



Nanofósseis Calcários da Área de Ressurgência de Cabo Frio, Brasil Calcareous Nanofossils in the Upwelling Area of Cabo Frio, Brazil

Deise de Oliveira Delfino & Maria Dolores Wanderley

Universidade Federal do Rio de Janeiro, Departamento de Geologia, Laboratório de Nanofósseis Calcários,
Rua Athos da Silveira, nº 274, Prédio do CCMN, Bloco G, Sala 20B, 21949-900, Rio de Janeiro – RJ

E-mails: deise.odelfino@gmail.com, dolores@geologia.ufrj.br

Recebido em: 26/09/2012 Aprovado em: 25/06/2013

DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2013_1_5_14

Resumo

Nanofósseis calcários são um grupo de microfósseis, com representantes viventes e um abundante registro fóssil nos sedimentos marinhos. A maioria das pesquisas voltadas para estes fósseis apresenta como foco regiões de mar profundo (talude e bacia oceânica). São de interesse para a indústria do petróleo por sua aplicação em uma bioestratigrafia de alta resolução e em reconstruções paleoambientais. No Brasil ainda são incipientes os esforços para estudos dos nanofósseis nas áreas costeiras e de plataforma continental. O presente artigo tem por objetivo caracterizar a assembleia de nanofósseis calcários presente em testemunhos da área de ressurgência costeira de Cabo Frio e avaliar seu potencial como indicador paleoambiental na região. Para isto foram elaboradas lâminas com material do testemunho CF02-01B (23°16'S e 41°48'W), que corresponde a 268 cm do perfil sedimentar da plataforma de Cabo Frio. Vinte e sete espécies de nanofósseis calcários foram encontradas, sendo predominantes os táxons *Emiliana huxleyi*, *Florisphaera profunda* e *Gephyrocapsa oceanica*. Com base no perfil de distribuição destes táxons e sua paleoecologia foi possível subdividir os primeiros 151 cm do perfil sedimentar em quatro intervalos: 1 (~2800 a ~2300 anos AP) e 3 (~1800 a ~1000 anos AP) representativos de períodos de fortalecimento do sistema de ressurgência na área com predomínio da atuação da ACAS, menores temperaturas das águas superficiais, maiores taxas de nutrientes e aumento da produtividade; e 2 (~2300 a ~1800 anos AP) e 4 (~1000 a ~700 anos AP) representativos do enfraquecimento do sistema de ressurgência em Cabo Frio, com predomínio da influência da CB, águas superficiais mais quentes, com poucos nutrientes e baixa produtividade. Portanto, esta pesquisa ratificou a importância e eficiência do estudo dos nanofósseis calcários em regiões costeiras para reconstruções paleoambientais.

Palavras-chave: Nanofósseis calcários; plataforma de Cabo Frio; paleoambiente

Abstract

Calcareous nannofossils are a group of microfossils with living representatives and an abundant fossil record in marine sediments. The majority of researches focused on these fossils are centered in deep-sea regions (slopes and ocean basins), and are of interest for the oil industry for their application in biostratigraphy sections of high resolution and in paleoenvironmental reconstructions. In Brazil, efforts are still incipient on the study of nannofossils in the coastal and the continental shelf areas. Thus, this article aims to characterize the assembly of calcareous nannofossils present in cores of the coastal upwelling area of Cabo Frio and evaluate their potential as a paleoenvironmental indicator in the region. For this purpose, blades with the material of the core CF02-01B (23°16'S and 41°48'W) were prepared, corresponding to 268 cm of the sedimentary profile of the Cabo Frio shelf. Twenty-seven calcareous nannofossil species were found, with an abundant predominance of the taxa *Emiliana huxleyi*, *Florisphaera profunda* and *Gephyrocapsa oceanica*. Based on the distribution profile of these taxa and their paleoecology, it became possible to subdivide the first 151 cm of the sedimentary profile into four intervals: 1 (~2800 to ~2300 AP years) and 3 (~1800 to ~1000 AP years) representative of strengthening periods of the upwelling system in the area with predominant action of the ACAS, as well as lower temperatures of the superficial waters, higher rates of nutrients and growth in productivity; and 2 (~2300 to ~1800 AP years) and 4 (~1000 to ~700 AP years) representative of the weakening of the upwelling system in Cabo Frio, with predominant influence of the CB, as well as warmer superficial waters, with few nutrients and low productivity. Therefore, this research confirmed the importance and efficiency of the study of calcareous nannofossils in coastal regions for paleoenvironmental reconstructions.

Keywords: Calcareous nannofossils; Cabo Frio shelf; paleoenvironment

1 Introdução

Nanofósseis calcários são um grupo de microfósseis, com representantes viventes (coccolitoforídeos) e um abundante registro fóssil nos sedimentos marinhos depositados nos últimos 220 milhões de anos (Bown, 1998).

Este grupo fóssil é dominante nos estudos bioestratigráficos em muitas áreas geográficas do mundo, apresentando uma vasta calibração de intervalos (*ranges*) com a magnetoestratigrafia e estratigrafia isotópica (Crux *et al.*, 2010).

Entre seus representantes os coccolitoforídeos fazem parte da base da cadeia alimentar (Dimiza *et al.*, 2008) tendo sua distribuição nos oceanos controlada por parâmetros tais como latitude, correntes oceânicas, massas d'água, conteúdo de nutrientes, salinidade, temperatura, disponibilidade de luz, vitaminas e minerais (Okada & Honjo, 1973; Giraudeau, 1992; Winter *et al.*, 1994). Assim, a análise das assembleias de coccolitoforídeos é empregada para a reconstrução de alguns destes parâmetros, permitindo monitorar sua evolução no tempo e espaço (Winter *et al.*, 1994; Baumann & Freitag, 2004).

No Cenozoico a maioria dos estudos de nanofósseis calcários apresenta como foco regiões de mar profundo (talude e bacia oceânica), sendo estimulados pela expansão das pesquisas paleoceanográficas do *Deep Sea Drilling Project* (DSDP) e *Ocean Drilling Program* (ODP). Minuciosos biozoneamentos foram formulados resultando em uma estratigrafia de alta resolução. Além disso, estudos sobre eventos de mudanças paleoclimáticas extremas também foram desenvolvidos, resultando em abundantes dados sobre a paleoecologia das assembleias de nanofósseis em mar profundo (Bown, 2005).

No Brasil este grupo fóssil também é extensivamente investigado nas assembleias de mar profundo das principais bacias sedimentares devido a sua importância para a geologia do petróleo (Antunes, 2007), sendo os estudos de nanofósseis na região de plataforma ainda incipientes. Desta forma, este trabalho teve por objetivos caracterizar a assembleia de nanofósseis calcários presente em um testemunho da área de ressurgência na plataforma continental de Cabo Frio e avaliar seu potencial como indicador paleoambiental na região.

