



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
CURSO DE GEOLOGIA**

FRANCISCO IRINEUDO BEZERRA DE OLIVEIRA

**ASPECTOS TAFONÔMICOS E PALEOECOLÓGICOS DE NINFAS DE
EPHEMEROPTERA E ODONATA DO MEMBRO CRATO, FORMAÇÃO SANTANA,
BACIA DO ARARIPE, (CRETÁCEO INFERIOR)**

FORTALEZA

2016

FRANCISCO IRINEUDO BEZERRA DE OLIVEIRA

ASPECTOS TAFONÔMICOS E PALEOECOLÓGICOS DE EPHEMEROPTERA E
ODONATA DO MEMBRO CRATO, FORMAÇÃO SANTANA, BACIA DO ARARIPE,
(CRETÁCEO INFERIOR)

Relatório de Graduação apresentado ao Curso
de Geologia da Universidade Federal do Ceará,
como requisito parcial à obtenção do título de
Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Márcio Mendes.

FORTALEZA

2016

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

O47a Oliveira, Francisco Irineudo Bezerra de.
Aspectos tafonômicos e paleoecológicos de ninfas de ephemeroptera e odonata do membro Crato, formação Santana, Bacia do Araripe, (Cretáceo inferior) / Francisco Irineudo Bezerra de Oliveira. – 2016.
52 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Curso de Geologia, Fortaleza, 2016.
Orientação: Prof. Dr. Márcio Mendes.

1. Membro Crato. 2. Paleoecologia. 3. Artrópodes. 4. Tafonomia. I. Título.

CDD 551

FRANCISCO IRINEUDO BEZERRA DE OLIVEIRA

ASPECTOS TAFONÔMICOS E PALEOECOLÓGICOS DE EPHEMEROPTERA E
ODONATA DO MEMBRO CRATO, FORMAÇÃO SANTANA, BACIA DO ARARIPE,
(CRETÁCIO INFERIOR)

Relatório de Graduação apresentado ao Curso
de Geologia da Universidade Federal do Ceará,
como requisito parcial à obtenção do título de
Bacharel em Geologia.

Aprovada em: ___ / ___ / ____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Márcio Mendes (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Daniel Rodrigues do Nascimento Junior
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Ms. Maria de Jesus Gomes de Sousa
Universidade Federal do Ceará (UFC)

AGRADECIMENTOS

Sou profundamente grato pelas diversas pessoas que estiveram diretamente ou indiretamente envolvidas durante as etapas de realização deste trabalho.

Primeiramente agradeço a minha família, por representarem o alicerce fundamental na formação do meu caráter, principalmente ao meu irmão Ivanilo por ser o maior incentivador e responsável por eu chegar até aqui.

Ao Prof. Márcio Mendes pela orientação, dicas, confiança, atenção, apoio e ensinamentos que fizeram de minha graduação uma experiência que irei carregar por toda a vida.

Ao professor Daniel Rodrigues e a bióloga Maria de Jesus por terem aceitado com satisfação o convite para compor a banca examinadora.

Aos companheiros de Laboratório Saulo Limaverde e Milagros Cardona pelas discussões científicas e pelo o apoio ao longo da graduação.

Ao corpo docente do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará, em especial aos professores Clovis Vaz Parente e Wellington Ferreira da Silva Filho por estarem dispostos a ensinar, não apenas termos geológicos, mas também a questionar como um cientista.

Aos meus amigos e colegas de graduação, por termos compartilhado as mesmas angustias e traumas geológicos, em especial aos companheiros de turma: Aerson Barreto Jr, Bruno Moreira, Caio Rena, Charles Regis, Dayme Hermesson, Iure Rocha, Janiele Barbosa, Laura de Oliveira, Mateus de Paula, Nathalia Olimpo, Ricardo Gazillo, Victor Viana e Willian Renê.

“Existem muitas hipóteses em ciência que estão erradas. Isso é perfeitamente aceitável, elas são a abertura para achar as que estão certas”.

Carl Sagan

RESUMO

O Membro Crato da Formação Santana, Bacia do Araripe, possui um dos melhores e mais importantes jazigos fossilíferos do Cretáceo Inferior, além de apresentar notável sítio geológico. Os fósseis contidos nesta unidade são relativamente abundantes e diversificados, incluindo invertebrados, vertebrados e vegetais. O sistema deposicional proposto para esta unidade é de uma sequência lacustre, predominantemente carbonática, constituída de cálcio-lutitos laminados que se alternam com ritmitos de argilas, folhelhos e arenitos finos. O presente trabalho tem como objetivo investigar a relação da condição de anóxia (agente redutor da atividade de necrófagos *pos-mortem*) com a presença de larvas de Odonata e Ephemeroptera de ocorrência nas camadas calcárias do Membro Crato, pertencentes ao Laboratório de Paleontologia da UFC. A relevância desse estudo consiste na comparação do registro paleontológico das larvas de Odonata e Ephemeroptera com os organismos atuais, pois estes são extremamente sensíveis a ambientes com baixa concentração de oxigênio, sendo comumente encontradas em rios e/ou lagos rasos. Assim, de acordo com o Princípio do Atualismo, os Odonata e Ephemeroptera do Cretáceo também deveriam demonstrar preferência por ambientes semelhantes. A diminuta ocorrência de bioturbação observada nas camadas de calcário laminado é explicada pela condição anóxica existente no fundo do lago, contudo a presença de larvas de Odonata e Ephemeroptera, e os aspectos tafonômicos referentes a elas não corroboram com essa ideia. Esse trabalho busca evidências, com base no registro fossilífero, que possam contribuir para uma reconstituição do paleoambiente do Membro Crato durante o Cretáceo inferior.

Palavras-chave: Membro Crato, Paleoecologia, Artrópodes, Tafonomia.

ABSTRACT

The Crato Member of the Santana Formation, Araripe Basin, has one of the best and most important fossil deposit of Lower Cretaceous and presents remarkable geological site. The fossils contained in this unit are relatively abundant and diverse, including invertebrates, vertebrates and plants. The depositional system proposed for that unit is a lacustrine sequence, predominantly carbonate, consisting of calcilutite alternating with rhythmites clayey, shales and fine sandstones. This study aims to investigate the relationship between anoxia condition (reducing agent of the *post-mortem* scavenger activity) in the ofodonata larvae and ephemeroptera occurrence in limestone layers CratoMember, belonging to the collection of the Paleontology Laboratory of the UFC. The relevance of this study is the comparison of the paleontological record of larvae odonata and ephemeroptera with its living equivalents, as they are extremely sensitive to environments with low oxygen concentration and commonly found in rivers and / or shallow lakes. Thus, according to the Principle of Actualism, the Odonata and Ephemeroptera Cretaceous should also exhibit a preference for similar environments. The reduced occurrence of bioturbation observed in layers of laminated limestone is explained by the existing anoxic condition in the lake bottom, but the presence of larvae of Odonata and Ephemeroptera, and the taphonomic aspects related to them does not corroborate this idea. This paper seeks evidence, based on the fossil record, which can contribute to a reconstruction of the Crato Member paleoenvironment during the lower Cretaceous.

Keywords: Crato Member, Paleocology, Arthropods, Taphonomy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Mapa Geológico da Bacia do Araripe.	17
Figura 2- Mapa de localização do município de Nova Olinda.	18
Figura 3- Vista dorsal de uma ninfa de Ephemeroptera.	22
Figura 4 - Vista dorsal de ninfas de odonata; A- Subordem Zygoptera e B- Subordem Anisoptera.	24
Figura 5- Visão geral do Afloramento estudado, Pedreira do Idemar.	27
Figura 6 - Equipamentos; A- estilete, agulhas e pincéis. B – Microscópio Trinocular. C – Câmara clara.	28
Figura 7 - Mapa da Bacia do Araripe no contexto regional da Província Borborema.	29
Figura 8 A - Mapa do modelo estrutural da sub-bacia do Cariri.	31
Figura 9 - Carta Cronoestratigráfica da Bacia do Araripe.	37
Figura 10–Ninfa de Ephemeroptera N° 1312 (Barra Lateral equivale a 0,5 cm).	40
Figura 11–Ninfa de Odonata N° 1190 (Barra Lateral e equivalente a 0,5 cm).	41
Figura 12 - A – Ninfa de Ephemeroptera N°1316 (Família Hexagenitidae). B – Ephemeroptera N°1199 da Família Siphoneuridae. (Barra equivale a 0,5 cm).	43
Figura 13 - A- Ninfa de Anisoptera N° 1242 (Família Gomphidae). B- Anisoptera, Família Pseudomacromidae N°1190 (Pseudomacromia sensibilis). (Barra equivalente a 0,5 cm).	43
Figura 14 - Perfil estratigráfico simplificado para o sistema lacustre Aptiano-Albiano do Araripe	44
Figura 15 - Marcas de bioturbação nos calcários laminados do Membro Crato.	46
Figura 16 - Posicionamento da Haloclina em relação ao nível do lago. A – Nível de Lago Alto. B – Nível de Lago Baixo.	47

SUMÁRIO

CAPÍTULO I

1 INTRODUÇÃO.....	14
2 OBJETIVOS	17
3 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	17

CAPÍTULO II

4 REFERENCIAL TEÓRICO.....	18
4.1 Tafonomia	18
4.3 Ocorrência de Ninfas Fósseis de Ephemeroptera e Odonata no Membro Crato ...	25
5 MATERIAIS E MÉTODOS	27

CAPÍTULO III

7 RESULTADOS	37
7.1 Tafonomia de Artrópodes Bentônicos do Membro Crato da Formação Santana.....	37
7.2 Paleoecologia de Artrópodes Bentônicos do Membro Crato da Formação Santana .	42

CAPÍTULO IV

9 CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	49
REFERÊNCIAS.....	51

1 INTRODUÇÃO

A Bacia do Araripe situa-se nos estados do Ceará, Pernambuco e Piauí, com aproximadamente 9.000 km² de extensão e idade predominantemente cretácea. Esta bacia destaca-se por possuir o registro geológico mais completo dentre as bacias interiores do Nordeste compreendendo as fases Pré-rifte, Rifte e Pós-Rifte, sendo consequência da evolução do oceano Atlântico Sul.

O Registro Sedimentar lacustre Aptiano–Albiano da Bacia do Araripe representa um paleolago com um depocentro carbonático constante, que se expandiu alcançando grandes áreas (NEUMANN, 1999). Essa sequência é litoestratigráficamente constituída pela parte superior da Formação Barbalha (fluvio-deltaica) e pelo Membro Crato (lacustre carbonática). O Membro Crato representa, segundo Silva e Neumann (2002), a segunda fase lacustre da Bacia do Araripe, e é constituído principalmente por seis unidades carbonáticas denominadas informalmente de C1 a C6, separadas entre si, tanto lateralmente como verticalmente, por arenitos, siltitos e folhelhos. Dessa forma, esta sequência foi depositada em condições de baixa energia com influxo terrígeno e turvação da água paulatinamente decrescente. Neumann (1999) afirma que as unidades carbonáticas representam pulsos ciclicamente controlados pelas condições climáticas, em especial a pluviosidade.

Segundo Silva (2003), o lago Crato possuía uma margem do tipo rampa, com baixa energia e pequena profundidade. Estas características morfológicas fazem com que as variações no nível do lago sejam importantes para expor ou inundar grandes áreas marginais. Assim, em momentos de maior quantidade de chuvas, o nível do lago se elevaria. Em consequência disso, o aumento no aporte de material clástico tornava pequena a deposição carbonática devido a maior turbidez da água. Depois, com a diminuição das chuvas e estabilização do lago em um patamar mais elevado, as águas tornam-se menos turvas permitindo um momento de crescente taxa de deposição carbonática. Situado numa região com baixa taxa pluviométrica, o nível do lago começa a baixar e quando o lago alcança o seu patamar mais baixo ocorre a erosão e resedimentação dos depósitos deltaicos de margem em direção ao interior do sistema lacustre. Posteriormente, com o aumento da pluviosidade, o nível lacustre volta a subir, fazendo com que os sistemas costeiros marginais retrogradem diminuindo a turbidez e favorecendo a deposição carbonática no centro do lago. Em seguida, ocorre novamente a diminuição da pluviosidade e a redução da turbidez nas zonas centrais e marginais. Neste momento ocorre o avanço de uma nova unidade carbonática em direção as margens sobre os sedimentos finos depositados anteriormente, encerrando assim o ciclo.

O entendimento desta dinâmica deposicional é importante porque essas mudanças ambientais geram variações nos fatores abióticos que, por sua vez, interferem nas atividades bióticas, pois os organismos vivos estão continuamente interrelacionados com o meio físico, constituindo assim o ecossistema. Desta forma, assim como os organismos atuais reagem de maneira específica às mudanças ambientais, sob um enfoque atualístico, os organismos fósseis também o deveriam. Com isso, é possível, a partir de organismos fósseis, inferir informações sobre as condições ambientais prevaletentes em habitats pretéritos.

A análise do registro fóssil na compreensão dos eventos que condicionaram a história evolutiva do planeta sempre foi bastante utilizada e é de absoluta importância para os geocientistas, principalmente devido suas implicações cronoestratigráficas. Assim, o Membro Crato apresenta-se como um dos mais importantes jazigos fossilíferos do Cretáceo inferior, não só pela abundância, mas também pela qualidade de preservação dos organismos. Dentre os grupos mais bem representados estão os insetos. A paleoentomofauna da Formação Santana é uma das mais bem documentadas do registro geológico. Neste trabalho, foram selecionadas as ordens Ephemeroptera e Odonata, cujos ciclos de vida são do tipo hemimetábolo, ou seja, a fase larval ocorre em habitat e hábito diferente da fase adulta. Para efeito de estudo, somente a fase larval foi utilizada nas avaliações tafonômicas e paleoecológicas, pois essas ninfas possuem hábito bentônico e desenvolveram uma série de adaptações a vida aquática. Por exemplo, as ninfas de efêmera desenvolveram brânquias, que além de servirem para a respiração, são utilizadas na natação, como acessórios de agarre e estruturas osmorreguladoras (intercâmbio de sais).

O Membro Crato da Formação Santana constitui, junto com Membro Romualdo, um importante sítio paleontológico do País, situado no interior da região Nordeste. A deposição desta unidade ocorreu durante o Cretáceo Inferior (cerca de 120 milhões de anos atrás) e os fósseis contidos são relativamente abundantes e diversificados, incluindo invertebrados (ostracodes, conchostráceos, insetos, aracnídeos, bivalves e gastrópodes), vertebrados (actinopterígios, celacantos, pterossauros, quelônios, crocodilianos, lagartos, aves e anuros) e vegetais (algas, gimnospermas e angiospermas), além de icnofósseis (coprólitos, pistas de invertebrados) e palinomorfos (VIANA & NEUMANN, 2002). Devido à abundância e à qualidade dos fósseis encontrados nesta unidade, esta é considerada um *Lagerstätte*, ou seja, um local com uma quantidade de fósseis acima do normal (*Konzentrat-Lagerstätten*) ou cujo estado de preservação dos fósseis é excepcional (*Konservat-Lagerstätten*) (MAISEY, 1991; BOTTJER *et al.*, 2002).

Desde 1913 as camadas carbonáticas do Membro Crato são estudadas. O trabalho

pioneiro foi o de Small (1913) que denominou essas camadas de “calcário Santana”. Depois de Small, Beurlen (1962, 1963) a redefiniu como Membro Crato da Formação Santana. A partir de Beurlen (1962), os estudos sobre os calcários do Membro Crato se tornaram sistemáticos e a maioria das publicações enfocaram no conteúdo paleontológico. Apesar de todos esses trabalhos, é raro o registro de níveis bioturbados ocorrendo nos calcários laminados.

A baixa ocorrência de bioturbação nos calcários seria parcialmente explicada pelos possíveis baixos níveis de oxigênio no fundo do Paleolago Crato. Apoiando essa hipótese está o excepcional estado de preservação dos fósseis, pois o baixo grau de oxigenação reduz a atividade de necrófagos. Comumente, o alto grau de preservação dos fósseis está relacionado com um curto período de exposição do organismo ao ambiente subaéreo, rápido “sepultamento”, durante a fase de bioestratinomia, aliado a um ambiente relativamente anóxico e rápida cristalização durante o processo de fossilização.

