

Palinoestratigrafia do Turoniano na área de Laranjeiras, Bacia de Sergipe-Alagoas: inferências paleoambientais e paleoclimáticas

Turonian palynostratigraphy of the Laranjeiras area, Sergipe-Alagoas Basin: paleoenvironmental and paleoclimatic inferences

Paulo Roberto Silva Santos¹

resumo

O registro geológico correspondente à passagem do Cenomaniano para o Turoniano é reconhecido mundialmente por documentar o mais importante fenômeno eustático de elevação do nível dos mares no Cretáceo. Associado a este, ocorreu um evento anóxico oceânico de natureza global, com importantes implicações econômicas na formação de extensos depósitos pelíticos ricos em matéria orgânica, potencialmente geradores de hidrocarbonetos. No Brasil, este horizonte estratigráfico é encontrado em subsuperfície em perfurações de poços de petróleo terrestres e marítimos. A melhor exposição desta seção encontra-se na pedreira Votorantim, no município de Laranjeiras, estado de Sergipe. A partir de análises palinológicas semiquantitativas realizadas em testemunhos originados pela atividade da mineração é proposto um arcabouço palinoestratigráfico para a seção estudada, integrando-se ainda dados paleoecológicos que foram interpretados segundo a metodologia da estratigrafia de seqüências.

Palavras-chave: Bacia de Sergipe-Alagoas | palinoestratigrafia | Turoniano

abstract

The Cenomanian-Turonian boundary is recognized worldwide as the most important eustatic event of sea-level rise in the Cretaceous, correlated with a global oceanic anoxic event, which induced the widespread formation of organic-rich pelitic deposits, potential source rocks of hydrocarbon. In Brazil this section is predominantly found in subsurface, in land and offshore oil wells. One of the best outcrops of this interval is found in the Votorantim Quarry, in Laranjeiras, Sergipe State, Brazil. Through a semi-quantitative palynological study, based on mining cores drilled in the quarry, a palynostratigraphic framework is proposed for the studied section, integrated with additional paleoecological inferences and interpretation based in Sequence Stratigraphy.

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

Keywords: Sergipe-Alagoas Basin | palinostratigraphy | Turonian

¹ Petrobras. Unidade de Negócio de Exploração e Produção de Sergipe e Alagoas. Gerência de Sedimentologia e Estratigrafia. proberto@petrobras.com.br.

introdução

A Bacia de Sergipe-Alagoas situa-se no Nordeste do Brasil, entre os paralelos 8° e 12°, tendo forma alongada na direção 45°NE, com extensão de 350km e largura média em terra de 35km. O limite em direção ao mar estende-se além da isóbata de 2.000m. A área emersa é de 15.000km² e a porção submersa é de 40.000km². Já foram perfurados mais de 4.835 poços, sendo aproximadamente 90% *onshore* e 10% *offshore*, e registrados mais de 71.089km (29.625km *onshore* e 41.464km *offshore*) de linhas sísmicas 2D e 6.684km² de linhas 3D (1.301km² *onshore* e 5.383km² *offshore*). Levantamentos gravimétricos cobriram uma extensão de 12.357km e os magnetométricos, uma extensão em torno de 2.200km. Foi também efetuado um extenso mapeamento geológico em diferentes escalas e realizadas milhares de análises paleontológicas, geoquímicas e sedimentológicas.

O potencial petrolífero desta bacia sedimentar ainda não foi exaurido já que, mesmo após mais de seis décadas de prospecção, muitas de suas áreas permanecem pouco estudadas. Por isso, novos fatos continuam superando as expectativas, a exemplo das recentes descobertas em águas profundas do Campo de Piranema e as perspectivas *offshore* das jazidas do Pré-Sal, que ampliam ainda mais os horizontes exploratórios (fig. 1).

objetivos

Este trabalho possui como objetivos principais:

- I) investigar a possível existência da passagem Cenomaniano-Turoniano nos carbonatos da Formação Cotinguiba, ocorrentes na Pedreira Votorantim no município de Laranjeiras (SE), com base em testemunhos e amostras de superfície;
- II) estabelecer um arcabouço estratigráfico, nele inserindo as biozonas de palinologia e nanofósseis calcários e sua correlação com eventos geoquímicos;
- III) integrar os dados e informações obtidas a um modelo de interpretação baseado na estratigrafia de seqüências.

evolução tectono-sedimentar

O pacote sedimentar que compõe a Bacia de Sergipe-Alagoas pode ser dividido em quatro megasseqüências separadas, principalmente, por mudanças nítidas na sedimentação e no estilo tectônico associado, em função da evolução tectono-sedimentar resultante da separação continental e da formação do Atlântico Sul. A primeira seqüência, nomeada seqüên-

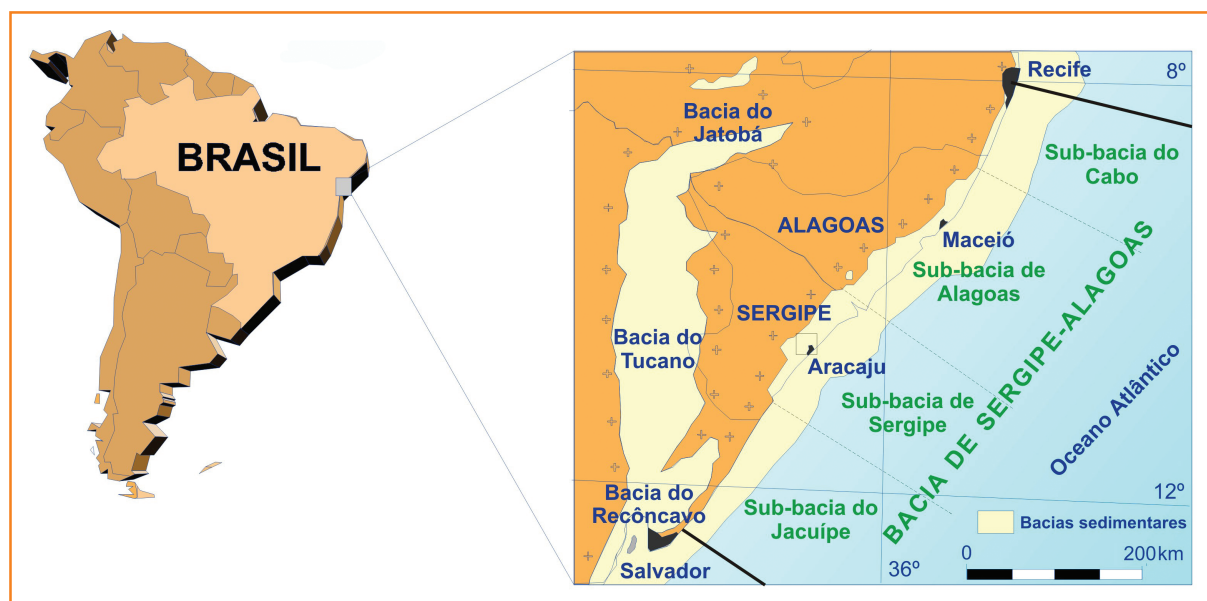


Figura 1
Mapa de localização (Souza Lima et al. 2002).

Figure 1
Location map (Souza Lima et al. 2002).

cia pré-rifte, foi depositada sob condições intracratônicas. A segunda, seqüência rifte, caracterizada tectonicamente pelo evento que deu origem à separação das placas continentais Sul-Americana e Africana. A terceira, seqüência transicional, constituída por sedimentos que marcam o surgimento do Atlântico Sul. A quarta, seqüência pós-rifte, desenvolvida do Albiano ao Santoniano, sob condições de mar aberto.

Rompidas as barreiras de restrição, ocorre o desenvolvimento de sistemas de plataforma e talude carbonático das formações Riachuelo e Cotinguiba. Com a aceleração do processo de subsidência térmica, o sistema carbonático foi afogado pela plataforma clástico-carbonática das formações Marituba e Mosqueiro e pelos folhelhos e arenitos turbidíticos da Formação Calumbi (fig. 2).

localização

A área de estudo situa-se nos afloramentos da Pedreira Votorantim, próxima à cidade de Laranjeiras, 17km a noroeste de Aracaju (fig. 3).

A unidade estudada constitui-se dos carbonatos da Formação Cotinguiba, subdividida em duas unidades: Membro Aracaju, constituído litologicamente por argilito cinza a verde, folhelho castanho e marga amarelada; Membro Sapucari, essencialmente constituído por pares de *mudstone* e *mudstone* margosos, cinzento a creme claro, maciço ou estratificado em ciclos bem estabelecidos, desenvolvidos pela alternância das condições climáticas de umidade e aridez como consequência das oscilações orbitais do planeta segundo os ciclos de Milankovitch (1969) (Carmo, 1997) (fig. 4).

Na porção emersa da Bacia Sergipe-Alagoas, o contato inferior da Formação Cotinguiba com a Formação Riachuelo bem como o contato superior com a Formação Calumbi estão marcados por discordâncias erosivas (Feijó, 1994). Este conjunto foi depositado em ambiente de rampa carbonática do Cenomaniano ao Turoniano (Koutsoukos *et al.* 1993). Tal unidade já foi objeto de estudos de vários autores como Bengtson, 1983; Hessel, 1988; Koutsoukos, 1989; Carmo, 1997; Carmo e Pratt, 1999; Cunha, 2001; Andrade, 2005, com diferentes abordagens geológicas, paleontológicas, bioestratigráficas, geoquímicas e sedimentológicas.