2 Materiais e Métodos

2.1 Área de Estudo

A plataforma de Cabo Frio está localizada a 23° S e 41° W de Greenwich, na porção da plataforma continental brasileira ao largo do município de Cabo Frio, estado do Rio de Janeiro. Esta região da margem continental brasileira atinge uma batimetria de até 200 m e compreende cerca de 20% da área total da Bacia de Campos, que é delimitada a sul pelo arco de Cabo Frio (Mohriak, 2003).

Esta área é influenciada principalmente pela Corrente do Brasil (CB) formada pelo empilhamento das massas de água características do Atlântico Sul, sendo encontradas nos primeiros três quilômetros de coluna d'água: a Água Tropical (AT) – fluindo superficialmente com temperaturas acima de 20° C e salinidades superiores a 36 ups (unidades práticas de salinidade); a Água Central do Atlântico Sul (ACAS) – fluindo na região da picnoclina com temperaturas maiores que 6° C e inferiores a 20° C, e salinidades entre 34,6 e 36 ups; a Água Intermediária Antártica (AIA) – fluindo a nível subpicnoclínico com temperaturas entre 3 e 6° C, e salinidade entre 34,2 e 34,6 ups; a Água Circumpolar Superior (ACS) e a Água Profunda do Atlântico Norte (APAN) – caracterizadas por temperaturas entre 3 e 4° C e salinidade entre 34,6 e 35 ups (Silveira *et al.*, 2000).

Uma feição comum nesta área é a ressurgência das águas frias da ACAS relacionada a irregularidades na linha de costa, topografia do fundo e a ação de ventos (De Mahiques *et al.*, 2005; Lorenzetti & Gaeta, 1996; Rodrigues & Lorenzetti, 2001).

Nas porções internas da plataforma a circulação de massas d'água é dirigida por ventos, ao passo que na plataforma externa os vórtices (meandros) da CB são os mais importantes fatores hidrodinâmicos (De Mahiques *et al.*, 2002).

Comparada a outras importantes ressurgências, como as do oeste da África e oeste da América do Sul, a ressurgência de Cabo Frio é de menor importância devido ao moderado conteúdo de nutrientes em suas águas. Entretanto, ele excede em muitas vezes a concentração de nutrientes na CB.

Fortes eventos de ressurgência influenciam aspectos químicos e biológicos na região de Cabo Frio até distâncias de 300 – 400 km da costa, resultando no aumento da biomassa e produtividade fitoplânctônica (Lorenzetti & Gaeta, 1996). Ferraz *et al.* (2004) em experimentos com as diferentes massas

d'água presentes nesta área evidenciou a associação do aumento da produção primária com as águas da ACAS através da assinatura isotópica do ^{14}C .

2.2 Material

Foram analisadas vinte e nove amostras de sedimentos marinhos da plataforma continental externa de Cabo Frio. Estas amostras fazem parte do testemunho CF02-01B coletado sob as coordenadas de $23^{\circ}16'S$ e $41^{\circ}48'W$ (Figura 1) com o auxílio de um amostrador *gravity corer* do tipo *Kulleberg*, no Navio Oceanográfico Astro Garoupa cedido pela Petrobrás.

O testemunho analisado foi obtido a 115 m de profundidade e apresentou 268 cm de recuperação. Sua textura sedimentar foi descrita como argila orgânica distribuída homogeneamente por toda a extensão do perfil. A coloração, segundo a carta de Munsell, foi identificada como verde oliva acinzentada por Andrade (2008) e Oliveira (2008).

Este testemunho encontra-se datado abrangendo o intervalo entre 700 e 4.300 anos AP (Andrade, 2008; Oliveira, 2008). O topo do perfil sedimentar não foi recuperado, contudo considerando-se a taxa média de sedimentação obtida por Andrade (2008) e Oliveira (2008), de 0,07

cm.ano⁻¹, seu topo provavelmente constaria ainda de 47 cm de comprimento.

As vinte e nove amostras analisadas fazem parte do intervalo compreendido entre 50 e 198 cm da sequência sedimentar da plataforma de Cabo Frio (os 151 cm do testemunho CF02-01B), situando-se entre 700 e 2800 anos AP.

2.3 Métodos

A subamostragem do testemunho foi realizada a intervalos variados, sendo a maioria de 2 em 2 cm, de acordo com a disponibilidade do material, as diferentes profundidades e as informações prévias obtidas nos trabalhos de Oliveira (2008) e Andrade (2008).

A elaboração de lâminas para a análise dos nanofósseis calcários seguiu a metodologia descrita por Wanderley (2010).

A análise das lâminas foi realizada em microscópio petrográfico, com sistema de polarização, luz transmitida e fase contraste, Zeiss Axiolab com aumento de 1000x.

A identificação dos nanofósseis seguiu Perch-Nielsen (1985), Hine & Weaver (1998) e Antunes (2007).

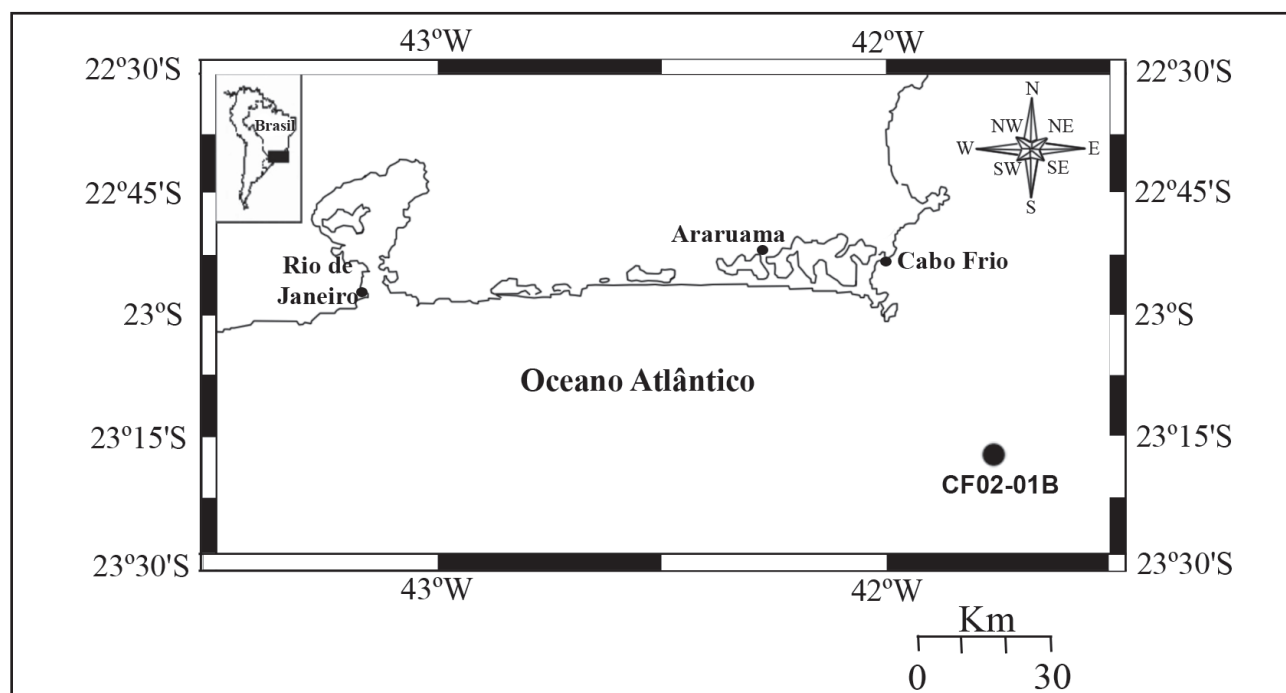


Figura 1 Mapa com a localização do testemunho CF02-01B.

