

NANOFÓSSEIS CALCÁRIOS E A BIOESTRATIGRAFIA DO OLIGOCENO – PLIOCENO DA MARGEM CONTINENTAL BRASILEIRA

Denis Antonio BATISTON¹, Rogério Loureiro ANTUNES², Dimas DIAS-BRITO¹

(1) UNESP – Universidade Estadual Paulista, IGCE – Centro de Geociências Aplicadas ao Petróleo – UNESPetro. Av. 24 A, 1515, Bela Vista, Rio Claro, SP. Brasil. Endereços eletrônicos: batiston@rc.unesp.br; dimasdb@rc.unesp.br.

(2) PETROBRAS. Av. Chile, 330, 13º andar, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. CEP 20031-170. Endereço eletrônico: rogeantu@petrobras.com.br.

Introdução

Nanofósseis calcários no Oligoceno – Plioceno do Brasil: estudos prévios

Materiais e Métodos

Resultados e Discussões

Biozonas do Oligoceno (N505 a N545)

Biozonas do Mioceno (N547 a N640)

Biozonas do Plioceno (N650 e N660)

Considerações finais

Agradecimentos

Referências bibliográficas

RESUMO - Em todo o mundo e há quase meio século, o pacote de rochas marinhas pelíticas distais que compõe o intervalo Oligoceno – Plioceno vem sendo subdividido estratigraficamente com base em estudos de nanofósseis calcários. Tal subdivisão tem tido como referência alguns biozoneamentos internacionais que se tornaram clássicos, sendo que, regionalmente, vem sendo feita a partir de estudos conduzidos pela indústria petrolífera. Neste último caso, os limites das biozonas essencialmente coincidem com horizontes de sucessivos desaparecimentos (últimas ocorrências ou “extinções”) de diferentes espécies. Este trabalho apresenta o zoneamento estabelecido para a Margem Continental Brasileira por Richter e colegas, relacionando-o com as propostas clássicas de Martini e Okada & Bukry. Das 18 biozonas reconhecidas, seis são associadas ao Oligoceno, dez ao Mioceno e duas ao Plioceno. Um selecionado conjunto de seções delgadas, fotografadas ao microscópio óptico, deram origem às imagens das espécies-chave oligo-pleiocênicas das bacias costeiras do Brasil aqui apresentadas. O estudo contribui para a difusão da bioestratigrafia de nanofósseis calcários aplicada ao estudo de unidades sedimentares cenozoicas de subsuperfície do Atlântico Sul.

Palavras-chave: micropaleontologia, biozoneamento, bacias costeiras do Brasil, Paleogeno, Neogeno

ABSTRACT - In the last fifty years, calcareous nanofossils have been frequently used to divide Mesozoic distal marine sedimentary sections around the world. Various international biozonation schemes established in exposed and cored strata are the standart references for this subdivision. To study subsurface sediments, the oil industry uses regional biostratigraphic schemes in which the biohorizon boundaries are fixed by successive disappearances (“last occurrences”) of species. We present here an Oligocene-Pliocene nanofossil zonation established for the Brazilian Continental Margin, as conceived by Richter and colleagues, and relate it to the classical Martini and Okada & Bukry’s proposals. Of the eighteen recognized biozones, six are associated with the Oligocene, ten with the Miocene, and two with the Pliocene. In this study, photomicrographs of the key-species for the biostratigraphy of the interval are shown which were obtained by optical microscopy from a selected group of thin sections are representative of the Brazilian coastal basins. The present paper contributes to the dissemination of knowledge on Cenozoic calcareous nanofossils applied to South Atlantic basins.

Keywords: micropaleontology, biozonation, Brazilian coastal basins, Paleogene, Neogene

INTRODUÇÃO

As atividades de exploração e produção na indústria do petróleo são sofisticadas e altamente complexas, apresentando, de outro lado, alto custo operacional, sobretudo em áreas marinhas. Utilizam-se de um amplo espectro de métodos geocientíficos, entre os quais a micropaleontologia, que tem sido usada como uma das ferramentas geológicas fundamentais no estudo das bacias sedimentares, seja para auxiliar na

compreensão da estratigrafia, seja para agregar valor às interpretações paleoambientais.

Entre os microfósseis mais utilizados na bioestratigrafia marinha de precisão encontram-se os nanofósseis calcários, que estão presentes no registro sedimentar desde o Neotriássico. Tais elementos constituem restos de esqueletos calcários comumente menores que 25 µm, entre os quais aquelas estruturas produzidas por algas planctônicas unicelulares microscópicas marinhas marrom-douradas (cocolitos) e outras

de afinidade biológica incerta (nanolitos, que são comumente encontrados em associação com os cocolitos). Além de viabilizar o controle das correlações estratigráficas em escalas exploratória e de exploração de campos petrolíferos, estes bioelementos oferecem relevantes informações de natureza biocronológica.

Os nanofósseis calcários são empregados nos estudos bioestratigráficos devido à sua grande abundância e boa preservação em rochas sedimentares marinhas de mar aberto, ampla distribuição geográfica e alta taxa evolutiva. Ademais, por conta de questões intrínsecas, como a relativa facilidade para a identificação das espécies e o rápido processamento das amostras durante a perfuração de poços, o estudo dos nanofósseis tem contribuído significativamente para o monitoramento biocronoestratigráfico em tempo real (*biosteering*). Em outras palavras, o método também se destaca por possibilitar a datação dos horizontes estratigráficos concomitantemente à perfuração do poço. Além disso, os biozoneamentos a nanofósseis permitem, em muitos intervalos, uma resolução geocronológica de biozonas inferior a um milhão de anos, o que é valiosíssimo para a exploração petrolífera (Ventress, 1991).

Os nanofósseis calcários vêm sendo utilizados na investigação das bacias da Margem Continental Brasileira (MCB) desde o final da década de 1960 (Antunes, 1997), quando se deu o início da exploração das bacias costeiras do Brasil pela Petrobras. Os primeiros estudos, realizados nas bacias de Sergipe-Alagoas e Espírito Santo, logo evidenciaram a existência de um espesso e complexo pacote sedimentar cretáceo-terciário, a provocar o uso crescente dos nanofósseis calcários em estudos estratigráficos nas décadas seguintes (Lana & Beurlen, 2007). Dentre todas as bacias costeiras da MCB, a Bacia de Campos foi aquela mais intensamente pesquisada quanto ao conteúdo nanofossilífero; os nanofósseis forneceram

dados fundamentais para a compreensão, por exemplo, da evolução e geometria dos reservatórios turbidíticos dos campos gigantes de óleo de Marlim e Albacora na transição Oligoceno – Mioceno (Dias-Brito, 1989).

No Brasil, as publicações acadêmicas sobre nanofósseis calcários são relativamente escassas, restringindo-se a alguns artigos produzidos nos últimos anos. Na realidade, a contribuição maior está ligada a especialistas da Petrobras e, portanto, aplicada à geologia de subsuperfície (Antunes, 1997; Alves & Wanderley, 2003). Isto em larga medida decorre do fato de que as seções portadoras destes bioelementos estão em unidades geológicas distais, sob as águas do Atlântico Sul, apenas sendo alcançadas por poços petrolíferos. Já em outros países, sobretudo na Europa e Estados Unidos, onde afloram sedimentos pelágicos e hemipelágicos, a academia produz grande parte das pesquisas e a literatura é mais rica e diversificada. Outra especificidade da produção brasileira é a falta de estudos taxonômicos aprofundados, sendo muito raras as publicações expondo imagens das espécies-guia que orientam os biozoneamentos. Uma das poucas exceções, e restrita ao intervalo Quaternário, é o detalhado estudo de Antunes (2007). Nele tem-se um rico e importante acervo de imagens dos nanofósseis calcários holo-pleistocênicos da MCB.