A presença de alguns organismos não condiz com as baixas concentrações de oxigênio no fundo do Paleolago Crato. De modo geral, os insetos são indicadores precisos de variações climáticas, ambientais e ecológicas. Sob um enfoque atualístico é possível supor que os insetos fósseis sejam excelentes bioindicadores em estudos paleoclimáticos, paleobiogeográficos, paleoecológicos e paleoambientais. As ninfas de odonata e ephemeroptera atuais possuem hábito bentônico e são encontradas em rios e/ou lagos rasos onde a concentração de oxigênio é elevada. Portanto, os Odonata e Ephemeroptera do Cretáceo provavelmente exibiam preferências ambientais similares. Partindo dessa premissa, a presença de larvas de odonata e ephemeroptera não é bem compreendida. Do ponto de vista bioestratinômico os espécimes se apresentam excepcionalmente bem preservados e com boa parte de suas estruturas mais sensíveis intactas, isso evidencia que ocorreu transporte mínimo após a morte destes indivíduos.

2 OBJETIVOS

Este trabalho tem por objetivo principal investigar a relação da condição de anóxia com a presença de larvas de odonata e ephemeroptera nas camadas calcárias do Membro Crato. Para tal propósito foi necessário o desenvolvimento de objetivos específicos como:

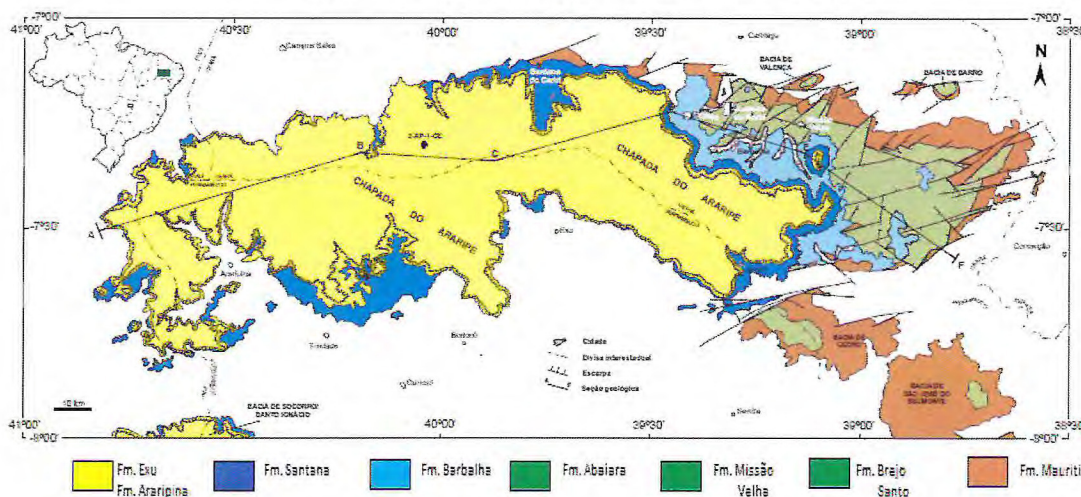
I – Investigação tafonômica; Os estudos tafonômicos se fazem extremamente necessários para identificação de alterações morfológicas nos espécimes. Uma vez verificada a alteração tafonômica de atributos morfológicos, pode-se verificar a existência ou não de transporte após a morte do organismo.

II- Paleocologia; Investigar a biota e as informações sedimentológicas associadas as larvas de odonata e ephemeroptera para a construção de um cenário paleoecológico mais completo para o paleolago Crato.

3 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Bacia do Araripe (Figura 1) se localiza no interior da região Nordeste do Brasil, e é limitada pelas seguintes coordenadas geográficas: 38°30' a 40°65' a oeste de Greenwich e 7°07' a 7°49' de latitude sul.

Figura 1- Mapa Geológico da Bacia do Araripe.



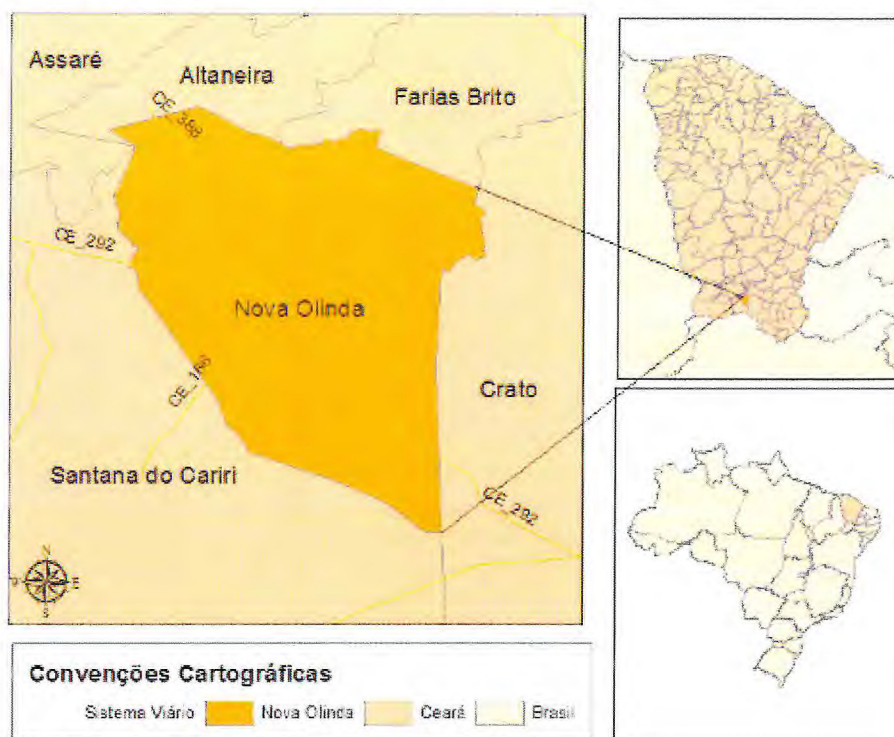
Fonte: Modificado de Assine (2007).

O afloramento, Pedreira do Idemar, onde foi feita a coleta dos fósseis estudados se localiza no município de Nova Olinda (Figura 2), Estado do Ceará. A cidade de Crato foi a sede, durante as etapas de coleta de campo e dista 565 km de Fortaleza-CE.

A cidade de Nova Olinda pode ser acessada a partir de Crato percorrendo-se 38

km pela rodovia CE292 no sentido noroeste. Agora na CE 166 percorre-se 5,2 Km até uma estrada de terra à direita que dá acesso ao afloramento.

Figura 2- Mapa de localização do município de Nova Olinda.



Fonte: elaborado pelo autor.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 Tafonomia

A Tafonomia (do grego: *Tafos*= sepultamento e *nomos*= leis) iniciou-se no momento em que os fósseis foram identificados como restos e vestígios de vida do passado geológico. O termo tafonomia foi proposto por Efremov em 1940 e aplica-se a todos os organismos na biosfera, seja vivo (**biocenose**) ou morto (**tanatocenose**), até que passe a fazer parte da litosfera, sendo transportado e soterrado (**tafocenose**) e fossilizado, tornando-se parte da geologia local (**orictocenose**) (MARTINS-NETO& GALLEG0, 2006).

Outros termos frequentemente utilizados em tafonomia são: **Associação Fossilífera** – qualquer acumulação relativamente densa de partes duras; **Associação Autóctone**–uma associação fossilífera composta por organismos derivados de uma

comunidade local e preservados em posição de vida; **Associação Parautóctone** - uma associação fossilífera composta por organismos autóctones que não estão preservados em posição de vida; **Associação Alóctone** - é uma associação fossilífera composta por organismos transportados para fora do habitat original (SIMÕES & HOLTZ, 2004). Alguns autores incluem, no âmbito da análise tafonômica, o estudo da Necrólise. Outros ainda incluem a fase de soerguimento tectônico e a influência dos métodos e técnicas de coleta e preparação dos fósseis (SIMÕES & HOLTZ, 2004).

Após a morte dos organismos, peculiaridades químicas e fatores físicos, juntos, são responsáveis pela preservação do espécime fóssil. Os principais fatores são: tempo de exposição, taxa de decomposição, taxa de mineralização, taxa de sedimentação e, principalmente, distância de transporte. O tempo de flutuação depende de características da água como: concentração de sais, concentração de oxigênio, densidade, temperatura, pH e tamanho do organismo. A taxa de mineralização diagenética precoce depende da química da água (salinidade, condições redutoras) e disponibilidade de matéria orgânica reativa (BERTINI & GOBBO, 2013). A taxa de sedimentação: o soterramento rápido é considerado como uma variável importante para uma preservação excepcional, pois protege a carcaça de necrofagia e distúrbios produzidos por animais da infauna. A distância de transporte depende do fluxo da água, velocidade do vento, carga do fluxo, topografia do terreno, inclinação e barreiras. Dessa forma, é possível classificar os espécimes fósseis como completamente articulado; semi-articulado; totalmente desarticulado; completamente fragmentado; semi-fragmentado e totalmente não fragmentado. Todas essas etapas podem ser reduzidas a cinco estágios: **Estágio I**: intacto (todos os apêndices preservados); **Estágio II**: não fragmentado, parcialmente articulado (perda de alguns apêndices); **Estágio III**: parcialmente fragmentado, articulado (intacto, apesar de algumas partes do espécime exibir algum grau de dano mecânico); **Estágio IV**: parcialmente fragmentado e articulado (peças isoladas de espécimes, também exibindo algum grau de dano mecânico); e **Estágio V**, totalmente destruído (MARTINS-NETO & GALLEGGO, 2006).

A tafonomia é uma importante ferramenta para identificação de eventos sedimentares e causadores de mortandade de organismos fósseis, permitindo reconstruções paleoecológicas acuradas e auxiliando no entendimento dos aspectos paleocomportamentais de comunidades fósseis.

Os restos orgânicos sofrem as mesmas consequências que os clastos. Dessa forma, Seilacher (1970) foi o primeiro autor a considerar esses restos orgânicos como partículas sedimentares, estando estas propensas a processos de erosão, transporte e

deposição. Neste trabalho, ele empregou os termos retratos de morte (*Todesbild*) e retratos de vida (*Lebensbild*).

A análise do comportamento de morte concerne na identificação, interpretação e estudo do comportamento do indivíduo, momentos antes de sua morte definitiva. Segundo Martins-Neto e Gallego (2006), a observação de paleocomportamento pode ser extraída de características morfológicas preservadas nos fósseis como peixes com corpo contorcido, indicando morte por asfixia, vertebrados mostrando torção cervical (cabeça voltada para trás), típico de animais que morrem em ambiente seco e quente ou em insetos alados com as asas estendidas, evidenciando que chegaram ainda vivos no sítio deposicional. Esse tipo de análise constitui uma importante ferramenta para a compreensão das relações paleoetológicas prevalentes em ecossistemas passados. Além do que, em muitos casos, o comportamento de morte está associado a eventos catastróficos causadores de mortandade em massa, sendo também crucial para o entendimento das tafocenoses.

Assim, a maior parte dos trabalhos de tafonomia enfatiza o problema da perda de informação paleontológica, a partir dos processos pós-morte, pois esses processos retiram caracteres originalmente contidos nas biocenoses e introduzem tendenciamentos na tafocenose. Todas as tafocenoses apresentam algum grau de tendenciamento, por consequência dos processos destrutivos, tanto geológicos quanto biológicos, que atuam após a morte do organismo. Desse modo, a Tafonomia busca compreender o retrato de vida, a partir da identificação e descrição dos processos sedimentares-temporais (tafonômicos) que atuaram na constituição do cenário de morte.

Desta forma, pode-se dizer que o conceito de Tafonomia surgiu da necessidade do geólogo ou paleontólogo de entender como os organismos e seus restos chegaram à rocha e quais foram os fatores e processos que atuaram na formação de eventuais concentrações fossilíferas.

4.2 Ninfas de Ephemeroptera e Odonata atuais

A ordem Ephemeroptera (grego: *Ephemeros* significa “de um dia” e *pteron* significa “asa”) é um grupo particular de insetos que possui um período imaturo aquático e um estágio alado terrestre (sub-imago) prévio, antes do adulto sexualmente maduro (imago). Trata-se de uma ordem com um pequeno número de gêneros e espécies, com cerca de 400 gêneros e 3000 espécies descritas (BARBER-JAMES *et al.*, 2008).

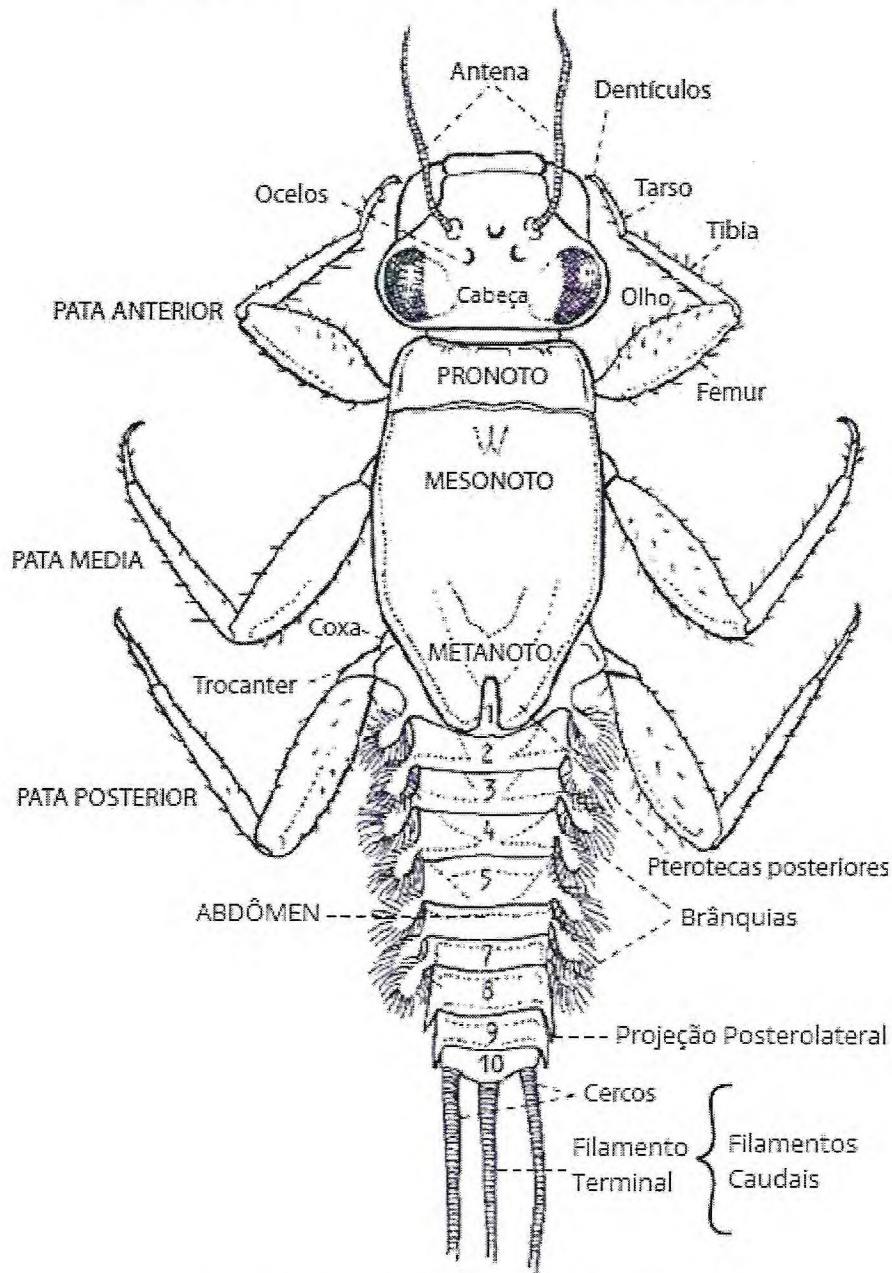
O ciclo de vida dos ephemeropteros possui uma metamorfose incompleta

(hemimetábolos), onde a fase larval (ninfá) é caracterizada pela longa duração, enquanto que a forma adulta dificilmente dura mais que um dia, por isso o nome da ordem. O estágio de ninfá pode durar desde poucas semanas até um ano ou mais. A transição de ninfá para sub-imago ocorre quando as ninfas nadam para superfície da água, momento em que surgem as asas, e o agora sub-imago voa até um sítio de descanso na vegetação circundante. Uma vez fora da água, o sub-imago pode permanecer neste estágio por até dois dias até converter-se em adulto, quando se desenvolvem os órgãos sexuais. As fêmeas podem colocar entre 400 e 1000 ovos cada uma (VÁSQUEZ *et al.*, 2009).

