



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓSGRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS

Ana Paula dos Santos Bruno

**PALEONTOLOGIA DA BACIA DO ARARIPE,
NORDESTE DO BRASIL: HISTÓRICO,
EVIDÊNCIAS MARINHAS E UMA
NOVA ESPÉCIE DE BIVÁLVIOS**

**Tese de Doutorado
Recife, julho de 2009**

ANA PAULA DOS SANTOS BRUNO
Geógrafa, Universidade Federal de Pernambuco, 2002
Mestra em Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, 2005

**PALEONTOLOGIA DA BACIA DO ARARIPE, NORDESTE DO
BRASIL: HISTÓRICO, EVIDÊNCIAS MARINHAS E
UMA NOVA ESPÉCIE DE BIVÁLVIO**

Tese de doutoramento apresentada à Pósgraduação em Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, orientada pelos professores Alcides Nóbrega Sial e Maria Helena Hessel, como um dos requisitos para obtenção do grau de doutora em Geociências, na área de concentração Geologia Sedimentar e Ambiental.

Recife, julho de 2009

B898p

Bruno, Ana Paula dos Santos

Paleontologia da Bacia do Araripe, nordeste do Brasil: histórico, evidências marinhas e uma nova espécie de Biválvio / Ana Paula dos Santos Bruno. – Recife: O Autor, 2009.
vi, 76 f.; il., gráfs., tabs.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco.
CTG. Programa de Pós-Graduação em Geociências, 2009.

Inclui Referências bibliográficas e Anexos.

1. Geociências. 2. História da Paleontologia. 3. Bacia do Araripe. 4. Formação Santana. 5. Ambiente Marinho. 6. Paleoecologia. 7. Isótopos Estáveis C e O. I. Título.

UFPE

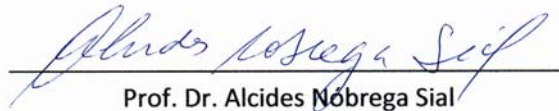
551 CDD (22. ed.)

BCTG/2009-197

**PALEONTOLOGIA DA BACIA DO ARARIPE, NORDESTE DO
BRASIL: HISTÓRICO, EVIDÊNCIAS MARINHAS E
UMA NOVA ESPÉCIE DE BIVÁLVIÓ**

ANA PAULA DOS SANTOS BRUNO

Aprovada:



Prof. Dr. Alcides Móbrega Sial

24/07/2009



Profa. Dra. Valdevez Pinto Ferreira

24/07/2009



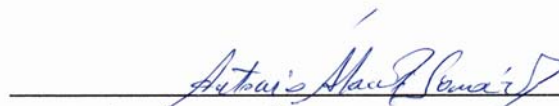
Profa. Dra. Maria Helena Ribeiro Hessel

24/07/2009



Prof. Dr. Narendra Kumar Srivastava

24/07/2009



Prof. Dr. Antonio Álamo Feitosa Saraiva

24/07/2009

AGRADECIMENTOS

Eu gostaria de expressar a minha gratidão aos meus amigos Maria Valberlândia, Maurílio de Moraes e Wanessa Marques, pela presteza e companheirismo durante todos esses anos. Agradeço ao meu companheiro, Ronaldo Matias, pela paciência e compreensão. Sou grata aos professores e funcionários do DGEO pelo apoio que me deram na realização dos trabalhos, e em especial a Elizabeth Galdino, Gorki Mariano, Lúcia Valença, Mário Filho, Sônia Agostinho e Virgínio Neumann. Agradeço também aos colegas do NEG-LABISE, pela realização das análises laboratoriais e aos meus orientadores, professor Alcides Nóbrega Sial pelo acolhimento e interesse no projeto, e professora Maria Helena Hessel pelo incentivo, dedicação e amizade. Por fim meus sinceros agradecimentos ao professor Narendra Sirivastava pelas sugestões e a todos que não foram citados, mas que de alguma forma contribuíram para a realização desta tese.