O presente trabalho focaliza o intervalo Oligoceno – Plioceno e tem como objetivo ampliar a difusão das informações sobre os nanofósseis calcários do registro sedimentar cenozoico do Brasil. Oferece ilustrações, comparações e discussões das principais espécies observadas no referido intervalo. Além disso, apresenta as relações estratigráficas entre as espécies que balizam o zoneamento das bacias marginais com os zoneamentos globais apresentados em Perch-Nielsen (1989), Varol (1989) e Young (1998).

NANOFÓSSEIS CALCÁRIOS NO OLIGOCENO – PLIOCENO DO BRASIL: ESTUDOS PRÉVIOS

A utilização de nanofósseis calcários em estudos estratigráficos no Brasil teve início em 1968. Ela decorreu do advento da

exploração petrolífera em áreas marinhas (Tokutake & Antunes, 2013). Desde então, este grupo fóssil passou a ser rotineiramente

aplicado por especialistas da Petrobras na correlação e datação dos estratos sedimentares. Troelsen & Quadros (1971) foram pioneiros na formulação de um arcabouço bioestratigráfico à base de nanofósseis calcários para a MCB. Tal arcabouço cobriu o intervalo Aptiano – Mioceno e, nas décadas seguintes, foi aprimorado por um conjunto de novos trabalhos.

Antunes (1997) e Guerra & Tokutake (2011) sintetizaram os principais estudos realizados no Brasil sobre nanofósseis. Em termos gerais, os trabalhos abrangem principalmente o intervalo Albiano – Maastrichtiano e predominam sobre aqueles do Cenozoico. Em relação a este último intervalo, os seguintes trabalhos devem ser destacados:

- a. Shimabukuro et al. (1985) reconheceram a aplicabilidade de algumas biozonas de Martini (1971) para a seção miocênica da MCB;
- b. Gonçalves (1989) investigou seções neogênicas e quaternárias da Bacia de Santos;
- c. Antunes (1990a) e Gomide (1990) elaboraram correlações bioestratigráficas para as bacias de Santos e Pelotas, respectivamente;
- d. Dehnhardt (1990) apresentou um estudo sistemático dos nanofósseis paleocênicos-eocênicos da Bacia do Espírito Santo;
- e. Antunes (1990b) estudou a história geológica do paleocânion de Regência com base na bioestratigrafia de nanofósseis;
- f. Costa (1992) descreveu o conteúdo nanofossilífero do intervalo Paleoceno – Eoceno médio da Bacia do Espírito Santo. A partir dessa dissertação, foram

publicados os artigos de Costa & Antunes (1994) e Costa (1994), nos quais são apresentadas revisões taxonômicas de muitos grupos de espécies;

- g. Shimabukuro (1994) discorreu e investigou a gênese do *Braarudosphaera chalk*, uma vasa que ocorre em amplas regiões do Oceano Atlântico. Esta vasa tem importância capital para os estudos estratigráficos da MCB, constituindo-se em uma verdadeira camada-guia oligocênica. Também no âmbito da Petrobras, Beurlen et al. (1992), apud Lana & Beurlen (2007), organizaram os arcabouços biocronoestratigráficos meso-cenozoicos a partir de vários grupos de microfósseis. Esta organização serviu como um dos elementos de base para a elaboração das “cartas estratigráficas das bacias sedimentares brasileiras” apresentadas no Boletim de Geociências da Petrobras (1994). Richter et al. (1993) reestruturaram o zoneamento de Troelsen & Quadros (1971) para a seção cenozoica da margem continental brasileira, tendo incorporado muitas biozonas apresentadas em trabalhos prévios.

Com a queda do monopólio estatal do petróleo, em 1997, as pesquisas da Petrobras tornaram-se mais confidenciais e o número de publicações de seus especialistas, no tocante à micropaleontologia, foi reduzido. No âmbito puramente acadêmico ou de divulgação do conhecimento, podem ser citados para o novo período: Wanderley (2001), Toledo et al. (2002), Tokutake (2005), Wanderley & De Aguiar (2006), Antunes (2007), Delfino & Wanderley (2013) e Sezen (2014).

MATERIAL E MÉTODOS

Amostras de testemunhos e laterais, derivadas de rochas pelíticas de mar aberto e colhidas com a perfuração de seções cenozoicas em diferentes bacias costeiras do Brasil, foram utilizadas para a confecção de lâminas especialmente voltadas ao estudo dos nanofósseis calcários, conforme método apresentado em Antunes (1997). Um conjunto de 34 lâminas, representativo do intervalo

Oligoceno – Plioceno, foi selecionado para as investigações taxonômicas aqui apresentadas. De tais estudos emergiram as discussões bioestratigráficas discutidas adiante.

A investigação taxonômica foi conduzida sob microscopia óptica, utilizando-se de um microscópio óptico (MO) da marca Carl Zeiss, modelo Axio Imager.A2, equipado com platina giratória, com luz transmitida e

polarizada, com aumento variando de 400 a 1000 vezes. As fotomicrografias foram obtidas (sob nicóis paralelos – PPL e nicóis cruzados – XPL) com o equipamento ZEISS AxioCam 506 color, fazendo-se uso do *software* AxioVision LE64 V4.9.1.0 para a captura das imagens. O método de identificação taxonômica envolveu estudos conceituais, a observação e caracterização morfológica detalhada dos espécimens, incluindo o trabalho fotomicrográfico, e a sua análise comparativa com os táxons classificados e documentados na literatura (e.g., Antunes, 2007; Perch-Nielsen, 1989; Varol, 1998 e Young, 1998) e no *website* Nannotax3 (Young et al., 2013).

Integra o quadro bioestratigráfico oligoplíocênico um grupo selecionado de 63 espécies: 15 referentes ao Oligoceno, 27 ao Mioceno e 21 ao Plioceno. A seleção dos

táxons para a compilação dos zoneamentos teve como base de referência principal o trabalho de Richter et al. (1993), cujos limites de biozonas referem-se aos sucessivos desaparecimentos (últimas ocorrências) das espécies. Para melhor orientação no que refere à taxonomia e aos ajustes geocronológicos das biozonas, os trabalhos de Perch-Nielsen (1989), Varol (1998), Young (1998), Gradstein et al. (2012) e Young et al. (2013) também foram consultados. Os principais bioeventos que estruturam os zoneamentos apresentados nesse estudo são adiante destacados.

Este trabalho foi realizado no Laboratório de Bioestratigrafia e Fotomicrografia (LBF) do Centro de Geociências Aplicadas ao Petróleo – UNESPetro, da Universidade Estadual Paulista – UNESP, campus de Rio Claro.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir do zoneamento de Richter et al. (1993), percebe-se que o intervalo Oligoceno – Plioceno é subdividido em 18 biozonas, cada uma delas assim codificadas da base para o topo: N505 (cuja parte inferior pertence ao Eoceno), N510, N520, N530, N540, N545 (cuja parte superior terminal adentra o Mioceno), N547, N550, N560, N570, N580, N590, N620, N630, N635, N640, N650 e N660 (cuja parte superior terminal adentra o Pleistoceno). As principais espécies que integram as biozonas e aquelas que são chave para identificar os seus limites são apresentadas nas estampas 1 a 5.

Biozonas do oligoceno (N505 a N545)

O Oligoceno da MCB, segundo critérios aplicados em Richter et al. (1993), contém seis biozonas que representam um intervalo de tempo de quase 11 milhões de anos (Fig. 1). As principais espécies usadas para o zoneamento deste intervalo são apresentadas nas estampas 1 e 2.

