

POROSIDADE ASSOCIADA A MICROESTRUTURAS DE BIOTURBAÇÃO EM CARBONATOS DA SUB-BACIA DE CANGUARETAMA, BACIA POTIGUAR

José Antonio Barbosa¹,
Maurílio Amâncio de Moraes²,
Maria Caroline do Nascimento³,
Virgínio Henrique Neumann⁴

1,3Programa de Pós-Graduação em Geociências, PRH-26/ANP/FINEP/UFPE, barboant@hotmail.com;
2Graduando do Curso de Geologia, DGEO-UFPE, 4Departamento de Geologia, DGEO-UFPE.

RESUMO Neste trabalho, é apresentado um estudo de caso de porosidade vugular desenvolvida em rochas carbonáticas da Sub-bacia de Canguaretama, Bacia Potiguar, desenvolvida a partir de dissolução localizada associada a estruturas sedimentares do tipo microtubos de organismos vermiformes. Através de estudo petrográfico e do uso de catodoluminescência foram observadas algumas características diagenéticas destas feições de porosidade e sua evolução. Observou-se a existência de porosidade primária associada às estruturas e também posterior dissolução de diagenética associada a estas. Foi identificada ao menos uma fase diagenética tardia que resultou na dissolução e precipitação de material associado às estruturas de bioturbação. Esses poros apresentam-se ocasionalmente obstruídos por crescimento de calcita e internamente revestidos por película de argilominerais.

Palavras-chave: porosidade, carbonatos, bioturbação, catodoluminescência, Sub-bacia Canguaretama

ABSTRACT This work presents a case study on vug porosity evolved in carbonate rocks of Canguaretama Sub-basin, Potiguar Basin, due to local dissolution associated to sedimentary structures, represented by microtubes produced by worm-like organisms. The study used petrographic investigation, with cathodoluminescence, to identify some diagenetic characteristics of this case of porosity and its evolution. Probably some primary porosity existed within the structures, and also some diagenetic dissolution occurred associated to these structures. At least one phase of later diagenesis was identified which resulted in dissolution and precipitation of the material within the bioturbation structures. The vugs sometimes appear sealed by calcite growth and internally coated by a film of diagenetic clay.

Keywords: porosity, carbonates rocks, bioturbation, Cathodoluminescence, Canguaretama Sub-basin

INTRODUÇÃO

Este trabalho tem por objetivos principais, trazer um estudo de caso de microporosidade associada a microestruturas de bioturbação, e exemplificar o uso de catodoluminescência na obtenção de informações petrográficas e diagenéticas como a natureza da porosidade e a diferenciação de possíveis gerações de diagênese.

Os depósitos em questão estão localizados na Sub-bacia Canguaretama, que faz parte da face leste da Plataforma Potiguar (Mabesoone & Alheiros, 1993; Barbosa, 2004). Os depósitos representam calcários maciços com substancial conteúdo de siliciclastos intercalados com arenitos calcíferos e argilitos. A Sub-bacia de Canguaretama (Fig. 1) está localizada ao norte da Falha de Mamanguape, e se estende até a falha de Cacerengo (Mabesoone & Alheiros, 1988, 1993; Barbosa, 2004).

Nessa região ocorrem depósitos carbonáticos, diretamente sobre o embasamento, cuja porção superior está provavelmente associada à Formação Itamaracá (Santoniano? – Campaniano), que também ocorre na Bacia da Paraíba (Fig. 2) ao norte, e seria um capeamento de depósitos mais antigos nesta face leste da plataforma Potiguar (Feitosa et al., 2002; Barbosa et al., 2003; Barbosa, 2004).

Estudos detalhados são necessários para detectar a gênese desses depósitos e sua relação com a evolução da faixa costeira entre Recife e o Alto de Touros. Alguns trabalhos realizados nesses depósitos já forneceram evidências da relação de tais calcários com a Bacia Potiguar (Campanha, 1979; Campanha & Saad, 1999; Feitosa & Feitosa, 1986; Feitosa et al., 2002). Esses estudos levaram em conta aspectos paleontológicos e estratigráficos, principalmente.

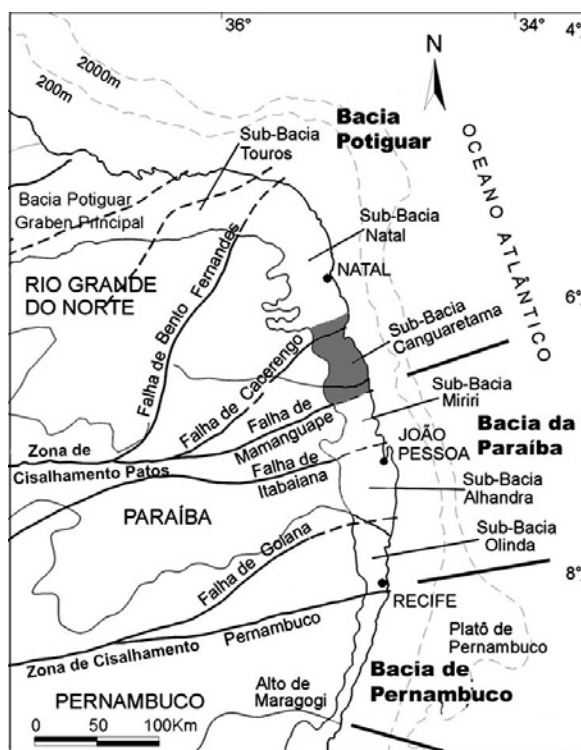


Figura 1 – Localização da Sub-bacia Canguaretama na faixa costeira leste da Bacia Potiguar (em cinza).

