegre, v. 20, n. 20, p. 85-102, jan./abr. 1987.

MOORE, T. C. Radiolaria from Leg 17 of the Deep Sea Drilling Project. **Deep Sea Drilling Project Reports**, Washington, v. 17, Aug. 1973. p. 797-869. (Initial Reports).

MOREIRA, J. L. P. B. Bacia de Santos. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v.15, n. 2, p. 531-549, maio/nov. 2007.

NIGRINI, C.; SANFILIPPO, A. Paleogene radiolarians from sites 998,999 and 1001 in the Caribbean.

In: LECKIE, R. M.; SIGURDSSON, H.; ACTON, G. D.; AND DRAPER, G. (Ed.). **Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results**. Texas: The Program, 2000. v. 165, p. 57-81.

NISHIMURA, A. Paleocene radiolarian biostratigraphy in the northwest Atlantic at Site 384, Leg 43, of the Deep Sea Drilling Project. **Micropaleontology**, Alexandria, v. 38, n. 4, p. 317-362, Oct. 1992.

O'DOGHERTY, L. **Biochronology and Paleontology of Mid-Cretaceous Radiolarians from Northern Apennines (Italy) and Betic Cordillera (Spain)**. Lausanne, Suisse : Section des Sciences de La Terre, Université de Lausanne, 1994. 415 p. (Mémoires de Géologie, Lausanne, n. 21).

O'DOGHERTY, L. Inventory of Mesozoic radiolarian species (1867-2008). **Geodiversitas**, Washington, v. 31, n. 2, p. 371-503, June 2009.

O'DOGHERTY, L.; CARTER, E. S.; DUMITRICA, P.; GORICAN, S.; DE WEVER, P.; BANDINI, A.N.; BAUMGARTNER, P. O.; MATSUOKA, A. Catalogue of Mesozoic radiolarian genera. Part 2: Jurassic-Cretaceous. **Geodiversitas**, Washington, v. 31, n. 2, p. 271-356, June 2009.

PESSAGNO JR, E. A. Jurassic and Cretaceous Hagiastriidae from the Blake-Bahama basin (site 5A, JOIDES, Leg I) and the Great Valley Sequence, California Coast Ranges. **Bulletins of American Paleontology**, New York, v. 60, n. 264, p. 5-83, 1971.

PESSAGNO, E. A. Cretaceous Radiolaria: parte I, The Phaseliformidae, new family and other Spongodiscacea from the Upper Cretaceous portion of the Great Valley sequence; parte II. Pseudoaulophacidae Riedel from the Cretaceous of California and the Blake-Bahama basin (JOIDES Leg I). **Bulletin of American Paleontology**, New York, v. 61, n. 270, p. 267-328, 1972.

PESSAGNO, E. A. Upper Cretaceous Spumellariina from the Great Valley Sequence, California Coast Ranges. **Bulletin of American Paleontology**, New York, v. 63, n. 276, p. 49-102, 1973.

PESSAGNO, E. A. Radiolarian zonation and stratigraphy of the Upper Cretaceous portion of the Great Valley Sequence, California Coast Ranges.

Micropaleontology, Alexandria, n. 2, p. 1-95, 1976. Special Publication.

PESSAGNO, E. Radiolaria in Mesozoic Stratigraphy. In: Ramsay, A. T. S. (Ed.). **Oceanic Micropaleontology**. London: Academic Press, 1977. v. 2, p. 913-950.

RIEDEL, W. R.; SANFILIPPO, A. Radiolaria from the southern Indian Ocean, DSP, Leg 26. **Reports of the Deep Sea Drilling Project**, Washington, v. 26, p. 771-814, Dec. 1974. (Initial Reports).

SANFILIPPO, A.; RIEDEL, W. R. Cretaceous Radiolaria. In: BOLLI, H. M.; SAUNDERS, J. B.; PERCH-NIELSEN, K. (Ed.). **Plankton Stratigraphy: radiolaria, diatoms, silicoflagellates and ichthyoliths**. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1989. v. 2, p. 573-630.

SANFILIPPO, A., WESTBERG-SMITH, M. J., E RIEDEL, W. R., Cenozoic Radiolaria. In: BOLLI, H. M.; SAUNDERS, J. B.; PERCH-NIELSEN, K. (Ed.). **Plankton Stratigraphy: radiolaria, diatoms, silicoflagellates and ichthyoliths**. 2. ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1989. v. 2, p. 631-712.

SANFILIPPO, A.; NIGRINI, C. Code numbers for Cenozoic low latitude radiolarian biostratigraphic zones and GPTS conversion tables. **Marine Micropaleontology**, Amsterdam, v. 33, n. 1-2, p. 109-156, Feb. 1998.

THUROW, J. Diagenetic history of Cretaceous radiolarians, North Atlantic ocean (ODP LEG 103 and DSDP HOLES 398D and 603B). In: BOILLLOT, G. et al. **Proceedings of the Ocean Drilling Program**, Scientific Results. Texas: The Program, 1988. v. 103, p. 531-555.