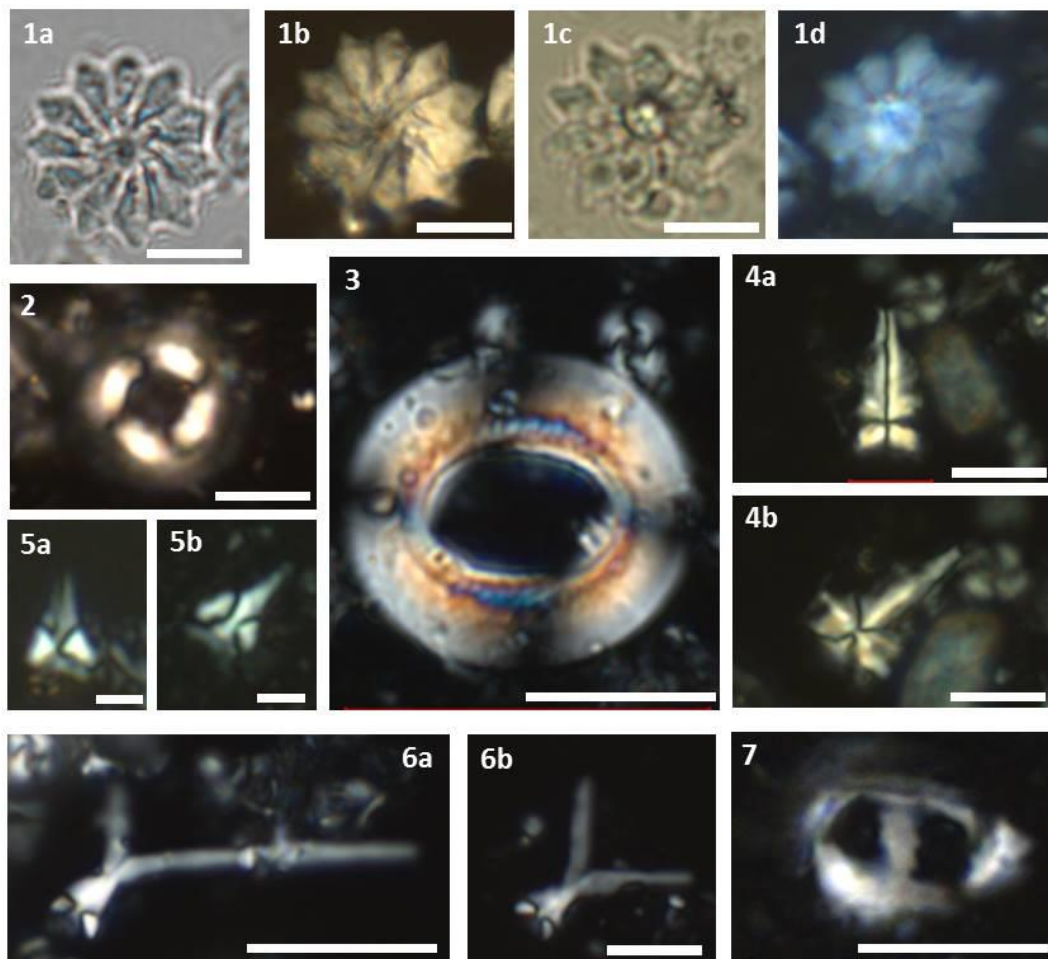
O gênero *Sphenolithus* tem importância capital para a bioestratigrafia do Oligoceno. Várias espécies surgidas em tempos eocênico extingiram-se no Oligoceno e algumas destas extinções nortearam a proposição de limites de biozonas. As últimas ocorrências

(desaparecimentos) de *S. pseudoradians*, *S. predistentus* e *S. ciperoensis* indicam os topos das biozonas N520, N530 e N540, respectivamente.

A biozona *Helicosphaera recta* (N545) é a unidade mais alta do Oligoceno, com sua porção terminal adentrando a parte mais inferior do Mioceno. Tem uma amplitude geocronológica da ordem de 1,6 M.a. e é uma unidade extremamente importante do ponto de vista da exploração de petróleo no Brasil. Neste biointervalo encontram-se os principais reservatórios de alguns campos gigantes da Bacia de Campos (Marlim, Marlim Sul e Leste). Estudos bioestratigráficos de alta resolução, conduzidos em amostras laterais (*side wall cores*) e em testemunhos (*cores*), possibilitaram a subdivisão de N545 em dez intervalos, cada qual com uma resolução média da ordem de 160 mil anos, o que tem permitido correlações de ultra-detalle em áreas de campos petrolíferos (Antunes et al., 2004).

Biozonas do mioceno (N547 a N640)

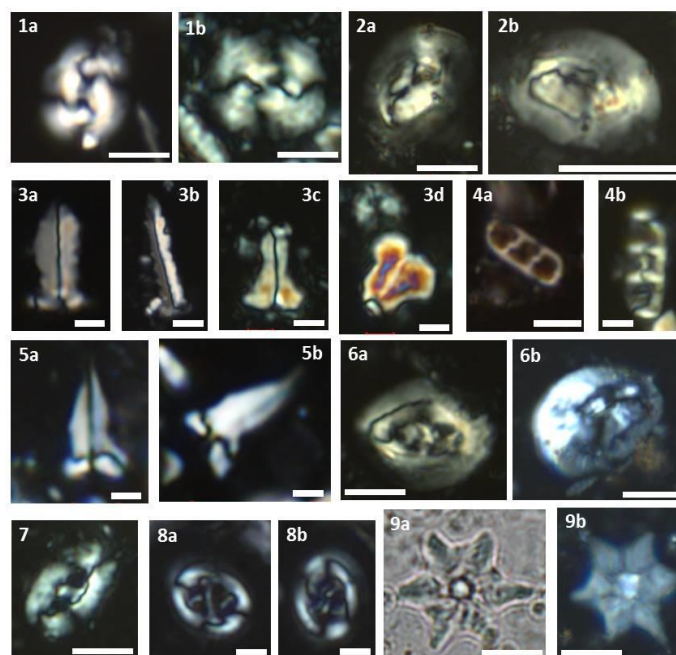
O Mioceno da MCB, segundo Richter et al. (1993), contém 12 biozonas que representam um intervalo de tempo de 17,7 Ma (Fig. 2). As principais espécies para o



Estampa 1. Espécies de nanofósseis calcários usadas para delimitar biozonas oligocênicas (N505 a N545) na MCB. **1.** *Discoaster barbadiensis* (a. nicóis paralelos – PPL; b. mesmo espécime sob nicóis cruzados – XPL; c. outro exemplar – PPL; d. mesmo espécime – XPL). **2.** *Coccolithus formosus* – PPL. **3.** *Reticulofenestra umbilicus* – XPL. **4.** *Sphenolithus pseudoradians* (a. em ângulo de 90° – XPL; b. mesmo espécime em ângulo de 45° – XPL). **5.** *Sphenolithus ciperoensis* (a. em ângulo de 90° – XPL; b. mesmo espécime em ângulo de 45° – XPL). **6.** *Sphenolithus predistentus* (a. longo e estreito espinho bifurcando – XPL; b. outro exemplar – XPL). **7.** *Helicosphaera recta* – XPL. Escalas: barra curta = 2,5 µm, barra média = 5 µm e barra longa = 10 µm.

No intervalo Aquitaniano – Serravaliano, os táxons empregados para definir biozonas são *Triquetrorhabdulus carinatus* (zona N550), *Sphenolithus belemnos* (zona N560), *Helicosphaera ampliapertura* (zona N570), *Sphenolithus heteromorphus* (zona N580) e *Cyclicargolithus floridanus* (zona N590). *Cyclicargolithus floridanus* predomina amplamente nas associações aquitanianas-serravalianas, sendo acompanhados por exemplares do gênero *Reticulofenestra*. Daí, e se estendendo até a parte terminal do Messiniano, a associação passa a ser dominada principalmente por espécies de *Discoaster*. Secundariamente, os exemplares de *Reticulofenestra*, especialmente *R. pseudoumbilicus*, também integram esta dominância.