As assembleias foram analisadas quantitativamente em 10 campos de visão.

Dados referentes ao perfil do carbono orgânico total (COT), no testemunho analisado, foram obtidos dos trabalhos de Andrade (2008) e Oliveira (2008).

3 Resultados

Um total de 27 espécies de nanofósseis calcários foram identificadas. Além disso, exemplares das famílias Didemnidae (ascídeos) e Thoracosphaeraceae (cistos de dinoflagelados calcários) também foram observados no perfil sedimentar estudado.

Os táxons encontrados foram *Acanthoica* spp., *Calcidiscus leptoporus*, *Calcidiscus tropicus*, *Calciosolenia fossilis*, *Ceratolithus cristatus*, *Coccolithus pelagicus*, *Emiliana huxleyi*, *Florisphaera profunda*, *Gephyrocapsa caribbeanica*, *Gephyrocapsa ericsonia*, *Gephyrocapsa oceanica*, *Helicosphaera carteri*, *Helicosphaera hyalina*, *Helicosphaera pavementum*, *Micrascidites* spp., *Pontosphaera indoceanica*, *Pontosphaera japonica*, *Pontosphaera messinae*, *Pontosphaera* spp., *Pseudoemiliana ovata*, *Reticulofenestra asanoi*, *Rhabdosphaera claviger*, *Rhabdosphaera stylifera*, *Sphenolithus* spp., *Syracosphaera lamina*, *Syracosphaera pulchra*, *Thoracosphaera* spp., *Umbellosphaera irregularis*, *Umbilicosphaera sibogae* var. *sibogae*.

A maioria dos nanofósseis analisados apresentou bom estado de preservação. Contudo, alguns exemplares em diferentes estágios de dissolução, sobrecrecimento e fragmentação também foram encontrados. Os espécimes com alterações foram registrados entre os táxons de *Calcidiscus leptoporus*, *Gephyrocapsa oceanica*, *Helicosphaera* spp., *Pontosphaera* spp., *Syracosphaera pulchra* e *Thoracosphaera* spp. Cocosferas inteiras e em bom estado de preservação também foram visualizadas.

O número total de indivíduos de nanofósseis no testemunho tem uma tendência de aumento para o topo (Figura 2). As abundâncias relativas dos táxons de maior representatividade podem ser verificadas na Tabela 1.

A assembleia de nanofósseis apresentou-se dominada por *Emiliana huxleyi* (Figura 3) cuja abundância relativa oscilou de 62,7 (64 cm) a 35,4% (128 cm) (Tabela 1), abrangendo 51,1% da assembleia total. Outra espécie de contribuição significativa

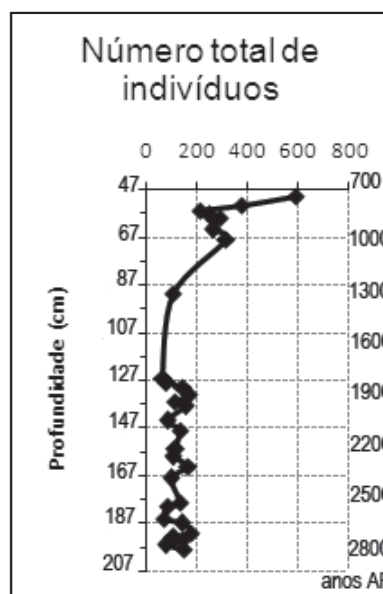


Figura 2 Gráfico representando a variação do número total de espécimes encontrados de acordo com a profundidade e a idade das amostras do testemunho CF02-01B.

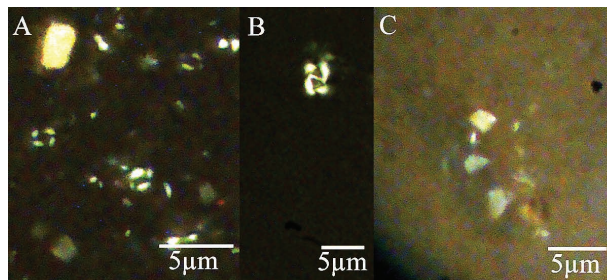


Figura 3 Fotomicrografias das espécies de maior abundância nos sedimentos investigados da área de ressurgência em Cabo Frio (A *Emiliana huxleyi*; B *Gephyrocapsa oceanica*; C *Florisphaera profunda*).

nesta assembleia foi *Florisphaera profunda* (Figura 3), com abundância relativa no intervalo variando de 8,4% (64 cm) a 31,8 (128 cm) (Tabela 1). Esta espécie apresentou na assembleia total uma abundância de 19%. *Gephyrocapsa oceanica* (Figura 3) também obteve destaque na amostra com uma abundância na assembleia total alcançando 14,32%. Sua abundância relativa no intervalo foi de 26,4 (185 cm) a 9,6% (130 cm) (Tabela 1). *Gephyrocapsa caribbeanica*, *Pseudoemiliana ovata* e *Thoracosphaera* spp. representam as espécies com abundâncias de representatividade secundárias. Uma predominância absoluta dos táxons *Emiliana huxleyi* e *Gephyrocapsa* spp. foi registrada, os dois somando de 51,74 a 80,17% do total de fósseis observados no perfil (Tabela 1).

Mudanças no comportamento da abundância relativa de *Emiliana huxleyi* foi o principal dado utilizado para a divisão da sessão sedimentar do testemunho CF02-01B. Secundariamente a dis-