RESUMO

Neste trabalho é apresentada a evolução do conhecimento paleontológico e as evidências até hoje registradas de paleoambientes marinhos na Bacia do Araripe, nordeste do Brasil, bem como a descrição e análises de isótopos de C e O de uma nova espécie de molusco bivalvio, objetivando contribuir para o conhecimento da paleomalacofauna e do paleoambiente da Formação Santana (Eocretáceo). No primeiro trabalho procurou-se reconstituir a história dos primeiros 150 anos do conhecimento paleontológico da Bacia do Araripe e em qual cenário da cultura geocientífica nacional ocorreram as diversas etapas deste desenvolvimento, através da análise de publicações que mencionam sua paleobiota e de relatos históricos. No trabalho seguinte foi realizada uma análise crítica da biota possivelmente marinha dos depósitos cretáceos da Bacia do Araripe registrada na literatura, objetivando oferecer uma visão integrada da ocorrência de organismos indubitavelmente marinhos na bacia, como subsídio para direcionar futuras investigações paleontológicas. Há citações de formas marinhas apenas na Formação Santana (membros Crato e Romualdo), confirmando-se como realmente marinhos somente alguns organismos deste último membro estratigráfico, ainda que mais investigações sejam necessárias para elucidar esta questão. Dessa forma, no último trabalho é efetuado um estudo taxonômico e geoquímico de uma nova espécie de bivalvio baquevelídeo proveniente dos estratos mais superiores da Formação Santana (membro Romualdo, *Pseudoptera beurleni* n.sp.), que revelou ser um habitante de ambientes mixohalinos rasos e bem oxigenados. Pertencendo a um gênero predominantemente tethiano, sem ocorrências assinaladas no Atlântico Sul, *P. beurleni* possivelmente habitou uma extensão rasa do mar de Tethys, registrada pela deposição de carbonatos de mesma idade nas bacias do Araripe (Formação Santana) e Grajaú (Formação Codó).

Palavras-chave: História da Paleontologia, Bacia do Araripe, Formação Santana, ambiente marinho, paleoecologia, isótopos estáveis de C e O.

ABSTRACT

This study presents the evolution of paleontological knowledge and date evidence to date on marine paleoenvironments in the Araripe Basin, northeastern Brazil. It is also description and analysis of isotopes of C and O of a new species of bivalve mollusk as a contribution on knowledge of mollusk fauna and paleoenvironment of the Santana Formation (Early Cretaceous). In the first study aimed to reconstruct the history of the first 150 years of paleontological knowledge Araripe Basin and in which scenario the national geoscience culture occurred the various stages of development, through the analysis of publications that mention your paleobiota and historical accounts. The work following is carried a critical analysis out of the possible biota marine of Cretaceous deposits of the Araripe Basin reported in the literature. This aims to offer an integrated view of the occurrence of marine forms in the basin for future paleontology investigations. There are records of marine forms in only the Santana Formations (Crato and Romualdo member) with confirmation of some organisms as marine only in the latter member. However, more studies are necessary to clarify this question. Thus, in the latter work a taxonomic and geochemical study is carried out on a new species of bivalve Bakevellidae from the upper strata of the Santana Formation (Romualdo member, *Pseudoptera beurleni* n.sp.). It inhabited shallow, well-oxygenated mixohaline environments and belongs to a predominantly tethyan genus. Since there are no significant occurrence in the South Atlantic, *P. beurleni* may have inhabited a shallow extension of the Tethys Sea. This is registered by deposits of carbonates of the same age in the Araripe Basin (Romualdo Formation) and Grajaú (Codó Formation).

Key words: Paleontology History, Araripe Basin, Santana Formation, marine environment, paleoecology, C and O stable isotopes.