Figura 2
Carta estratigráfica simplificada da seção marinha cretácea para a Sub-Bacia de Sergipe (Souza Lima *et al.* 2002).

Figure 2
Stratigraphic chart column simplified (Souza Lima *et al.* 2002).

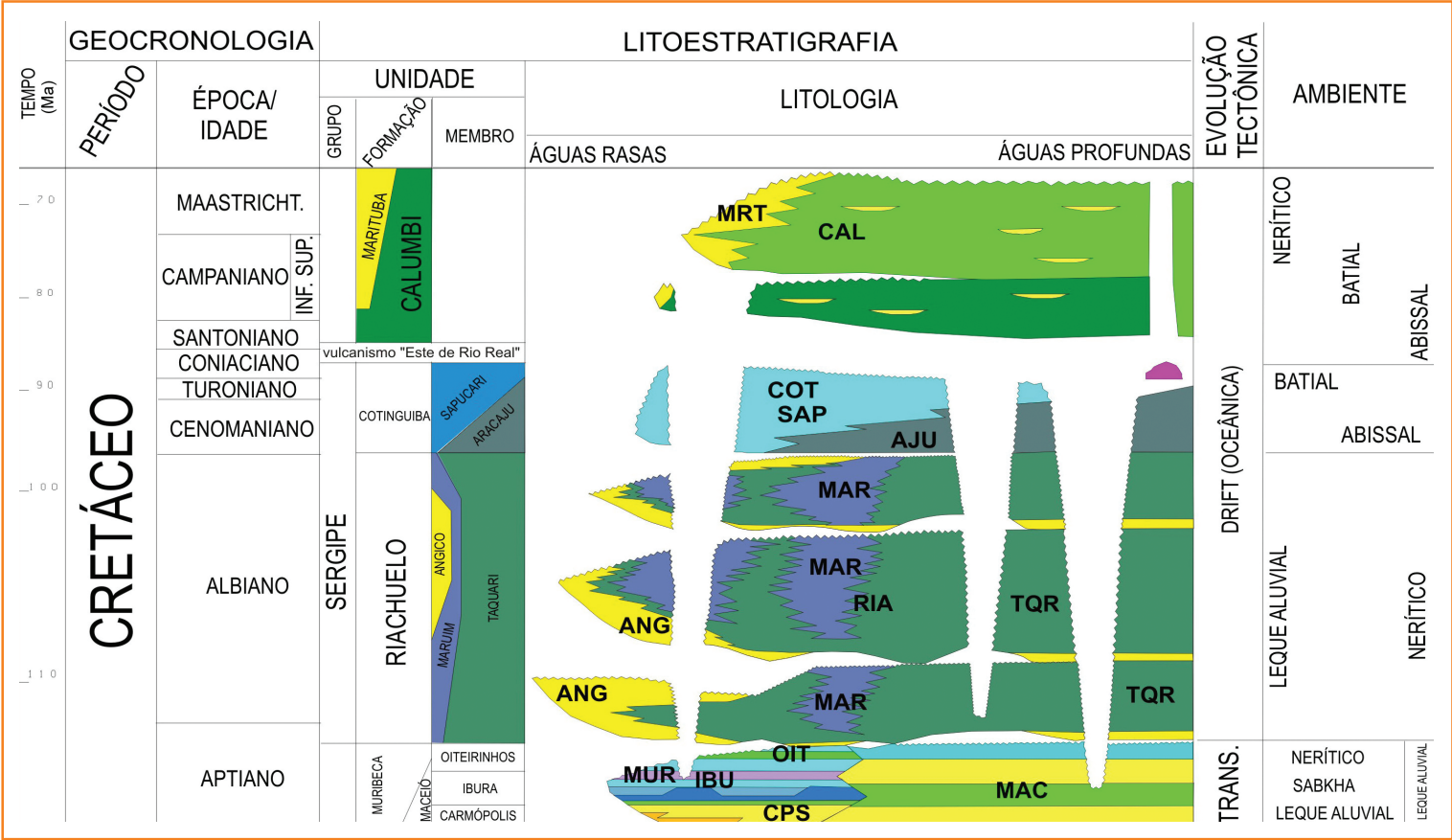


Figura 3
Localização da Pedreira Votorantim e mapa com os furos de sondagem (Andrade, 2005).

Figure 3
Location of the Votorantim quarry with the studied cores (Andrade, 2005).

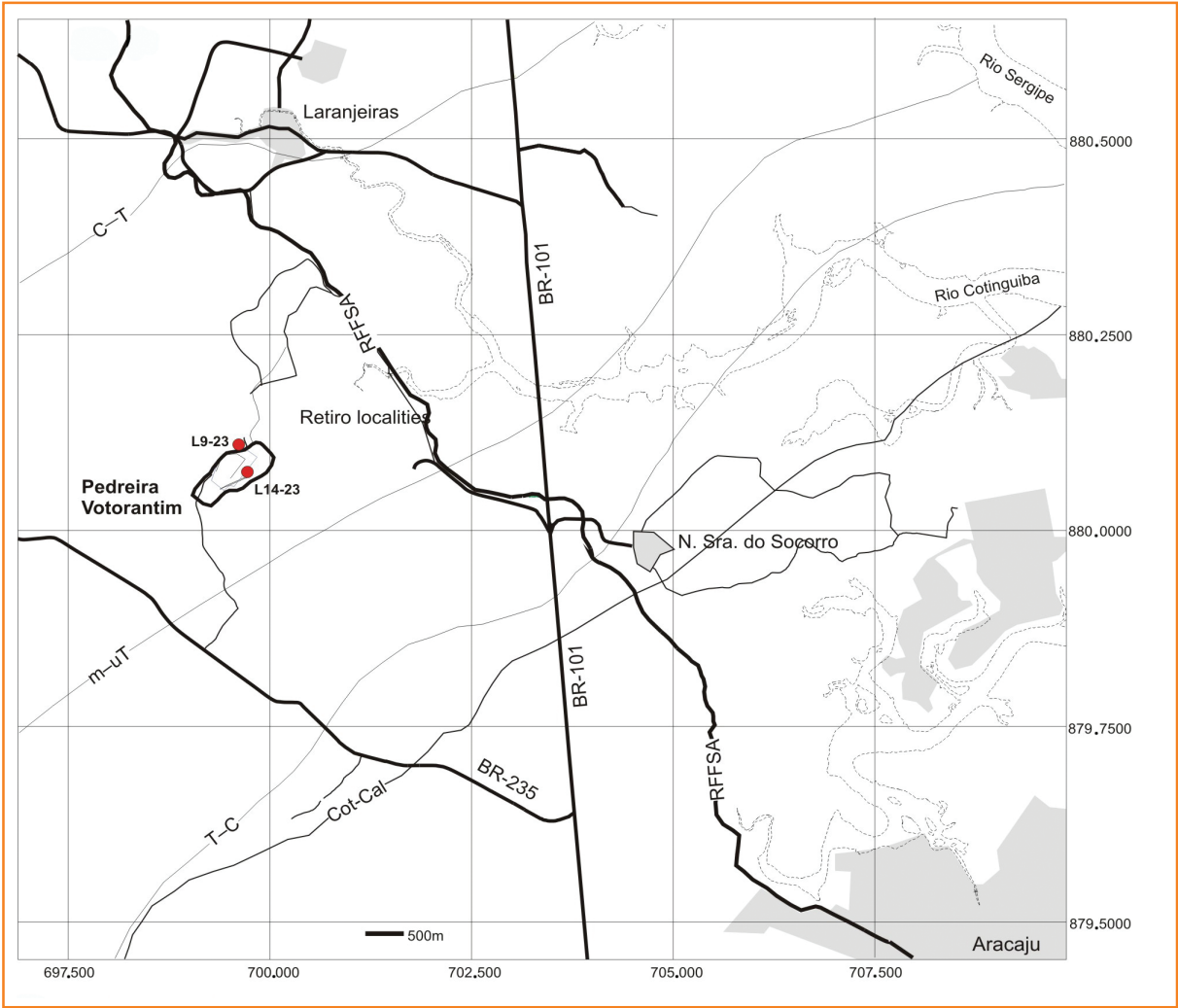
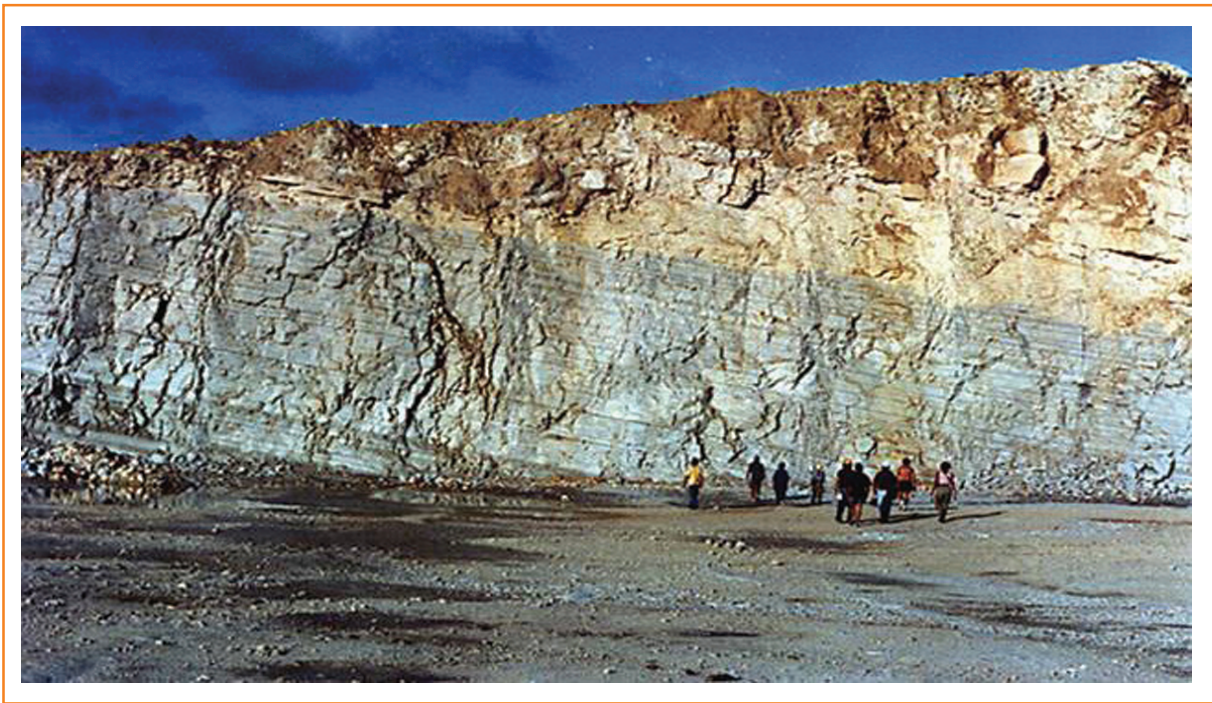