Alguns autores já reconheceram que esta área entre o Alto de Touros e a região de João Pessoa trata-se de transição entre a Bacia Potiguar e a Bacia da Paraíba (Feitosa et al., 2002; Barbosa et al., 2003). Lana & Roesner (1999) verificaram a existência de depósitos marinhos, neocretáceos entre as cidades de Punaú, próximo a Natal, e a cidade de Canguaretama. Através de estudo de palinomorfos, estes autores identificaram uma seção superior de idade provável maastrichtiana; um intervalo com maior influência terrígena, Eocampaniano, e um intervalo basal que pode alcançar o Turoniano. Esse estudo interpretou estes depósitos como associados a uma extensão da Bacia Potiguar. Estudos recentes mostraram que a unidade interpretada como Formação Itamaracá, na Bacia da Paraíba, se assemelha às litologias e fácies encontradas ao norte de João Pessoa, sobre a região de Altos estruturais, desde a Falha de Mamanguape até as proximidades de Natal (Barbosa, 2004). A Formação Itamaracá, de idade Santoniano?-Campaniano, é constituída de depósitos calcários com abundante conteúdo terrígeno, arenitos calcíferos e folhelho. Os depósitos aflorantes investigados na região de Pedro Velho e Canguaretama possuem notável semelhança com os depósitos da Formação Itamaracá observados por Barbosa (2004), em testemunhos de poços (Projeto Fosfato - CPRM) da Bacia da Paraíba.

A partir do estudo das rochas carbonáticas encontradas na Sub-bacia Canguaretama, através de lâminas delgadas, foram escolhidas duas camadas que mostraram interessantes feições relacionadas ao tema citado. Estas camadas mostram uma matriz compacta, micrítica, com pouca porosidade. A porosidade predominantemente observada está associada à existência de microestruturas de bioturbação e foi interpretada como vugular (Choquette & Pray, 1970).

As escavações em substrato macio, produzidas por organismos de infauna podem sofrer colapso por compactação, se-

rem preenchidas por sedimento ou por material produzido pelo próprio organismo à medida que se desloca (Schole & Ulmer-Schole, 2003). Estruturas de bioturbação podem representar áreas diferenciadas em relação à matriz circundante, representando regiões de baixa densidade e maior permeabilidade em relação à matriz, bem como regiões com preenchimento de material física e quimicamente diferente desta. Todos estes aspectos, em geral facilitam a percolação de fluídos e a ação diferenciada de efeitos diagênicos (Gingras et al., 2004; Schole & Ulmer-Schole, 2003). Zonas de dolomitização são comuns ao redor e dentro de escavações produzidas por organismos. O contraste entre o preenchimento de bioturbações e a matriz circundante pode desenvolver uma notável permeabilidade anisotrópica que pode ser explorada por fluídos de percolação (Gringras et al., 2004).

LOCALIZAÇÃO E CARACTERÍSTICAS DOS ESTRATOS

As feições petrográficas aqui descritas ocorrem em rochas carbonáticas, expostas na região que fica entre as cidades de Pedro Velho e Canguaretama, na Sub-bacia Canguaretama, nas proximidades do Engenho Outeiros (Fig. 3). A seção investigada apresenta cerca de oitenta metros de frentes de lavra manual em forma de bancadas, com cerca de 6 a 5 metros de altura (Fig. 4).

Neste local ocorrem camadas de calcário com siliciclastos, argilitos, siltitos e arenitos calcíferos. A seção estudada representa um ambiente plataformar raso, talvez bastante restrito, próximo a linhas de praia. A interpretação proposta para o ambiente deposicional associado a estes depósitos é de condições transicionais a marinho restrito, com forte influência da zona proximal, revelada pelo influxo de material oriundo da erosão do embasamento na borda da bacia. Há na seção estudada, pulsos de sedimen-