Em face da ampla diversificação de *Discoaster* no Mioceno tardio (Bown, Lees & Young, 2004), com muitas espécies apresentando amplitudes estratigráficas bem reduzidas, as biozonas são definidas a partir extinções de espécies deste gênero. Tem-se, assim, as zonas *D. kugleri* (N620), *D. hamatus* (N630), *D. neorectus* (N635) e *D. quinquerramus* (N640), que cobrem o intervalo Totoniano – Messiniano. Cabe ressaltar que é relativamente comum indicar-se o topo da biozona N630 pela última ocorrência do gênero *Micrantolithus*; isto para boa parte da MCB, especialmente a margem sudeste. De modo geral, a ampla diversidade de *Discoaster* é melhor verificada nas regiões de baixas latitudes (Perch-Nielsen, 1989).



Estampa 2. Outras espécies de nanofósseis calcários que integram as biozonas N505 a N545 (Oligoceno) na MCB. **1.** *Reticulofenestra bisecta* (a. XPL; b. outro exemplar – XPL). **2.** *Helicosphaera compacta* (a. XPL; b. outro exemplar – XPL). **3a.** *Zygrhablithus bijugatus cornutus* – XPL; **3b.** *Zygrhablithus bijugatus maximus* – XPL; **3c.** *Zygrhablithus bijugatus bijugatus* – XPL; **3d.** *Zygrhablithus* aff. *bijugatus* – XPL. **4.** *Isthmolithus recurvus* (a. XPL; b. outro exemplar – XPL). **5.** *Sphenolithus distentus* (a. espécime em ângulo de 90° – XPL; b. mesmo exemplar em ângulo de 45° – XPL). **6.** *Helicosphaera reticulata* (a. XPL; b. outro exemplar – XPL). **7.** *Helicosphaera bramlettei* – XPL. **8.** *Chiasmolithus titus* (a. XPL; b. mesmo espécime em ângulo de 90° – XPL). **9.** *Discoaster saipanensis* (a. PPL; b. mesmo espécime – XPL). Escalas: barra curta = 2,5 µm, barra média = 5 µm e barra longa = 10 µm. PPL = nicóis paralelos; XPL = nicóis cruzados.