Figura 4
Exposição dos Carbonatos da Pedreira Votorantim.

Figure 4
Outcrop of the Votorantim Quarry carbonates.



A área exposta pela lavra possui atualmente direção nordeste, com eixo maior de aproximadamente 800m de extensão e eixo menor com 35m de largura. A pedreira expõe uma seção de 110m de espessura, com mergulho que varia de 12° a 18° SE-S (Andrade, 2005).

bioestratigrafia

A Pedreira Votorantim teve seu posicionamento biocronoestratigráfico estabelecido considerando-se a sucessão de amonóides (Bengtson, 1983; Andrade, 2005), inoceramídeos (Hessel, 1988; Andrade, 2005) e foraminíferos (Koutsoukos, 1989). Pertence ao intervalo informalmente designado por Bengtson (1983) de Turoniano 2 (zonas de *Watinoceras amudariense* - *Kamerunoceras turoniensis*), de idade eoturoniana. Para Koutsoukos e Bengtson (1992), a seção é correlacionável às zonas *Hedbergella* (*Whiteinella*) e *aprica-Hedbergella* (*Whiteinella*) báltica de foraminíferos planctônicos, *Gabonita levis-Nodosaria* ex gr. *Obscura* de foraminíferos bentônicos, e *Watinoceras* spp. de amonóides. O zoneamento de nanofósseis, baseado em Cunha (2001), posiciona a seção aflorante na Zona UC-6b (Burnett, 1996). As zonas de inoceramídeos *Mytiloides hercynicus*, *M. subhercynicus*, *M. labiatus*, *M. kossmati*-*M. mytiloides*, *M. puebloensis*, reconhecidas por Andrade (2005), confirmam a idade estabelecida. O presente trabalho confirma a idade Eoturoniana na seção aflorante e estende esta datação até a seção subaflorante investigada nos testemunhos L-923A e L-1423A, principalmente, a partir de análises palinológicas, com apoio de análises de nanofósseis, geoquímica e litoestratigráfica.

metodologia

Foram coletadas 210 amostras com as distribuições descritas a seguir: 70 amostras correspondentes aos testemunhos L923A e L1423A (fig. 3), atingindo uma profundidade máxima de 230m, e 140 amostras de afloramentos. Os testemunhos foram descritos e utilizados na confecção dos perfis de raios gama.

Em superfície, cada amostra coletada representa um ciclo de *mudstone* e *mudstone* margoso amostrado desde o ponto mais profundo da mineração, cobrindo uma seção com 72m de espessura (anexo 1). As litologias escolhidas para análise palinológica são, predominantemente, aquelas possuidoras de maior conteúdo orgânico, neste caso, as amostras mais margosas, por apresentarem maior abundância em palinomorfos. As amostras foram submetidas à preparação pelos métodos de palinologia, nanofósseis, petrografia e geoquímica nos laboratórios da Unidade de Negócio de Exploração e Produção de Sergipe e Alagoas (UN-SEAL), em Aracaju (SE) e no Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo A. Miguez de Mello (Cenpes), no Rio de Janeiro, seguindo os padrões de preparação de amostras adotados pela Petrobras para os diferentes métodos.

A análise palinológica das amostras seguiu o procedimento de classificação e determinação semi-quantitativa, segundo um critério adequado à natureza do material recuperado na lâmina palinológica. As amostras analisadas possuem uma grande variedade em termos de abundância e diversidade do material recuperado. Embora grande parte destas amostras não chegue a possuir mais que 50 indivíduos, algumas amostras podem conter um número superior a 1.000 indivíduos.

Para se atingir os objetivos previamente estabelecidos, foram adotados os seguintes procedimentos:

- I) caracterização das palinozonas de pólen e esporos utilizando o zoneamento definido pela Petrobras (adaptado de Regali et al. 1974);
- II) caracterização dos dinoflagelados a partir dos zoneamentos definidos por Lana (1997);
- III) caracterização de palinofácies aqui identificadas como todo o conteúdo palinológico, incluindo palinomorfos e matéria orgânica, a partir de uma preparação palinológica com objetivos bioestratigráficos, em amostras previamente oxidadas, como nos procedimentos adotados para a preparação palinológica utilizada pelo Setor de Bioestratigrafia e Paleoecologia Aplicada (BPA) do Cenpes (Dino, 1994; Hashimoto, 1995);
- IV) identificação de palinoecozonas, consideradas neste trabalho como amostras em que o predomínio de um ou mais elementos palinológicos em relação aos outros, como dinoflagelados, palinoforaminíferos ou escolocodontes, é muito significativa, podendo sugerir variações ambientais importantes;

- V) interpretação do levantamento palinológico efetuado segundo o modelo de estratigrafia de seqüências.

resultados

Os resultados obtidos a partir da metodologia adotada são expostos separadamente, na seguinte ordem: testemunhos, L923A, L1423A e amostras de superfície. A integração destas informações pode ser visualizada no anexo 1, onde estão representados os resultados das análises geoquímicas e a integração das análises bioestratigráficas. Este gráfico também forneceu suporte para a caracterização das seqüências e análise paleoambiental.

testemunho L923A

Localizado na porção noroeste do afloramento (fig. 3), atravessou uma seção carbonática de 209,55m. O intervalo de 10,45m a 220m pertence à parte inferior da Superzona *Hexaporotricolpites emelianovii*, de idade eoturoniana.

Segundo as análises de nanofósseis calcários, todo o intervalo analisado encontra-se na biozona CC-11 do zoneamento de Sissingh (1977), atribuída ao Turoniano Inferior. As espécies diagnósticas da biozona encontradas nesse intervalo são: *Eprolithus octopetalus*, *Eprolithus eptapetalus* e *Quadrum intermedium*. As curvas de variação na diversidade e abundância das espécies, juntamente com as análises geoquímicas (anexo 1) e petrográficas (anexo 7; fotos 46 a 61), permitem as seguintes considerações:

- I) as curvas de riqueza específica e abundância, analisando isoladamente os palinomorfos continentais, apontam para uma seção com menor aporte destes elementos no intervalo de 10,45m a 110m. Os menores valores no perfil de raios gama em relação à seção subjacente – a partir de uma queda muito significativa em 115m bem como a menor presença de siliciclásticos vista nas lâminas petrográficas (anexo 7; foto 52) – indicam que este intervalo foi depositado em condições climáticas mais áridas. O intervalo de 110m a 210m mostra-se significativamente menos carbonático;

- II) as análises geoquímicas de carbono orgânico total (COT) e isótopos de carbono indicam maior produtividade orgânica, enquanto a análise de resíduo insolúvel (RI) assinala um aumento no teor de siliciclásticos na base do testemunho, entre 115m e 210m;
- III) as análises petrográficas (anexo 7; fotos 48, 49 e 50) corroboram os resultados das análises geoquímicas de resíduos insolúveis que, por sua vez, são reforçadas pelo comportamento da curva de raios gama.

testemunho L1423A

Localizado na porção sudeste do afloramento (fig. 3), atravessou uma seção carbonática de 230m. O intervalo de 26,98m a 230,7m pertence à parte inferior da superzona *Hexaporotricolpites emelianovii*, atribuída ao Turoniano.