Durante estágio imaturo, ou larval, a ninfá de efêmera respira através de traqueobrânquias que retiram o oxigênio dissolvido da água (BISPO & CRISCI-BISPO, 2006). As ninfas são importantes componentes da fauna bentônica comportando-se principalmente como consumidores primários, sendo coletoras, raspadoras ou fragmentadoras, ninfas predadoras são raras. O estágio de ninfá é o único momento da vida em que os efêmera se alimentam, pois os sub-imagos e os adultos carecem de aparelho bucal funcional (GILLER & MALMVIST, 1998; FINK *et al.*, 1991).

A morfologia externa das ninfas de efêmera é constituída por **Cabeça**, **Tórax** e **Abdômen** (Figura 3). A cabeça pode possuir diversas formas e proporções que são utilizadas como chave para identificação de famílias. O aparelho bucal, de difícil observação, também possui valor taxonômico, geralmente em nível de gênero e espécie. O tórax é composto basicamente por pronoto, mesonoto e metanoto, cada um desses segmentos torácicos possui um par de patas, que em alguns gêneros estão modificados para filtrar, proteger as brânquias, escavar ou se fixar no substrato. O abdômen é composto por dez segmentos abdominais, sendo que é possível que alguns possam estar ocultos ou atrofiados. As brânquias estão presentes no abdômen e podem possuir posições ventral, laterais ou dorsais. A maioria das espécies de efêmera possui três filamentos caudais ou terminais, porém, em alguns casos, essa estrutura pode estar reduzida ou mesmo ausente (DOMÍNGUEZ *et al.*, 1992).

Figura 3- Vista dorsal de uma ninfa de Ephemeroptera.



Fonte: Modificado de Domínguez *et al.* (1992).

Popularmente conhecidos como libélula, os insetos da ordem Odonata apresentam formas adultas de hábito aéreo-terrestre, enquanto que as larvas são aquáticas. O nome desta deriva do grego, onde “*odon*” significa dente, referindo-se a suas poderosas mandíbulas. O número de espécies de Odonata no mundo é de aproximadamente 5.600 (DAVIES & TOBIN, 1984). A duração do período larval é relativamente longa, podendo se estender por até dois anos, já os adultos, tipicamente diurnos, com alguns crepusculares, são

voadores ativos.

As libélulas possuem um ciclo de vida composto por três fases de desenvolvimento: ovo, larva e adulto. Os adultos depositam seus ovos próximos a corpos d'água onde são liberados diretamente na água. As fêmeas depositam seus ovos de forma endofítica, isto é, dentro ou entre os tecidos de uma planta, ou de forma exofítica, apenas depositando-os sobre uma superfície (CORBET, 1980). Além disso, segundo Souza *et al.* (2007), a oviposição ocorre imediatamente após a cópula. O estágio larval possui várias fases de amadurecendo até alcançar a última etapa, na qual a ninfa sofre uma série de transformações ficando sem se alimentar, a mobilidade é reduzida, proeminência do tórax devido o crescimento das asas. Depois a larva sai da água, algumas vezes, até a última muda definitiva onde a ninfa se transforma em indivíduo adulto. A fase adulta pode durar de três a seis meses dependendo da espécie.

As ninfas de odonata, diferente dos ephemeroptera, são predadoras vorazes, pois capturam principalmente outros artrópodes, larvas de peixes e de anfíbios, até mesmo realizam canibalismo. Por sua vez, as ninfas são predadas por peixes e camarões comportando-se como um importante integrante das redes tróficas.

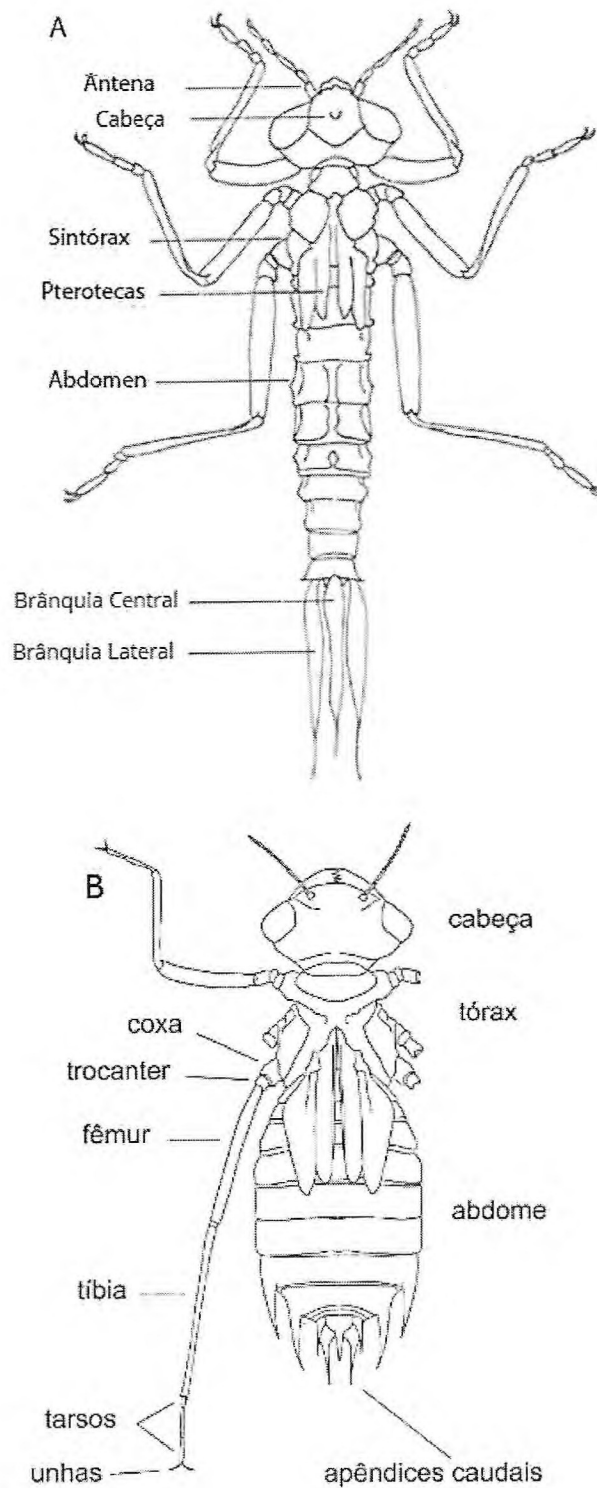
Durante o estágio larval, os odonatas se movem pouco, preferindo esperar a presa e agindo de emboscada. Muitas espécies só se movimentam a noite e permanecem escondidas durante o dia. Quando se movem, geralmente o fazem caminhando sobre o substrato. Porém, em caso de ataque, as ninfas podem mover-se rapidamente usando as brânquias caudais como remo ou expulsando jatos de água pelo ânus.

Os odonata são divididos em duas subordens principais, os Zygoptera e os Anisoptera. Essas subordens possuem ninfas com morfologias contrastantes. Os Zygoptera se caracterizam por possuir um corpo delgado terminando em três brânquias caudais (Figura 4A), enquanto os Anisoptera possuem corpo robusto com abdômen terminando em uma pirâmide anal (Figura 4B) (COSTA *et al.*, 2004).

A cabeça dos Odonata possui muitas características importantes. As antenas em quase todas as famílias são constituídas por sete segmentos, onde a forma e o comprimento de cada um são de grande valor taxonômico. Na parte inferior da cabeça se encontra o lábio, o qual é a estrutura mais característica na diferenciação das ninfas desta ordem. O tórax está dividido em protórax e sintórax, a distribuição de espinhos e comprimento das patas é variável entre os grupos. O abdômen dos odonata é composto por dez segmentos e todas as ninfas, ao final do último segmento caudal, possuem cinco projeções caudais (SOUZA *et al.*, 2007). Nos Zygoptera essas projeções são brânquias caudais. Nos Anisoptera as projeções são curtas e

triangulares.

Figura 4 - Vista dorsal de ninfas de odonata; A- Subordem Zygoptera e B- Subordem Anisoptera.



Fonte: Roldán-Pérez (1988) e Costa *et al.* (2004).

Os macroinvertebrados bentônicos são todos os invertebrados que habitam o fundo de ambientes aquáticos, em pelo menos uma fase de seu ciclo vital. A fauna bentônica é representada por vários grupos taxonômicos como moluscos, anelídeos, platelmintos, crustáceos e, principalmente, pelos estágios juvenis de várias ordens de insetos. Os macroinvertebrados constituem uma importante fonte alimentar para os peixes e são valiosos indicadores de degradação ambiental.

Entendem-se como bioindicadores, os animais e plantas que respondem, de forma facilmente perceptível, aos fatores que alteram o ambiente. Um bom bioindicador é aquele que é taxonomicamente bem definido, possui ampla distribuição geográfica, fácil coleta, baixa variabilidade ecológica, de fácil manuseio em laboratório, dentre outras características (BUSS *et al.*, 2003). Desta forma, os insetos são elementos chave na dinâmica ecológica dos ecossistemas aquáticos. A ocorrência e a abundância destes organismos são determinadas pela biologia e requisitos ambientais de cada espécie, e estão relacionadas com as características físicas, químicas e biológicas de cada meio aquático.

Os trabalhos de monitoramento ambiental utilizam insetos aquáticos para avaliar a integridade ecológica de uma determinada área, pois a vitalidade do hábitat é um dos fatores mais importantes no sucesso e estabelecimento das comunidades biológicas em ambientes lênticos. Deste modo, se entende que os insetos fósseis sejam excelentes bioindicadores em estudos paleoecológicos e paleoambientais.

As ninfas de ephemeroptera e odonata atuais são bastante citadas (ROSENBERG & RESH, 1993); (BUSS *et al.* 2003); Ferreira-Peruquetti (2004); Monteiro *et al.* (2008); Santos- Neto *et al.* (2008); Biasi *et al.* (2010) e Gonçalves (2012) como bioindicadores, por serem taxonomicamente bem definidas e facilmente reconhecíveis por não especialistas; apresentarem distribuição geográfica ampla; serem de fácil coleta; disporem de características ecológicas bem conhecidas e terem possibilidade de uso em estudos de laboratório.

4.3 Ocorrência de Ninfas Fósseis de Ephemeroptera e Odonata no Membro Crato

O registro de insetos fósseis do Cretáceo é relativamente escasso no mundo. No entanto, a situação muda quando falamos de Membro Crato da Bacia do Araripe, Cretáceo Inferior. Outros depósitos com ocorrências de insetos do Cretáceo estão na Austrália; Botswana; China; Espanha; Inglaterra e Mongólia. Em termos de diversidade taxonômica e número total de amostras, o depósito brasileiro é provavelmente o maior do mundo para insetos do Cretáceo.

A Ordem Ephemeroptera está representada na Formação Santana pelas Famílias

Hexagenitidae, Siphonuridae, Oligoneuriidae, Ephemeridae e Euthyplociidae. Destas as únicas representadas tanto por ninfas como por formas adultas são Hexagenitidae, Siphonuridae e Oligoneuriidae.

A família Hexagenitidae está extinta, mas é muito relacionada com as ninfas atuais e partilha de uma origem comum com os Siphonuridae (SINITSHENKOVA, 1975). Essa família está bem representada no Jurássico Superior da Laurásia pelo gênero *Ephemeropsis*. Estes se caracterizam por possuir pernas estreitas e filamentos caudais bem adaptados para natação. A presença da família Hexagenitidae no Cretáceo do Brasil estende consideravelmente a gama de conhecimento sobre a paleogeografia do grupo, pois a provável origem jurássica teria possibilitado uma distribuição generalizada pelo Pangeia, e não restrita a Laurásia.

A família Siphonuridae possui, provavelmente, origem no jurássico e é muito ocorrente no hemisfério norte e na Austrália. Aparentemente, o único representante dessa família no Cretáceo da Bacia do Araripe é o gênero *Siphondwanus*, cujo nome significa “siphonuridae do Gondwana”. As principais características dos Siphonuridae são: antenas muito curtas, com comprimento inferior à largura da cabeça; cabeça relativamente pequena, mas mais estreita que o tórax; brânquias presente em seis (um a seis) segmentos abdominais; filamentos caudais relativamente curtos.

Os Oligoneuriidae compartilham um ancestral comum siphonuridae estreita relação com Hexagenitidae (McCAFFERTY & EDMUNDS, 1979). Os gêneros mais antigos de Oligoneuriidae eram essencialmente tropicais. Edmunds (1975), afirma que essa família evoluiu no Gondwana, surgindo o mais tardar no Cretáceo Inferior, sendo o *Elassoneuria* o gênero mais antigo.

A excepcional qualidade nos fósseis de libélulas da Formação Santana os torna únicos no mundo. Nesta, os odonatas que possuem representantes no estágio larval são as famílias Gomphidae e Pseudomacromidae. Os Gomphidae são a segunda maior e mais antiga família anisóptera e compreende as subfamílias Hageniinae, Octogomphinae, Gomphinae, Epigomphinae, Austrogomphinae, Phyllogomphinae, Onychogomphinae e Lindeniinae (GRIMALDI, 1990). O principal representante larval desta família é a *Cordulagomphus santanensis*.

A Família Pseudomacromidae é representada por grandes e robustas ninfas de clima Neotropical. O representante típico desta família é a *Pseudomacromia sensibilis*: uma grande ninfa do Cretáceo, robusta, antenas alongadas e pernas longas. O nome é derivado do latim "capaz de perceber" referindo-se a potencial capacidade da ninfa de identificar e

detectar presas por uso de suas grandes antenas (GRIMALDI, 1990).

Os fósseis de ephemeroptera e odonata do Membro Crato ajudam a compreender a evolução desses grupos de diversas maneiras. Pois contribuem para o estabelecimento de idades de origens ou pelo menos as idades mínimas de algumas linhagens e permitem comparações entre a fauna do Cretáceo com faunas mais antigas e modernas. São também biogeograficamente significativas, pois fornecem informações sobre a distribuição desses organismos no Gondwana Ocidental auxiliando no entendimento de alguns padrões de distribuição atuais. Além disso, a abundância e diversidade de indivíduos, em diferentes fases de desenvolvimento (terrestres e aquáticos), sugerem fortemente que estes grupos eram muito comuns e estavam bem estabelecidos nesta região durante o Mesozoico.

5 MATERIAIS E MÉTODOS

Procedência do material

Os fósseis de larvas de ephemeroptera e odonata analisados são provenientes dos calcários laminados da Pedreira do Idemar, município de Nova Olinda, sul do estado do Ceará. Foram analisados 33 espécimes. As amostras estudadas estão depositadas no acervo paleontológico do Laboratório de Paleontologia do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará (LP/UFC).

Figura 5- Visão geral do Afloramento estudado, Pedreira do Idemar.



Fonte: Retirado de Heimhofer (2010).

Pesquisa Bibliográfica

Essa etapa consistiu na aquisição de artigos, teses, dissertações, compêndios e relatórios de graduação. Esta pesquisa procurou entender e conciliar as implicações ambientais/ecológicas sobre os organismos atuais, buscando extrapolar essas informações aos fósseis e, conseqüentemente, ao paleoambiente prevaiente durante o período de deposição das rochas na qual estes organismos estão preservados. A pesquisa bibliográfica foi realizada durante todo o desenvolvimento deste trabalho.

Equipamentos Utilizados

Na realização deste trabalho foram utilizados:

- Estiletos, agulhas e pincéis para limpeza e retirada do excesso de matriz que recobria os espécimes.
- Um microscópio trinocular (Olympus C011) para identificação dos Táxons.
- Uma câmara clara para realização de desenho e posterior transferência para papel vegetal acompanhado de escala.

Figura 6 - Equipamentos; A- estilete, agulhas e pincéis. B – Microscópio Trinocular. C – Câmara clara.