Prof. (cm)	<i>E. huxleyi</i>	<i>F. profunda</i>	<i>G. oceanica</i>	<i>G. caribbeanica</i>	<i>E. huxleyi</i> e <i>Gephyrocapsa</i> spp.	<i>P. ovata</i>	<i>Thoracosphaera</i> spp.
50	57,7	15,7	12,2	2,6	72,4	2,2	1,7
54	56,5	20,3	12,0	2,9	71,4	2,9	0,5
56	50,45	9,0	19,8	4,2	74,5	4,2	0,9
58	56,2	18,1	11,6	3,6	71,4	1,6	2,0
59	54,6	18,1	14,3	3,4	72,3	3,4	1,0
64	62,7	8,3	14,4	3,0	80,2	1,9	2,7
68	61,4	16,5	12,0	1,9	75,3	2,2	1,6
91	53,7	14,8	13,0	5,5	72,2	3,7	4,6
126	45,5	27,3	10,6	7,6	63,6	0,0	4,5
128	35,4	31,7	13,4	4,9	53,6	6,1	2,4
130	46,2	18,6	9,6	14,5	70,3	3,5	4,1
133	38,1	24,6	15,2	9,4	62,7	1,8	4,7
136	43,2	26,1	15,3	6,3	64,8	1,8	2,7
138	44,9	27,6	13,5	4,5	62,8	1,9	1,3
144	36,5	31,8	14,1	1,2	51,7	4,7	3,5
148	37,9	28,8	12,9	10,6	61,4	1,5	3,0
156	52,6	20,7	14,7	6,9	74,1	0,9	0,9
159	54,1	16,8	14,9	3,7	72,7	2,8	3,7
163	47,0	13,9	22,9	4,2	74,1	2,4	4,8
168	49,5	24,7	13,9	3,0	66,3	0,0	5,0
178	47,4	21,5	16,3	7,4	71,1	3,7	0,7
180	47,0	17,4	18,6	12,8	78,4	1,2	3,5
185	43,1	15,3	26,4	4,2	73,6	4,2	2,8
187	48,6	17,6	13,4	9,9	71,8	0,0	3,5
191	45,3	16,2	19,5	7,3	72,1	2,8	3,4
193	46,8	21,1	21,1	4,6	72,5	1,8	2,8
194	47,1	22,1	12,9	6,4	66,4	2,1	0,7
196	40,5	29,1	10,1	7,6	58,2	5,1	1,3
198	43,2	20,3	23,0	8,1	74,3	0,7	2,7
Máx.	62,7	31,8	26,4	14,5	80,2	6,1	5,0
Min.	35,4	8,4	9,6	1,2	51,7	0,0	0,5
Asse.	51,1	19	14,3	5,1	65,4	2,4	2,2

Tabela 1 Frequência relativa dos nanofósseis mais representativos do testemunho CF02-01B. Observe a predominância dos táxons *Emiliana huxleyi*, *Gephyrocapsa oceanica* e *Florisphaera profunda*. (Máx) Máxima; (Min) Mínimo; (Asse) Frequência na assembleia total.

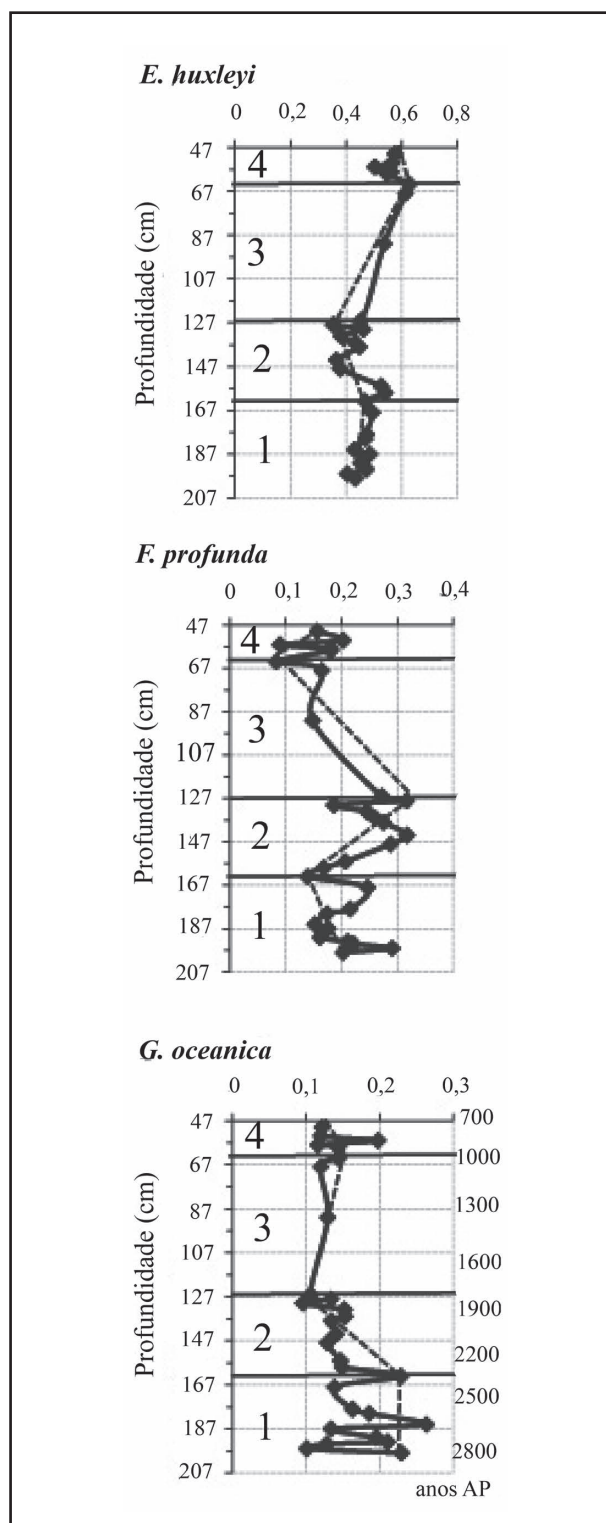


Figura 4 Representação dos intervalos (1, 2, 3 e 4) deduzidos pela divisão dos perfis da abundância relativa das espécies principais do testemunho CF02-01B. Observe as tendências (representadas nas linhas pontilhadas) de aumento de *Emiliana huxleyi* e *Gephyrocapsa oceanica* em 1 e 3 e redução em 2 e 4. Ao passo que, *Florisphaera profunda* apresenta tendências inversas nestes intervalos.

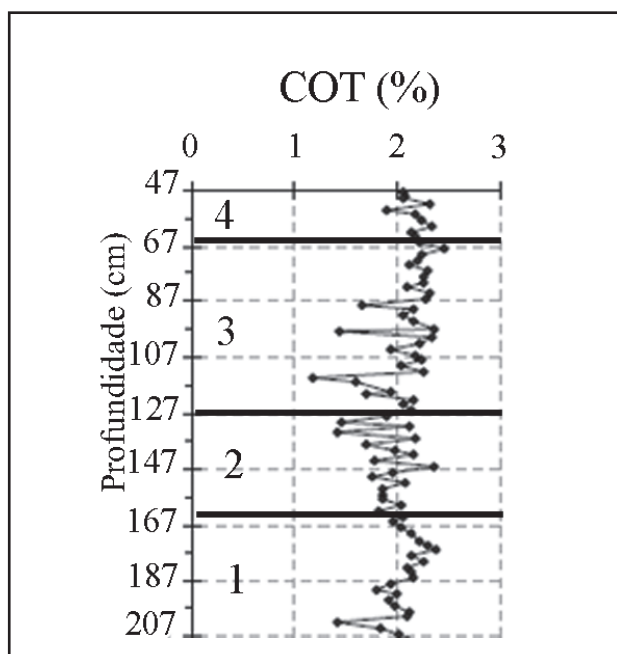


Figura 5 Perfil do COT, obtido por Oliveira (2008) e Andrade (2008), subdividido de acordo com os intervalos propostos neste trabalho com base nos nanofósseis. Nos intervalos 1 e 3 observa-se uma tendência aumento do COT, mais sutil em 3. Ao passo que, nos intervalos 2 e 4 observa-se ligeiras tendências de redução.

tribuição das abundâncias relativas de *Gephyrocapsa oceanica* e *Florisphaera profunda* também foram empregadas. Dados referentes à porcentagem do COT na sessão sedimentar foram subdivididos de acordo com a distribuição das principais espécies de nanofósseis nas amostras. Quatro intervalos (Figuras 4 e 5) foram obtidos, sendo:

- Intervalo 1 – Compreendido entre ~ 2800 e ~ 2300 anos AP, caracterizado pela tendência de aumento na abundância relativa de *Emiliana huxleyi* e *Gephyrocapsa oceanica*; pela tendência de redução da abundância relativa de *Florisphaera profunda*. A porcentagem de COT (Figura 5) neste intervalo apresenta uma ligeira tendência de aumento.