SUMÁRIO

| | |
|-------------------------------|----|
| RESUMO | v |
| ABSTRACT | vi |
| 1. INTRODUÇÃO | 2 |
| 2. OBJETIVOS | 4 |
| 3. MÉTODOS E RESULTADOS | 4 |
| 3.1. PRIMEIRO ARTIGO | 6 |
| 3.2. SEGUNDO ARTIGO | 23 |
| 3.3. TERCEIRO ARTIGO | 44 |
| 4. CONCLUSÕES GERAIS | 72 |
| ANEXOS | 73 |

1. INTRODUÇÃO

Sob a ótica paleontológica, a Bacia do Araripe, nordeste do Brasil, tem se destacado dentre as muitas bacias sedimentares do nordeste brasileiro e do mundo especialmente pela inusitada e abundante ocorrência de fósseis cretáceos em seus estratos, de excepcional preservação. Deste modo, há 200 anos esta bacia vem sendo estudada por geocientistas dos mais diversos continentes, o que é comprovado por centenas de trabalhos publicados. Porém, uma visão global e sistemática de como se desenvolveu o conhecimento da paleontologia da Bacia do Araripe, assim como se encontra o estado-da-arte do conhecimento de cada um dos principais grupos taxonômicos ainda não foi efetuado.

Reconstituir a história e evolução do conhecimento paleontológico de uma bacia sedimentar requer um estudo exaustivo dos trabalhos sobre ela publicados. No caso da Bacia do Araripe, estes trabalhos somam mais de 1500, vindos a lume desde 1810, com grande parte deles publicados do exterior. Para realizar tal intento, foram necessárias visitas a bibliotecas especializadas, museus, universidades, *web sites* e experientes profissionais. Estes foram entrevistados para esclarecer dúvidas a cerca de fatos históricos, que auxiliam no entendimento da variação de produtividade científica observada nos primeiros 150 anos de estudos paleontológicos sobre a Bacia do Araripe. O exame de publicações de cunho histórico também se tornou necessário para explicar variações na quantidade e qualidade da produção, assim como a maior ou menor influência de autores estrangeiros. Este levantamento bibliográfico e o exame de seu conteúdo visaram também avaliar quais os grupos mais carentes de estudo, como, por exemplo, invertebrados e palinórfos, assim como os fósseis de algumas unidades estratigráficas, como nas formações Brejo Santo, Missão Velha e Rio da Batateira. Este trabalho é parte de um livro que está sendo editado pela Secretaria da Cultura do Estado do Ceará, em co-autoria com Maria Helena Hessel e Plácido Cidade Nuvens, incluindo uma síntese da geologia e paleontologia da Bacia do Araripe, uma síntese histórica do desenvolvimento da Paleontologia da bacia até 2008, e uma listagem bibliográfica completa dos trabalhos publicados nos últimos 200 anos sobre este tema. A coluna estratigráfica da Bacia do Araripe nele apresentada é a que se encontra na Figura 1.

No trabalho de revisão histórica da paleontologia da Bacia do Araripe verificou-se que uma das principais questões ainda não resolvidas é o paleoambiente formador de algumas unidades estratigráficas cretáceas, especialmente a Formações Santana (*sensu* Assine, 2008), justamente a mais fossilífera. Assim, um segundo trabalho foi realizado com o levantamento detalhado de todos os organismos possivelmente marinhos já relatados na literatura para identificar que táxons poderiam efetivamente auxiliar na interpretação paleoecológica da Bacia do Araripe. Na paleobiota desta unidade se destaca a presença de peixes, organismos

tipicamente aquáticos e nectônicos, que em princípio poderiam fornecer uma solução deste enigma. Entretanto, paleoictiólogos, com seus estudos morfo-taxonômicos e filogenéticos, não têm chegado a consenso sobre esta questão. Outros organismos muito abundantes nesta mesma formação, como insetos e pterossauros, são formas voadoras, que pouco podem contribuir para o entendimento das características de um ambiente aquático. Vegetais, que são organismos predominantemente terrestres, também pouco podem contribuir para esclarecer paleoambientes aquáticos. Conseqüentemente, o estudo da fauna de invertebrados bentônicos parece guardar a solução deste instigante tema.