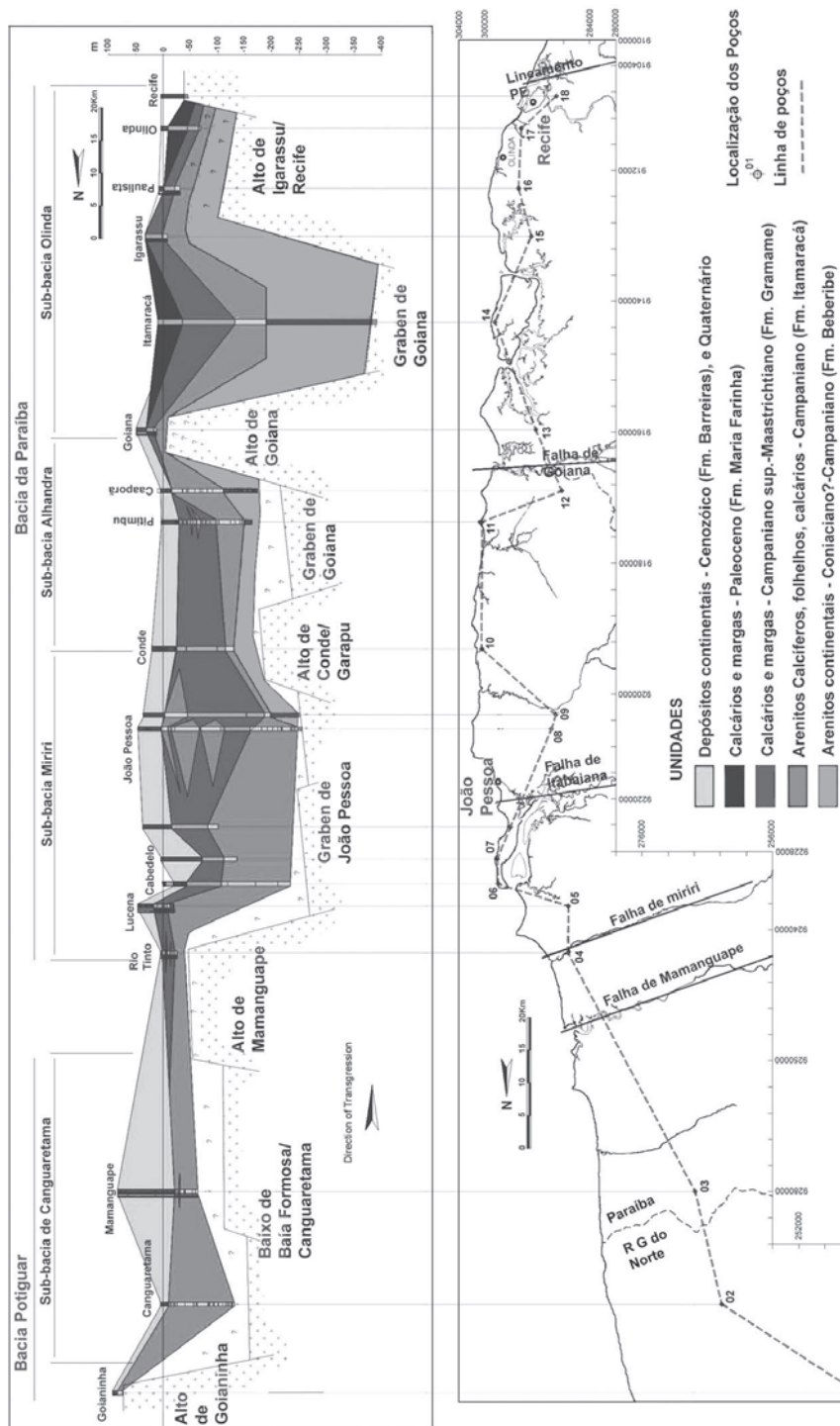


Figura 2 – Comportamento das unidades sedimentares entre a Bacia da Paraíba e a Sub-bacia de Canguaretama (Barbosa, 2004).

to terrígeno associado a ambientes praias e lagunares (Fig. 5), intercalados com camadas que representam a deposição de bancos carbonáticos. Esta interpretação está baseada na natureza sedimentológica dos depósitos, nas estruturas sedimentares encontradas nas camadas estudadas bem como na associação fóssilífera ali verificada (Barbosa *et al.*, 2005).

A seção estudada mostra ciclos de raseamento representados pela ocorrência

de camadas de calcário micrítico passando para níveis de arenito com cimentação calcífera (Fig. 5). É possível que esta seção represente uma sucessão compacta de para-sequências com vários níveis de hiato, isto se devendo a deposição desta em uma área proximal, plana, sobre uma região de altos estruturais, onde os períodos de queda do nível do mar podem ter representado sucessivos eventos de exposição e erosão, seguidos de nova deposição.

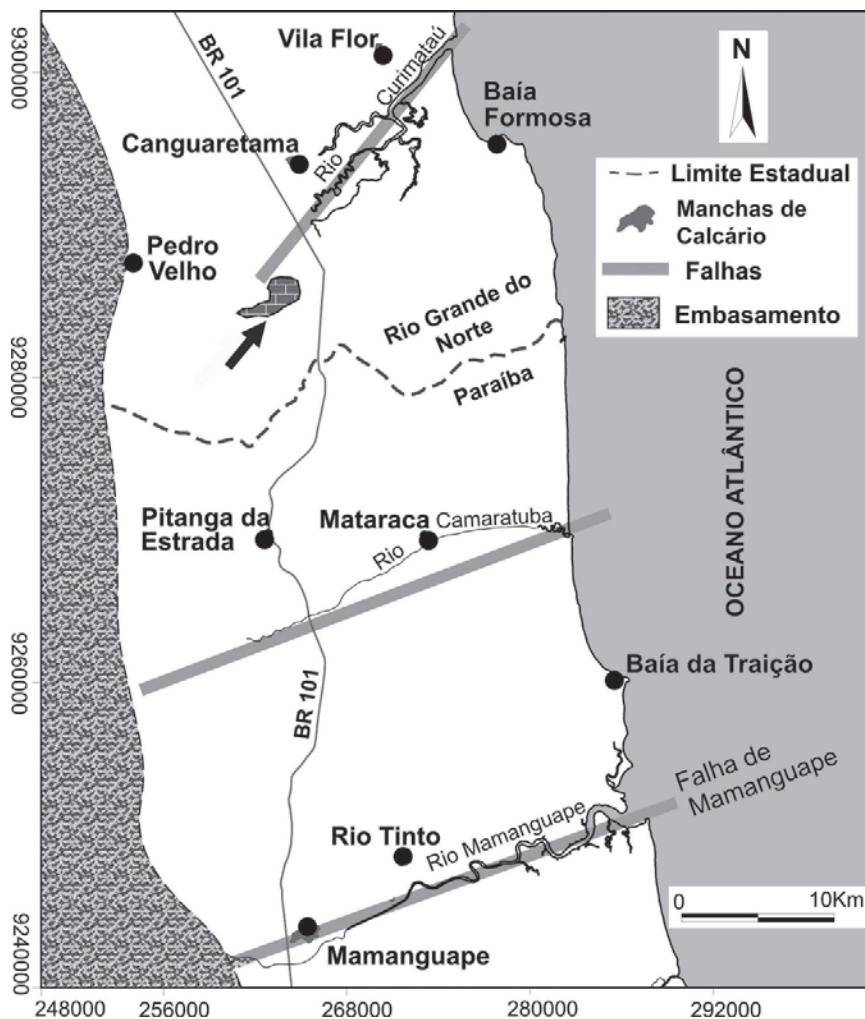


Figura 3 – Localização da região estudada. A seta indica a posição dos afloramentos estudados.



Figura 4—Afloramentos de calcário na localidade de Outeiros, região de Pedro Velho, Rio Grande do Norte.