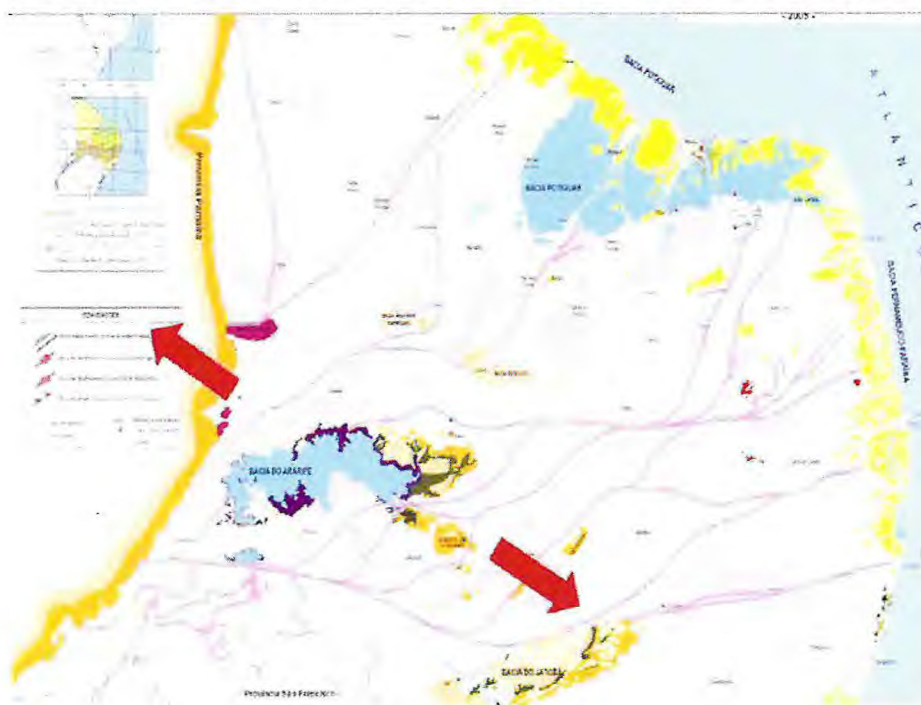


Fonte: Elaborado pelo autor.

6 CONTEXTO GEOLÓGICO

A Bacia do Araripe é uma bacia alongada, com eixo de direção W-E, sendo uma das maiores bacias do interior do Nordeste brasileiro. A bacia está situada sobre a Província Borborema, uma província geotectônica pré-cambriana de estruturação complexa. Possui lineamentos de direções E-W e NE-SW, dentre os quais se destacam dois, Lineamento de Patos (ao norte) e Lineamento de Pernambuco (ao sul), ambos de direção E-W, que delimitam a “Zona Transversal” da Província Borborema (PONTE & PONTE FILHO, 1996). Rand e Manso (1984), com base em dados gravimétricos e magnetométricos perceberam pela primeira vez a compartimentação da bacia, e a dividiram em duas sub-bacias, chamaram as sub-bacias de Oeste e Leste. Estes autores também notificaram falhamentos nas bordas da bacia. Depois, Castro e Castelo Branco (1999), com base em modelagem gravimétrica 3D confirmaram a existência das duas sub-bacias, definindo profundidades de até 1.600m para o topo do embasamento. Segundo estes autores, estas duas sub-bacias, chamadas de Feitoria (oeste) e Cariri (leste) são separadas pelo *Horst* (ou Alto) de Dom Leme.

Figura 7 - Mapa da Bacia do Araripe no contexto regional da Província Borborema.



Fonte: Jardim de Sá *et al.* (2008).

O arcabouço estratigráfico da Bacia é constituído por sequências estratigráficas, limitadas por discordâncias regionais, que representam o registro fragmentário de

embaciamentos gerados em ambientes tectônicos distintos. Cada sequência tectono-sedimentar apresenta um contexto paleogeográfico diferente, integrado a outras bacias e também marcam seus distintos estágios de evolução. O arcabouço-tectono-sedimentar da Bacia do Araripe é constituído por cinco sequências: as Sequências Paleozoica; Pré-Rifte; Rifte; Pós-Rifte I e Pós-Rifte II (Figura 9).

A Sequência Paleozoica é constituída por uma única unidade litoestratigráfica, denominada Formação Cariri por Beurlen (1962), porém segundo o Código Brasileiro de Nomenclatura Estratigráfica (SBG, 1996) a terminologia da unidade litoestratigráfica deve corresponder à localidade onde essa apresenta sua seção-tipo. Neste caso, a seção-tipo situa-se no município de Mauriti. Neste trabalho será adotada a denominação de Formação Mauriti, proposta por Gasparly e Anjos (1964).

A Sequência Pré-Rifte de idade Juro-Neocomiana (ASSINE, 1992) é composta pelas formações Brejo Santo e Missão Velha. Essa sequência foi a resposta sedimentar à subsidência mecânica, induzida pela transmissão no interior da placa dos esforços decorrentes dos processos de rifteamento do Gondwana.

A Sequência Rifte Neocomiana corresponde a Formação Abaiara unidade que apresenta significativa variação faciológica lateral e vertical, caracterizando sedimentação numa calha tectônica. Isso a diferencia da sequência Pré-Rifte, onde não se verifica fácies marginais.

A Sequência Pós-Rifte de idade Aptiana-Albiana (ASSINE, 1992) é constituída pelas Formações Barbalha e Santana. Esta unidade representa o estágio de subsidência flexural térmica e distingue-se estrutural e, estratigraficamente, das duas sequências sotopostas, sobre as quais se assenta em discordância angular (ASSINE, 2007).

A Sequência Pós-Rifte Cenomaniana é composta por duas unidades com características litológicas distintas, separadas por discordância erosiva; Formação Araripina e Formação Exu. Destoa completamente do registro das bacias marginais do Nordeste, que são caracterizadas por condições marinhas transgressivas até o final do Cretáceo.

Ponte (1996) propôs, a partir de linhas sísmicas de reflexão e de dados obtidos em outros trabalhos anteriores, um cenário estrutural para Bacia do Araripe (Figuras 8A e B), onde a Sequência Pós-Rifte repousa discordantemente e de forma horizontalizada sobre a Sequência Pré-Rifte, Rifte e sobre áreas do embasamento adjacente. Desta forma, a bacia possui sua estrutura geral dominada por lineamentos NE-SW, à exceção da sub-bacia do Cariri, que representa um *graben* de orientação NW-SW delimitado pelas falhas de Porteira e Missão Velha (PONTE & PONTE FILHO, 1996).

Figura 8 A - Mapa do modelo estrutural da sub-bacia do Cariri.

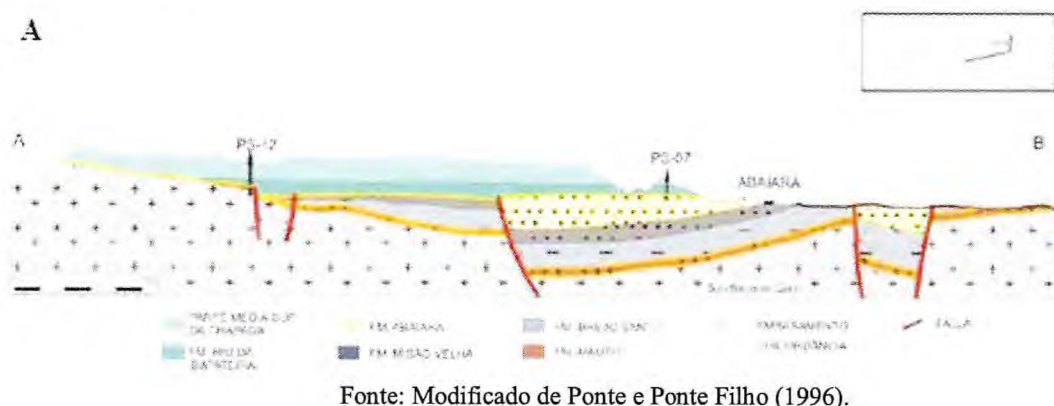
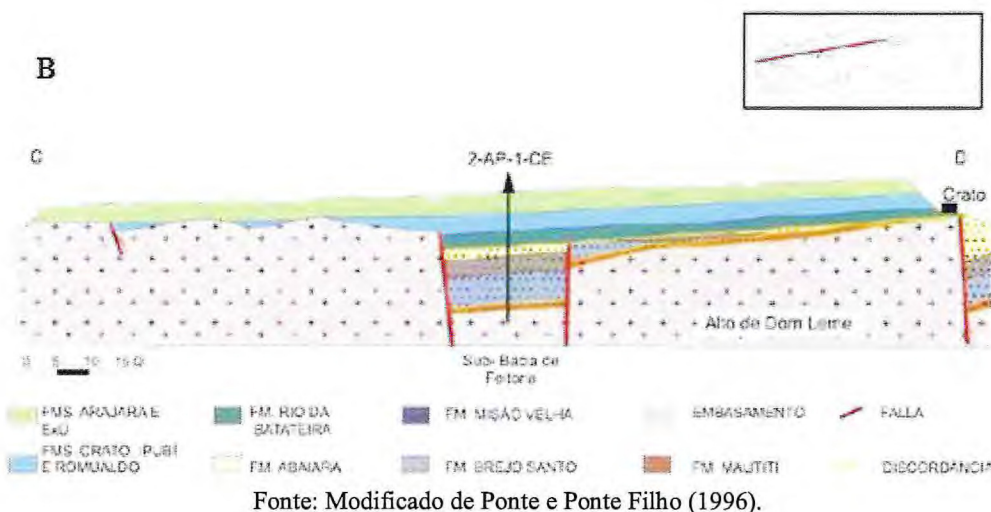


Figura 7 B - Mapa Modelo estrutural da sub-bacia de Feitoria.



A primeira sugestão de divisão estratigráfica para a sequência sedimentar da Bacia do Araripe foi feita por Small (1913), que propôs três sequências distintas, chamadas de: a) Arenito Inferior, com um conglomerado basal; b) Calcário Santana e c) Arenito Superior. Depois, outros autores contribuíram para a evolução da compartimentação estratigráfica da bacia, dentre os quais Beurlen (1962, 1963, 1971), Mabesoone e Tinoco (1973), Lima (1978), Assine (1990, 1992, 1994), Viana e Cavalcanti (1991), Ponte e Appi (1990), Martill (1993), Neumann e Cabrera (1999) e Assine (2007). Sendo a proposta de Assine (2007) a prevalente neste trabalho.

A seguir será feita uma resumida explanação sobre cada unidade litoestratigráfica da Bacia do Araripe:

Formação Mauriti

A Formação Mauriti representa um registro residual de uma extensa sedimentação desenvolvida durante o paleozoico do nordeste brasileiro. Foi proposta por Gasparly e Anjos (1964) e adotada por Ponte e Appi (1990). Caracteriza-se litologicamente por arenitos grossos, com níveis conglomeráticos intercalados, de cores claras (branco, róseo, cinza), compostos essencialmente por grãos de quartzo, e secundariamente feldspato, os níveis de conglomerados ocorrem comumente na base, onde incluem fragmentos líticos do embasamento. São interpretados como depositados em ambiente fluvial entrelaçado, com padrão de paleocorrentes no sentido 352 Az (ASSINE, 1994). No tocante do enquadramento cronoestratigráfico, correlações litoestratigráficas com bacias vizinhas Braun (1966) a relaciona com a Formação Taracatu da Bacia do Recôncavo- Tucano-Jatobá e com o grupo Serra Grande da Bacia do Parnaíba. O estabelecimento desta correlação sugere uma idade Siluro-Devoniana para esta Formação.

Formação Brejo Santo

A Formação Brejo Santo apresenta uma espessura de aproximadamente 400m, e sua exposição também se restringe a norte e nordeste da bacia. Foi definida por Gasparly e Anjos (1964). Caracteriza-se por argilitos bem estratificados de cor marrom e por margas esverdeadas. Representa a base da primeira fase lacustre da Bacia. Descansa discordantemente sobre os sedimentos da Formação Mauriti. No tocante à idade, a presença de ostracodes *Bisulcoocypris princei* e *Darwinula oblonga roemer*, posicionam a Formação Brejo Santo no Andar Dom João (BRAUN, 1966). Os litotipos desta formação são correlatos com os das Formações Aliança da Bacia Recôncavo-Tucano-Jatobá e Bananeiras da Bacia Sergipe- Alagoas. Esta formação é tectonicamente posicionada no estágio Pré-Rifte, caracterizado como período de subsidência mecânica produzida por estiramento litosférico visco-elástico. Tal processo foi responsável pela formação da Depressão Afro-Brasileira (GARCIA & WILBERT, 1995).

Formação Missão Velha

Litologicamente, esta unidade é composta por arenitos, principalmente quartzosos, fino a grossos, com estratificações cruzadas acanaladas e, secundariamente,

estratificações cruzadas tabulares e laminações cruzadas cavalgantes. Ocorrem também conglomerados polimíticos com estratificações cruzadas acanaladas e níveis intraclásticos argilosos. Segundo Assine (2007), o contexto deposicional interpretado para os litótipos da Formação Missão Velha é o de planícies de inundação e sistemas fluviais entrelaçados compaleocorrentes indicando paleofluxo constante para o rumo SSW, integrando uma paleo-rede hidrográfica que fluía em direção à Bacia do Recôncavo-Tucano. A presença de uma forte discordância erosiva interna a esta unidade, tornou necessária uma subdivisão em duas unidades informalmente denominadas de seção Inferior e seção Superior. Em termos regionais a unidade em questão tem sido correlacionada com a Formação Sergi da Bacia Recôncavo-Tucano-Jatobá e Formação Serraria da Bacia Sergipe-Alagoas (ASSINE, 1990). A Formação Missão Velha, que sobrepõe concordantemente a Formação Brejo Santo, tem espessura máxima de cerca de 200 m e é caracterizada por porta fragmentos de madeira fósseis silicificados, atribuídos à conífera *Dadoxylon benderi*.

Formação Abaiara

Esta unidade, definida por Ponte e Appi (1990) e Assine (1990), representa a parte superior da primeira fase lacustre na bacia. A unidade apresenta significativa variação faciológica lateral e vertical, distinguindo-se claramente do registro estratigráfico do estágio Pré-Rifte demonstrando que essa foi formada na fase Rifte da bacia. Dispõe-se em contato discordante, tanto com a Formação Missão Velha, inferiormente, como com a Formação Barbalha, superiormente. As associações faciológicas e o conteúdo fossilífero indicam sedimentação em tratos deposicionais continentais, num cenário onde lagos rasos são paulatinamente substituídos por planícies fluviais de canais entrelaçados. As paleocorrentes medidas nos arenitos fluviais mostram paleofluxo constante para SSW (ASSINE, 2007). As associações faciológicas e conteúdo fossilífero permitem posicionar cronoestratigraficamente a Formação Abaiara nos andares Rio da Serra e Aratu (ASSINE, 1990).

Formação Barbalha

A Formação Barbalha de Assine (1990) representa o início da Tectono-sequência Pós-Rifte da Bacia do Araripe. Apresenta espessura de cerca de 200m e o domínio de arenitos com intercalações de folhelhos de colorações avermelhadas e de níveis delgados de conglomerados. Os arenitos são finos a médios, subarredondados a subangulares, em geral

bastante friáveis, argilosos, às vezes com seixos dispersos e/ou portadores de feldspatos alterados e bolas de argila, ocorrendo dispostos em *sets* com 0,2 a 2,0 m de espessura, que invariavelmente apresentam estratificação cruzada planar ou acanalada (ASSINE, 2007). Segundo Chagas (2006) a Formação Barbalha compreende dois ciclos fluviais com granodecrescência ascendente, cujos topos são marcados pela presença de intervalos pelítico-carbonáticos lacustres. O primeiro ciclo se encerra, na porção média desta unidade, com um intervalo de folhelhos betuminosos pretos, ricos em lâminas carbonáticas de origem algálica, coprólitos, ostracodes e fragmentos vegetais carbonificados. Esta sequência lutítico-carbonática foi denominada por Hashimoto *et al.*(1987) de **Camadas Batateiras**. O segundo ciclo sedimentar da Formação Barbalha se inicia com contato erosivo entre as *camadas batateiras* e arenitos grossos conglomeráticos fluviais sobrepostos, aonde os arenitos, em direção ao topo, vão se tornando mais finos com intercalações de folhelhos calcíferos e terminando nos calcários laminados do Membro Crato da Formação Santana. Nesta unidade as paleocorrentes indicando paleofluxo principalmente para SE (ASSINE, 1990).