VISHNEVSKAYA, V. S. **Jurassic to Cretaceous radiolarian biostratigraphy of Russia**. Moscow: Geos, 2001. 376 p. (Russian Foundation for Basic Research).

WINTER, W. R.; JAHNERT, R. J.; FRANÇA, A. B. B. Bacia de Campos. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 511-529, maio/nov. 2007.

webgrafia

NIGRINI, Catherine; SANFILIPPO, Annika. (Comp.). **Cenozoic radiolarian stratigraphy for low and middle latitudes with descriptions of biomarkers and stratigraphically useful species**. Texas: Ocean Drilling Program, 2001. (Technical Note, 27). Disponível em: <http://www-odp.tamu.edu/publications/tnotes/tn27/TOC_CEN.HTM>. Acesso em: 2012.

expanded abstract

Common, moderate to well preserved polycystine radiolarian assemblages, ranging in age from the Cretaceous to the Paleogene have been recognized through the study of samples from 19 exploratory wells drilled in the Brazilian continental margin. Investigations on the biosiliceous fraction of the marine deposits from Pelotas, Santos, Campos, Espírito Santo, Mucuri and Sergipe basins were carried out to test the potentiality of radiolarians as useful tools for the geological knowledge of Cretaceous-Paleogene sequences, particularly in the more distal sectors of these basins. As their opaline skeletons are not affected by the increasing bathymetry and can surpass the calcium carbonate compensation depth – CCD the radiolarians can be found in abundance in intervals that correspond to deep marine (slope and basin) successions. The distribution of their skeletons along the studied wells is discontinuous, with intervals showing an expressive number of specimens and others with low numbers. This study also aimed to recognize the types of diagenetic changes and to analyze the distinct degrees of preservation of the radiolarian skeletons. The estimate of the radiolarian preservation rate in the studied wells was analyzed through stereoscopic optical microscopy, scanning electron microscopy (SEM) and Energy-Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS). All these procedures were made in order to evaluate, respectively, the physical and chemical processes that are responsible for changes in the radiolarians skeletons that afterwards could be used to interpret the diagenetic processes that influence the porosity and permeability of reservoir rocks. As a result of this study, four types of preservation were identified: (1) full and partial dissolution, evidenced by preservation as internal molds; (2) deformation evidenced by the occurrence of flattened specimens; (3) partial replacement by pyrite; and (4) recrystallization, evidenced by high weight percentages of SiO₂. The systematical analysis permitted to identify three radiolarian orders, 40 families, 108 genera and 281 infra-generic taxa. Among the identified taxa it was possible to recognize important index-species of different stages from middle to Upper Cretaceous (Aptian?/Albian to Maastrichtian), as well as from the Paleogene (Paleocene to Eocene).

The analysis of the stratigraphical distribution of the identified species allowed the identification of some bioevents, specially the first and last taxa occurrences that represented the basis for the definition of the international biozones: (1) Cretaceous (Aptian?/Albian to Maastrichtian): *Acaeniotyle umbilicata* Zone, *Obesacapsula somphedia* Zone, *Theocampe urna* Zone, *Amphipyndax pseudoconulus* Zone and *Amphipyndax tylotus* Zone; (2) Paleogene (Paleocene to Eocene): RP1 to RP20 zones - *Amphisphaera aotea* Zone, *Amphisphaera kina* Zone, *Stichomitra granulata* Zone, *Buryella foremanae* Zone, *Buryella tetradica* Zone, *Bekoma campechensis* Zone, *Bekoma bidartensis* Zone, *Buryella clinata* Zone, *Phormocyrtis striata striata* Zone, *Theocotyle cryptocephala* Zone, *Dictyoprora mongolfieri* Zone, *Thyrsocyrtis triacantha* Zone, *Podocyrtis ampla* Zone, *Podocyrtis mitra* Zone, *Podocyrtis chalara* Zone, *Podocyrtis goetheana* Zone, *Cryptocarpium azyx* Zone, *Calocyclas bandyca* Zone, *Cryptocarpium ornatum* Zone and *Theocyrtis tuberosa* Zone. Faunistic similarities were observed with taxons identified in cretaceous assemblages from California (United States), north of the Apennines Mountains (Italy), Betic Cordillera (Spain) and Russian Platform. The Paleogene species were compared to typical representatives from assemblages found in sediments from the tropical regions in the Gulf of Mexico, Cuba, in the Caribbean and in the Phillipines seas in the central region of the Indian Ocean, in the eastern Pacific, in the eastern and western North Atlantic oceans. Several significant bioevents (first and last occurrences of the index-species) identified in the studied wells permitted the identification and correlation of the Brazilian assemblages with the Cretaceous to Paleogene standard zonation, established to low and middle latitude regions. Considering the taxonomic and biostratigraphical results obtained up to this moment, the middle Cretaceous to Paleogene radiolarians were considered as useful tools for the study of deep marine sequences, particularly where other microfossils groups are less abundant, badly preserved or even not present at all. This survey reports part of the results obtained during the development of the Projeto Radiolários (Prorad), which was supported by Finep and BPA/Cenpes/Petrobras, developed with the partnership of the Departamento de Geologia of the Universidade Federal do Rio de Janeiro/UFRJ.