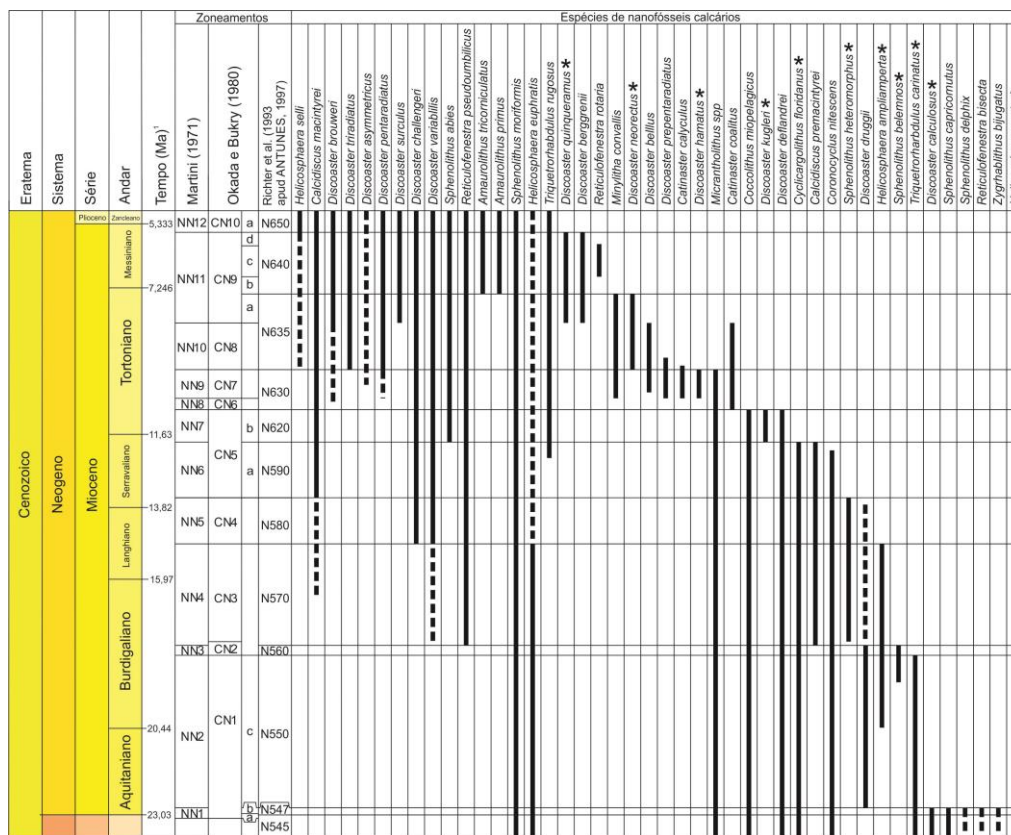
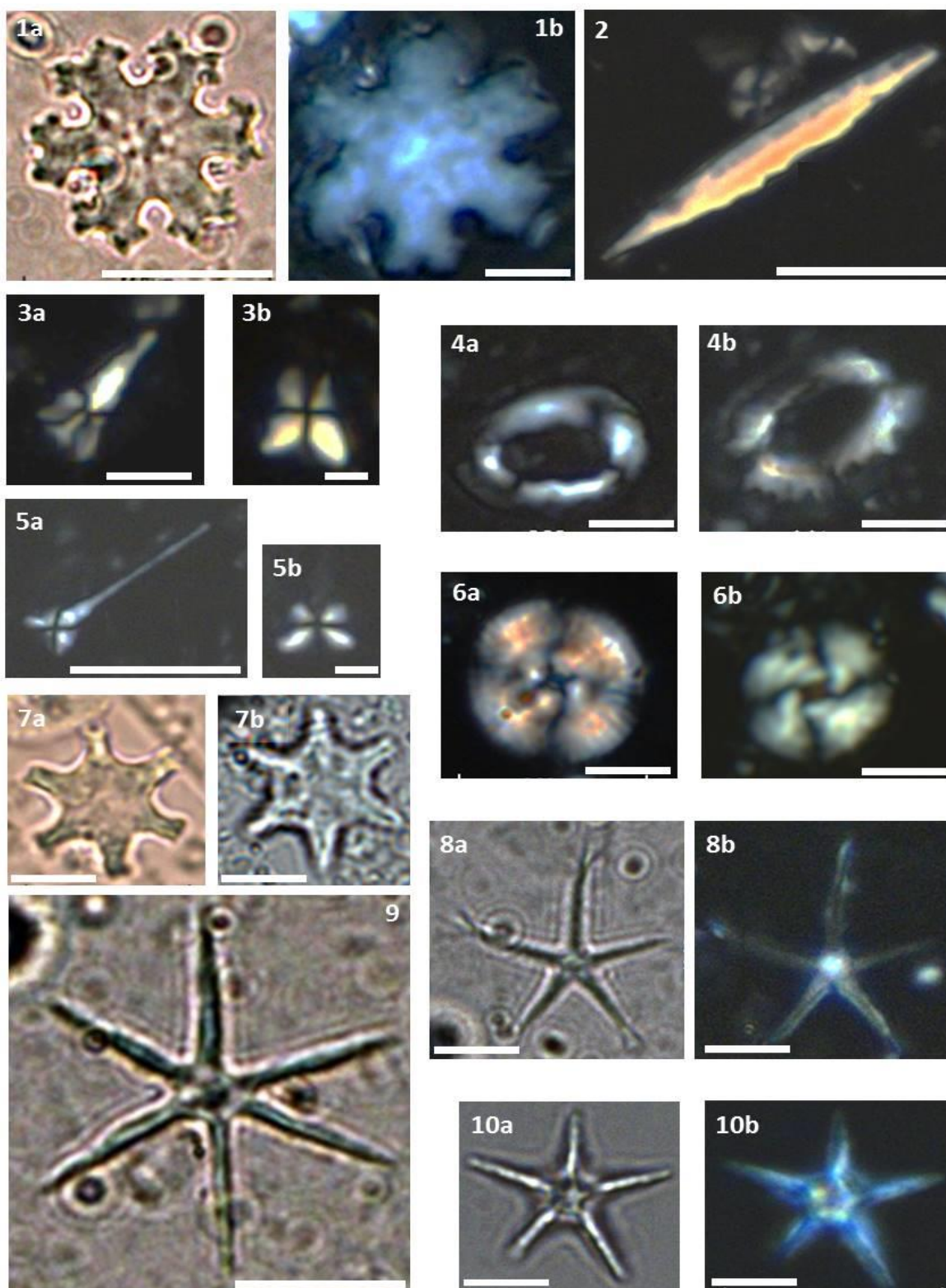
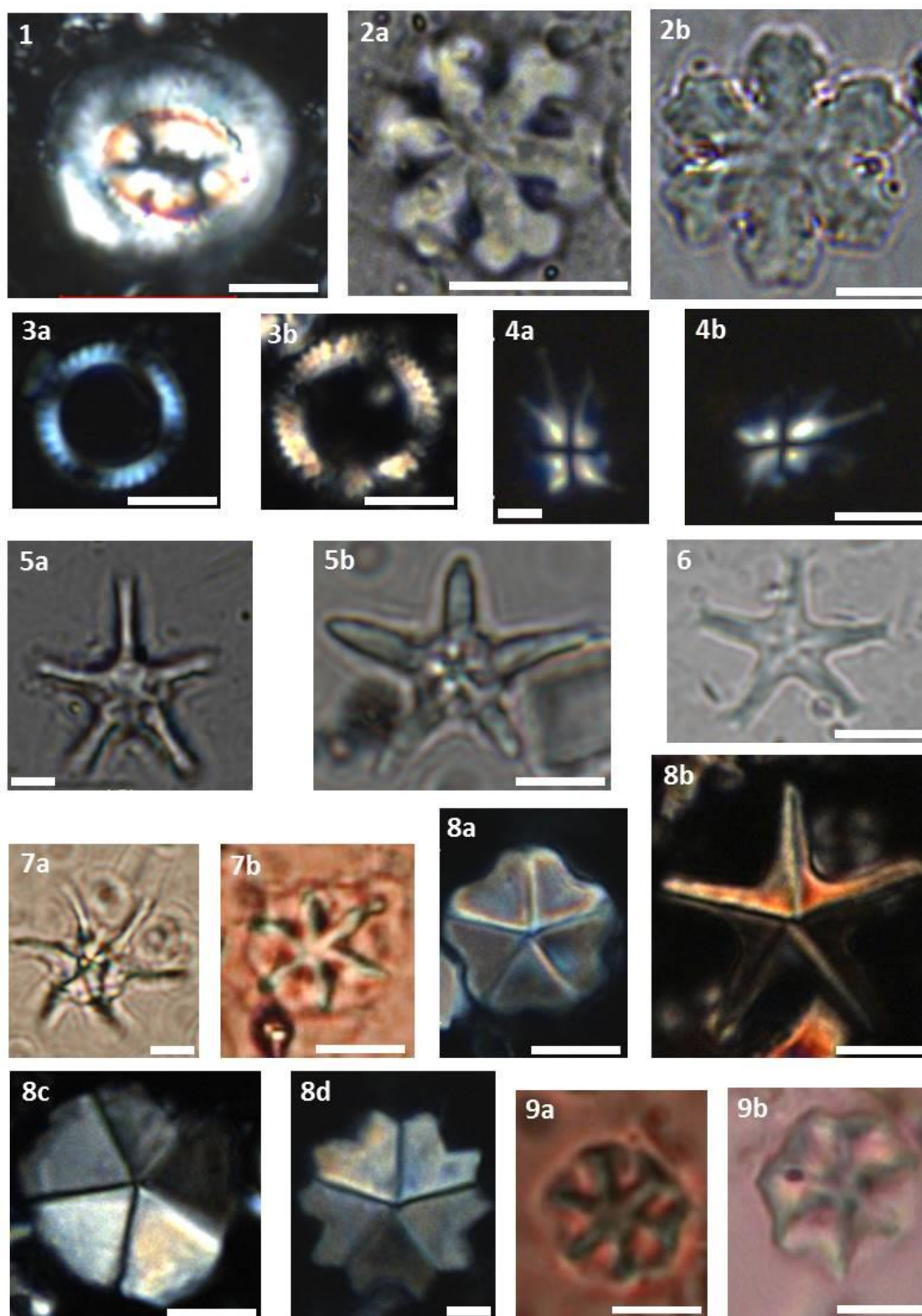


Figura 2. Zoneamentos estratigráficos aplicados ao Mioceno com base em nanofósseis calcários. Destaque para o de Richter et al. (1993) na MCB.

¹ limites entre idades segundo Gradstein (2012). * espécie cujo desaparecimento define limites de biozonas de Richter et al. (1993).



Estampa 3. Espécies de nanofósseis calcários usadas para delimitar biozonas do Mioceno (N547 a N640) na MCB. **1.** *Discoaster calculosus* (a. PPL; b. mesmo espécime – XPL). **2.** *Triquetrorhabdulus carinatus* – XPL. **3.** *Sphenolithus belemnos* (a. espécime em ângulo de 45° – XPL; b. mesmo espécime em ângulo de 90° – XPL). **4.** *Helicosphaera ampliapertura* (a. XPL; b. outro exemplar – XPL). **5.** *Sphenolithus heteromorphus* (a. espécime em ângulo de 45° – XPL; b. mesmo espécime em ângulo de 90° – XPL). **6.** *Cyclicargolithus floridanu* (a. XPL; b. outro exemplar – XPL). **7.** *Discoaster kugleri* (a. PPL; b. outro exemplar – XPL). **8.** *Discoaster hamatus* (a. PPL; b. mesmo espécime – XPL). **9.** *Discoaster neorectus* – PPL. **10.** *Discoaster quinqueramus* (a. PPL; b. mesmo espécime – XPL). Escalas: barra curta = 2,5 µm, barra média = 5 µm e barra longa = 10 µm. PPL = nicóis paralelos; XPL = nicóis cruzados.



Estampa 4. Outras espécies de nanofósseis calcários que compõem o quadro bioestratigráfico do Mioceno (biozonas N547 a N640) na MCB. **1.** *Coccolithus miopelagicus* – XPL. **2.** *Discoaster deflandrei* (**a.** PPL; **b.** outro exemplar – PPL). **3.** *Coronocyclus nitescens* (**a.** XPL; **b.** outro exemplar – XPL). **4.** *Sphenolithus capricornutus* (**a.** espécime em ângulo de 90° – XPL; **b.** mesmo espécime em ângulo de 45° – XPL). **5.** *Discoaster berggrenii* (**a.** PPL; **b.** outro exemplar – PPL). **6.** *Discoaster prepentaradiatus* – PPL. **7.** *Catinaster calyculus* (**a.** PPL; **b.** outro exemplar – PPL). **8a. b. c. d.** exemplares de *Micrantholithus* – XPL. **9.** *Catinaster coalitus* (**a.** PPL; **b.** outro exemplar – PPL). Escala das barras: barra curta = 2,5 µm, barra média = 5 µm e barra longa = 10 µm. PPL = nicóis paralelos; XPL = nicóis cruzados.