A determinação dos nanofósseis calcários seguiu o zoneamento internacional de Sissingh (1977). As espécies diagnósticas da biozona CC-11, Turoniano Inferior, encontradas nesse intervalo são: *Eprolithus octopetalus*, *Eprolithus eptapetalus*, *Radiolithus planus*, *Quadrum gartneri*, *Quadrum eptabrachium* e *Quadrum octobrachium*.

O gráfico do testemunho L1423A (anexo 1) permite fazer as seguintes considerações:

- I) embora os elementos marinhos sejam sempre predominantes, a variação sutil na abundância e na riqueza específica entre os elementos continentais aponta para um maior enriquecimento destes na base do intervalo, especialmente no intervalo de 140m a 150m e nas profundidades de 201,35m e 227,55m, sugerindo que este intervalo foi depositado em condições proximais, confirmado pela redução nos valores do perfil de raios gama da base para o topo da seção. Uma variação brusca na assinatura do perfil na profundidade de 158m é bastante conspícua;
- II) a riqueza específica de palinomorfos marinhos e nanofósseis mostra uma correlação inversa com a variação do perfil de raios gama, principalmente na profundidade de 116m, onde foi posicionada a Superfície de Inundação Máxima (SIM);
- III) as análises geoquímicas e de isótopos de oxigênio não apresentaram variações significativas;

- IV) as análises petrográficas (anexo 7; fotos 53 a 61) definem a sucessão litológica como sendo uma intercalação de *mudstones* e *mudstones* margosos, bioclásticos, aumentando, consideravelmente o teor de siliciclásticos na base do intervalo, fato evidenciado nos perfis de raios gama.

amostras de superfície

O estudo da seção aflorante cobriu uma coluna de 72m (anexo 1). As análises palinológicas efetuadas caracterizam esta seção como pertencente à Superzona *Hexaporotricolpites emelianovii*, com idade relacionada ao Turoniano Inferior atribuída pelos métodos dos foraminíferos (Koutsoukos, 1989), amonóides (Bengtson, 1983; Andrade, 2005), inoceramídeos (Hessel, 1988; Andrade, 2005) e nanofósseis (Cunha, 2001). As análises palinológicas, apesar de não oferecerem precisão na datação do intervalo já que a espécie indicadora da superzona, o pólen *Hexaporotricolpites emelianovii* (anexo 2; foto 3), possui distribuição temporal muito ampla, reforçam as datações anteriores, englobando a distribuição vertical estabelecida pelos outros métodos. Esta seção também foi amostrada na parte superior do testemunho L1423A. Uma correlação mais precisa entre estas duas seções é dificultada pela ausência de perfil de raios gama na seção aflorante.

A análise palinológica de diversidade específica e abundância, juntamente com as curvas da seção estratigráfica referente às amostras de superfície, demonstram que as espécies marinhas dominam o ambiente. As espécies continentais ocorrem em baixíssima quantidade, porém no intervalo de 0m a 57m, são menos expressivas que no intervalo de 57m a 72m, ao mesmo tempo em que as espécies marinhas mostram um comportamento relativamente mais homogêneo de 0m a 57m e também mais oscilante no intervalo de 57m a 72m (anexo 1).

Litologicamente, a seção é caracterizada pela alternância de *mudstones* e *mudstones* margosos, com brechas carbonáticas subordinadas. Estes depósitos rítmicos são referidos por Carmo (1997) como pares *mudstones* e *mudstones* margosos hemipelágicos. Os *mudstones* são cinza-claros, enquanto os *mudstones* margosos, cinza-escuros. A alternância entre estes dois tipos litológicos é atribuída a variações climáticas controladas por modificações dos ciclos orbitais de Milankovich (1969). Camadas intemperizadas variam de creme a amarelo (fig.4).

As análises sedimentológicas e petrográficas revelaram que a porção siliciclástica é composta predominantemente pela fração argila, com traços de silte, quartzo e feldspato (Carmo, 1997). Os principais constituintes não-carbonáticos são: quartzo, feldspato, argila, pirita framboidal e matéria orgânica, incluindo fragmentos de vegetais. A sucessão ainda apresenta níveis brechados, bioturbados e ricos em amonóides, inoceramídeos, crustáceos e vestígios de peixes (Andrade, 2005). As análises geoquímicas revelam rochas pobres em matéria orgânica.

discussão

A seção estudada pertence à Superzona *Hexaporotricolpites emelianovii* com idade definida a partir dos estudos efetuados pelos autores citados na análise da seção aflorante. Nos testemunhos utilizados no presente trabalho, a seção subaflorante, segundo as análises de nanofósseis calcários, posiciona o intervalo na biozona CC-11 do zoneamento de Sissingh (1977), atribuída ao Turoniano Inferior, mantendo a datação estabelecida para a seção aflorante.

A passagem Cenomaniano-Turoniano (C-T) não foi identificada. Petrograficamente, ocorre um aumento relativo de siliciclásticos na base da seção (anexo 1).

A seção estudada se apresenta pobre em conteúdo orgânico, com COT médio de 0,55%, abaixo da média para a Formação Cotinguiba que é de 1,67% (comunicação verbal de Hamsi Jr., 2006). Pontualmente, a seção analisada apresenta valores entre 1,0% e 2,0% nas fácies mais margosas. Os resultados de COT mostram ainda uma boa concordância com os valores de resíduo insolúvel (RI). A análise de isótopos de oxigênio não apresentou variações significativas (anexo 1).

A interpretação, utilizando os princípios da estratigrafia de seqüências, permite enquadrar toda seção estudada em duas seqüências de 3ª ordem, subdividida em três tratos de sistema de 4ª ordem (anexo 1), com múltiplos ciclos subordinados de 5ª ordem, caracterizados pela alternância cíclica de *mudstone* e *mudstone* margosos (fig. 4). Diferentes cálculos sugerem que a média de duração para cada par de camadas seja de aproximadamente 8,8 Ka, próximo dos 10,5 Ka equivalentes à periodicidade do sinal duplo do ciclo precessional de Milankovitch (1969), refletindo as variações cíclicas da obliquidade do eixo da Terra (Pratt *et al.* 1994).

Seqüência 1

Trato de Sistema de Mar Alto (TSMA)

Identificada entre 212m e 114m no testemunho L923A, caracterizado por maior abundância e diversidade relativa de palinórfos continentais, altos valores de raios gama e resíduo insolúvel que indicam uma maior contribuição de sedimentos terrígenos, confirmado também pelas análises petrográficas (anexo 7). Esta seqüência, representada apenas por um Trato de Sistema, foi depositada no Eoturoniano sob condições climáticas mais úmidas (anexo 1).

limite de Seqüência

Identificada apenas no poço L923A, é caracterizado principalmente pela redução significativa de palinórfos continentais e nanofósseis, acompanhado por uma brusca redução nos valores de raios gama em 114m (anexo 1).

Seqüência 2

Trato de Sistema Transgressivo (TST)

Identificada entre 114m e 10 m no testemunho L923A, equivalente ao intervalo entre 230m e 116,45m no testemunho L1423A e de 72m a 60m na seção exposta pela mineração. Esta seqüência apresenta uma considerável diminuição dos palinórfos continentais em relação aos marinhos, com redução significativa dos valores de resíduo insolúvel e raios gama que apresentam seus valores mínimos em 116,45m no testemunho L1423A determinando a Superfície de Máxima Inundação (SIM). Litologicamente, os carbonatos apresentam-se mais limpos, como pode ser observado tanto na descrição litológica como nas análises petrográficas (anexo 7). Todo o trato de sistema foi depositado sob condições climáticas mais áridas no Eoturoniano. A SIM está representada na área exposta pela mineração na profundidade de 60m.

Trato de Sistema de Mar Alto (TSMA)

Identificada entre 115m e 28m no testemunho L1423A e entre 60m e 10m na seção aflorante. A quantidade de palinórfos marinhos diminui sensivelmente em relação à de palinórfos continentais, que se mantém estável. O aporte de terrígenos volta a subir, conforme indicam as análises de resíduo inorgânico e os valores de raios gama (anexo 1). Os valores de COT crescem sutilmente, atingindo o máximo de 1,0%.

Segundo diferentes cálculos efetuados por Pratt *et al.* (1994) na Pedreira Votorantim, cada par de *mudstone* e *mudstone* margoso corresponde a ciclos de duração média de 8,8 Ka, próximo dos 10,5 Ka da periodicidade do sinal duplo (*double-beat*) dos ciclos precessionais de Milankovitch (1969). Com base nestes dados, pode-se estabelecer para a seção estudada uma taxa de acumulação média de aproximadamente 18 cm/ka. Para uma sedimentação de carbonatos, as taxas de 15 cm/ka seriam altas o suficiente para causar forte diluição dos valores de COT, o que justifica os baixos valores, em média 0,55%. Tomando-se por base estes parâmetros, pode-se inferir que a seção estudada foi depositada em aproximadamente 1,5 Ma no Eoturoniano. Os valores médios de 500.000 anos para o desenvolvimento de cada trato de sistema podem indicar uma correspondência aproximada com os ciclos de excentricidade longa de Milankovich (1969).

Palinologicamente, a seção estudada possui uma grande abundância e uma baixa diversidade de palinórfos, com predominância acentuada dos palinórfos marinhos (anexos 3, 4, e 5) sobre os continentais (anexo 2), sugerindo um ambiente marinho com características físicas, químicas e biológicas relativamente estáveis. Embora a abundância de palinórfos marinhos seja muito superior à de continentais, a diversidade específica dos palinórfos marinhos ainda se configura muito baixa em comparação a outras seções marinhas conhecidas, o que nos leva a concluir que a seção foi desenvolvida em condições de restrição.