Formação Santana

A Formação Santana, tem sido atribuída, como pertencente de um Sistema Lagunar-Evaporítico e Marinho, de idade Aptiano-Albiano. A Formação Santana localiza-se logo acima do início do chamado “último ciclo granodecrescente” da Formação Barbalha (ASSINE, 2007). A Formação Santana é aqui admitida segundo Assine (2007), sendo portadora de três membros; Membro Crato, Ipubi e Romualdo.

Membro Crato

As rochas do Membro Crato da Bacia do Araripe foram formadas no intervalo Aptiano-Albiano em um sistema lacustre carbonático. Esta unidade representa a segunda fase lacustre da Bacia do Araripe, e está constituída principalmente por seis unidades carbonáticas denominadas informalmente por Neumann (1999) de C1 a C6, separadas entre si, tanto lateralmente como verticalmente, por arenitos, siltitos e folhelhos e se configura como um dos mais importantes sítios geológico e paleontológico do País e do mundo.

Membro Ipubi

Representa as fácies evaporíticas do sistema lacustre Aptiano-Albiano, sendo composta essencialmente por corpos descontínuos de gipsita e anidrita intercaladas com folhelhos pretos. Segundo Assine (2007) devido à descontinuidade das camadas, a existência de intercalações com folhelhos pirobetuminosos pretos, ricos em ostracodes não marinhos e fragmentos vegetais carbonificados, apontam no sentido de que a paleogeografia não era a de uma ampla bacia evaporítica marinha, mas sim de uma deposição em sistema costeiro de supramaré em condições de clima árido a semi-árido. Sobre as Camadas evaporíticas, ocorre uma discordância erosiva de menor expressão (diastema) marcada por um nível conglomerático, que seria oriundo de fluxos gravitacionais de terras relativamente mais altas nas bordas das pequenas bacias evaporíticas.

Membro Romualdo

É formado por lutitos de cor variando de cinza averde, com níveis de concreções carbonáticas, calcários, arenitos finos e alguns níveis de folhelhos pirobetuminosos (NEUMANN,1999). Os folhelhos adquirem em direção ao topo, colorações mais escuras, culminando com um intervalo de cerca de 20 m de folhelhos pretos, ricos em matéria orgânica, caracterizado pela presença de um nível com concreções fossilíferas que alcança cerca de 5 m de espessura na borda leste da Chapada do Araripe (ASSINE, 2007). Acima do nível das concreções destaca-se a existência de uma camada de coquinas associadas com moluscos marinhos e equinóides, que podem atingir um metro de espessura e interpretada por Sales (2005) como sendo depósitos de tempestades. Esta unidade é conhecida mundialmente pela sua riqueza macrofossilífera, pois abundantes concreções carbonáticas, frequentemente fossilíferas, encerra peixes em seu interior, num total de 18 espécies, compondo uma paleoictiofauna considerada marinha (SILVA SANTOS & VALENÇA, 1968). Também são encontrados, entre outros vertebrados, dinossauros (LEONARDI & BORGOMANERO, 1981), tartarugas marinhas (PRICE, 1973) e pterossauros (CAMPOS & KELLNER, 1985). A presença de dinoflagelados marinhos em rochas da porção inferior, e de equinodermas em calcários da porção superior desta unidade, constitui uma evidência inequívoca de que durante sua deposição houve uma ou mais incursões marinhas na Bacia do Araripe.

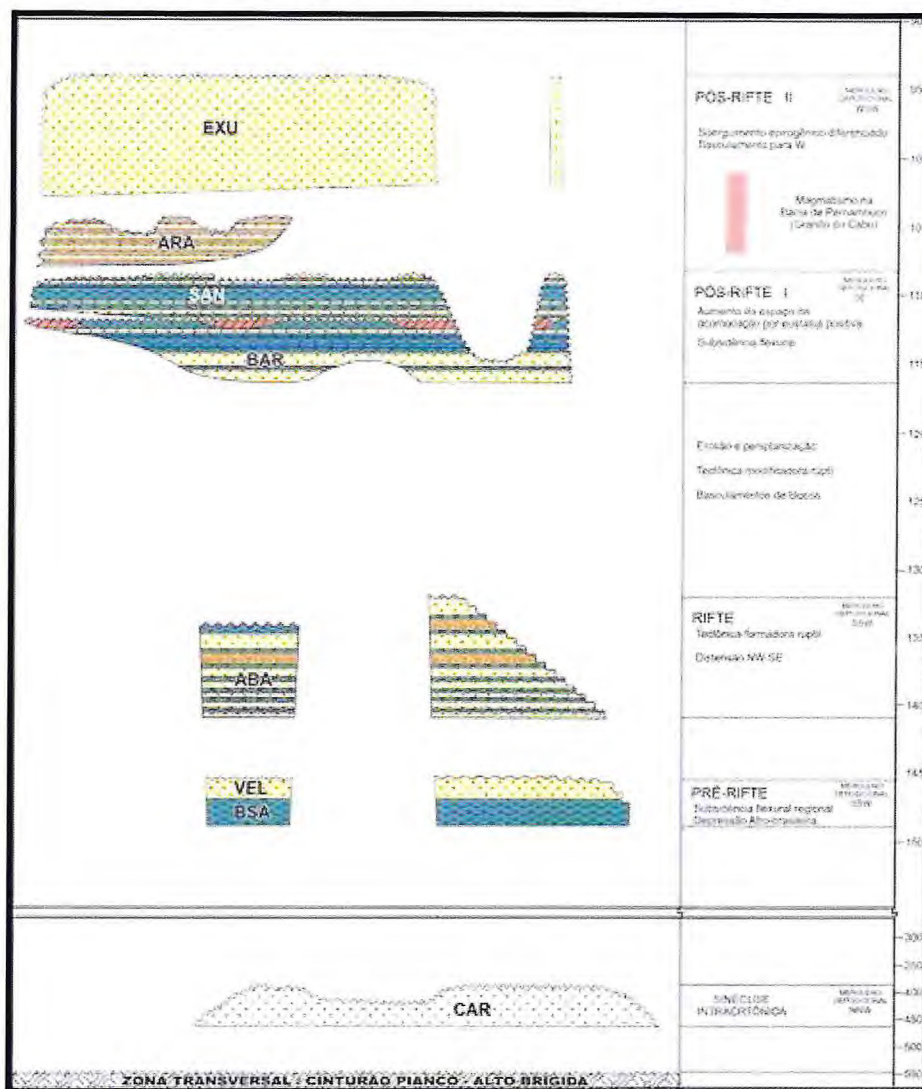
Formação Araripina

Formação Araripina corresponde ao antigo Membro Inferior da Formação Exu de Beurlen (1963) e Mabesoone e Tinoco (1973). Esta Formação é restrita à porção oeste da bacia e é constituída por associação de fácies heterolíticas, caracterizada por grande diversidade de litotipos, recorrentes e geneticamente relacionados (ASSINE, 2007). Segundo Ponte e Ponte Filho (1996) a Formação Araripina, até então denominada de Arajara, se constitui fundamentalmente de argilitos e arenitos argilosos com cores variando do roxo ao amarelo, com estratificações cruzadas, marcas de ondas e raras estruturas de fluidificação, depositados em ambiente lagunar e planície de inundação, sob condições oxidantes. Essa unidade apresenta truncamentos internos sugerindo tectônica sindeposicional, evidenciada também pelo intenso fraturamento da unidade.

Formação Exu

É formada essencialmente por arenitos grossos e argilosos, intercalados com níveis de arenitos conglomeráticos, com cores variando entre o roxo e o amarelo. Geralmente, estes arenitos se apresentam friáveis e exibem estratificações cruzadas interpretadas por Ponte e Ponte Filho (1996), como tendo sido originadas em sistemas fluviais com fluxos torrenciais. Os arenitos fluviais da Formação Exu recobrem em discordância erosiva a Formação Araripina em alguns locais com pequena angularidade, representando um novo evento tectono-sedimentar. As medições de paleocorrentes nos arenitos da Formação Exu indicam paleofluxo para W, o que difere completamente das paleocorrentes das Sequências Pré-Rifte, Rifte e Pós-Rifte I. Segundo Assine (2007) esse fenômeno ocorreu devido a um soerguimento que reestruturou a paleodrenagem do interior do Nordeste causando basculamento para oeste. Assim, a drenagem passou a fluir em direção à Bacia do Parnaíba.

Figura 9 - Carta Cronoestratigráfica da Bacia do Araripe.



Fonte: Simplificada de Assine (2007).

7 RESULTADOS

7.1 Tafonomia de Artrópodes Bentônicos do Membro Crato da Formação Santana

Na orictocenoze do Membro Crato se encontra fósseis de folhas, sementes, insetos, peixes, crustáceos, répteis e até aves, ou seja, há tanto representantes aquáticos, quanto terrestres. Alguns desses organismos mostram elevados graus de desarticulação indicando transporte até o sítio deposicional, evidenciando que houve um aporte de exemplares alóctones. Por outro lado, a maioria dos organismos, principalmente os insetos, se

encontram intactos e não apresentam qualquer sinal de orientação, alguns preservam estruturas bem frágeis como antenas, stylus e até mesmo baratas com a ooteca ainda aderida ao abdômen.

Assim, é possível inferir informações sobre a taxa de sedimentação do meio e se houve transporte do organismo do período posterior a sua morte até seu “sepultamento”. Desta forma, Martins-Neto e Gallegos (2006), propuseram uma classificação a fim de evidenciar a influência dos processos *post-mortem* na morfologia dos indivíduos (essa classificação foi proposta inicialmente para gafanhotos). (Item 4.1 deste trabalho).

O acervo paleontológico da UFC possui um total de 33 exemplares de ninfas de efêmera e odonata provenientes do Membro Crato da Bacia do Araripe, sendo que 54% deste total é composto por larvas de odonata. Os espécimes se apresentam altamente bem preservados, tornando possível o reconhecimento de peculiaridades tafonômicas. Também se observa variabilidade morfológica entre os indivíduos.

Apresentação do Material

Ordem:Ephemeroptera

Família:Hexagenitidae

Gênero:Indeterminado

Espécie:Indeterminado

Exemplares: 1316; 1334; 1322; 1325; 1324; 1317; 1321 a/b; 1327; 1314; 1318; 1181; 1177;1332.

Descrição: Os espécimes de ninfas de ephemeroptera possuem entre 1,9 e 1,1 cm de comprimento e entre 0,3 e 0,5 cm de largura, apresentam filamentos caudais com 0,4 cm de comprimento e preservação das antenas.

Observações Tafonômicas: Na maioria dos exemplares tem-se a presença dos dez segmentos abdominais e, em alguns casos, se nota que as brânquias do indivíduo estão bem preservadas e totalmente abertas. 87% dos espécimes estão bem articulados, onde se observa fêmur, tarso e unha.

Ordem: Ephemeroptera

Família: Siphoneuridae

Gênero: Indeterminado

Espécie: Indeterminado

Exemplares: 1199; 1312

Descrição: Essas ninfas possuem entre 1,4 e 1,6 cm de Comprimento e entre 0,3 e 0,4 cm de Largura, cabeça mais comprida do que larga e os 10 segmentos abdominais.

Observações Tafonômicas: Os exemplares se apresentam bem articulados, com todos os apêndices e alguns apresentam brânquias abertas.

Ordem: Odonata

Família: Gomphidae

Gênero: Indeterminado

Espécie: Indeterminado

Exemplares: 1335; 1319; 1330; 1331; 1323; 1329; 1351; 1242; 1452; 1464

Descrição: Possuem em média 2,2 cm de Comprimento e 0,4 cm de Largura, cabeça com 0,2 cm de comprimento e abdômen medindo 1,2 x 1,5 cm.

Observações Tafonômicas: Os organismos estão bem articulados, porém dois indivíduos apresentam sinais de danos mecânicos principalmente na região da cabeça.

Ordem: Odonata

Família: Pseudomacromidae

Gênero: *Pseudomacromia*

Espécie: *Pseudomacromia Sensibilis*

Exemplares: 1328; 1190 a/b; 1315

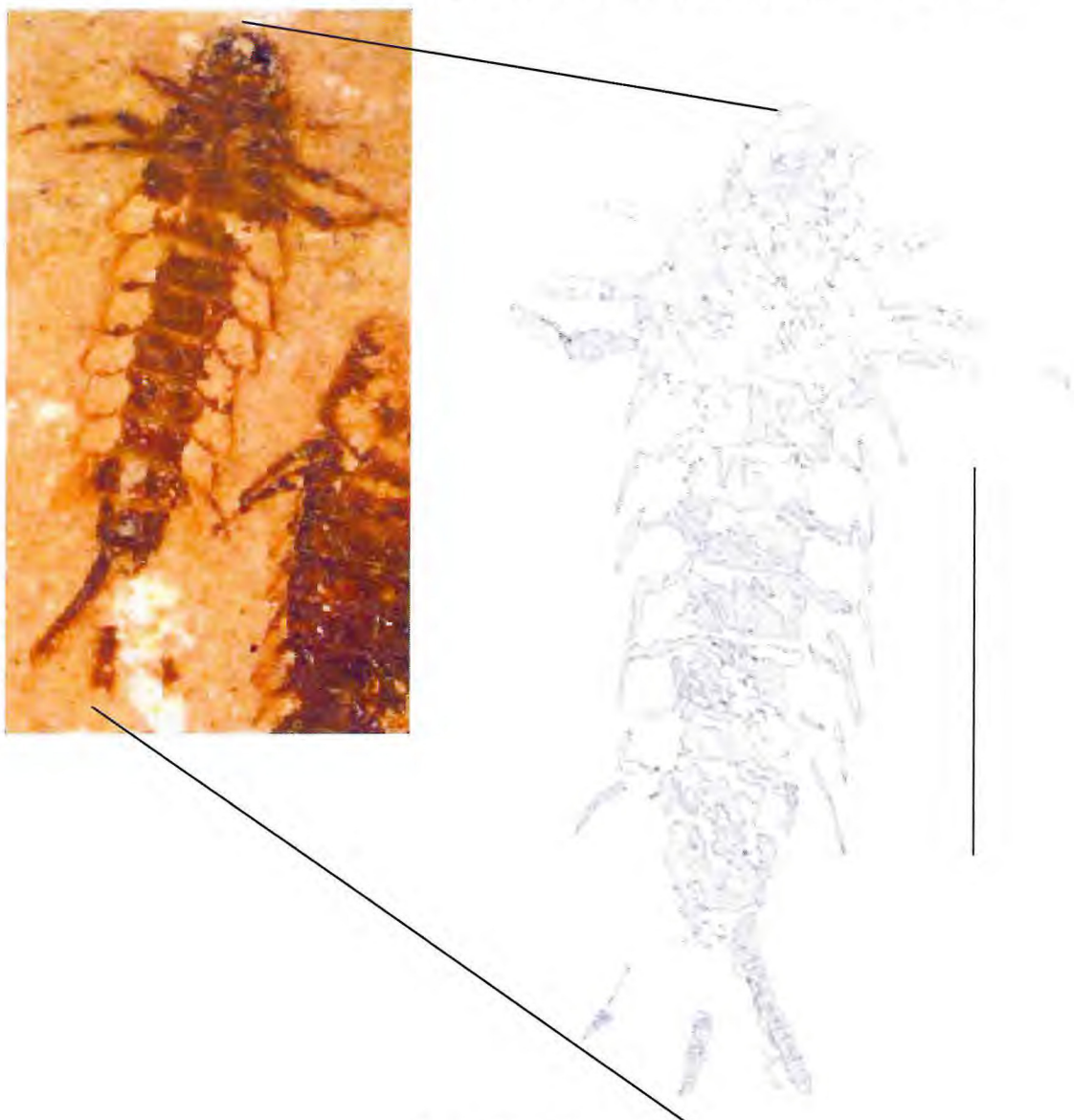
Descrição: As ninfas de odonata possuem entre 3 e 2,8 cm de comprimento e entre 1 e 0,5 cm de largura. Corpo achatado. Cabeça medindo 0,4 x 0,3 cm e patas com 2,2 cm de comprimento.