MATERIAIS E MÉTODOS

A partir de um estudo mais amplo, que está sendo realizado sobre esses depósitos, foi feita uma coleta centimétrica de amostras para estudos sedimentológicos, petrográficos e geoquímicos. Dentro de uma avaliação prévia das lâminas delgadas executadas para o estudo petrográfico foram identificadas e estudadas as feições de porosidade apresentadas por este trabalho. A amostragem selecionada representa dois níveis diferentes (Am-1 e Am-2) cujo posicionamento estratigráfico está indicado no perfil da seção (Fig. 5). A escolha das duas camadas se deveu ao excelente exemplo deste tipo de porosidade encontrado nas mesmas. O caso aqui detalhado representa uma boa ocorrência destas feições, quando comparada aos exemplos que existem na literatura. Nas camadas arenosas não foi possível observar tais feições, e nas demais camadas carbonáticas, foram observadas feições de porosidade diferentes. Foram utilizadas 4 amostras, de cada uma das cama-

das escolhidas, para a confecção das lâminas delgadas que possibilitaram o estudo.

Foi realizada uma análise petrográfica das lâminas delgadas, feita a partir de sua observação em microscópio ótico de luz polarizada (LN), e a partir de imagens das mesmas lâminas obtidas pelo método de catodoluminescência (CL). Este método consiste no bombardeamento da superfície da lâmina delgada por um feixe de elétrons, o que produz uma excitação do material bombardeado (fina camada de rocha), produzindo luz visível. Este método já é utilizado a cerca de trinta anos no âmbito de estudos petrográficos, especialmente para carbonatos (Machel, 2000).

Foi utilizada a classificação de Folk (1959, 1962), quanto à percentagem relativa entre grãos e matriz, e a de Dunhan (1962), que utiliza a relação dos grãos com a fábrica da matriz.

Para a identificação dos elementos descritos nas micrografias foi elaborada uma codificação com letras, para designa-los: P -

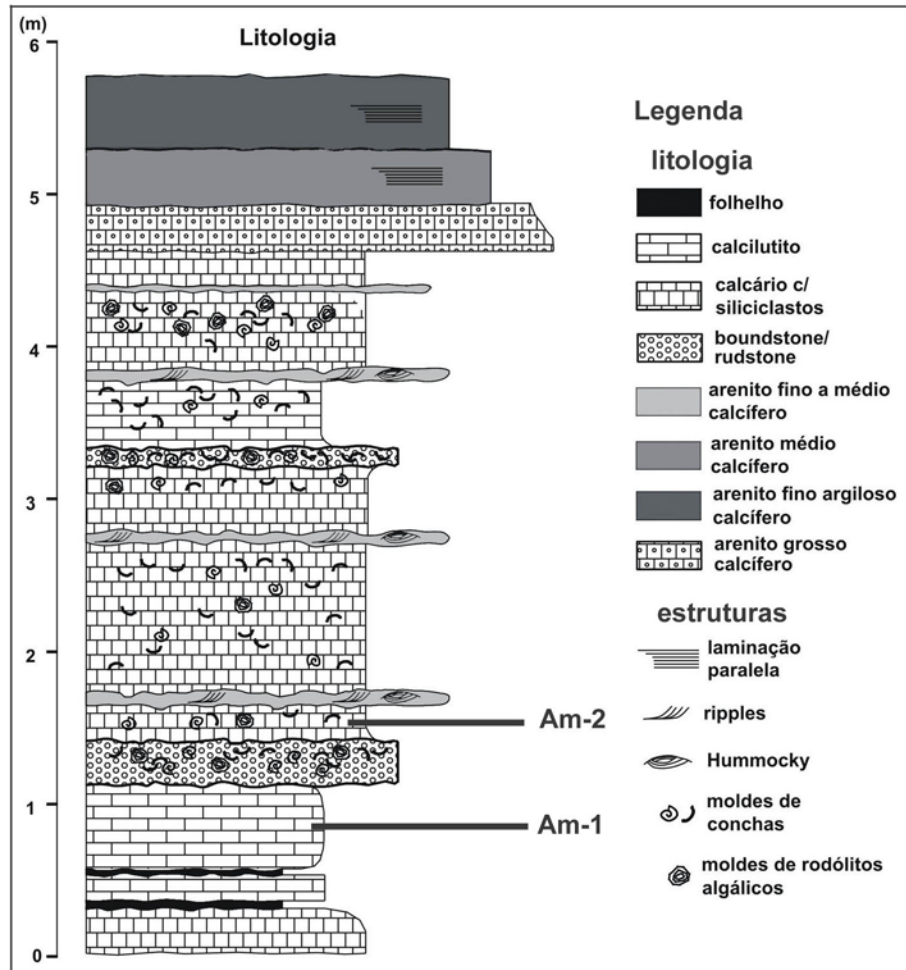


Figura 5 – Perfil estratigráfico do afloramento estudado na região de Outeiros, Pedro Velho, RN. A localização das camadas escolhidas para este estudo, onde foram feitas as lâminas delgadas, está indicada no perfil.

poro aberto; PD - poros obstruído por precipitação; Pi - pirita; F - feldspatos (neste caso azuis, nas cores reais, pois são potássicos); Q - quartzo (neste caso normalmente marrom avermelhado escuro, nas cores reais, provavelmente originado de rochas metamórficas como gnaisses); T - siliciclasto não identificado); CE - calcita microespática; FA - filme de argilomineral de origem diagenética.

Análise da Amostra Am-1

Conforme a classificação de Folk (1959, 1962) A amostra Am-1 representa um micrito, este provavelmente originado de restos de microalgas recristalizados. Conforme a classificação de Dunhan (1962), esta rocha representa um *mudstone*, constituída basicamente por micrito precipitado. O conteúdo de grãos aloquímicos é muito pouco, a

rocha possui < 3% de componentes siliciclásticos (Fig. 6a). Na micrografia com CL é visível a ocorrência de feldspatos potássicos (F), e de grãos de quartzo menos brilhantes (Q) (Fig. 6b). Os grãos de quartzo e feldspato apresentam-se angulosos a subarredondados. É possível ver também na Figura 6a, uma aparente bimodalidade no tamanho dos grãos. A ocorrência de feldspatos inalterados, juntamente com a forma angulosa dos grãos pode indicar proximidade da área fonte e, além disso, pouco transporte. A preservação de feldspatos associada à quantidade de matriz micrítica precipitada podem indicar uma condição de pouco intemperismo e pouco transporte sob clima quente e seco.