Biozonas do plioceno (N650 e N660)

O Plioceno da MCB, segundo Richter et al. (1993) é subdividido em duas biozonas (Fig.

3). Tal intervalo, com cerca de 2,75 Ma, tem suas principais espécies de nanofósseis calcários apresentados na Estampa 5.

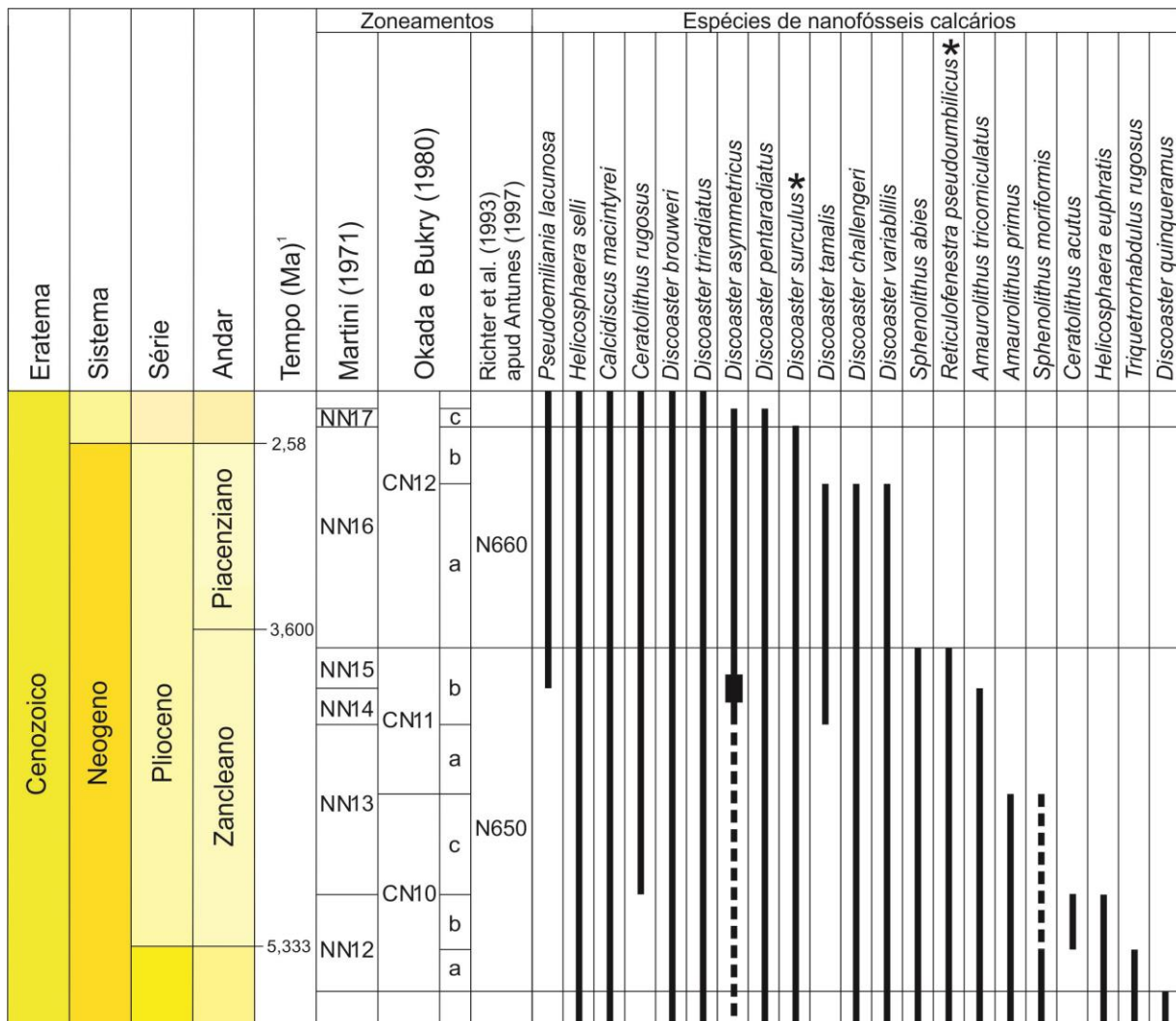
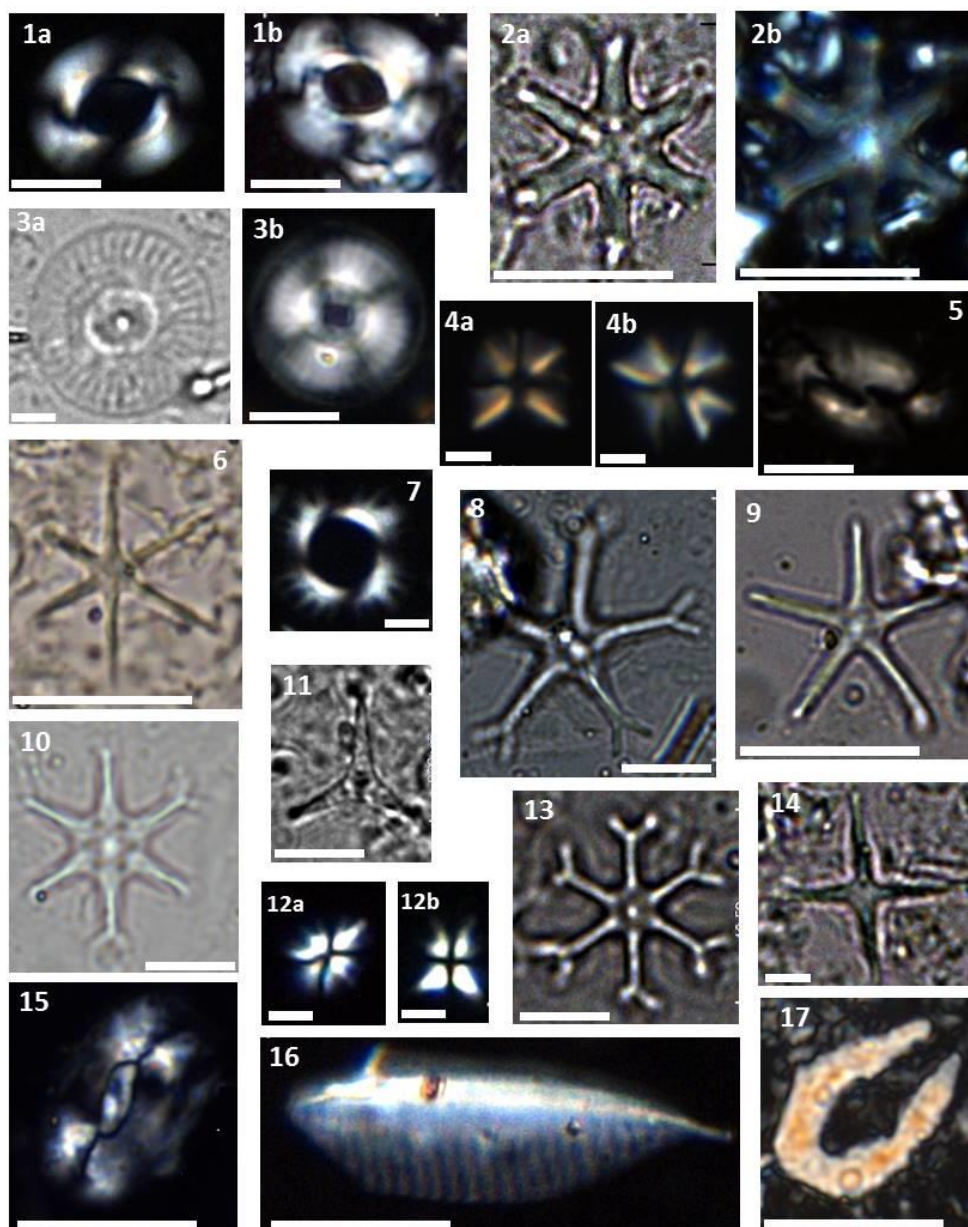


Figura 3. Zoneamentos estratigráficos aplicados ao Plioceno com base em nanofósseis calcários. Destaque para o de Richter et al. (1993) na MCB.