Observações Tafonômicas: São os exemplares que apresentam a melhor preservação, estão bem articulados, todos os apêndices presentes. A maioria dos exemplares apresenta pelo menos uma das patas totalmente articulada, inclusive com a presença de tarso e unha, e alguns indivíduos possuem antenas com 0,5 cm de comprimento. Abdômen sem espinhos laterais ou dorais.

As ninfas de ephemeroptera e odonata estão perfeitamente bem preservadas (Figura 10 e 11) e podem ser enquadradas no estágio I e II da classificação de Martins-Neto e Gallego (2006). Onde no primeiro, os indivíduos se encontram totalmente articulados, não fragmentados e com a maioria de seus apêndices preservados, ou seja, intacto. No segundo, os indivíduos apresentam-se não-fragmentados e parcialmente articulados, pois há perda de alguns apêndices. Sendo que a maioria dos exemplares pode ser encaixada no estágio I. O número de larvas de efêmera pertencentes ao estágio I corresponde a 90% do número total de indivíduos dessa ordem. Enquanto que 40% dos indivíduos pertencentes a ordem odonata possuem características correspondentes ao estágio II. Apenas um exemplar, Ordem Odonata,

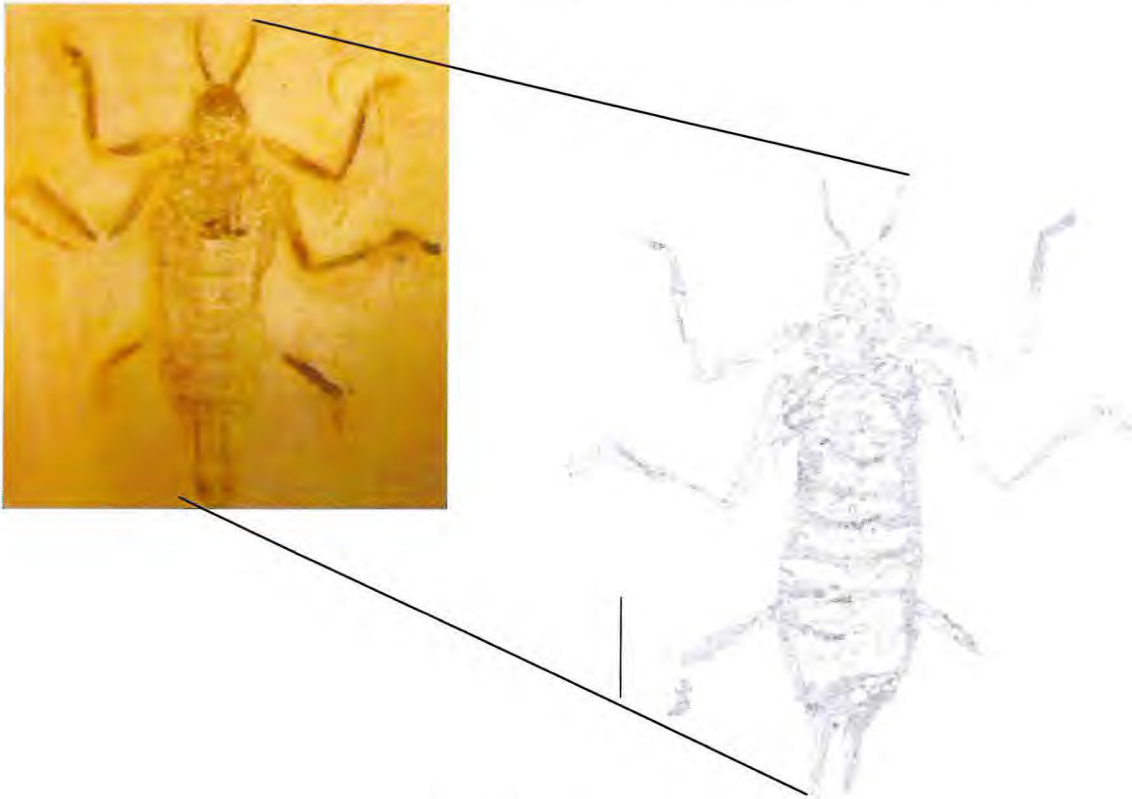
não pôde ser enquadrado nos I ou II por causa de modificações diagenéticas.

Figura 10–Ninfa de Ephemeroptera N° 1312 (Barra Lateral equivale a 0,5 cm).



Fonte: Elaborado pelo Autor.

Figura 11–Ninfa de Odonata N° 1190 (Barra Lateral e equivalente a 0,5 cm).



Fonte: Elaborado pelo o autor.

O ótimo estado de preservação da paleofauna de artrópodes bentônicos do Membro Crato indica que houve pouco ou nenhum transporte destes indivíduos dos seus habitats de vida (biocenose) até o sistema deposicional responsável pelo seu soterramento (tafocenose). Isso reduz a possibilidade desses organismos terem sido trazidos por algum rio tributário até o Paleolago Crato. Nenhum dos espécimes apresenta sinais de expansão do abdômen, algo muito comum nos insetos, pois ao morrerem a decomposição interna provoca o afastamento das placas targais. Isto evidência que o seu “sepultamento” e a taxa de mineralização, durante a fossilização, foram rápidos. Além disso, é possível observar diferenças relacionadas ao desenvolvimento ontogenético, pois se encontram larvas grandes e pequenas. Todas essas evidências implicam que existiu uma paleoartropofauna bentônica, em especial de larvas de ephemeroptera e odonata, permanente e bem estabelecida durante a deposição dos calcários laminados do Membro Crato.

7.2 Paleoecologia de Artrópodes Bentônicos do Membro Crato da Formação Santana

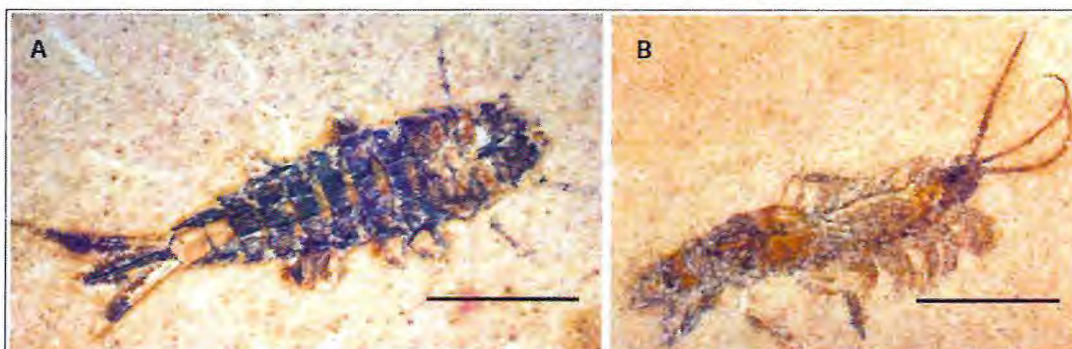
As larvas de ephemeroptera e odonata são organismos sensíveis a perturbações ambientais, ocorrendo principalmente em águas claras e bem oxigenadas e com baixa quantidade de nutrientes. Os odonatas apresentam maior tolerância ambiental em relação aos ephemeropteras. Assim, as ninfas de efêmera e odonata fósseis podem nos fornecer informações importantes sobre as condições ambientais predominantes durante a deposição das rochas nas quais se encontram. Portanto, baseado nas semelhanças morfológicas pode-se supor que os requerimentos ecológicos das espécies fósseis eram similares aos das espécies atuais.

A presença de ninfas de Ephemeroptera e Odonata nos depósitos carbonáticos do Membro Crato, pode ser utilizada como um argumento para indicar disponibilidade de oxigênio no meio, pois muito raramente esses organismos, principalmente os efêmeras, são encontrados em corpos d'água com menos de 10% de oxigênio, sendo associados a águas limpas e bem oxigenadas.

Dos 16 exemplares de ephemeroptera analisados 13 pertencem a Família Hexagenitidae, dois a Família Siphoneuridae e um não foi possível realizar a identificação. Os hexagenitidae possuem cabeça esférica, corpo robusto e brânquias abdominais terminais ampliadas, teoricamente, bem adaptadas para a natação. Tais brânquias abertas contribuiriam com um impulso adicional durante as ondulações dorsoventrais do abdômen. Esse impulso adicional seria mais importante em indivíduos maiores. Além disso, (SINITSHENKOVA, 1984), constatou que todos os outros hexagenitidae da Laurásia habitavam Sistemas lacustres de águas calmas. As relações entre a morfologia, hábito de natação e habitat de Hexagenitidae e Siphoneuridae são muito próximas. Desta forma, A presença de larvas de Siphoneuridae e Hexagenitidae sugere um ambiente de lago raso.

Através da análise da morfologia da cabeça e sua relação com o corpo, e com o conhecimento a respeito da ecologia e comportamento de espécies atuais, segundo Polegatto e Zaniboni (2001), é possível realizar inferências sobre o hábito alimentar e o habitat de Ephemeroptera. As ninfas que possuem corpo ligeiramente robusto e cabeça esférica, quando observada de vista dorsal, são indicativas de indivíduos coletores alimentando-se preferencialmente de detritos, algas e pedaços de folhas. O registro sedimentar do Paleolago Crato possui todos os componentes desta dieta, sendo, portanto, coerente admitir que o habitat fosse o mesmo.

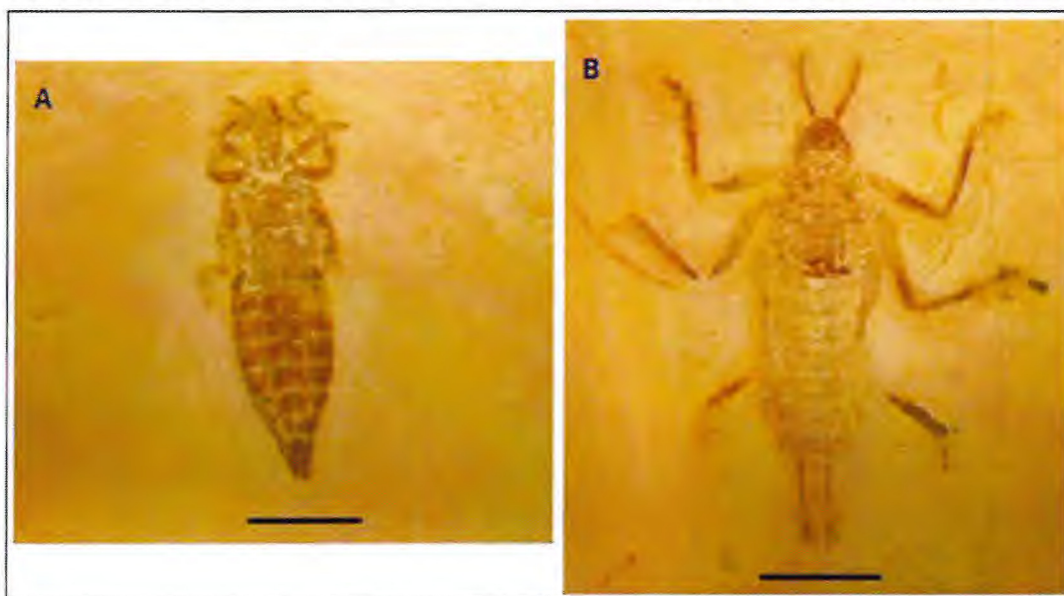
Figura 12 - A – Ninfa de Ephemeroptera N°1316 (Família Hexagenitidae). B – Ephemeroptera N°1199 da Família Siphonuridae. (Barra equivale a 0,5 cm).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Dos 16 fósseis de odonata analisados quatro pertencem a Família Pseudomacromidae (*Pseudomacromia sensibilis*), dez a Família Gomphidae e três não se foi possível realizar a identificação. A *Pseudomacromia sensibilis* possui cabeça pequena, abdômen achatado, antenas e pernas alongadas. Essas características sugerem ambientes de baixa energia e água doce.

Figura 13 - A- Ninfa de Anisoptera N° 1242 (Família Gomphidae). B- Anisoptera, Família Pseudomacromidae N°1190 (*Pseudomacromia sensibilis*). (Barra equivalente a 0,5 cm).



Fonte: Elaborado pelo o autor.

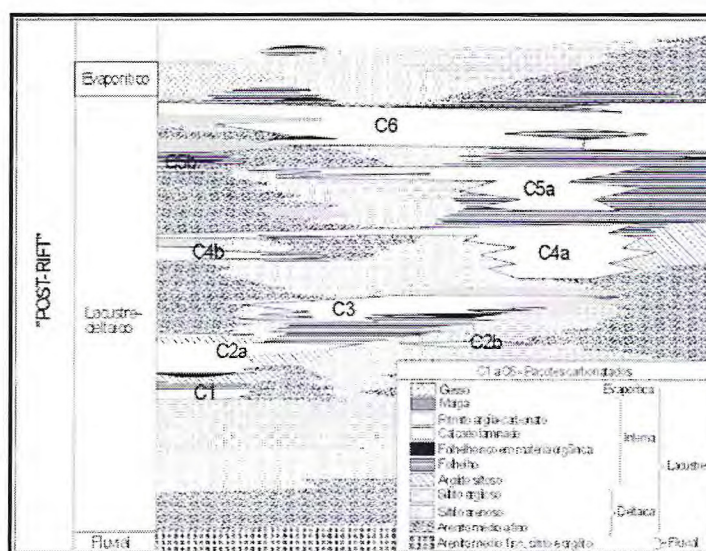
Desta forma, as implicações paleoecológicas de ninfas de ephemeroptera e odonata, nos calcários do Membro Crato, sugerem sistema de baixa energia (lêntico), água doce, habitação nas porções mais rasas do ambiente lacustre, embora a maioria das ninfas

existentes atualmente estarem bem adaptadas a ambientes rasos de alta energia como córregos.

8 DISCUSSÃO

A deposição de fôlhelhos no Membro Crato (Figura 14) indica deposição em lamina d'água relativamente espessa quando comparada à dos calcilitos laminados da mesma unidade. Por outro lado, a presença de pseudomorfos de halita (NaCl) nos carbonatos, exige deposição em sistemas de águas rasas e aquecidas sob condições de clima árido. Isso sugere que havia flutuações na altura da coluna d'água do lago devido períodos descontínuos de aporte hídrico. Essas variações de nível de massa d'água (subida e descida) são fenômenos fundamentais na dinâmica dos lagos. Em regiões tropicais, os lagos tendem a permanecer estratificados durante a maior parte do ano, com eventuais períodos de circulação nas fases de clima mais ameno. Em relação ao padrão de estratificação/circulação de água, Wetzel (1983), classificou-os como holomíticos quando a circulação envolve toda a coluna d'água, ou meromíticos nos casos em que apenas parte da coluna d'água é renovada. Esses contrastes interferem tanto nos parâmetros físicos quanto nos químicos. Por exemplo, Esteves (1988), constatou que o transporte de oxigênio na água por difusão molecular é pouco eficiente e sua quantidade ao longo da coluna d'água é fortemente controlada pelo padrão de circulação e diminui com o aumento da profundidade.

Figura 14 - Perfil estratigráfico simplificado para o sistema lacustre Aptiano-Albiano do Araripe



Fonte: Modificado de Viana e Neumann (2002).

Nos lagos meromíticos, como a circulação não envolve toda a coluna d'água, a camada mais profunda pode permanecer isolada, acarretando o desenvolvimento de condições anóxicas permanentes. Em lagos com alta produtividade primária, a decomposição da matéria orgânica formada na zona fótica resulta num grande aumento no consumo de oxigênio, que pode tornar o fundo anóxico. Por outro lado, em lagos com baixa produtividade primária, podem prevalecer condições óxicas ao longo de toda a coluna d'água. A presença de folhelhos do Membro Crato pode ter ocorrido em ambiente redutor, pois marca condições de relativa diluição das águas do lago e pode ter se desenvolvido uma estratificação térmica acompanhado de anóxia de fundo. No entanto, não abriga a maioria dos fósseis.