- Intervalo 2 – Compreendido entre ~ 2300 a ~ 1800 anos AP, caracterizado por tendência de queda na abundância relativa de *Emiliana huxleyi* e *Gephyrocapsa oceanica*; e tendência de aumento na abundância de *Florisphaera profunda*. Os dados de COT neste intervalo mostram-se pouco definidos, porém com ligeira tendência de redução na porcentagem.

- Intervalo 3 – Compreendido entre ~ 1800 e ~ 1000 anos AP foi marcado pela tendência de au-

mento na abundância relativa de *Emiliana huxleyi* e *Gephyrocapsa oceanica*, ao passo que o perfil da espécie *Florisphaera profunda* apresenta tendência de redução na abundância. O perfil de variação da porcentagem de COT neste intervalo apresenta ligeira tendência de aumento.

- Intervalo 4 – No topo da sequência sedimentar (~1000 a 700 anos AP), caracterizado pela ligeira tendência de queda nas abundâncias relativas de *Emiliana huxleyi* e *Gephyrocapsa oceanica*; e tendência de aumento na abundância de *Florisphaera profunda*. O perfil do COT apresentou ligeira tendência de queda neste intervalo.

4 Discussão

4.1 Assembleia de Nanofósseis Calcários

No testemunho CF02-01B da área de ressurgência de Cabo Frio foi observada uma assembleia de nanofósseis calcários que, apesar dos indícios de dissolução, sobrecrecimento e fragmentação observados em alguns táxons, apresenta cocosferas inteiras e exemplares bem preservados que asseguram uma rápida taxa de sedimentação, deposição *in situ* e pouco retrabalhamento. Estas evidências corroboram com os estudos deste testemunho realizados por Andrade (2008) e Oliveira (2008), que observaram uma taxa de sedimentação entre 0,05 e 0,12 cm.ano⁻¹ (0,07 cm.ano⁻¹ em média).

As espécies *Calcidiscus leptoporus*, *Gephyrocapsa oceanica* e *Helicosphaera*, apontadas neste estudo como algumas das mais afetadas por alterações, também são relatadas por Toledo *et al.* (2002) como suscetíveis a modificações por sobrecrecimento e dissolução em amostras de testemunhos do talude da Bacia de Campos.

As espécies *Pseudoemiliana ovata* e *Reticulofenestra asanoi*, fósseis guias do Pleistoceno (Martini, 1971; Antunes, 2007), representam evidências de que a associação está possivelmente retrabalhada com espécies do Pleistoceno. A presença de material retrabalhado é comum nas áreas de ressurgência, sendo também relatada por Giraudeau (1992) em Benguela. Este fato é explicado pelo revolvimento do fundo oceânico durante o movimento de ressurgência das águas profundas.

Dentre os 17 gêneros de nanofósseis visualizados neste estudo apenas *Acanthoica* e *Sphenolithus* não foram encontrados nas principais

ressurgências do mundo, sendo estes possivelmente resultado de retrabalhamento. Os demais gêneros foram também observados nas áreas ressurgência de Benguela, África (Giraudeau, 1992); *San Pedro Basin*, Califórnia (Ziveri *et al.*, 1995); costa do Peru e costa do Equador (Álvarez *et al.*, 2010); Somália, África (Stoll & Ziveri, 2002).

Dos 27 táxons de nanofósseis analisados seis (*Acanthoica spp.*, *Calcidiscus tropicus*, *Helicosphaera hyalina*, *Pontosphaera indooceanica*, *Pontosphaera messinae* e *Syracosphaera lamina*) não estiveram presentes em outros estudos em áreas de ressurgência. A ocorrência em comum dos táxons encontrados com os de outras áreas geográficas é justificada pelo fato de os nanofósseis calcários serem um grupo de ampla distribuição biogeográfica. Entretanto, a abordagem focada da maioria das pesquisas em espécies de fácil identificação e algum significado bioestratigráfico ou paleoecológico dificulta comparações quando relacionadas às espécies raras e de classificação controversa.

Nas principais áreas de ressurgência os táxons *Emiliania huxleyi*, *Florisphaera profunda* e *Gephyrocapsa oceanica* têm sua abundância diretamente influenciada pelo fortalecimento e enfraquecimento deste fenômeno oceanográfico (Giraudeau, 1992; Ziveri *et al.*, 1995; Okada & Wells, 1997; Álvarez *et al.*, 2010), sendo também os táxons de maior representatividade nestes sistemas.

As espécies *Calcisolenia fossilis*, *Florisphaera profunda*, *Helicosphaera carteri*, *Helicosphaera hyalina*, *Rhabdosphaera claviger*, *Rhabdosphaera stylifera*, *Coccolithus pelagicus*, *Calcidiscus leptoporus*, *Gephyrocapsa oceanica*, *Ceratolithus cristatus*, *Umbilicosphaera sibogae*, *Emiliania huxleyi*, *Syracosphaera pulchra* e os gêneros *Pontosphaera*, *Reticulofenestra*, *Micrasicidites* (espículas de ascídeas) e *Thoracosphaera* (dinoflagelado) já foram relatados para o Quaternário de testemunhos em águas profundas na Bacia de Campos (Maciel, 2008; Tokutake, 2005; Toledo *et al.*, 2002). Tal fato indica correspondência entre a flora de nanofósseis de ambiente plataformal e distal, possivelmente pela atuação da ACAS na região.

Giraudeau (1992) observou que o número de cocólitos que ocorrem nos sedimentos de águas profundas é muito mais alto do que o observado em sedimentos costeiros sob as principais áreas de ressurgência em Benguela. Este padrão também é observado na área de ressurgência de Cabo Frio que contém uma abundância de nanofósseis nos sedimentos muito menor que a observada nas

áreas de águas profundas da Bacia de Campos. Este padrão reflete a variação espacial da produção fitoplanctônica nas águas superficiais que em ambientes costeiros é dominada por diatomáceas e dinoflagelados.