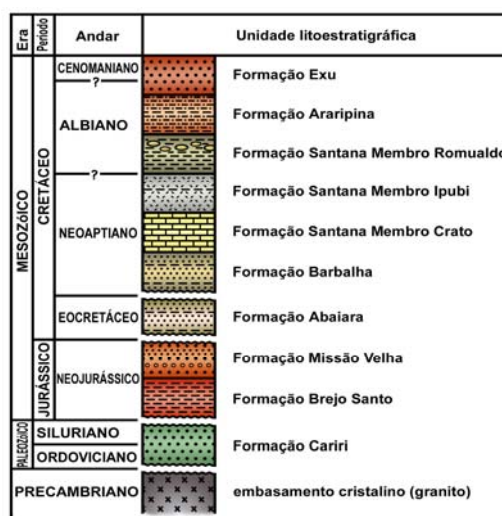


Figura 1. Carta estratigráfica da Bacia do Araripe mostrando quatro seqüências sedimentares separadas por discordâncias e depositadas acima do embasamento cristalino (de Hessel, Bruno & Nuvens, no prelo).

Considerando a existência de diversos moluscos ainda pouco estudados na Formação Santana, cuja coleta é de fácil acesso, foi iniciado o estudo taxonômico desta malacofauna. O exame do material coletado nas camadas mais superiores desta unidade revelou representantes de um gênero de bivalvío baquevelídeo cretáceo bem conhecido e de ampla distribuição geográfica, o que permitiu um amplo estudo comparativo. Entretanto, por se tratar de uma nova espécie deste gênero, foram efetuadas análises isotópicas nas conchas e na rocha encaixante para determinar o grau de salinidade do ambiente de vida destes organismos bentônicos, revelando-se um excelente método auxiliar para a caracterização paleoambiental. Naturalmente é necessária a investigação de outras formas de invertebrados bentônicos da Bacia do Araripe para que seja possível reconstruir com mais exatidão o paleoambiente aquático desta bacia.

O exame dos estudos já efetuados na Bacia do Araripe mostra que ela é ainda uma área extremamente estimulante para estudos paleontológicos, estratigráficos, sedimentológicos e geoquímicos que, transdisciplinarmente, poderão contribuir para elucidar questões paleoambientais de um tempo de aquecimento global ocorrido no passado, auxiliando a entender o que observamos em nosso planeta no presente.

2. OBJETIVOS

Objetivando subsidiar questões paleontológicas e paleoecológicas ainda controversas da Bacia do Araripe, foi desenvolvida a presente tese, na qual é apresentada a evolução do conhecimento paleontológico nos 150 anos iniciais de sua investigação, as evidências paleontológicas indicadoras de paleoambientes marinhos, e a descrição taxonômica e interpretação paleoecológica com o auxílio de análises isotópicas de C e O de um novo molusco bivalvío das camadas mais superiores da Formação Santana.

3. MÉTODOS E RESULTADOS

Para a realização da presente tese, e devido ao caráter singular dos três trabalhos realizados, os métodos aplicados podem ser agrupados da seguinte forma:

- pesquisa bibliográfica
- trabalhos de campo
- análises de laboratório.

A pesquisa bibliográfica foi realizada através da visita a 14 bibliotecas especializadas de diversos Estados brasileiros, existentes no:

- Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE, Recife)
- Laboratório de Paleontologia da UFPE (Recife)
- Departamento Nacional de Produção Mineral (Recife)
- Fundação Joaquim Nabuco (Recife)
- Instituto Histórico do Ceará (Fortaleza)
- Departamento Nacional de Produção Mineral (Crato)
- Museu de Paleontologia da URCA em Santana do Cariri
- Universidade Federal do Rio Grande do Norte (Natal)
- Instituto Histórico e Geográfico do Rio Grande do Norte (Natal)
- Museu Câmara Cascudo (Natal)
- Universidade Federal de Sergipe (São Cristóvão)
- Fundação Paleontologia Phoenix (Aracaju)
- Departamento Nacional de Produção Mineral (Rio de Janeiro)
- Museu Nacional (Rio de Janeiro)
- Serviço Geológico Nacional (Rio de Janeiro).