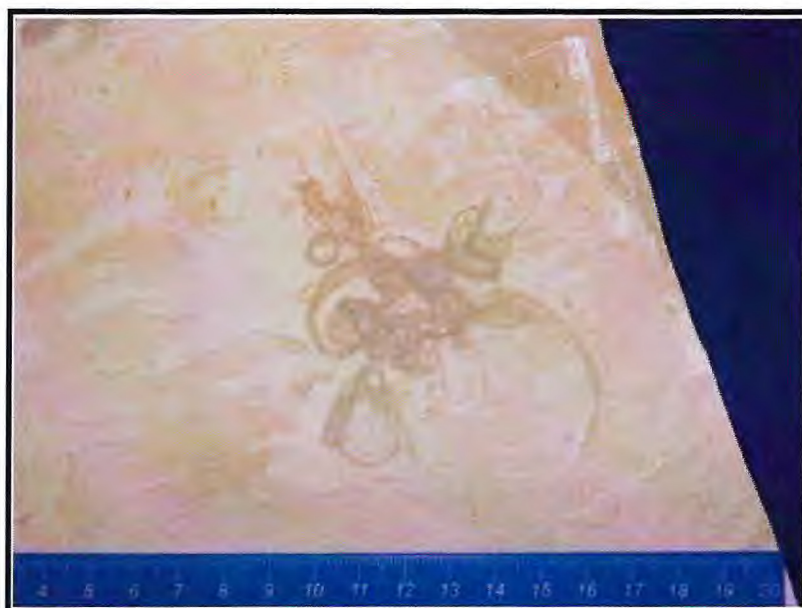
Por outro lado, a deposição dos carbonatos se deu predominantemente em condições de águas mais rasas, mostrando que houve um aporte hídrico negativo e descenso no nível do lago contribuindo para o aumento na concentração de solutos e favorecendo a intensa precipitação de CaCO_3 . Os momentos de queda do nível lacustre pode ter ocasionado a quebra da estratificação térmica e, conseqüentemente, a circulação de toda a coluna d'água. Não há nenhuma evidência de calcários com alta concentração de matéria orgânica, isso indica que a produção primária era baixa e não comprometeu a oxigenação do meio.

Uma das maiores características do Membro Crato é a baixa ocorrência de bioturbação associada aos calcários laminados. Henriques *et al.* (1998) estudando o estado de conservação de peixes (*Dastilbe sp*) concluiu que a falta de bioturbação se deve a contínua condição de anóxia de fundo, o que impediria a instalação de comunidades bentônicas. No entanto, uma deposição sedimentar ocorrida predominantemente sob condições anóxicas deveria deixar evidências mais contundentes de tal fato, em seu registro petrográfico, do que as encontradas. Santos e Azevedo (2014), estudando a evolução deposicional e diagenética de uma seção geológica no município de Nova Olinda (CE), constataram, localmente, uma pequena quantidade de cimento sulfetado em meio à massa carbonática, sendo interpretado como cimento de primeira geração durante a fase de codiagênese. Portanto, esse sulfeto não é entendido como sindeposicional.

Apesar de extremamente raros, existem evidências de bioturbação causadas por organismos de corpo mole nos calcários laminados do Membro Crato (Figura 15), estes icnofósseis ainda não estão descritos na literatura. As pistas de invertebrados sugerem aspectos comportamentais referentes a icnitos de pastagem ou alimentação e que foram produzidas por apenas um indivíduo, pois os traços deixados não apresentam variação de espessura. Neste trabalho, não foi realizada nenhuma tentativa de classificação, em nível de icnogênero, para esses icnofósseis. Uma das explicações possíveis para a baixa ocorrência de

bioturbação pode ser o aumento da salinidade. O descenso contínuo do nível do lago acarreta um aumento na concentração salina. Por outro lado, um ambiente hipersalino não teria favorecido o desenvolvimento das ninfas de ephemeroptera e odonata. Porém, a associação fóssil presente no afloramento em questão, sugere uma margem de lago, pois são encontrados fósseis de aranhas, baratas, gafanhotos e outros animais terrestres. A ausência de estruturas sedimentares indicativas de margem de lago como laminações cruzadas e marcas de ondas, pode ser explicada pelo efeito *Hjulstrom Sundborg* (Ocorre o aumento da força de coesão em partículas menores que 0,6 mm).

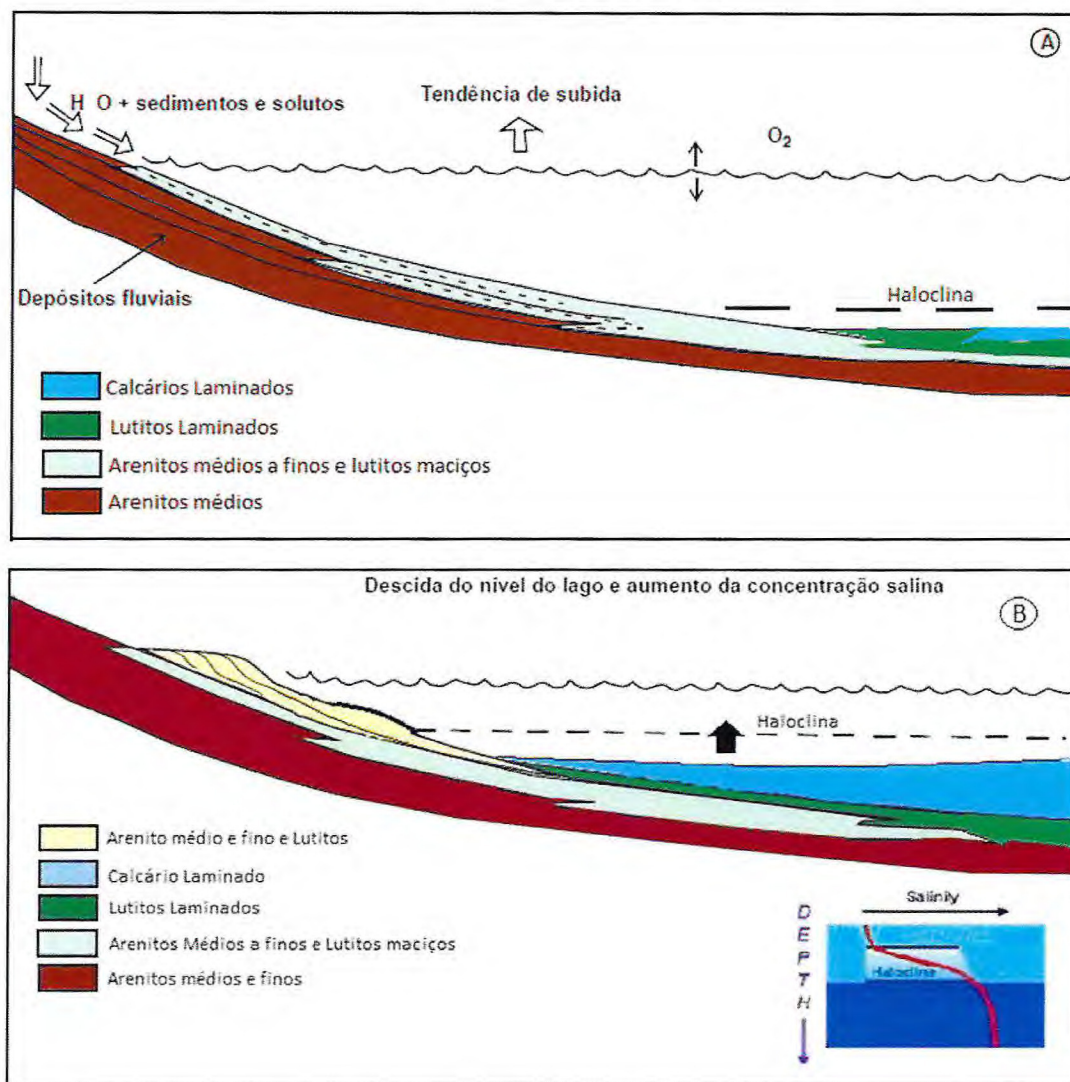
Figura 15 - Marcas de bioturbação nos calcários laminados do Membro Crato.



Fonte: o autor.

As constantes flutuações do Sistema Lacustre, aumento do aporte hídrico após um período de seca, podem ter favorecido a implantação de uma haloclina (contraste entre água doce e salgada) no lago. Assim, a água pré-existente mais salina e mais densa ficaria restrita as porções mais profundas. Dessa forma, os períodos de aporte hídrico positivo acarretariam o rebaixamento da haloclina, da mesma forma que os períodos de aporte hídrico negativo resultariam na sua subida (Figura 16).

Figura 16 - Posicionamento da Haloclina em relação ao nível do lago. A – Nível de Lago Alto. B – Nível de Lago Baixo.



Fonte: Modificado de Neumann e Cabrera (2002).

A presença de pseudomorfos de halita é uma demonstração inequívoca de níveis de hipersalinidade e são exemplos sugestivos de uma deposição sob lâmina d'água muito pequena. A prevalência de evaporação sobre o influxo hídrico teria afetado toda a biota do Sistema lacustre, tornando diminutas as áreas onde a salinidade fosse suportável. Essa pode ser a causa do grande número de ninfas bentônicas encontradas neste afloramento. Outras evidências como acumulações de formas juvenis de peixes também sugerem eventos de mortandade generalizada.

É importante ressaltar que o nível estratigráfico correspondente aos fósseis de efêmera e odonata não é conhecido. A falta de controle estratigráfico dos fósseis é um dos

principais obstáculos para o melhor entendimento das relações paleoecológicas e do ordenamento cronológico dos eventos de importância biológica, ocorridos durante a evolução ambiental desta unidade. Por isso as implicações ambientais fundamentadas nos citados grupos fósseis aqui apresentadas não podem ser extrapoladas para todos os níveis carbonáticos do Membro Crato.

9 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Neste trabalho foram tratados temas diversos e tentou-se relacionar os aspectos ambientais e ecológicos de artrópodes bentônicos atuais com fósseis ocorrentes no sistema lacustre carbonático Aptiano-Albiano da Bacia do Araripe. As hipóteses levantadas e sugestões para trabalhos futuros serão agora apresentados de forma resumida.

Os invertebrados de água doce constituem um grupo diversificado e onipresente, possuindo representantes tanto em ambientes preservados como em locais ambientalmente degradados. Por essa razão são bastante utilizados no reconhecimento da integridade ecológica e por fornecerem uma visão ampla das condições ambientais do local. Desta forma, os artrópodes, a classe Insecta, mais especificamente, são os organismos mais utilizados como bioindicadores, pois apresentam larga distribuição geográfica; baixa mobilidade e longo ciclo de vida; abundância; fácil coleta e reconhecimento em campo; e o mais importante, possuem tolerâncias e sensibilidades variadas a vários parâmetros físico-químicos. Deste modo, os insetos são capazes de refletir as condições ecológicas do hábitat onde vivem.

Do ponto de vista tafonômico, os fósseis se encontram bem preservados, onde a maioria dos indivíduos se encontra totalmente articulados, não fragmentados e com todos os apêndices preservados, ou seja, intacto. Secundariamente, os indivíduos apresentam-se não fragmentados e parcialmente articulados, pois há perda de alguns apêndices. O elevado grau de preservação exibido pelos espécimes nos indica que a taxa de mineralização era alta, assim como a taxa de decomposição era baixa. Isso demonstra que a distância de transporte ou retrabalhamento, após a morte, destes organismos foi muito pequena ou nula. Também vale ressaltar que os indivíduos ocorrem em diferentes fases de desenvolvimento ontogenético, isso possibilita teorizar que em um determinado intervalo de tempo houve uma paleoentomofauna de odonata e ephemeroptera bem estabelecida no Paleolago Crato.

Do ponto de vista paleoambiental, o Membro Crato é caracterizado pela deposição de sedimentos finamente laminados em um sistema lacustre de baixa energia e águas calmas e rasas. As larvas de Efêmera e Odonata corroboram com essa interpretação. A presença de ninfas de Ephemeroptera e Odonata indica que houve disponibilidade de oxigênio no meio, pois muito raramente esses organismos são capazes de prosperar em ambientes deficientes em O₂. Neste aspecto, a relação entre o estado de preservação dos fósseis e a condição de anóxia existente no fundo do Lago Crato não se sustenta.

As pistas de invertebrados sugerem aspectos comportamentais referentes a icnitos de pastagem ou alimentação. A presença de bioturbação, apesar de rara, também corrobora

com a hipótese de um fundo óxico para esse sistema. A escassez de estruturas de bioturbação pode estar relacionada com recorrente aumento nos índices de salinidade do lago, pois a presença de pseudomorfos de halita indica um ou vários momentos de hipersalinidade.

A falta de controle estratigráfico prejudica e limita os estudos paleoambientais, paleoecológicos, paleogeográficos e paleoclimáticos baseados nos fósseis, pois essas inferências só são coerentes quando referentes ao mesmo nível de ocorrência dos mesmos no pacote sedimentar. No caso das ninfas de efêmera e odonata, não se conhece em qual ou em quantas camadas essas ocorrem. Logo, as implicações aqui levantadas só podem ser consideradas para esses níveis de ocorrência.

Para trabalhos futuros sugere-se um estudo de bioestratigrafia de detalhe mediante o levantamento de seções geológicas no Membro Crato, a fim de entender o ordenamento cronológico dos eventos paleontológicos ocorridos durante a deposição desta unidade. Ainda nesse viés, se possível for o conhecimento do posicionamento estratigráfico dos fósseis, pode-se utilizar outras técnicas, como análises químicas e isotópicas, para testar as interpretações já existentes ou obter novos indícios para as questões paleoambientais.

REFERÊNCIAS

- ASSINE, M.L. 1990. **Sedimentação e Tectônica da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil**. Rio Claro. 124 p. (Dissertação de Mestrado, IGCE/UNESP).
- ASSINE, M.L. 1992. Análise estratigráfica da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**. São Paulo Vol. 22(3):p. 289-300.
- ASSINE, M. L. 1994. Paleocorrentes e Paleogeografia na bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. **Rev. Bras. de Geoc.**, 4:223-232.
- ASSINE, M. L. Bacia do Araripe. In: **Boletim de Geociências da Petrobrás**, v. 15, n. 2, p. 371-389, 2007.
- BARBER-JAMES, H. M. ; GATTOLLIAT, J.; SARTORI, M.& HUBBARD, M. 2008. **Global diversity of mayflies (Ephemeroptera, Insecta) in freshwater**. *Hydrobiologia* 595: 339-350.
- BERTINI, R. J & GOBBO, S. R.. **Tecidos moles (não-resistentes): Como se fossilizam?**. *TerraeDidatica (Impresso)*, v. 10, p. 2-13, 2013.
- BEURLIN, K. 1962. A geologia da Chapada do Araripe. **An. Acad. bras.Cienc.**, 34(3):365-370.
- BEURLIN, K. 1963. Geologia e estratigrafia da Chapada do Araripe. In: CONOR. BRAS. GEOL., 17. Recife, 1963. Anais... Recife, SBG/SUDENE. 47 p. (Suplemento).
- BEURLIN, K. 1971. As Condições Ecológicas e Faciológicas da Formação Santana na Chapada do Araripe (Nordeste do Brasil). **Anais Acad. Bras. Ciências**. Rio de Janeiro. 43 (supl): 411-415
- BIASI, C. *et al.* **Biomonitoramento das águas pelo uso de macroinvertebrados bentônicos: oito anos de estudos em riachos da região do Alto Uruguai (RS)**. *Perspectiva, Erechim*. v. 34, n. 125, p. 67-77, março/2010.
- BISPO, P. C. & CRISCI-BISPO, V. L. 2006. Ephemeroptera. P. 55-59. In: COSTA, C.; Ide, S.; SIMONKA. (Eds.) **Insetos Imaturos Metamorfose e Identificação**.
- BRAUN, O. P. G. 1966. **Estratigrafia dos Sedimentos da parte interior da Região Nordeste do Brasil (bacias de Tucano-Jatobá, Mirandiba e Araripe)**. Dep. Nac. Prod. Min. Bol nº 236, 75p.
- BUSS, F. D. *et al.* **Bases conceituais para a aplicação de biomonitoramento em programas de avaliação da qualidade da água de rios**. *Caderno Saúde Pública*, Rio de Janeiro, v. 19, n. 2 p.465-473, mar/abr, 2003.
- BOTTJER, D. J.; W. ETTER; J. W. HAGADORN & C. M. TANG. 2002. Fossil- Lagerstätten: jewels of the fossil record. In: BOTTJER, D. J. (ed) **Exceptional fossil preservation: a unique view on the evolution of marine life**, 1-10.