¹ limites entre idades segundo Gradstein (2012). * espécie cujo desaparecimento define limites de biozonas de Richter et al. (1993).

Para esta etapa do Cenozoico verifica-se o declínio do gênero *Discoaster*, que embora percentualmente expressivo, não alcança os elevados índices de frequência registrados no Mioceno médio e superior. Além das espécies de *Discoaster*, exemplares de *Reticulofenestra* e de *Pseudoemiliana* ocorrem expressivamente neste intervalo. *R. pseudoumbilicus*, cuja última ocorrência estratigráfica é indicativa da unidade N650, tem aí presença consistente. Aparentemente sua extinção é relativamente abrupta, o que faz do topo da unidade N650 um

bom marco estratigráfico. Aliado a esta extinção, tem-se ainda o último registro estratigráfico de *Sphenolithus abies*, espécie de fácil reconhecimento na maioria das vezes. Mais acima tem-se a biozona *Discoaster surculus*, de código N660. Em face da extinção de *R. pseudoumbilicus*, o conjunto nanofossilífero passa a ser dominado por uma associação de exemplares de *Discoaster* e espécies do gênero *Pseudoemiliana*, notadamente *P. lacunosa*.



Estampa 5. Espécies de nanofósseis calcários que integram as biozonas N650 a N660 (Plioceno) na MCB. As espécies **1.** *Reticulofenestra pseudumbilicu* (**a.** XPL e **b.** outro exemplar – XPL) e **2.** *Discoaster surculus* (**a.** PPL e **b.** mesmo espécime – XPL) permitem a delimitação das biozonas 650 e 660. **3.** *Calcidiscus macintyrei* (**a.** PPL; **b.** outro exemplar – XPL). **4.** *Sphenolithus moriformis* (**a.** espécime em ângulo de 90° – XPL; **b.** mesmo espécime em ângulo de 45° – XPL). **5.** *Helicosphaera sellii* – XPL. **6.** *Discoaster brouweri* – PPL. **7.** *Pseudoemiliana lacunosa* – XPL. **8.** *Discoaster pentaradiatus* – PPL. **9.** *Discoaster asymmetricus* – PPL. **10.** *Discoaster variabilis* – PPL. **11.** *Discoaster triradiatus* – PPL. **12.** *Sphenolithus abies* (**a.** espécime em ângulo de 45° – XPL; **b.** mesmo exemplar em ângulo de 90° – XPL). **13.** *Discoaster challengeri* – PPL. **14.** *Discoaster tamalis* – PPL. **15.** *Helicosphaera euphratis* – XPL. **16.** *Triquetrorhabdulus rugosus* – XPL. **17.** *Ceratolithus rugosus* – XPL. Escalas: barra curta = 2,5 µm, barra média = 5 µm e barra longa = 10 µm. PPL = nicóis paralelos; XPL = nicóis cruzados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A reflexão sobre os conceitos bioestratigráficos e o zoneamento de Richter et al. (1993) para o intervalo Oligoceno – Plioceno (33,9 a 2,58 Ma segundo Gradstein, 2012) permitem perceber que as suas 18 biozonas têm boa correlação com aquelas de Martini (1971) e Okada & Bukry (1980). Este

fato tem conferido estabilidade à bioestratigrafia aplicada à subsuperfície da Margem Continental Brasileira, ao mesmo tempo em que vem viabilizando um detalhado fatiamento de suas unidades sedimentares. A rica documentação fotomicrográfrica aqui apresentada, a exibir as principais espécies que

compõem o pacote rochoso oligo-pliocênico, incluindo as imagens das espécies-chave usadas na delimitação das biozonas, dará

sustentação a futuros estudos bioestratigráficos de seções cenozoicas em bacias do Atlântico Sul.

AGRADECIMENTOS

O primeiro autor foi bolsista do Programa de Recursos Humanos da Agência Nacional de Petróleo (PRH-ANP) e membro do PRH 05-UNESP, ênfase em Geologia do Petróleo. A Petrobras cedeu a coleção de lâminas. Este trabalho foi desenvolvido no Centro de Geociências aplicadas ao Petróleo – UNESPetro/UNESP – Universidade Estadual Paulista, campus de Rio Claro.