A rocha estudada apresenta porosidade muito baixa, embora haja indícios de etapas diagenéticas tardias (Fig. 6b), como manchas de oxidação e pequenas manchas de recristalização a partir de poros de dissolução que foram obstruídos por crescimento de calcita microespática (PD). A rocha é composta inteiramente por cimento, e matriz carbonáticos, contudo, não foram observados componentes bioclásticos. Apresenta forte recristalização da matriz o que a torna muito compacta. Não foi observado fraturamento significativo. As feições de porosidade mais importantes provêm da dissolução de áreas as quais foram resultado de alteração do sedimento original por ação de organismos, bioturbações. Estas feições representam estruturas sedimentares primárias, que seriam feições físicas ou biológicas formadas durante a deposição do sedimento (Scholle & Ulmer-Scholle, 2003).

Tubos normalmente podem ser preenchidos por infiltração de sedimento, pela própria ação do organismo após a sua passagem ou permanecerem abertos e serem posteriormente preenchidos por produtos de diagenese (e.g. pirita, calcita, dolomita, argilominerais autigênicos). Nesse caso, as

feições foram provocadas, possivelmente, por organismos vermiformes detritívoros, que ao se mover dentro do sedimento ainda inconsolidado também se alimentavam, ingerindo o sedimento e excretando durante a movimentação, como discutido por Bromley (1990). Esta ação acaba por misturar o sedimento original com material fecal, o que durante a diagenese faz com que este sedimento alterado sofra uma evolução diferenciada. Também é possível que o tubo, ou escavação, fique parcialmente vazio, e não deformado, especialmente em substratos firmes. Bioturbações não preenchidas ou posteriormente abertas, por dissolução diferencial, podem agir como importantes condutos para fluidos diagenéticos (Scholle & Ulmer-Scholle, 2003). No caso da amostra Am-1 a porosidade verificada é do tipo vugular e canal (Choquette & Pray, 1970), e não há comunicação entre os pontos de porosidade.

Os microtubos são vistos nas lâminas através de seções transversais em forma de círculos ou elipses pouco ovaladas, demonstrando que sofreram pouca compactação, ou em forma de estruturas alongadas e sinuosas que representam cortes de seção longitudinal. As estruturas de porosidade ocorrem em forma de poros circulares, às vezes ligados a seções alongadas formando cordões (Fig. 6g e 6h). Através da Figura 6h nota-se que a seção alongada do poro visto na Figura 6g está completamente obstruído por calcita microespática. Não foi verificada a presença de dolomita preenchendo os poros ou formando halos ao redor das estruturas. Também ocorrem feições mais complexas como as que são vistas nas Figuras 6c e 6e, estas representam a movimentação do animal de forma aleatória dentro do sedimento e formam agrupamentos de poros. Observou-se, em alguns pontos, o registro de mais de um tubo passando pelo mesmo local, sobrepondo as estruturas.

Não foi possível identificar a origem de alguns microporos, como os que são vistos na Figura 6b (PD), que podem ser resultado da dissolução de grãos aloquímicos ou tam-

bém estar associados à bioturbação. Na figura 6c é possível perceber a matriz micrítica compacta, sem nenhum grão aloquímico. Há manchas de cor escura associadas à pirita