- CAMPOS, D.A. & KELLNER, A.W.A. 1985. Panorama of the flying reptiles study in Brazil and South America. **An. Acad. bras. Cienc.**, 57(4):453-466.
- CASTRO, D.L. & CASTELO BRANCO, R.M.G. Caracterização da arquitetura interna das bacias do vale do Cariri (NE do Brasil) com base em modelagem gravimétrica 3-D. **Brazilian Journal of Geophysics**, v. 17, n. 2/3, p. 129-144, 1999.
- CHAGAS, D. B. **Litoestratigrafia da Bacia do Araripe: reavaliação e propostas para revisão**. 2006. 112 f. il. Tese (Mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2006.
- COSTA, J.M.; L.O.I. SOUZA & B.B. OLDRINI. 2004. **Chave para identificação das famílias e gêneros das larvas conhecidas de Odonata do Brasil: comentários e registros bibliográficos (Insecta, Odonata)**. Publicações Avulsas do Museu Nacional 99: 1-44.
- CORBET, P.S. 1980. **Biology of Odonata**. **Annual Review of Entomology**, [S 1], v. 25, p. 189- 217.
- DAVIES, D.A.L. & P. TOBIN. 1984. **The dragonflies of the world: a systematic list of the extant species of Odonata. Vol. 1. Anisoptera. Rapid communications (Supplements)**. Utrecht: Societas Internationalis Odonatologica. 3:ix+127 p.
- DOMÍNGUEZ, E., M.D. HUBBARD & W.L. PETERS. 1992. **Clave para ninfas y adultos de las familias y géneros de Ephemeroptera (Insecta) sudamericanos. Biología Acuática**. No 16, Instituto de Limnología “Dr. Raul A. Ringuelet” (UNLP-CONICET) La Plata, Argentina.
- EDMUNDS, G. F., JR. 1975. **Phylogenetic biogeography of mayflies**. **Ann. Missouri Bot. Gard.** 62: 251-263.
- ESTEVEZ, A. F. **Fundamentos de Limnologia**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Ed. Interciência, 1998, p. 1-22, 103- 112, 485- 504.
- FERREIRA-PERUQUETTI, P. S. 2004. **Odonata (libélulas) do município de Luís Antônio, São Paulo, Brasil: Relação com o uso do solo e riqueza faunística**. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, SP.
- FINK, T. J.; SOLDAN, T.; PETERS, J. G. & PETERS W. L. 1991. The reproductive life history of predacious, sand-burrowing mayfly *Dolania Americana* (Ephemeroptera: Behningiidae) and comparisons with other mayflies. **Canadian Journal of Zoology** 69: 1083-1093.
- GARCIA, A. J. V. & WILBERT, A. Paleogeographic evolution of Mesozoic pre-rift sequences in coastal and interior basins of northeastern Brazil. In: EMBRY, A. F.; BEAUCHAMPS, B.; GLASS, D. J. (Ed.) **Pangea: global environments and resources**. Calgary: Canadian Society of Petroleum Geologists, 1995, p. 123-130. (CSPG. Memoir 17).
- GASPARY, J. & ANJOS, N. F. R. 1964. **Estudo Hidrogeológico de Juazeiro do Norte, Ceará**. SUDENE, Série Hidrogeologia, Recife, boletim 3, 25p.

- GILLER P. S. & MALMQVIST, B. 1998. **The Biology of Streams and Rivers**. Biology of Habitat, Oxford, Oxford University Press. VIII+296.
- GONÇALVES, R. C. 2012. **Larvas de Odonata como bioindicadores de qualidade ambiental de cursos d'água no cerrado**. Uberlândia.
- GRIMALDI, D. A., editor. 1990. **Insects from the Santana Formation, Lower Cretaceous, of Brazil**. Bulletin of the American Museum of Natural History 195:1–191.
- HASHIMOTO, A. T.; APPI, C. J.; SOLDAN, A. L.; Cerqueira, J. R. 1987. O Neo-Alagoas nas Bacias do Ceará, Araripe e Potiguar (Brasil): Caracterização Estratigráfica e Paleoambiental. **Rev. Bras. Geoc.** 17(2):118-122.
- HEIMHOFER, *et al.* Deciphering the depositional environment of the laminated Cratofossil beds (Early Cretaceous, Araripe Basin, North-eastern Brazil). **Sedimentology**, 2010, vol. 57, no. 2, p. 677-694
- HENRIQUES, M. H. P.; REIS, R. P. B.; FERNANDEZ, A. C. C. S.; SRIVASTAVA, N. K. & CARVALHO, I. S. Caracterização Tafonomica das Associações registradas de Dastilbesp. Do Membro Crato (Formação Santana; Bacia do Araripe – NE do Brasil. Cretáceo). In: Congresso Nacional de Geologia, 5, 1998, Lisboa, **Resumos Alargados**, Lisboa. 84 (1): 207-205. 1998.
- JARDIM DE SÁ, E. F., SOUSA, D. C.; AQUINO, M. M. SCHERER, C. M. S; CÓRDOBA, V. C. C; ALVES DA SILVA, F. C. 2008. **A Tectonossequência Rifte na Bacia do Araripe, NE do Brasil**. XXIII Simp. Geol. Nordeste, Bol. Anais, Fortaleza.
- LEONARDI, G. & BORGOMANERO, G. 1981. Sobre uma possível ocorrência de Omithischia na Formação Santana, Chapada do Araripe (Ceará). **Rev. Bras. Geoc.**, 11:1-4.
- LIMA, M.R. 1978. O paleoambiente deposicional da Formação Santana (Grupo Araripe) segundo evidências palinológicas. In: CONOR. BRAS. GEOL., 30. Recife, 1978. **Anais...** Recife, SBG. v. 2, p. 970-974.
- MABESOONE, J.M. & TINOCO, LM. 1973. **Paleoecology of Aptian Santana Formation (Northeastern Brazil)**. Palaeogeogr., Palaeoclim., Paleaeocol, 14(2):87-118.
- MAISEY, J. G. 1991. **Santana Fossils: an illustrated atlas**. T.H.F. 459 p.
- MARTILL, D. M. 1993. **Fossils of the Santana and Crato Formations, Brazil**. The Paleontological Association; (London) Field Guides to Fossils.n.5, 159p.
- MARTINS-NETO, R. G. & GALLEGO, O. F. 2006. **“Death Behaviour” (Thanatoethology new term and concept): A Taphonomic Analysis providing possible paleoethologic inferences – special cases from Arthropods of the Santana Formation (Lower Cretaceous, Northeast Brazil)**. Geociências, 25(2): 241-254
- McCAFFERTY, W. P., & G. F. EDMUNDS, Jr. 1979. **The higher classification of the Ephemeroptera and its evolutionary basis**. Ann. Entomol. Soc. Am. 72: 5-12.

- MONTEIRO, R. T.; OLIVEIRA, G. L.; GODOY, S. B. **Biomonitoramento da qualidade de água utilizando macroinvertebrados bentônicos: adaptação do índice biótico BMWP à Bacia do rio meia Ponte- GO.** O ecol. Bras. v. 12, n. 3, p. 553- 563, 2008.
- NEUMANN, V. H. M. L. 1999. **Estratigrafía, Sedimentología, Geoquímica y Diagénesis de los Sistemas Lacustres Aptienses-Albienses de la Cuenca de Araripe (Noreste de Brasil).** Tese de Doutorado. Universidade de Barcelona. Barcelona. 244p.
- NEUMANN, V. H. & CABRERA, L. 1999. **Una Nueva Propuesta Estratigráfica para la Tectonosecuencia post-rifte de la Cuenca de Araripe, Noreste de Brasil.** In: Bol. 5º Simpósio Sobre o Cretáceo do Brasil e 1º Simpósio Sobre el Cretácico de América Del Sur. Serra Negra-SP. UNESP, Rio Claro. Pg. 279-285.
- NEUMANN, V. H & CABRERA, L. 2002. Características Hidrológicas Gerais, Mudanças de Salinidade e Caráter Endorréico do Sistema Lacustre do Cretáceo do Araripe, NE Brasil. **Revista de Geologia**, Recife, vol. 15, p. 43 a 53, 2002.
- POLEGATTO & ZAMBONI, J.C. 2001. **Inferences regarding the feeding behavior and morphoecological patterns of fossil mayfly nymphs (Insecta Ephemeroptera) from the Lower Cretaceous Santana Formation of northeastern Brazil.** Acta Geológica Leopoldensia 24(52/53): 145-160.
- PONTE, F. C. & APPI, C.J. 1990. **Proposta de revisão da coluna litoestratigráfica da Bacia do Araripe.** In: CONOR. BRAS. GEOL., 36. Natal, 1990. Anais... Natal, SBG. v. 1. p. 211-226.
- PONTE, F. C. 1996. **Arcabouço Estrutural da Bacia do Araripe.** In: Bol. 4º Simpósio Sobre o Cretáceo do Brasil. Águas de São Pedro-SP. UNESP, Rio Claro. Pg. 169-177.
- PONTE, F. C. & PONTE FILHO, F. C. 1996. **Evolução Tectônica e Classificação da Bacia do Araripe.** In: Bol. 4º Simpósio Sobre o Cretáceo do Brasil. Águas de São Pedro-SP. UNESP, Rio Claro. Pg. 123-133.
- PRICE, L.1.1973. Quelônio Amphychelidia no Cretáceo Inferior do Nordeste do Brasil. **Rev. Bras. Geoc.**, 3(2):84-95.
- RAND, H.M. & MANSO, V.A.V. 1984. Levantamento gravimétrico e magnetométrico da Bacia do Araripe. In: CONOR. BRAS. GEOL., 33. Rio de Janeiro, 1984. **Anais...** Rio de Janeiro, SBG. v. 4, p. 2011-2016.
- ROLDÁN-PÉREZ, G. 1988. **Guía para el estudio de los macroinvertebrados acuáticos del Departamento de Antioquia.** Fondo para la Protección del Medio Ambiente “José Celestino Mutis”, Medellín, Colombia.
- ROSENBERG, D.M.R & RESH, V.H. (1993). **Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates.** Chapman & Hall, London, 486 p.
- SALES, A. M. F. 2005. **Análise tafonômica das ocorrências fossilíferas de macroinvertebrados do Membro Romualdo (Albiano) da Formação Santana, Bacia do**

Araripe, NE do Brasil: significado estratigráfico e paleoambiental. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

SANTOS- NETO, C.R. *et al.* **Diversidade de Larvas de Leptophlebiidae (Insecta: Ephemeroptera) da Reserva Florestal Adolpho Ducke, Manaus, AM.** EntomoBrasilis, v. 1, n. 1, p. 1-5, 2008.

SANTOS, F. H. & AZEVEDO, J. M. **Evolução Diagenética e Singenética de uma seção do Membro Crato (Cretáceo Inferior) da Bacia do Araripe em Nova Olinda-CE.** Relatório de Graduação. Fortaleza: Universidade Federal do Ceará, 2014.

SEILACHER, A. **Begriff und Bedeutung Der Fossil-Lagerstätten.** Jahrbuch für Paleontologie. V.1, p. 34-39. 1970.

SILVA, A. L. 2003. **Estratigrafia Física e Deformação do Sistema Lacustre Carbonático (Aptiano-Albiano) da Bacia do Araripe em Afloramentos Seleccionados.** 2003. 118 f. Dissertação (Mestrado em Geologia). Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2003.

SILVA, A.L. & NEUMANN, V.H. 2002. **Estratigrafia Física e Deformação do Sistema Lacustre Carbonático Aptiano-Albiano da Bacia do Araripe.** Boletim do 2º Workshop PRH-ANP/MCT dos Programas de Formação de Recursos Humanos para o Setor de Petróleo e Gás da UFPE. Recife. UFPE. Pg 15-18.

SILVA SANTOS, R. & VALENÇA, J.G. 1968. A Formação Santana e sua paleoictiofauna. **An. Acad. bras. Ciênc.**, 40 (3): 339-360

SIMÕES, M.G.; HOLTZ, M. Tafonomia: processos e ambientes de fossilização. In: Carvalho, Ismar de Souza. (Ed.). **Paleontologia.** Rio de Janeiro: Interciência, 2004, v.1, n.3, cap.3, p. 19-45.

SINITSHENKOVA, N. D. 1975. **Mayfly larvae of the family Hexagenitidae.** Paleontol. Zh. 1975(1): 82-87. [in Russian]

SMALL, H. I., 1913. **Geologia e Suprimento de Água Subterrânea no Piauí e Parte do Ceará.** Recife, Insp. Obras Contra Secas. 80 p. (Publicação 25).

SOUZA, L. O. I.; COSTA, J. M. ; OLDRINI, B. B. 2007. Odonata. Guia on-line: Identificação de larvas de Insetos Aquáticos do Estado de São Paulo. http://sites.ffclrp.usp.br/aguadoce/Guia_online/index.htm.

VÁSQUEZ, D., R.W. FLOWERS & M. SPRINGER. 2009. **Life history of five small minnow mayflies (Ephemeroptera: Baetidae) in a small tropical stream on the Caribbean slope of Costa Rica.** Aquat.Insect.31(S1): 319-322.

VIANA, M. S. S. & CAVALCANTI, V. M. M. 1991. Sobre a Estratigrafia da Formação Santana, Bacia do Araripe. **Revista de Geologia.** UFC. Fortaleza. 4:51-60.

VIANA, M. S. S. & NEUMANN, V. H. L. 2002. Membro Crato da Formação Santana, Chapada do Araripe, CE. Riquíssimo registro de fauna e flora do Cretáceo. SIGEP 5, Sítios

Geológicos e Paleontológicos do Brasil. <http://www.unb.br/ig/sigep/sítios.htm#5>. Pp. 113-120.

WETZEL, R.G. **Limnology**. Philadelphia: Saunders College, 1983, 767 p.

ANEXO

Lista Tombo do Material Utilizado

Numeração: CRT/LP-UFC*	Fóssil	Família
1335	Odonata (Ninfa)	Gomphidae
1319	Odonata (Ninfa)	Gomphidae
1330	Odonata (Ninfa)	Gomphidae
1331	Odonata (Ninfa)	Gomphidae
1323	Odonata (Ninfa)	Gomphidae
1329	Odonata (Ninfa)	Gomphidae
1351	Odonata (Ninfa)	Gomphidae
1242	Odonata (Ninfa)	Gomphidae
1452	Odonata (Ninfa)	Gomphidae
1464	Odonata (Ninfa)	Gomphidae
1328	Odonata (Ninfa)	Pseudomacromidae
1190 a/b	Odonata (Ninfa)	Pseudomacromidae
1315	Odonata (Ninfa)	Pseudomacromidae
1313	Odonata (Ninfa)	-
1311	Odonata (Ninfa)	-
1196	Odonata (Ninfa)	-
1260 a/b	Odonata (Ninfa)	-
1316	Ephemeroptera (Ninfa)	Hexagenitidae
1334	Ephemeroptera (Ninfa)	Hexagenitidae
1322	Ephemeroptera (Ninfa)	Hexagenitidae
1325	Ephemeroptera (Ninfa)	Hexagenitidae
1324	Ephemeroptera (Ninfa)	Hexagenitidae
1317	Ephemeroptera (Ninfa)	Hexagenitidae
1321 a/b	Ephemeroptera (Ninfa)	Hexagenitidae
1327	Ephemeroptera (Ninfa)	Hexagenitidae
1314	Ephemeroptera (Ninfa)	Hexagenitidae
1318	Ephemeroptera (Ninfa)	Hexagenitidae
1181	Ephemeroptera (Ninfa)	Hexagenitidae
1177	Ephemeroptera (Ninfa)	Hexagenitidae
1332	Ephemeroptera (Ninfa)	Hexagenitidae
1199	Ephemeroptera (Ninfa)	Siphonuridae
1312	Ephemeroptera (Ninfa)	Siphonuridae
1177	Ephemeroptera (Ninfa)	-
914	Ícnofóssil - Bioturbação	-

*Coleção Reserva Técnica/Laboratório de Paleontologia da UFC.