4.2 Condições Paleoambientais e Inferências Paleoceanográficas

As espécies encontradas como dominantes neste estudo são de reconhecido significado paleoambiental.

Emiliania huxleyi, com frequência de 51,1% na assembleia total, é uma espécie cosmopolita abundante em águas tropicais à subpolares (Okada & McIntyre, 1979); e oportunista que habita a zona fótica superior (Okada & Honjo, 1973; Tyrell & Merico, 2004); tolerando amplas variações de temperatura (1° a 31°C) e de salinidade (15 a 45 ppm) (Okada & Honjo, 1975).

Gephyrocapsa oceanica, com frequência de 14,32% na assembleia total, é uma espécie oportunista registrada com modesta frequência em mares pobres em nutrientes (Brand, 1994); que cresce em áreas tropicais a subtropicais com preferência por águas quentes e mares marginais (McIntyre & Bé, 1967; Okada & Honjo, 1975), tendo sido observada em águas com temperaturas que oscilam entre 19° e 31°C. Esta espécie não floresce em concentrações de salinidade inferiores a 15 ppm e tem sido relatada em florações associadas a ressurgências (Mitchell-Innes & Winter, 1987; Houghton & Guptha, 1991).

As espécies acima, que em conjunto representam 51,74 a 80,17% da assembleia analisada, respondem positivamente ao enriquecimento de nutrientes nas regiões equatoriais, ressurgências costeiras e sobre a plataforma (Mitchell-Innes & Winter, 1987; Houghton & Guptha, 1991). Elas têm sido relatadas como as mais abundantes espécies durante a máxima influência de ressurgências, com baixas temperaturas superficiais do mar, altas concentrações de nitrato, e baixas concentrações de $\delta^{15}\text{N}$ (Broerse *et al.*, 2000; Mergulhao *et al.*, 2006). Desta forma, sua grande abundância nas amostras estudadas está em conformidade com a ocorrência de ressurgência na região, sendo as variações em sua distribuição relacionáveis ao fortalecimento e enfraquecimento deste fenômeno e à predominância da ACAS ou da CB na área estudada.

Florisphaera profunda, repondendo por 19% da assembleia total de nanofósseis, é uma

espécie que habita exclusivamente a zona fótica inferior (Okada & Honjo, 1973) e que tem sido reconhecida como uma poderosa ferramenta para a paleoceanografia do Quaternário (Okada & Wells, 1997). A abundância relativa deste táxon pode ser utilizada como indicador de paleopropriedade da água, transparência média da água (Ahagon *et al.*, 1993) e mudanças na estrutura vertical dos oceanos (Molfino & McIntyre, 1990; Castradori, 1993). *Florisphaera profunda* está relacionada a uma nutriclina profunda; baixa produtividade e elevada transparência da água (Ahagon *et al.*, 1993; Beaufort *et al.*, 2001) e sua abundância relativa permite o estudo de variações na estrutura das camadas superiores dos oceanos, tais como espessura da camada de mistura. Segundo Cheng & Wang (1998) estratificação da coluna d'água, termoclina e nutriclina profundas são condições favoráveis ao florescimento de *Florisphaera profunda*. De modo inverso, uma fina zona de mistura, termoclina e nutriclina rasas resultam no declínio da abundância de *Florisphaera profunda*. Desta forma, *Florisphaera profunda* é um bom indicador dos momentos de enfraquecimento da ressurgência, já que com a ocorrência deste fenômeno, mais nutrientes chegarão às camadas superiores tornando a nutriclina mais rasa, reduzindo a transparência da água e eliminando a estratificação na coluna d'água.

Emiliana huxleyi e *Florisphaera profunda* no testemunho analisado apresentaram comportamentos especulares, sendo o pico de *Emiliana* correspondente a menor abundância relativa de *Florisphaera*. Este comportamento especular também foi observado entre *Florisphaera profunda* e *Gephyrocapsa oceanica*. Estes dados estão de acordo com o que se conhece sobre as preferências ambientais destas espécies, já que o florescimento de *Emiliana huxleyi* e *Gephyrocapsa oceanica* está relacionado ao enriquecimento das águas superficiais por nutrientes provenientes, neste caso, da ressurgência de águas profundas; ao passo que este fenômeno leva à redução na abundância de *Florisphaera profunda* em decorrência da redução da transparência d'água, elevação da termoclina e nutriclina.

As mudanças no comportamento da abundância de *Emiliana huxleyi* e a distribuição dos três táxons de representatividade principal levou à separação do testemunho estudado em quatro intervalos que de acordo com o exposto sobre as preferências ambientais destas espécies são interpretados da seguinte forma:

Intervalos 1 (~ 2800 a ~ 2300 anos AP) e 3 (~ 1800 e ~ 1000 anos AP), caracterizados pela tendência de aumento na abundância relativa de *Emiliana huxleyi* e *Gephyrocapsa oceanica* e pela tendência de redução da abundância relativa de *Florisphaera profunda*, representam intervalos de fortalecimento do sistema de ressurgência em Cabo Frio. Assim, revelam períodos na região com predomínio da influência da ACAS, coluna d'água não estratificada, menor transparência da água e aumento na produtividade das águas superficiais.

Intervalos 2 (~ 2300 a ~ 1800 anos AP) e 4 (~1000 a 700 anos AP), caracterizados por tendência de queda na abundância relativa de *Emiliana huxleyi* e *Gephyrocapsa oceanica*; e tendência de aumento na abundância de *Florisphaera profunda*, representam períodos de enfraquecimento do sistema de ressurgência. Portanto, apresentam predomínio da CB e baixos índices de nutrientes na superfície que resultam na redução da produtividade do sistema. A nutriclina mais profunda nestes períodos e a maior transparência da água favorecem ao florescimento de *Florisphaera profunda* na zona fótica inferior. Desta forma, os picos de abundância de *Florisphaera profunda*, como o observado a 128 cm indicam o enfraquecimento da ressurgência.

Os dados de COT obtidos por Andrade (2008) e Oliveira (2008), apresentaram grande variabilidade ao longo do perfil, contudo quando divididos segundo os intervalos das espécies principais demonstraram ligeira concordância com as tendências indicadas por *Emiliana huxleyi* e *Gephyrocapsa oceanica*, sendo mais um fator a corroborar para o aumento da produtividade nos intervalos de tendência de aumento da abundância destas espécies.

A possível divisão do testemunho em intervalos correspondentes ao fortalecimento e enfraquecimento do sistema de ressurgência em Cabo Frio, confirma o caráter intermitente deste fenômeno na região.

A assembleia de nanofósseis encontrada no testemunho CF02-01B mostrou-se semelhante a observada por Laslandes (2007) no testemunho CF02-02B na mesma área estudada, contudo obtido a 124 m de profundidade e representado o intervalo compreendido entre 2.310 e 12.830 anos AP. Desta forma, este estudo corrobora e complementa as interpretações desta autora que observou flutuações na produtividade primária na área e variações na frequência e intensidade da ressurgência local.