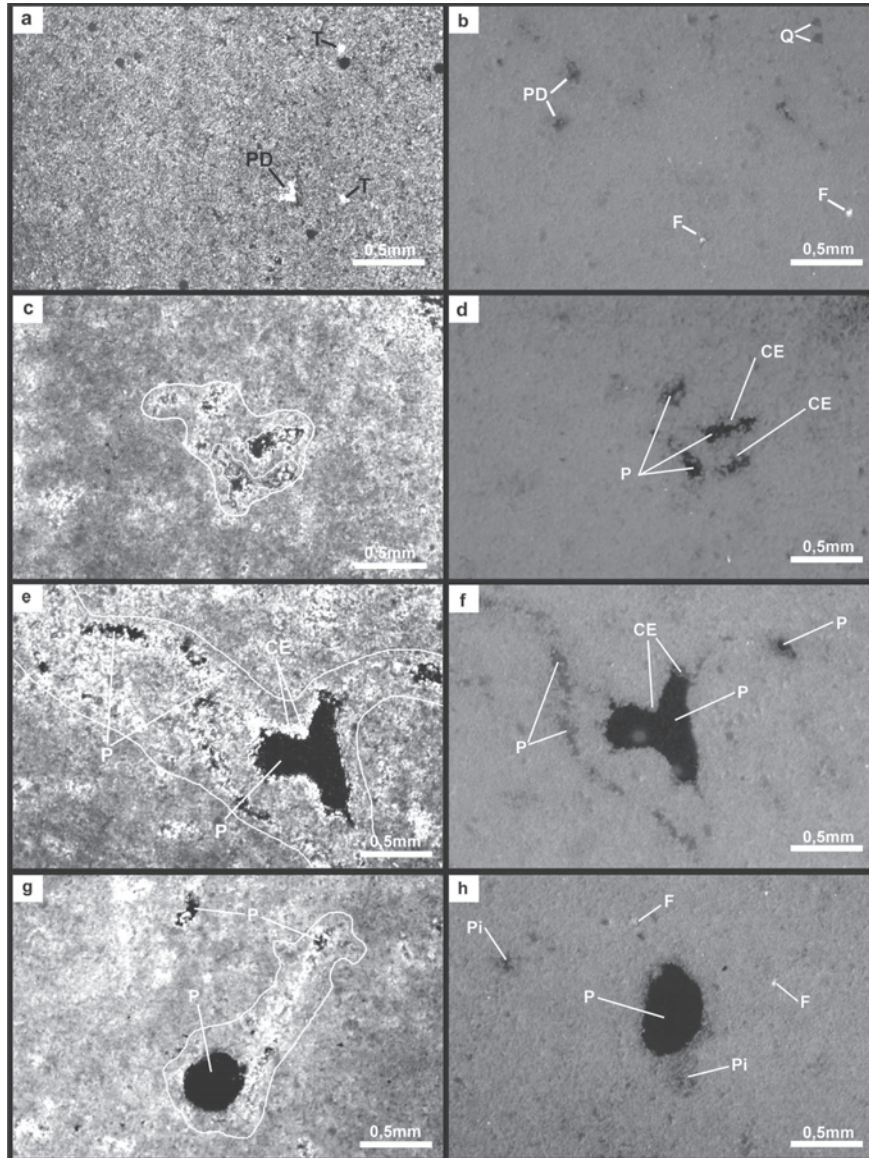


Figura 6 – Micrografias da amostra Am-1 (ver perfil Fig. 5). Micrografias a, c, e, g, - luz polarizada cruzada, micrografias b, d, f, h, - catodoluminescência, (P - poro aberto; PD - poros obstruído por precipitação; Pi - pirita; T - siliciclasto; F - feldspatos; Q - quartzo; CE - calcita microespática).

diagenética. Na parte central da figura há uma mancha de dissolução, com poros abertos no centro (circundados com uma linha branca). Na figura 6d, nota-se que a matriz aparenta homogeneidade e raros cristais de siliciclastos. A região onde ocorrem os poros agrupados, exibe dissolução preferencial em torno da área marcada com uma linha branca na figura 6c. É possível que alguns trechos dos tubos tenham permanecido vazias, e que tenham potencializado uma dissolução tardia com precipitação dentro destes espaços. A precipitação secundária pode acabar por diminuir o espaço do poro ou por fechá-lo, reduzindo a porosidade (Figura 6d), e dificultando a interpretação do quanto da porosidade se deve à dissolução secundária ou a porosidade primária.

Outro exemplo é mostrado nas figuras 6e e 6f, onde na figura 6e é possível verificar a presença de um tubo, cujos limites estão circundados em branco, o qual, preservou alguns trechos com porosidade primária. Os poros (P), se desenvolveram dentro dos limites do tubo. Há um grande poro, ou vugula, na parte direita da figura. Neste poro maior é possível ver uma linha de crescimento de calcita microespática ao longo das paredes do poro (CE). A figura 6f mostra a mesma área da figura 6e a partir da emissão de catodoluminescência. É clara a diferença entre a matriz circundante que aparece compacta e sem porosidade e a região bioturbada, onde se desenvolveu uma série de poros (P). A calcita recristalizada nas bordas do poro maior apresenta coloração menos intensa o que indica a presença de ferro e / ou manganês. Nesses casos é comum a precipitação de pirita associada (Scholle & Ulmer-Scholle, 2003).

As figuras 6g e 6h demonstram exemplo de poro aberto, na seção do tubo, que permaneceu sem precipitação de minerais em seu interior. Isto pode indicar que na figura 6g e 6h havia porosidade primária que em alguns trechos não foi obstruída por ação diagenética. O crescimento de

apenas uma linha de calcita espática, microesparito, ao longo das paredes do poro indica que este carbonato não sofreu vários eventos de dissolução e precipitação, e que não houve dolomitização expressiva associada. A natureza microcristalina compacta desta rocha, sem a presença de bioclastos ou de fraturas, pode ter dificultado a circulação de líquido meteórico.

Na figura 6g vê-se um corte transversal e em diagonal da seção de um tubo. Neste caso não há precipitação nem crescimento de cristais dentro do poro maior (P). Na figura 6h é possível ver a mesma região vista na figura 6h com CL, neste caso vê-se que não há uma alteração substancial da matriz em torno do poro, composta por calcita. Contudo, as regiões escuras assinaladas indicam a presença de pirita diagenética (Pi).

Raras estruturas macroscópicas em forma de tubo também foram encontradas. As estruturas apresentadas nas Figuras 6c a 6h são frequentes nas lâminas da amostra Am-1.

Análise da Amostra Am-2

Segundo a classificação de Folk (1959, 1962) a rocha estudada na amostra Am-2 representa um intramicrito. Em relação a quantidade de grãos aloquímicos, que chega a mais de 35%, e sua dispersão na matriz, trata-se de um *wackstone* / *packstone* (Dunham, 1962). A rocha representa um calcário compacto com matriz micrítica e abundante conteúdo de siliciclastos, essencialmente cristais de feldspato (F) na Figura 8b, e de quartzo (Q), mais escuro na Figura 8b. Os grãos apresentam-se angulosos a subarredondados, e também apresentam certa bimodalidade quanto ao tamanho. Não foram observados componentes bioclásticos e também não há fraturamento. A rocha apresenta baixa porosidade de forma geral.

A porosidade predominantemente observada está associada a estruturas de bioturbação, e é do tipo vugular (Fig. 7a). A Fi-

gura 7 apresenta uma montagem de várias micrografias com aumento de 4x, mostrando uma estrutura sinsedimentar, um tubo, provavelmente produzida por organismo vermiforme. A Figura 7b demonstra que os poros (P) estão associados à estrutura, mas não estão conectados, podendo indicar a presença de espaços vazios, separados, preexistentes na estrutura. Todos os poros vistos na Figura 7 estão associados a seções e trechos de estruturas em forma de tubos. Estruturas, como a que é mostrada na Figura 7, são frequentes nas lâminas da camada Am-2.

A porosidade observada na Figura 7, provavelmente, desenvolveu-se a partir de trechos vazios dentro das estruturas, e de trechos misturados da matriz com material fecal, neste caso haveria alguma porosidade primária (espaços vazios) e também porosidade secundária devido à dissolução de

material diferenciado dentro dos tubos em etapas de diagênese mais tardias, ao menos uma identificável. Não é possível, a partir deste estudo preliminar, determinar a importância de cada uma delas. Interpretou-se apenas que, possivelmente, as duas porosidades, tanto a primária quanto secundária, estão envolvidas, tendo sido a primária, provavelmente, mais importante.