Também foram consultadas algumas bibliotecas particulares, como a dos professores Alcides Nóbrega Sial (Recife), Gorki Mariano (Recife), Lucia Maria Mafra Valença (Recife), Maria de Fátima Santos (Natal), Maria Helena Hessel (Aracaju), Plácido Cidade Nuvens

(Santana do Cariri), Sonia Maria Agostinho (Recife) e Virgínio Henrique de Miranda Lopes Neumann (Recife).

Centenas de *web sites* foram visitadas com o objetivo de elucidar questões biográficas de destacadas personalidades da Paleontologia da Bacia do Araripe, assim como pequenas dúvidas sobre citações bibliográficas. Alguns dos *webs sites* mais consultados foram:

- www.acd.ufrj.br
- www.amhn.org
- www.britannica.com
- www.cfz.org.uk
- www.faperj.br
- www.fu-berlin.de
- www.inova.unicamp.br
- www.naturkundemuseum-bw.de
- www.palarch.nl
- www.port.ac.uk
- www.usp.br
- www.wikipedia.com

Foram realizados quatro trabalhos de campo para o reconhecimento das unidades estratigráficas fossilíferas em sua forma de exposição, litologia, estruturas sedimentares, tafonomia dos fósseis e outras feições geológicas que poderiam auxiliar no entendimento da geologia, paleontologia e paleoecologia da Bacia do Araripe. Assim, foram efetuados trabalhos de campo em:

- de 24 a 31 de setembro de 2006: reconhecimento geral das formações fossilíferas cretáceas da bacia, tanto na parte leste como oeste, especialmente nos municípios de Araripina, Rancharia, Ipubi, Exu, Nova Olinda, Santana do Cariri, Crato, Missão Velha, Barbalha, Porteiras e Jardim;
- de 01 a 10 de agosto de 2007: reconhecimento das ocorrências aflorantes de calcários e margas com bivalvíos e gastrópodos na porção leste da bacia, nos municípios de Santana do Cariri, Crato, Barbalha e Jardim;
- de 01 a 07 de fevereiro de 2008: coleta sistemática de bivalvíos em sítios selecionados das formações Rio da Batateira e Romualdo nos municípios do Crato e Jardim, respectivamente;
- de 26 a 31 de agosto de 2008: exame e comparação de exemplares de bivalvíos existentes no Museu de Paleontologia da URCA em Santana do Cariri, Geopark Araripe e Departamento Nacional de Produção Mineral do Crato, e solicitação de material por empréstimo.

Nestes trabalhos de campo foram coletadas cerca de duas centenas de fósseis de moluscos para posterior identificação e análise. Todas as localidades de coleta foram fotografadas, georeferenciadas e descritas.

Em laboratório, os fósseis coletados foram preparados com broca vibradora convencional e estiletas de aço, sendo posteriormente medidos com paquímetro de aço, fotografados (inclusive ao microscópio) e reconstituídos graficamente. O material descrito está depositado no Museu Paleontologia da URCA em Santana do Cariri, Ceará.

As análises isotópicas de carbono e de oxigênio em dez amostras litológicas e nove fragmentos de concha de diferentes indivíduos foram realizadas em espectrômetro de massa SIRA II do Laboratório de Isótopos Estáveis (LABISE) da Universidade Federal de Pernambuco através do método convencional de digestão (McCrea, 1950). Para estimar a temperatura da água com a qual o carbonato se equilibrou isotopicamente foram adotadas as equações de Epstein *et al.* (1953; modificada por Craig, 1965) e de Horibe & Oba (1972).

Com a seqüência de trabalhos efetuados para a elaboração desta tese, podemos listar como principais resultados, os seguintes trabalhos publicados ou submetidos à publicação.