autores



Valesca Maria Portilla Eilert
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)
Instituto de Geociências
Departamento de Geologia
Laboratório de Palinofácies e Fácies Orgânica

eilert@lafo.geologia.ufrj.br

Valesca Maria Portilla Eilert fez doutorado em Ciências - Micropaleontologia (1997) e mestrado em Geociências (1988), ambos pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, desenvolvendo pesquisa sobre radiolários cenozoicos. Possui conhecimento sobre radiolários aprimorado durante estágios realizados no Museu de Paleontologia da Universidade de Oslo, Noruega (1995-1996, 2002), no Departamento de Geologia da Universidade da Flórida, Gainesville (1998) e em visita técnica ao DSDP/ODP Micropaleontological Reference Collection no Scripps Institution of Oceanography, Universidade da Califórnia em San Diego, EUA. Professora colaboradora do Programa de Pós-Graduação em Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio de Janeiro (PPGL/UFRJ), desenvolvendo atividades de ensino e orientação de pesquisas de graduação e pós-graduação sobre microfósseis silicosos. Pesquisadora (Coppetec/UFRJ), desenvolvendo projetos na área de micropaleontologia aplicada (bioestratigrafia e paleoecologia). As pesquisas realizadas (Prorad) têm como principal objetivo a análise bioestratigráfica dos radiolários encontrados em rochas do Cretáceo ao Paleógeno nas bacias sedimentares da margem continental brasileira.



Marta Claudia Viviers
Centro de Pesquisas da Petrobras (Cenpes)
P&D em Geociências
Gerência de Bioestratigrafia e Paleoecologia

mcviviers@petrobras.com.br

Marta Claudia Viviers é graduada em Ciências Geológicas pela Universidade de Buenos Aires (UBA), Facultad de Ciencias Exactas e Naturales (1960). Atua como geóloga e consultora técnica na área de Bioestratigrafia e Paleoecologia no Centro de Pesquisas da Petrobras (Cenpes), onde atua por mais de 30 anos. Especialista na área de estratigrafia, com ênfase em bioestratigrafia, paleoecologia e paleoceanografia de foraminíferos e ostracodes marinhos.



Thays de Souza Lima Fidalgo
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)
Instituto de Geociências
Departamento de Geologia
Laboratório de Palinofácies e Fácies Orgânica

thaysfidalgo@lafo.geologia.ufrj.br

Thays de Souza Lima Fidalgo é Geóloga da Universidade Federal do Rio de Janeiro e Mestre em Geociências (PPGL/UFRJ). Possui experiência na área de micropaleontologia de microfósseis silicosos - radiolários. Atuação profissional em projetos de pesquisa ligados a bioestratigrafia de radiolários. Participação em projetos de pesquisa da Rede de Micropaleontologia Aplicada "Aplicação da Bioestratigrafia de Radiolários ao Refinamento Estratigráfico do Cretáceo e Paleógeno nas Bacias Brasileiras" de 2007 a 2011 e o atual, iniciado em Julho/2012, "Microfósseis Silicosos Aplicados à Estratigrafia das Bacias Marginais Brasileiras - Arcabouço Bioestratigráfico com base em Radiolários e Implantação do Estudo de Silicoflagelados" em andamento.



Nadia Zélia Gomes Passos
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)
Instituto de Geociências
Departamento de Geologia
Laboratório de Palinofácies e Fácies Orgânica

nadia@lifo.geologia.ufrj.br

Nadia Zélia Gomes Passos fez doutorado em Geologia na UFRJ. Realiza pesquisas sobre os radiolários pleisto-holocênicos do Golfo da Califórnia. Possui mestrado em Geociências e especialização em Geologia do Quaternário, Departamento de Geologia (IGEO/UFRJ). Atua na área de micropaleontologia de microfósseis silicosos. Experiência profissional na área de Geologia, tendo participado dos Projetos: “Análise e Bioestratigrafia de Radiolários e Faciologia Orgânica de Amostras do Cretáceo/Eoceno” e “Estratigrafia de Alta Resolução do Cretáceo médio e Paleógeno com base em Radiolários e Faciologia Orgânica”.



João Graciano Mendonça Filho
Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)
Instituto de Geociências
Departamento de Geologia
Laboratório de Palinofácies e Fácies Orgânica

graciano@geologia.ufrj.br

João Graciano Mendonça Filho é graduado em Geologia pela Universidade Federal do Paraná (UFPA) em 1989, Mestre em Geoquímica Orgânica e Doutor em Faciologia Orgânica ambos pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) em 1993 e 1999, respectivamente. É professor associado II da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) e ocupa o cargo de Decano do Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza da UFRJ. Atua na área de Geociências, com ênfase em Geoquímica do Petróleo, Geoquímica Orgânica Ambiental, Petrografia Orgânica, Palinofácies e Fácies Orgânica.