Na Figura 8a é mostrado um detalhe do tubo visto na Figura 7 a partir de uma montagem de micrografias de LN, e na Figura 8b é mostrado o mesmo detalhe a partir de CL. A Figura 8b (CL) mostra a quantidade de elementos siliciclásticos, com feldspatos (F), e quartzo (Q) de coloração mais escura. É possível perceber que não há crescimento de cristais de dolomita. A matriz é compacta, sem fraturas ou veios, e a porosidade observada está associada à estrutura discutida.

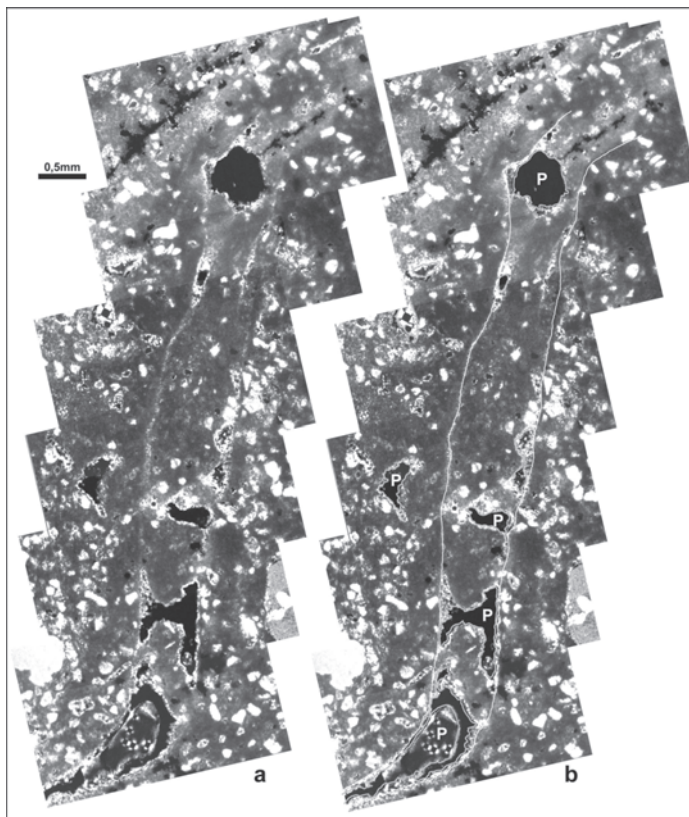


Figura 7 – Montagem de micrografias mostrando estrutura de bioturbação na amostra Am-2, a) montagem de micrografias a partir de luz polarizada cruzada, b) detalhe esquemático dos contornos do tubo e dos poros associados a esta estrutura (P - poro aberto).

Os poros observados na Figura 8b apresentam uma fina borda de crescimento de calcita microespática (CE) ao longo das paredes dos poros, que pode ser calcita ferrosa, contudo sem a presença de dolomita. Nas paredes dos poros se precipitou um filme de argilominerais (FA). Devido à cor escura vista na Figura 8B é possível que este material contenha ferro e/ou manganês. O poro que é visto na parte superior da Figura 8b, em forma de "H" foi completamente obstruído por este material diagenético, indicando ali, forte redução da porosidade primária por ação de diagênese. O poro maior, abaixo a esquerda, demonstra uma grande abertura, e está completamente circundado

internamente por esta película de argilominerais de cor escura. Na amostra Am-2, provavelmente, ocorreram ao menos uma etapa tardia de diagênese com a dissolução e precipitação de material autigênico dentro dos poros observados.

Caso esta rocha se tratasse de um possível reservatório de hidrocarbonetos, estas películas de argilominerais precipitados dentro dos poros poderiam representar uma dificuldade à exploração. Este material fino pode ser mobilizado quando se inicia a movimentação do fluido através dos poros, podendo ser reprecipitado, causando redução da porosidade, ou incrustações nos poços de produção.

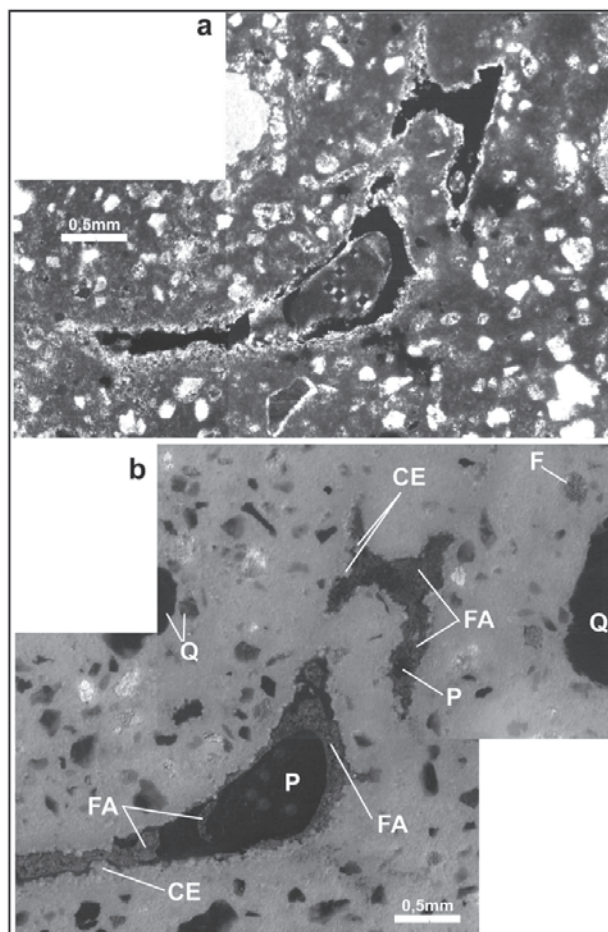


Figura 8 – Detalhe da estrutura mostrada na Figura 7. a) micrografias de luz polarizada cruzada. b) micrografias de catodoluminescência (P - poro aberto; F - feldspato; Q - quartzo; CE - calcita microespática; FA - filme de argilomineral de origem diagenética).