Outra característica que reforça a condição de restrição ambiental é a recorrência, em toda a seção, de níveis muito enriquecidos em determinados gêneros, como *blooms* de foraminíferos quitinosos (anexo 6; fotos 39 e 41), dinoflagelados (anexo 6; fotos 37, 38 e 40) e escolocodontes (anexo 6; foto 42), reportados neste trabalho como palinoecozonas.

Embora este trabalho apresente uma abordagem palinológica mais profunda sobre os carbonatos da Pedreira Votorantim, somando-se às outras

metodologias já adotadas para o estudo desta seção, a remoção destas rochas com objetivo industrial apresenta a oportunidade muito peculiar de enriquecer continuamente o conhecimento geológico, paleontológico e paleoambiental desta área devido a exposições sempre renovadas pela atividade da mineração. Por outro lado, a ausência de um acompanhamento geológico sistemático com monitoramento paleoambiental e paleontológico exclui definitivamente a possibilidade de revisões e resgate dos fósseis contidos nesse sítio, já que a maioria das exposições será transformada em cimento para uso industrial.

referências bibliográficas

- ANDRADE, E. J. **Turonian inoceramids and biostratigraphy of the Sergipe Basin, northeastern Brazil: an integrated study of the Votorantim ad Nassau quarries**. 2005. 155 p. Tese (Doutorado) – Heidelberg University, Heidelberg, 2005.
- BENGTSON, P. The **Cenomanian-Coniacian of Sergipe Basin, Brazil**. Oslo : Universitetsforlaget, 1983. 78 p. (Fossils and Strata, 12).
- BRASIER, M. D. **Microfossils**. London : G. Allen & Unwin, 1980. 193 p.
- BURNETT, J. A. Nannofossils and Upper Cretaceous (sub-) stage boundaries: state of the art. **Journal of Nannoplankton Research**, London, v. 18, n. 1, p. 23-32, 1996.
- CARMO, A. M. **An isotopic and geochemical study of climatic and oceanographic factors influencing organic-matter preservation during the late cretaceous in Sergipe basin, Brazil**. 1997. 192 p. Tese (Doutorado) – Indiana University, Bloomington, 1997.
- CARMO, A. M.; PRATT, L. M. **Deciphering Late Cretaceous subequatorial ocean-climate interactions in the Sergipe Basin, Brazil**. Boulder: Geological Society of America, p. 231- 242, 1999. (Special Paper: Evolution of the Cretaceous Ocean-Climate System, v. 332).
- CUNHA, A. S. **Cicloestratigrafia no Cenomaniano Superior e Turoniano do Oceano Atlântico Sul**. 2001. 299 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências, Porto Alegre, 2001.
- DINO, R. Algumas Espécies novas de grãos de pólen do Cretáceo inferior do Nordeste do Brasil. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 2/4, p. 257-273, 1994.
- FEIJÓ, F. J. Bacias de Sergipe e Alagoas. **Boletim de Geociências da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 8, n. 1, p. 149-161, 1994.
- HASHIMOTO, A. T. **Contribuição ao estudo do relacionamento da Palinologia e a Estratigrafia de Sequências: análise da seção do Cretáceo Médio/Superior da Bacia de Santos, Brasil**. 1995. 130 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1995.
- HESSEL, M. H. R. **Lower Turonian inoceramids from Sergipe, Brazil: systematics, stratigraphy and palaeoecology**. Hoboken: Wiley, 1988. p. 1-49. (Fossils and Strata, v. 22).
- KOUTSOUKOS, E.A.M. **Mid-to Late Cretaceous Microbiostratigraphy, Palaeo-ecology and Palaeogeography of the Sergipe Basin, Northeastern Brazil**. 1989. 2. v. Tese (Doutorado) – Council for National Academic Awards, Polytechnic South West, Plymouth, 1989.
- KOUTSOUKOS, E. A. M.; BENGTSON, P. Towards an integrated biostratigraphy of the upper Aptian-Maastrichtian of the Sergipe Basin, Brazil. In: GAYET, M. (Coord.). **Paléontologie et stratigraphie d'Amérique latine: table ronde européenne**. Lyon: Université Claude-Bernard, 1992. p. 241-262. (Documents du Laboratoire de Géologie de Lyon, v. 125).
- KOUTSOUKOS, E. A. M.; DESTRO, N.; AZAMBUJA FILHO, N. C.; SPADINI, A. Upper Aptian-Lower Coniacian carbonate sequences in the Sergipe Basin, Northeastern Brazil. In: TONI SIMO, J. A.; SCOTT, R. W.; MASSE, J. P. (Ed.). **Cretaceous carbonate platforms**. Tulsa: American Association of Petroleum Geologists, p.127-144, 1993. (Memoir, v. 56).
- LANA, M. C. Bacia de Sergipe-Alagoas: Uma hipótese de evolução Tectono-Sedimentar. RAJA GABAGLIA, G. P.; MILANI, E. J. (Coord.). **Origem e evolução de Bacias Sedimentares**. Rio de Janeiro: Gávea, 1990. p. 311-332.

LANA, C. C. **Palinologia e Estratigrafia integrada da seção Cenomaniano médio- Turoniano inferior da porção centro leste da bacia Potiguar, NE do Brasil**. 1997. 197 p. Dissertação (Mestrado) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.

MILANKOVITCH, M. **Kanon der Erdbestranlung and seine Anwendund auf das Eiszeitenproblem (Cânon of insolation and the ice age problem)**. Belgrade: Royal Serbian Academy, 1941. 674 p. (Special Publication, v. 132, Section of Mathematical and Natural Sciences, v. 33). English translation by the Israeli program for scientific translation. Published by U.S. Department of commerce and the National Science Foundation, Washington, DC, NTIS Report SFCSCI-COMM (TT-67-514010-1-2), 1969, 507 p.

PRATT, L. M.; KAUFFMAN, E. G.; CARMO, A. M.; JOHNSON, C. C.; KOUTSOUKOS, E. A. M.;

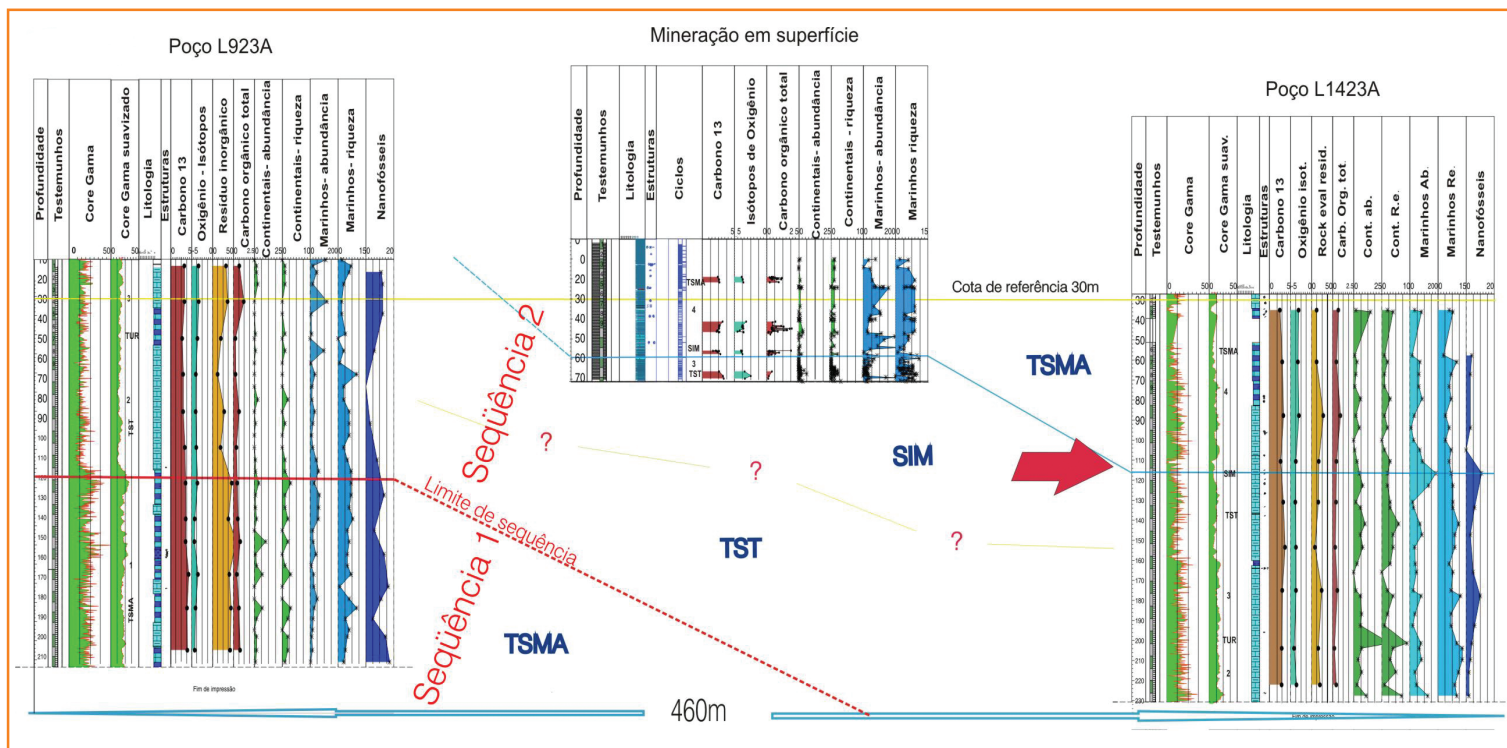
VILLAMIL, T. **High-frequency oceanographic and climatic fluctuations in a subequatorial mid-Cretaceous basin, northeastern Brazil**. Geological Society of America. Abstracts with Programs, v. 35, n. 6, p. 494, Sep. 2003.