REFERÊNCIAS

1. ALVES, C. F. & WANDERLEY, M. D. Utilização de nanofósseis calcários na indústria do petróleo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO & GÁS, 2, 2003. Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2003, p. 1-6.
2. ANTUNES, R. L. Discordâncias e oscilações marinhas cenozoicas na Bacia de Santos - porção centro-norte: um enfoque biocronoestratigráfico (nanofósseis calcários). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 20, n. 1-4, p. 336, 1990a.
3. ANTUNES, R. L. **Contribuição ao conhecimento geológico do Paleocânion de Regência (Bacia do Espírito Santo, Brasil): um estudo com base na bioestratigrafia dos nanofósseis calcários**. Rio de Janeiro, 1990b. 193 p. Tese (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
4. ANTUNES, R. L. **Introdução ao estudo dos nanofósseis**. Rio de Janeiro: Instituto de Geociências – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 124 p., 1997.
5. ANTUNES, R. L.; SHIMABUKURO, S.; OLIVEIRA, L. C. V.; ROSA, A. L. Z.; COSTA, S. O.; CUNHA, A. A. S.; LIMA, F. H. O. Em busca da bioestratigrafia de alta resolução: a performance do zoneamento de nanofósseis calcários da Petrobras. **Boletim de Geociências da Petrobras**, v. 12, n. 2, p. 421-427, 2004.
6. ANTUNES, R. L. **Nanofósseis calcários do Quaternário da margem continental Brasileira**. Rio de Janeiro: Petrobras / Cenpes, 76 p., 2007.
7. BEURLEN, G.; RICHTER, A. J.; CUNHA, A. A. S.; SILVA-TELLES Jr. A.; MARTINIS, E.; PEDRÃO, E.; MOURA, J. A.; GOMIDE, J.; VIVIERS, M. C.; ARAI, M.; UESUGUI, N.; NASCIMENTO, N.L.; AZEVEDO, R. L.; DINO, R.; ANTUNES, R. L.; SHIMABUKURO, S.; ABREU, W.S. **Bioestratigrafia das bacias mesozoicas-cenozoicas brasileiras: texto explicativo das cartas bioestratigráficas**. Rio de Janeiro: Petrobras / Cenpes / Divex / Sebipe, 616 p. 1992 segundo LANA, C. C. & BEURLEN, G. **Microbioestratigrafia do Mesozoico-Cenozoico brasileiro: um passeio pelo tempo**. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 30, n. 1, 207-209, 2007.
8. BOLETIM DE GEOCIÊNCIAS DA PETROBRAS. Cartas Estratigráficas, v. 8, n. 1, 1-249, 1994.
9. BOWN, P. R.; LEES, J. A.; YOUNG, J. R. Calcareous nannoplankton evolution and diversity through time. In: THIERSTEIN, H. R. & YOUNG, J. R. (Editores), **Coccolithophores**. Berlin: Springer Verlag, p. 481-508, 2004.
10. COSTA, S. O. **Caracterização morfoestrutural ao microscópio óptico dos nanofósseis calcários do intervalo Paleoceno-Eoceno médio da bacia do Espírito Santo**. Rio de Janeiro, 1992. Tese (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro.
11. COSTA, S. O. Estudo morfoestrutural ao microscópio óptico dos nanofósseis de *Chiasmolithus* (Família Coccolithaceae) reconhecidos no intervalo Paleoceno/Eoceno Médio da Bacia do Espírito Santo. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 66, n. 2, p. 145-166, 1994.
12. COSTA, S. O. & ANTUNES, R. L. Revisão ao microscópio óptico da morfoestrutura dos nanólitos *incertae sedis* da seção paleogênica (Paleoceno/Eoceno médio) da Bacia do Espírito Santo. **Boletim de Geociências da Petrobras**, v. 8, n. 2-4, p. 381-400, 1994.
13. DEHNHARDT, B. A. **Estudo sistemático dos nanofósseis calcários da Bacia do Espírito Santo**. Porto Alegre, 1990. 279 p. Tese (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
14. DELFINO, D. O. & WANDERLEY, M. D. Nanofósseis Calcários da Área de Ressurgência de Cabo Frio, Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 36, n. 1, p. 5-14, 2013.
15. DIAS-BRITO, D. A micropaleontologia na indústria do petróleo. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 19, n. 2, p. 256-25, 1989.
16. GOMIDE, J. Bacia de Pelotas: biocronoestratigrafia baseada em nanofósseis calcários. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 11, 1990, Curitiba. **Resumos Expandidos...** Curitiba: Sociedade Brasileira de Paleontologia, 1990, p. 339-352.
17. GONÇALVES, H. M. **Nanofósseis calcários do Neogeno e Quaternário (Pleistoceno Inferior) da área central da Bacia de Santos**. Porto Alegre, 1998. Tese (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
18. GRADSTEIN, F. M.; OGG, J. G.; SCHMITZ, M.; OGG, G. M. (Editors), **The Geologic Time Scale**. Oxford: Elsevier, 1175 p., 2012.
19. GUERRA, R. D. M. & TOKUTAKE, L. R. Evolução do conhecimento biocronoestratigráfico do Cretáceo nas bacias marginais brasileiras baseado em nanofósseis calcários. **Terra Didática**, v. 7, n.1, p. 41-48, 2011.
20. LANA, C. C. & BEURLEN, G. **Microbioestratigrafia do Mesozoico-Cenozoico brasileiro: um passeio pelo tempo**. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 30, n. 1, p. 207-209, 2007.
21. MARTINI, E. Standard Tertiary and Quaternary calcareous nannoplankton zonation. In: FARINACCI, A. (Editor.), **Proceedings 2nd International Conference Planktonic Microfossils**. Roma: Edizioni Tecnoscienza, p. 739-785, 1971.
22. OKADA, H. & BUKRY, D. Supplementary modification and introduction of code numbers to the low-latitude coccolith biostratigraphic zonation (Bukry, 1973; 1975). **Marine Micropaleontology**, v. 5, n. 3, p. 321-25, 1980.
23. PERCH-NIELSEN, K. Cenozoic calcareous nannofossils. In: BOLLI, H. M., SAUNDERS, J. B., PERCH-NIELSEN, K.

- (Editores), **Plankton Stratigraphy: Volume 1, Planktic Foraminifera, Calcareous Nannofossils and Calpionellids**. Cambridge: Cambridge University Press, p. 428-554, 1989.
24. RICHTER, A. J.; GOMIDE, J.; SHIMABUKURO, S., ANTUNES, R. L. Bioestratigrafia dos nanofósseis cenozoicos da margem continental brasileira. Rio de Janeiro: Petrobras / Cenpes / Divex / Sebipe. In: ANTUNES, R. L. **Introdução ao estudo dos nanofósseis**. Rio de Janeiro: Instituto de Geociências – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 124 p., 1997.
25. SEZEN, T. **Oligocene-Lower Miocene Calcareous Nannofossil Biostratigraphy of ODP Leg 154 Hole 929A from the Western Equatorial Atlantic at the Ceara Rise**. Tallahassee, 2014. 78 p. Thesis (Master of Science) – College of Arts and Sciences, Florida State University.
26. SHIMABUKURO, S.; RICHTER, A.J.; GOMIDE, J. Nanofósseis calcários: bioestratigrafia do Mioceno ao Pleistoceno na plataforma continental brasileira, **Coletânea de Trabalhos Paleontológicos (Departamento Nacional da Produção Mineral – DNPM)**, v. 27, n. 2, p. 491-502, 1985.
27. SHIMABUKURO, S. *Braarudosphaera chalk*: investigações sobre a gênese de um marco estratigráfico. Porto Alegre, 1994. Tese (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
28. TOKUTAKE, L. R. **Bioestratigrafia de Nanofósseis Calcários e Estratigrafia de Isótopos (C e O) do talude médio, Quaternário, porção N da Bacia de Campos, ES**. Porto Alegre, 2005. 96 p. Tese (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
29. TOKUTAKE, L. R. & ANTUNES, R. L. O primeiro zoneamento de nanofósseis calcários no Brasil. **Boletim de Geociências da Petrobras**, v. 21, n.2, p. 385-395, 2013.
30. TOLEDO, F. A. L.; COSTA, K. B.; GONÇALVES, H. M. S. Nanofósseis calcários da Bacia de Campos – Sistemática e Diagenese Primária. **Pesquisas**, v. 29, n. 1, p. 15-29, 2002.
31. TROELSEN, J. C. & QUADROS, L. P. Distribuição bioestratigráfica dos nanofósseis em sedimentos marinhos (Aptiano-Mioceno) do Brasil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 43, n. 1, 577-609, 1971.
32. VAROL, O. Paleogene. In: BOWN, P.R. (Editor), **Calcareous Nannofossil Biostratigraphy**. Londres: Chapman and Hall, p. 200-224, 1998.
33. VENTRESS, W. P. S. Paleontology and its application in South Louisiana Hydrocarbon Exploration. In: GOLDTHWAITE, D. (Editor), **An Introduction to Central Gulf Coast Geology**. Louisiana: New Orleans Geological Society, p. 85-97, 1991.
34. WANDERLEY, M. D. Interpretações Paleocológicas e Bioestratigráficas do Testemunho MC 58 (Holoceno/Pleistoceno da Bacia de Santos) com base em Nanofósseis Calcários. **Revista Brasileira de Paleontologia**, n. 2, p. 21-31, 2001.
35. WANDERLEY, M. D. & DE AGUIAR, R. P. Calcareous nannofossil from Cretaceous/Paleogene boundary and earliest Danian of Santos Basin (São Paulo Plateau, Brazil) - ODP LEG 39-SITE 356-CORES 28/29. **Geociências**, v. 25, n. 4, 389-401, 2006.
36. YOUNG, J. R. Neogene. In: BOWN, P.R., (Editor), **Calcareous Nannofossil Biostratigraphy**. Londres: Chapman and Hall, p. 225-265, 1998.
37. YOUNG, J. R.; BOWN, P. R.; LEES, J. A. **Nannotax3 website**. International Nannoplankton Association. Disponível em: <<http://http://ina.tmsoc.org/Nannotax3>>. Acessado em: 22 jun. 2015.

*Manuscrito recebido em: 15 de Fevereiro de 2016
Revisado e Aceito em: 30 de Abril de 2016*