5 Conclusões

Uma rica assembleia de nanofósseis calcários caracterizada pela dominância das mais comuns espécies do Quaternário (*Emiliana huxleyi*, *Florisphaera profunda* e *Gephyrocapsa oceanica*) foi encontrada nos sedimentos da área de ressurgência na plataforma continental de Cabo Frio representativos do intervalo entre 700 e 2800 anos AP.

A assembleia analisada constou também com a presença de espículas de acísdeas (*Micracidites spp.*) e cistos de dinoflagelados (*Thoracosphaera spp.*).

Algumas espécies encontram-se retrabalhadas, sendo as espécies *Pseudoemiliana ovata* e *Reticulofenestra asanoi*, espécies exclusivas do Pleistoceno, evidências deste retrabalhamento.

Os nanofósseis presentes na área estudada mostraram eficiente sensibilidade paleoambiental que permitiu a subdivisão do perfil sedimentar analisado em quatro intervalos referentes a períodos de fortalecimento (1, ~ 2800 a ~ 2300 anos AP, e 3, ~ 1800 a ~ 1000 anos AP), e enfraquecimento (2, ~ 2300 a ~ 1800 anos AP, e 4, ~ 1000 a 700 anos AP) do sistema de ressurgência em Cabo Frio.

A subdivisão do perfil sedimentar analisado em intervalos de fortalecimento e enfraquecimento da ressurgência na área de Cabo Frio indica a intermitência deste fenômeno no passado geológico da região.

Na assembleia investigada *Emiliana huxleyi*, *Florisphaera profunda* e *Gephyrocapsa oceanica* mostraram-se bons indicadores paleoambientais e de paleoprodutividade.

Aumentos na abundância dos táxons *Emiliana huxleyi* e *Gephyrocapsa oceanica* na área estudada, refletem aumento na influência da Água Central do Atlântico (ACAS) na região com queda na temperatura das águas superficiais, aumento da quantidade de nutrientes e elevação da produtividade local.

Aumentos na abundância do táxon *Florisphaera profunda* representa maior influência da Corrente no Brasil (CB) na região, com águas superficiais mais aquecidas, pobres em nutrientes, resultando em baixa produtividade.

As inferências paleoambientais obtidas através do estudo quantitativo dos nanofósseis

mostraram-se em concordância com as inferências realizadas através do COT em estudos anteriores.

O estudo dos nanofósseis calcários na área de ressurgência de Cabo Frio revelou o potencial da utilização destes microfósseis em reconstruções paleoambientais também em regiões costeiras, campo ainda pouco explorado no Brasil.

6 Agradecimentos

À Dr^a. Ana Luiza Spadano Albuquerque e ao Departamento de Geoquímica da Universidade Federal Fluminense pelo material cedido.

7 Referências

- Ahagon, N.; Tanaka, Y. & Ujiie, H. 1993. *Florisphaera profunda*, a possible nannoplankton indicator of late Quaternary changes in sea-water turbidity at the northwestern margin of the Pacific. *Marine Micropaleontology*, 22:255-274.
- Álvarez, M.C.; Flores, J.A.; Sierro, F.J. & Molina-Cruz, A. 2010. Long-term upwelling evolution in tropical and equatorial Pacific during the last 800 kyr as revealed by coccolithophore assemblages. *Geobios*, 43: 123 - 130.
- Andrade, M.M. 2008. *Paleoprodutividade costeira da região de Cabo Frio, Rio de Janeiro, ao longo dos últimos 13.000 anos cal AP*. Programa de Pós-graduação em Geoquímica Ambiental, Universidade Federal Fluminense, Tese de Doutorado, 275p.
- Antunes, R.L. 2007. *Nanofósseis calcários do Quaternário da margem continental brasileira*. Rio de Janeiro, Petrobrás/CENPES. 76p.
- Baumann, K.H. & Freitag, T. 2004. Pleistocene fluctuations in the northern Benguela Current system as revealed by coccolith assemblages. *Marine Micropaleontology*, 52: 195 - 215.
- Beaufort, L.; De Garidel-Thoron, T.; Mix, A.C. & Pisias, N.G. 2001. ENSO-like forcing on oceanic primary production during the Late Pleistocene. *Science*, 293: 2440 - 2444.
- Bown, P.R. 2005. Palaeogene calcareous nannofossils from the Kilwa and Lind areas of coastal Tanzania (Tanzania Drilling Project 2003-4). *Journal Nannoplankton Research*, 27 (1): 21 - 95.
- Bown, P.R. 1998. *Calcareous nannofossil biostratigraphy*. London, Chapman & Hall (British Micropaleontological Society Publications Series), 315 p.
- Brand, L.E. 1994. Physiological ecology of marine coccolithophores. In: WINTER, A. & SIESSER, W.G. (eds.). *Coccolithophores*. Cambridge University Press, p. 39 - 49.
- Broerse, A.T.C.; Brummer, G.J.A. & van Hinte, J.E. 2000. Coccolithophore export production in response to monsoonal upwelling off Somalia (northwestern Indian Ocean). *Deep-Sea Research*, 47: 2179-2205.
- Castradori, D. 1993. Calcareous nannofossils and the origin of eastern Mediterranean sapropels. *Paleoceanography*, 8 (4): 459.
- Cheng, X. & Wang, P. 1998. Variations in late Quaternary upper ocean structure of Okinawa Trough: a nannofossil approach. *Science in China*, 41 (3): 290 - 296.
- Crux, J.A.; Gary, A.; Gard, G. & Elligton, W.E. 2010. Recent advances in the application of biostratigraphy to hydrocarbon exploration and production. In: RATCLIFFE, K.J. & ZAITLIN, B.A. (eds.). *Application of modern stratigraphic techniques: theory and cases histories*. SEPM Society for Sedimentary Geology, Special Publication, nº 94.
- De Mahiques, MM; Silveira, I.C.A.; Sousa, S.H.M. & Rodrigues,