REGALI, M. S. P.; UESUGUI, N.; SILVA SANTOS. A. Palinologia dos Sedimentos Mesocenozóicos do Brasil (II). **Boletim Técnico da Petrobras**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 4, p. 263-301, 1974.

SISSINGH, W. Biostratigraphy of Cretaceous calcareous nannoplankton. **Geologie en Mijnbouw**, Utrecht, v. 56, n. 1, p. 37-65, 1977.

SOUZA-LIMA, W.; ANDRADE, E. J.; BENGTON, P.; GALM, P. C. **A bacia de Sergipe-Alagoas: evolução geológica, estratigrafia e conteúdo fóssil**. Aracaju: Fundação Paleontológica Phoenix, 2002. 34 p. (Edição Especial, v. 1).

anexo I



Anexo 1 – Seção estratigráfica.

Annex 1 – Stratigraphic section.

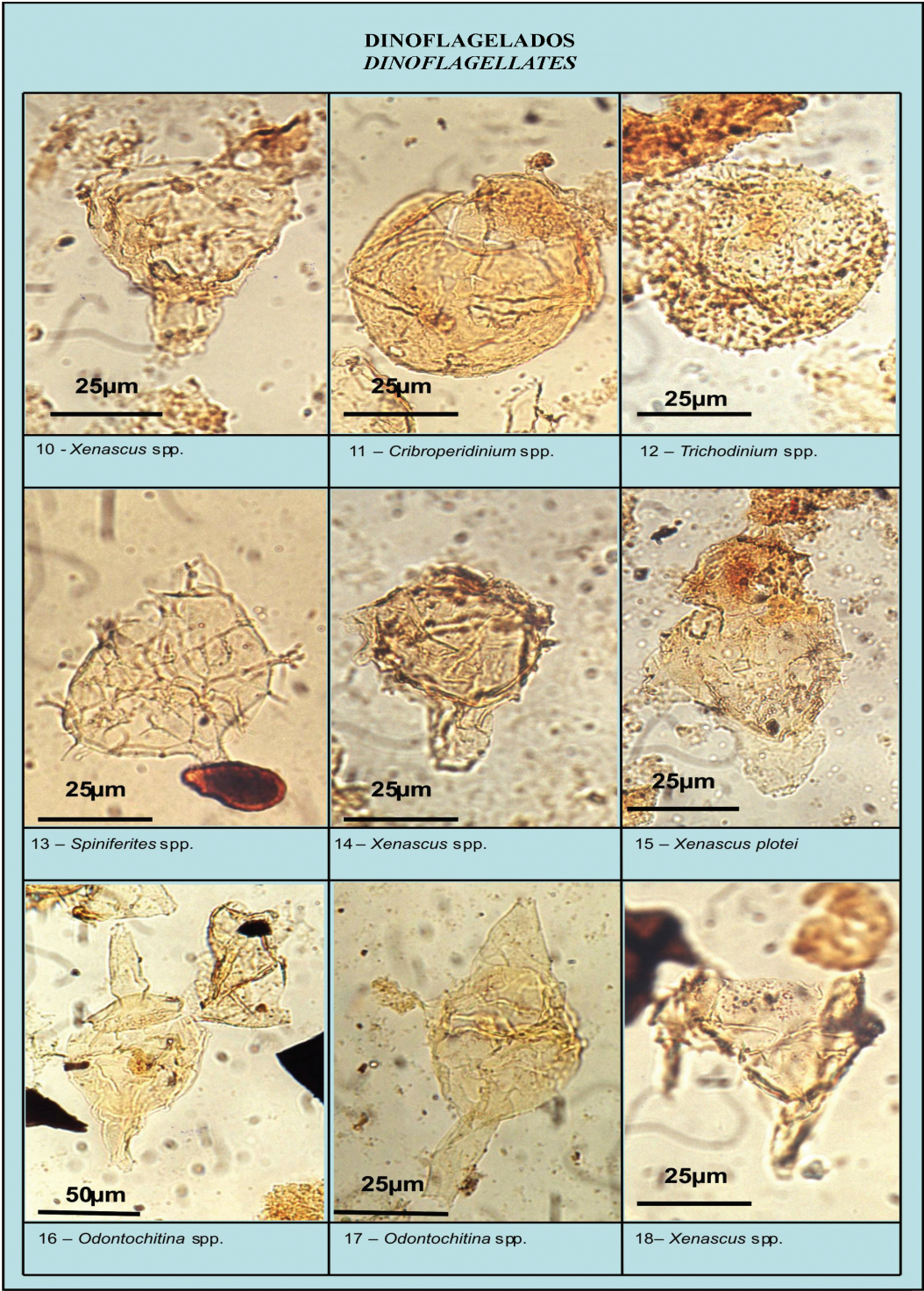
anexo II

PÓLENS E ESPOROS POLLEN AND ESPORES		
 1 – <i>Equisetosporites</i> spp.	 2 – <i>Equisetosporites</i> spp.	 3 - <i>Hexaporotricolpites emelianovi</i> .
 4 – Tricolpado verrucado. <i>Verrucate tricolpate pollen</i>	 5 – <i>Equisetosporites</i> spp.	 6 – <i>Steevesipollenites</i> spp.
 7 – <i>Equisetosporites</i> spp.	 8 – <i>Equisetosporites</i> spp.	 9 – Trilete rugulado. <i>Rugulate trilate</i>

Anexo 2 – Estampa de Palinomorfos continentais. Fotos 1 a 9.

Annex 2 – Plate of continental palynomorphs.

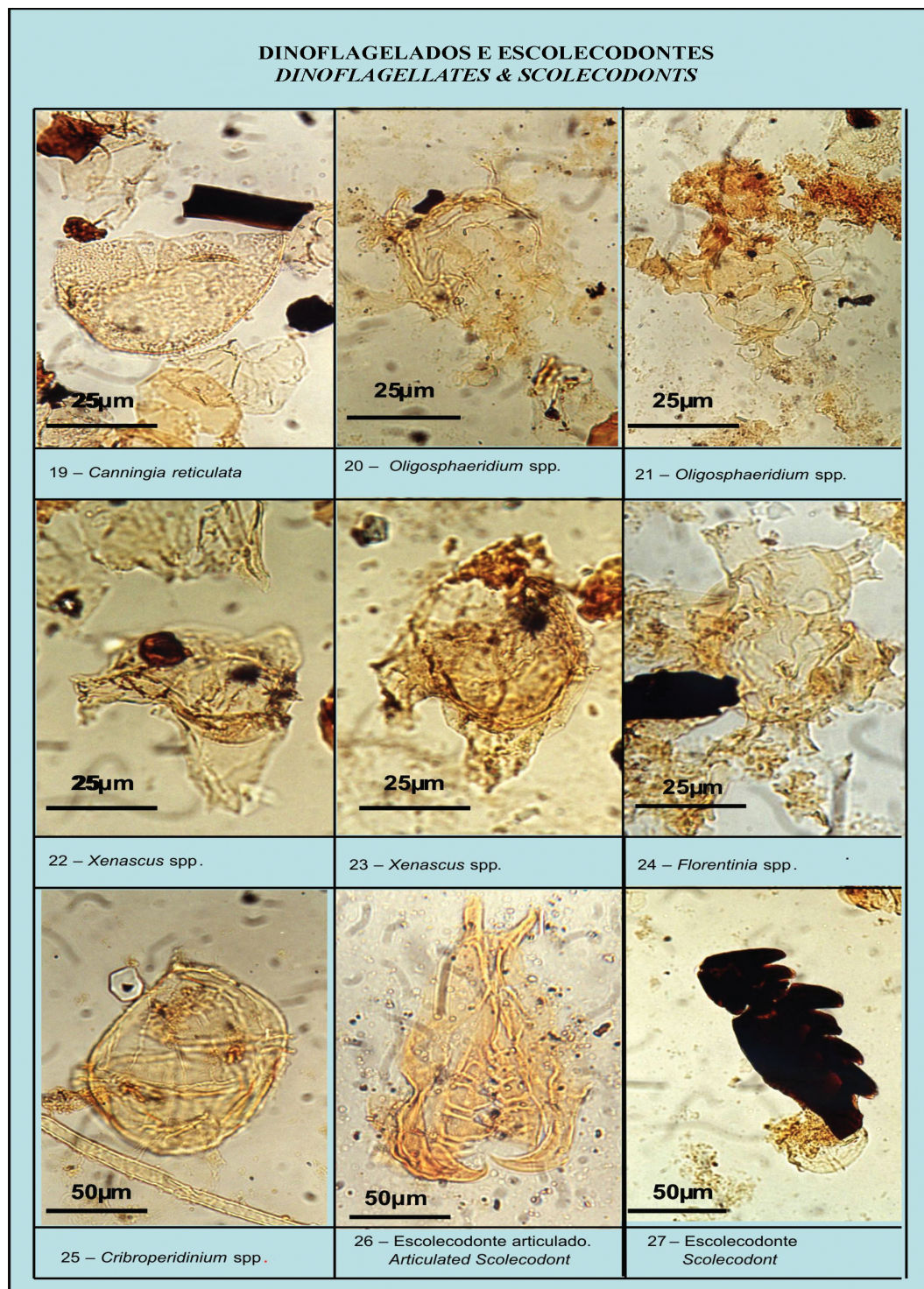
anexo III



Anexo 3 – Estampa de dinoflagelados. Fotos 10 a 18.