CONCLUSÕES

O exemplo apresentado aqui é bastante ilustrativo de um tipo de porosidade associado a microestruturas de bioturbação. Nos dois casos observados, desenvolveu-se nas rochas carbonáticas, padrões de porosidade associados à pré-existência de estruturas sinsedimentares, nesse caso bioturbações, provavelmente produzidas por organismos vermiformes. Devido à ausência de bioclastos e a baixa diversidade de estruturas de bioturbação é possível que o ambiente de deposição dos estratos estudados fosse estressante, devido à restrição de oxigênio e/ou alta salinidade. Caso esta hipótese seja correta, isto indicaria que o organismo gerador das feições estudadas era tolerante a estas condições.

A observação das lâminas através de catodoluminescência permitiu identificar facilmente o conteúdo terrígeno, com a grande quantidade de cristais de feldspatos potássicos sempre presentes nas amostras, além de quartzo. Também a partir do uso de catodoluminescência foi possível identificar gerações de crescimento de calcita ou dolomita além de facilitar a observação de redução da porosidade primária por efeito diagenético. No estudo de rochas reservatórios carbonáticas o tipo de porosidade aqui verificada é importante devido à expressividade no tamanho e quantidade dos poros, embora neste caso não haja interligação desses poros, por exemplo, através de fraturamento, o que seria interessante neste sentido. A observação de material precipitado dentro dos poros, possivelmente argilomineerais autigênicos como visto na Figura 8b, precisa ser investigada com precisão, pois quando da mobilização de fluído, no caso de hidrocarbonetos, este material pode reduzir a recuperação.

Agradecimentos

Ao programa de Recursos Humanos da ANP na UFPE, PRH-26, ao Laboratório de Catodoluminescência - LCT, e ao Laboratório de Geologia Sedimentar - LAGESE.

REFERÊNCIAS

- Barbosa, J.A. 2004. Evolução da Bacia da Paraíba durante o Maastrichtiano-Paleoceno: formações Gramame e Maria Farinha, NE do Brasil. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Dissertação de Mestrado, 230p.
- Barbosa, J.A., Souza, E.M., Lima Filho, M.F. & Neumann, V.H. 2003. A estratigrafia da Bacia Paraíba: uma reconsideração. *Estudos Geológicos*, Recife, 13: 89-108.
- Barbosa, J.A., Hessel, M.H., Neumann, V.H., Lima Filho, M.F. 2005. A malacofauna de Pedro Velho, Neocretáceo da Bacia Potiguar. In: Congresso Brasileiro de Paleontologia, 19, Aracaju. Boletim de Resumos em CD-Rom.
- Bromley, R.G. 1990. Trace Fossils - biology and taphonomy. London, Unwin Hyman, 280p.
- Campanha, V. A. 1979. Contribuição ao estudo do Calcário Oiteiros, RN. *Rev. Bras. Geoc.* 9 (4): 219-231.
- Campanha, V. A. & Saad, A. R., 1999 - A Arquitetura Depositional Carbonática do Senoniano no Nordeste Brasileiro e o posicionamento dos Calcários Miriri e Oiteiros. V Simpósio Sobre o Cretáceo do Brasil e I Simpósio sobre o Cretáceo da América do Sul. Serra Negra, SP. Boletim de resumos, 1: 115-119.
- Choquette, P.W., & Pray, L. C. 1970. Geologic nomenclature and classification of porosity in sedimentary carbonates. *AAPG Bulletin*, v. 54, 207-250.
- Dunhan, R.J. 1962. Classification of carbonate rocks according to their depositional texture. In: W.E. Ham (ed.), *Classification of Carbonate Rocks - a symposium*. Tul-

- sa, American Association of Petroleum Geologists, Memoir, 1. 108-121.
- Gingras, M.K., Pemberton, G., Muelenbachs, K. & Machel, H. 2004. Conceptual models for burrow-related, selective dolomitization with textural and isotopic evidence from the Tyndall Stone, Canada. *Geobiology*, 2: 21-30.
- Feitosa, E. C. & Feitosa, F. A. C. 1986. Considerações sobre a Bacia Potiguar - Bacia Costeira Pernambuco-Paraíba Departamento de Geologia, Universidade Federal de Pernambuco Série Estudos Geológicos. 8: 71-78.
- Feitosa E. C., Feitosa, F. A. C., Lira, H.M. P. 2002. Relações estratigráficas e estruturais entre a Bacia Potiguar e a Bacia Costeira PE/PB - uma hipótese de trabalho. XII Congresso Brasileiro de águas subterrâneas. Florianópolis, SC. Anais em CD-ROM.
- Folk, R.L. 1959. Practical petrographic classification of limestones: American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 43: 1-38.
- Folk, R.L. 1962. Spectral subdivision of limestones types. In: W.E. Ham (ed.), Classification of Carbonate Rocks - a symposium. Tulsa, AAPG, Memoir 1, 62-84.
- Mabesoone, J.M & Alheiros, M.M. 1988. Origem da Bacia Sedimentar Costeira Pernambuco/Paraíba. *Revista Brasileira de Geociências*, 18: 476-482.
- Mabesoone, J. M. & Alheiros, M. M. 1993. Evolution of the Pernambuco-Paraíba-Rio Grande do Norte Basin and the problem of the South Atlantic connection. *Geologie en Mijnbouw, Kluwer Academic Publishers*. 71:351-362.
- Machel, H.G. 2000. Application of cathodoluminescence to carbonate diageneses. In: Pagel, M., Barbini, V., Blanc, P. & Ohnenstetter, D. (eds.), *Cathodoluminescence in Geosciences*, Springer, 271-301.
- Schole, P.A. & Ulmer-Schole, D.S. 2003. A color guide to the petrography of carbonates rocks. American Association of Petroleum Geologists, Memoir, 77, 474 p.