- M. 2002. Post-LGM sedimentation on the outer shelf – upper slope of the northernmost part of the São Paulo Bight, southeastern Brazil. *Marine Geology*, 181: 387 – 400.
- De Mahiques, M.M.; Bicego, M.C.; Silveira, I.C.A.; Sousa, S.H.M.; Lourenço, R.A. & Fukumoto, M.M. 2005. Modern sedimentation in the Cabo Frio upwelling system, Southeastern Brazilian shelf. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 77 (3): 535 – 548.
- Dimiza, M.D.; Triantaphyllou, M.V. & Dermizakis, M.D. 2008. Vertical distribution and ecology of living coccolithophores in the marine ecosystems of Andros Island (Middle Aegean Sea) during late summer 2001. *Hellenic Journal of Geosciences*, 43: 7 – 20.
- Ferraz, K.C.; Marques Jr., A.N.; Rodriguez, E.G.; Santos, G.M. & Gomes, P.R.S. 2004. Use of ^{14}C - AMS in the study of biological production in coastal upwelling areas. *Brazilian Journal of Physics*, 34 (3A): 732 - 736.
- Giraudeau, J. 1992. Distribution of Recent nanofossils beneath the Benguela system: southwest African continental margin. *Marine Geology*, 108: 219 - 237.
- Hine, N. & Weaver, P.P.E. 1998. Quaternary. In: BOWN, P.R. (ed.). *Calcareous Nanofossil Biostratigraphy*. Chapman & Hall, p. 266-280. (British Micropalaeontological Society Publications Series)
- Houghton, S.D. & Guptha, M.V.S. 1991. Monsoonal and fertility controls on Recent marginal sea and continental shelf coccolith assemblages from the western Pacific and northern Indian oceans. *Marine Geology*, 97: 251 – 259.
- Laslandes, B. 2007. *Reconstitution de la variabilité climatique du littoral fluminense (Rio De Janeiro, Brésil) au cours de l'holocène par l'étude de bio-indicateurs (diatomées, coccolithophoridés)*. Programa de Pós-graduação em Sciences de la terre et de l'atmosphère, L'Université D'Angers, França, Tese de Doutorado, 251p.
- Lorenzetti, J.A. & Gaeta, S.A. 1996. The Cape Frio upwelling effect over the South Brazil Bight northern sector shelf waters: a study using AVHRR images. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. XXI (part B7): 448 – 453.
- Maciel, D. M. 2008. *Bioestratigrafia com base em nanofósseis calcários do Pleistoceno-Holoceno, área norte da Bacia de Campos, RJ*. Graduação em Geologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Monografia, 107p.
- Martini, E. 1971. Standard Tertiary and Quaternary calcareous nannoplankton zonation. In: FARINACCI (ed.). *Proceedings II Planktonic Conference, Roma*, 1970, 2: 739 - 785.
- McIntyre, A. & Bé, A.W.H. 1967. Modern Coccolithophoridae of the Atlantic Ocean, placoliths and cyrtoliths. *Deep-Sea Research*, 14: 561 - 597.
- Mergulhao, L.P.; Mohan, R.; Murty, V.S.N.; Guptha, M.V.S. & Sinha, D.K. 2006. Coccolithophores from the central Arabian Sea: sediment trap results. *Journal Earth System Science*, 115 (4): 415 – 428.
- Mitchell-Innes, B.A. & Winter, A. 1987. Coccolithophores: a major phytoplankton component in mature upwelled waters off the Cape Peninsula, South Africa in March, 1983. *Marine Biology*, 95: 25 – 30.
- Mohriak, W.U. 2003. Bacias sedimentares da margem continental brasileira. In: BIZZI, L.A.; SCHOBENHAUS, C.; VIDOTTI, R. M. & GONÇALVES, J. H. (eds.). *Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil*. CPRM, p. 87 – 94.
- Molfino, B. & McIntyre, A. 1990. Nutricline variation in the Equatorial Atlantic coincident with the Younger Dryas. *Paleoceanography*, 5: 997 – 1008.
- Okada, H. & Honjo, S., 1973. The distribution of oceanic coccolithophorids in the Pacific. *Deep-Sea Research*, 20: 355 – 374.
- Okada, H. & Honjo, S. 1975. Distribution of coccolithophores in marginal seas along the western Pacific ocean and in the Red Sea. *Marine Biology*, 31 (3): 271 – 286.
- Okada, H. & McIntyre, A. 1977. Modern coccolithophores of the Pacific and North Atlantic oceans. *Micropaleontology*, 23: 1 – 55.
- Okada, H. & McIntyre, A. 1979. Seasonal distribution of Modern coccolithophores in the western North Atlantic ocean. *Marine Biology*, 54: 319 - 328.
- Okada, H. & Wells, P. 1997. Late Quaternary nanofossil indicators of climate change in two deep-sea cores associated with the Leeuwin Current off Western Australia. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 131: 413 – 432.
- Oliveira, A.C.C. 2008. *Registro de paleotemperaturas na plataforma continental de Cabo Frio, Rio de Janeiro, ao longo dos últimos 13.000 anos*. Programa de Pós-graduação em Geoquímica, Universidade Federal Fluminense, Tese de Doutorado, 201p.
- Perch-Nielsen, K. 1985. Cenozoic calcareous nanofossils. In: BOLLI, H.M.; SAUNDERS, J.B. & PERCH-NIELSEN, K. (eds.). *Plankton Stratigraphy*. Cambridge Univ. Press, p. 427 – 455.
- Rodrigues, R.R. & Lorenzetti, J.A. 2001. A numerical study of the effects of bottom topography and coastline geometry on the Southeast Brazilian coastal upwelling. *Continental Shelf Research*, 21: 371-394.
- Silveira, I.C.A.; Schmidt, A.C.K.; Campos, E.J.D.; Godoi, S.S. & Ikeda, Y. 2000. A Corrente do Brasil ao largo da costa leste brasileira. *Revista Brasileira de Oceanografia*: 48(2): 171 – 183.
- Stoll, H.M. & Ziveri, P. 2002. Separation of monospecific and restricted coccolith assemblages from sediments using differential settling velocity. *Marine Micropaleontology*, 46: 209 – 221.
- Tokutake, L.R. 2005. *Bioestratigrafia de nanofósseis calcários e estratigrafia de isótopos (C e O) do talude médio Quaternário, porção N da Bacia de Campos, ES*. Programa de Pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Dissertação de Mestrado, 96p.
- Toledo, F.A.L.; Gonçalves, H.M.S. & Costa, K.B. 2002. Nanofósseis calcários Quaternários da Bacia de Campos, Brasil: sistemática e diagênese primária. *Pesquisas em Geociências*, 29 (1): 15 – 29.
- Tyrell, T. & Merico, A. 2004. *Emiliania huxleyi*: Bloom observations and the conditions that induce them. In: THIERSTEIN, H.R. & YOUNG, J. (eds.). *Coccolithophores: from molecular processes to global impact*. Springer – Verlag, p. 75-97.
- Wanderley, M.D. 2010. Técnicas de preparação de microfósseis. In: CARVALHO, I.S. (ed). *Paleontologia: conceitos e métodos*. 3ª edição, vol. 1, Editora Interciência, p. 387 – 394.
- Winter, A.; Jordan, R.W. & Roth, P.H. 1994. Biogeography of living coccolithophores in ocean waters. In: WINTER, A. & SIESSER, W.G. (eds.). *Coccolithophores*. Cambridge University Press, p. 161 - 178.
- Ziveri, P.; Balestra, B.; Monechi, S.; Baumann, K.H. & Troelstra, S. 1999. Fine Fraction carbonate flux off Somalia : coccolithophorid implications and CODENET taxa contribution. In: CODENET ANNUAL WORKSHOP, 2, Château de Blagnac, Cabara France. *Extended Abstracts*, Château de Blagnac, Cabara France, p. 137 - 140.
- Ziveri, P.; Thunell, R.C. & Rio, D. 1995. Export production of coccolithophores in an upwelling region: results from San Pedro Basin, Southern California Borderlands. *Marine Micropaleontology*, 24: 335 - 358.