Annex 3 – Plate of dinoflagellates.

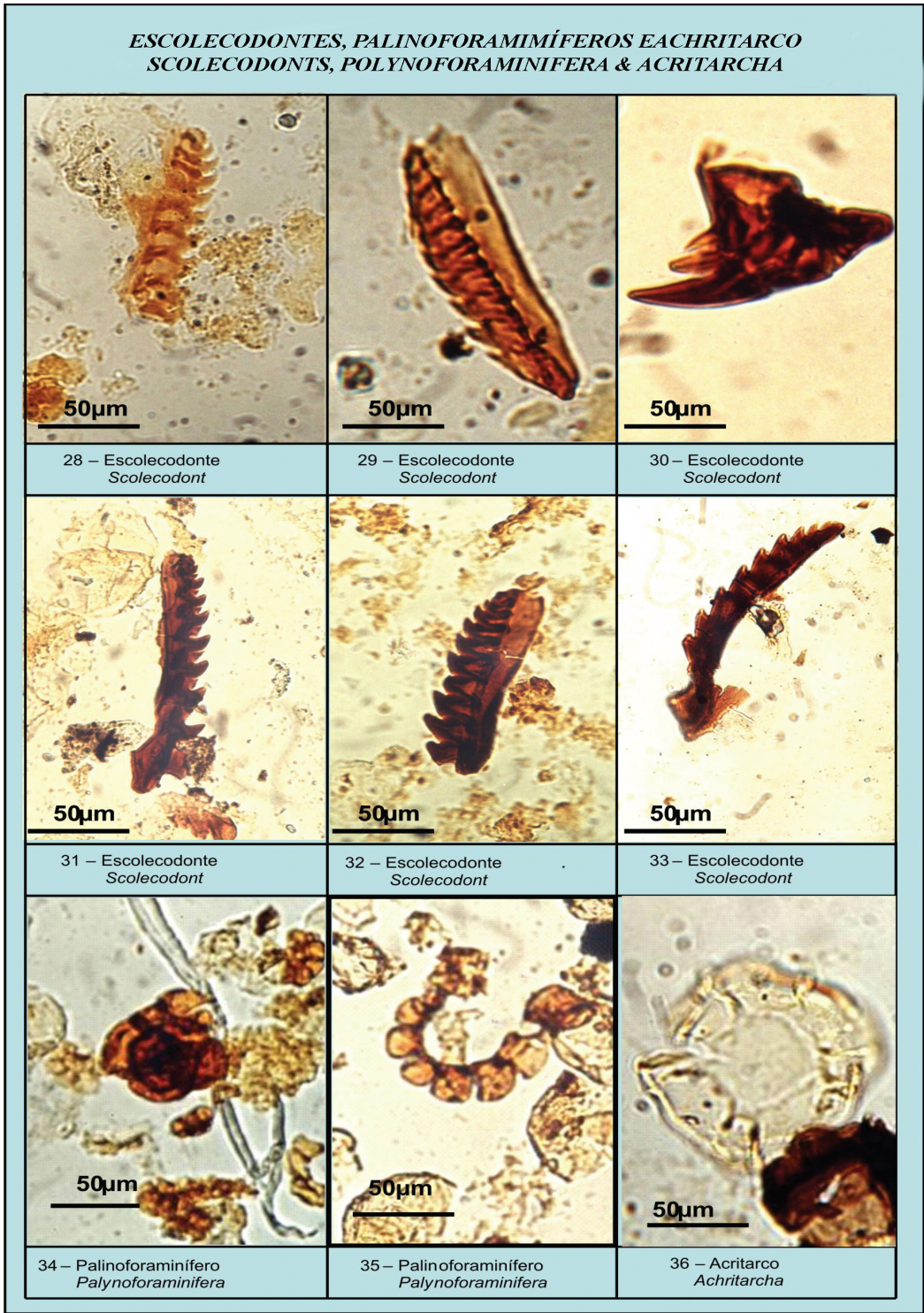
anexo IV



Anexo 4 – Estampa de Dinoflagelados e Escolecodontes. Fotos 19 a 27.

Annex 4 – Plate of Dinoflagellates and Scolecodonts.

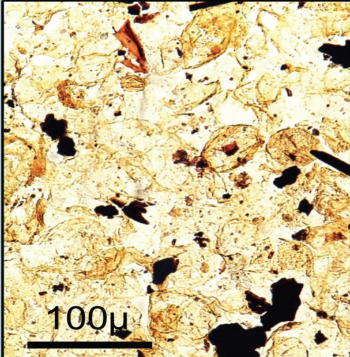
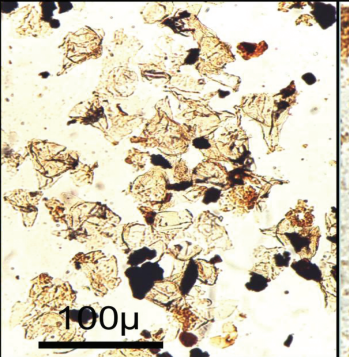
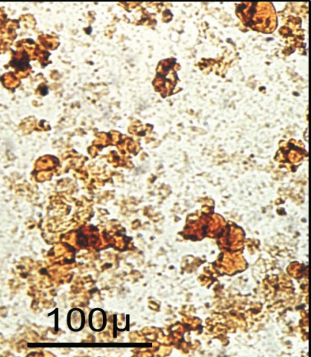
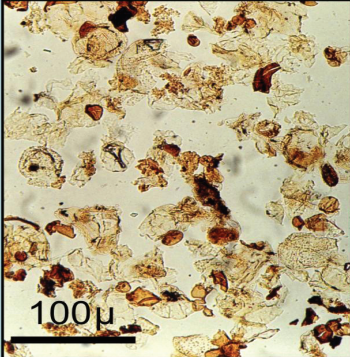
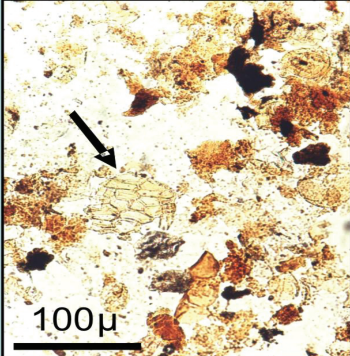
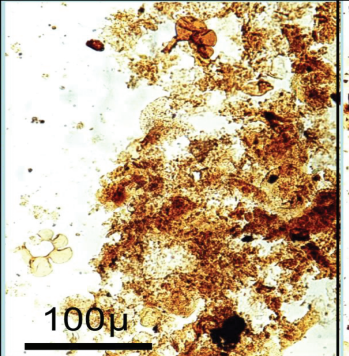
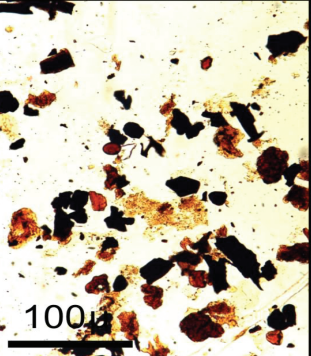
anexo V



Anexo 5 – Estampa de Escolecodontes, Palinoforaminíferos e Achritarcho. Fotos 28 a 36.

Annex 5 – Plate of Scolecodonts, Palynoforaminifera and Acritarcha.

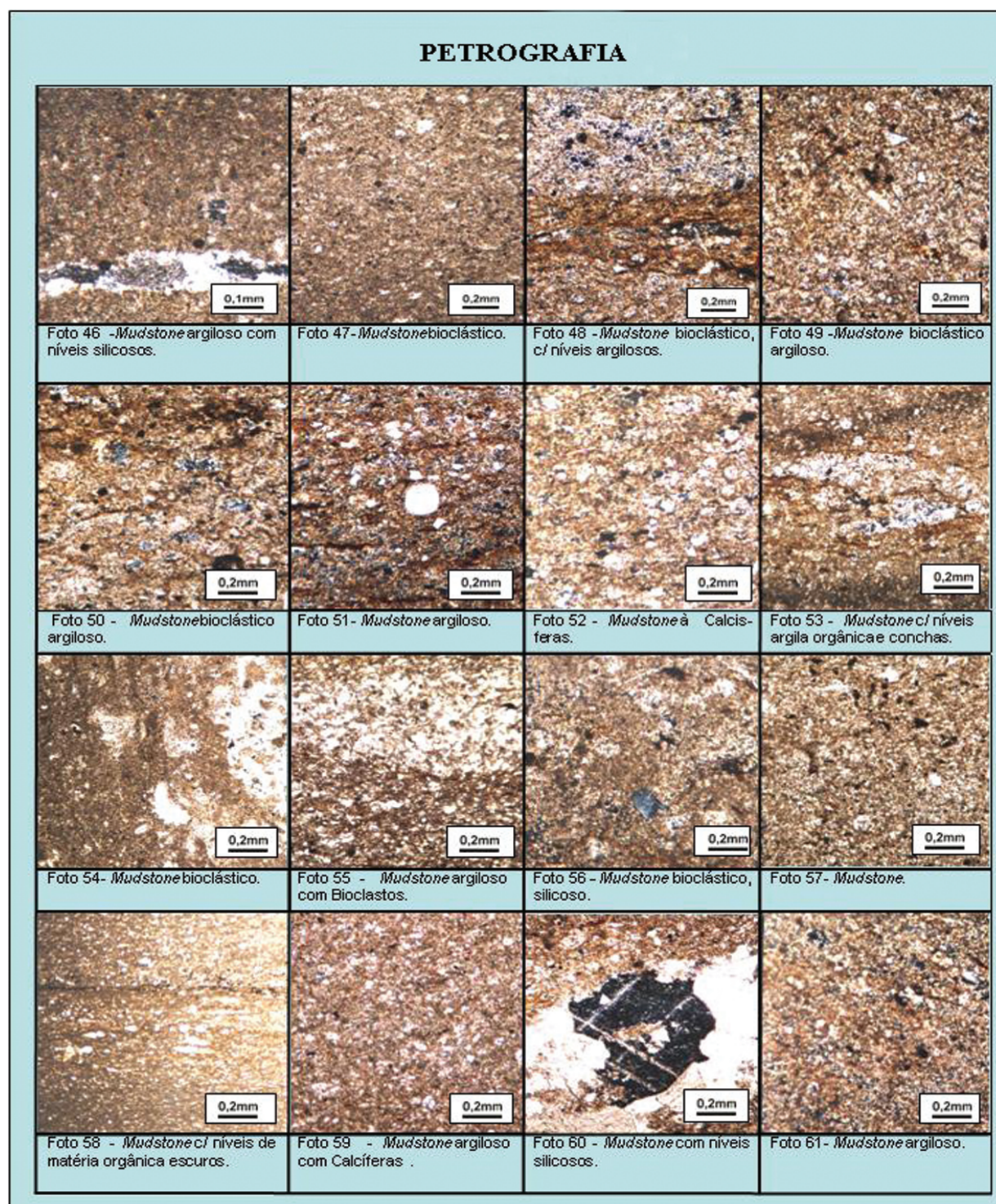
anexo VI

ECOZONAS E PALINOFÁCIES ECOZONES & PALYNOFACIES		
 100µ 37- Ecozona <i>Circulodinium</i> <i>Circulodinium</i> Ecozone	 100µ 38- Ecozona <i>Xenascus</i>. <i>Xenascus</i> Ecozone	 100µ 39- Ecozona Palinofoaminifero. <i>Palynoforaminifera</i> Ecozone
 100µ 40- Ecozona <i>Trichodinium</i> / Palinofoaminifero. Ecozone <i>Trichodinium</i> / <i>Palynoforaminifera</i>	 100µ 41 - Ecozona Palinofoaminifero. <i>Palynoforaminifera</i> Ecozone	 100µ 42- Ecozona <i>Escolecodonte</i>. <i>Escolecodont</i> Ecozone
 100µ 43- Fitoclasto. <i>Phytoclast</i>	 100µ 44- Matéria orgânica amorfa. <i>Amorphous Organic Matter</i>	 100µ 45 - Fitoclastos. <i>Phytoclasts</i>

Anexo 6 – Estampa de Ecozonas e Palinofácies. Fotos 37 a 45.

Annex 6 – Plates of Ecozones and Palynofacies.

anexo VII



Anexo 7 – Estampa de lâminas petrográficas. Fotos 46 a 61.

Annex 7 – Plates of petrographyc slides. Fotos 46 a 61.

expanded abstract

The Cenomanian-Turonian boundary is recognized worldwide as the most important eustatic event of sea-level rise in the Cretaceous, correlated with a global oceanic anoxic event, which induced the widespread formation of organic-rich pelitic deposits, potential source rocks of hydrocarbon. In Brazil this section is predominantly found in subsurface in land and offshore oil wells. One of the best outcrops of this interval is found in the Votorantim quarry, in Laranjeiras, Sergipe State, Brazil. This section has been studied by many researchers: Bengtson (1983), Hessel (1988), Koutsoukos (1989), Carmo (1997), Carmo and Pratt (1999), Cunha (2001) and Andrade (2005). The purpose of this work is to add palynological data and interpretation to the previous studies, using semi-quantitative analyses to establish a palynological framework integrated with paleoecological inferences and a sequence stratigraphy interpretation.

The Sergipe-Alagoas Basin is located in northeastern Brazil, between the parallels 9° and 11°, with 350km of extension in a N 45°E direction, and an average width of 35km onland.

The main objectives of this study are to:

- I) investigate the stratigraphy and evaluate the possible existence of the Cenomanian-Turonian boundary in the carbonates of the Cotinguiba Formation, located in the Votorantim Quarry in the city of Laranjeiras, using surface samples and cores;
- II) establish a palynostratigraphic framework, integrated with the calcareous nannofossil biozonation, and verify its correlation with geochemical events in the locality;
- III) integrate and interpret the recorded data within a sequence stratigraphy framework.

The studied outcrops are located in the Votorantim Quarry, near Laranjeiras, 17km northwest of Aracaju.

The carbonate succession of the Cotinguiba Formation is subdivided into two units: the Aracaju Member, consisting of gray to green claystones, shales and yellowish marlstones; and the Sapucari Member, essentially constituted of mudstones and marly mudstones, grey to light cream. This succession was

deposited on a carbonate ramp system from Cenomanian to Turonian times (Koutsoukos et al. 1993). Upper Aptian-Lower Coniacian carbonate sequences in the Sergipe Basin. The studied quarry has an northeast direction, with approximately 800m of extension and 350m in maximum width. The quarry displays a section of average 110m in thickness, with a dip that varies from 12° to 18°SE/S (Andrade, 2005).

210 samples had been collected: 70 samples from cores L923A and L1423A from Votorantim Quarry, with a maximum depth of 230m, and 140 outcrop samples. The cores have been described and gamma ray profiles have been taken. The palynological analyses comprised the taxonomic classification and semi-quantitative evaluation of the palynological remains, including palynomorphs and organic matter.

The age of this sequence in the outcrop section had been determined by the authors already subscribed and confirmed in this work. All the analysis in the Quarry, point to a Turonian section. Palynological investigation detected the Hexaporotricolpites emelianovii Superzone. In cores, Palynology and Nanofossils data also point this interval in Turonian, Hexaporotricolpites emelianovii Superzone in palinology and CC-11 Zone by Sissingh (1977) in Nannofossil analysis, equivalent to lower Turonian, in the L-1423A and L-923A cores.

The Cenomanian-Turonian boundary was not identified in the studied section:

The studied section presents poor TOC values, with an average of 0.55%. This value is lesser than the average values of 1.67% for the Cotinguiba Formation (Hamsi Jr., 2006);

The sequence stratigraphic interpretation allows fit all the studied section in two 3° order sequence, subdivided into three System Tracts with 4° order dimension, with many subordinated 5° order cycles, characterized by the cyclic alternation of marly mudstones and carbonate mudstones with few centimetres to one meter.

From bottom to the top the sequences are:

HSST (Hight Stand Systems Tract): from 212 to 114m in core L923A, characterized by a greater abundance and an increase of relative diversity of the continental palynomorphs, the highest values of gamma ray and a greater presence of siliciclastics, confirmed by the petrographic analyses. This sequence was deposited under more humid climatic conditions.

TST (Transgressive Systems Tract): from 114m to 10m in core L923A, and from 230m to 116.45m in core L1423A and from 72m to 60m in the outcrop section. This system tract is characterized by a considerable reduction of the continental palynomorphs in relation to the marine ones. The marine palynomorphs increases in density in relation to the continental ones, until reaching a maximum in 116.45m in core L1423A, where the gamma-ray curve presents its minimum values representing the Maximum Flooding Surface (MFS). This surface is located approximately 60m in the outcrop section and is represented by maximum values of abundance in marine palynomorphs and specific richness in calcareous nannofossils while the gamma ray values reach its minimum. The carbonates are dominant and more homogeneous in the section. This system Tract is interpreted to have been deposited under drier climatic conditions.

HSST (High Stand Systems Tract): from 116.45 to 28m in L1423A, and 60m to 10m in the outcrop section. The abundance of marine palynomorphs decreases significantly, coupled with the increase of continental palynomorphs and siliciclastics. The TOC values also grow continuously. The cyclostratigraphic study of the outcrop section, according to different calculations carried out by Kauffman *et al.* (1994), admits for each corresponding couplet/cycle of marly mudstones and carbonate mudstones an average duration of 8.8 Ka, close to the 10.5 Ka double-beat periodicity in accordance with the precessional Milankovitch cycles.