3.1. PRIMEIRO ARTIGO (SUBMETIDO AO EARTH SCIENCE HISTORY JOURNAL)

THE PALEONTOLOGICAL HISTORY OF THE ARARIPE BASIN, NORTHEAST OF BRAZIL, IN ITS FIRST 150 YEARS

ANA PAULA BRUNO¹ & MARIA HELENA HESSEL²

¹*Neg-Labise, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, apsbruno@yahoo.com.br*

²*Universidade Federal do Ceará, Campus Cariri, Juazeiro do Norte, CE, mhessel@gmail.com*

ABSTRACT

This study reconstructs the evolution of paleontological knowledge of the Araripe Basin, located in northeast of Brazil, during its first 150 years, using publications which mention its paleobiota between 1810 and 1959. In the 19th century, the vast majority of scientists who investigated the geological samples in this region reported the occurrence or the description of fishes. The most important researchers of that time were Jean Louis Rodolphe Agassiz and Sir Arthur Smith Woodward. Other Araripe fossils recorded in that century were the ostracods and the conchostraceans. In the first half of the 20th century, fish continued to be the main focus of paleontological investigations in the basin. In the 1950s, remnants from other groups of

organisms began to be recorded in the strata of the Araripe Basin, such as insects, crocodylomorphs and amber. In the 150 first years of fossil-knowledge in the Araripe Basin, most of the paleontological contributions came from foreign scientists, whereas sedimentary geology was mainly investigated by Brazilian geologists. However, in the 1950s paleobiota-knowledge of the Araripe Basin began to diversify with the greater participation of the Brazilian scientists.

Keywords: Araripe Basin, Ceará, History of Paleontology, Northeastern Brazil

3.1.1. INTRODUCTION

The Araripe Basin is the fossiliferous deposit with the most exceptional preserved forms of life that existed in Brazil around 100 million years ago. Its fossils are world renowned and sought after by innumerable paleontologists because they preserve, in rich detail and in three dimensions, organisms that have been flattened by the weight of the rocks in other parts of the world. It is the most extensive of the interior basins in the Brazilian northeast, with around 8000 km², located between the coordinates 38°30' and 40°50'W and 7°05' and 7°50'S, in the states of Ceará, Pernambuco and Piauí. It is composed of a sequence of predominantly Mesozoic sediments formed as a consequence of different geological events related to the rifting of the Gondwana continent and subsequent opening of the South Atlantic. The sedimentary layers that it is composed of are practically horizontal, with a slight dip to the west.

The sedimentary filling of the Araripe Basin occurred in four depositional sequences (Assine, 2008). The Paleozoic sequence (Ordovician-Silurian?) is represented by thick sandstone with conglomeratic levels from the Cariri Formation, remnants of extensive fluvial sedimentation in the Brazilian northeast during the Paleozoic.

The pre-rift sequence (Jurassic) is represented by marls and lacustrine clays with fish remnants from the Brejo Santo Formation and by sandstones and conglomerates with silicified trunks from the Missão Velha Formation. The syn-rift (Eocretaceous) sequence is represented by fine sandstones and siltstones from the Abaiara Formation, which records a deposition in floodplains, where ostracods and palynomorphs occur. The post-rift sequence has a portion dated as Aptian, represented by the Barbalha Formation, and another portion from the Albian to the Cenomanian, composed of the Santana, Araripina and Exu Formations. The deltaic fine-grained sandstones and shales of the Barbalha Formation preserved fish, mollusks, conchostraceans, palynomorphs and coprolites. The laminated limestones and shales from the base of the Santana Formation deposited in a lagunar environment contain remnants of fish, arthropods, algae, plants, amphibians, reptiles, pterosaurs and birds. Small crustaceans and mollusks, plants, stromatolites and coprolites occur in the dark shales interspersed with the evaporitic deposits from the Santana Formation. The sandstones and the marls with calcareous

concretions from the upper part of the Santana Formation contain fish, echinoids, mollusks, ostracods and plants. Clays and sandstones with echinoids make up the Araripina Formation and the reddish afossiliferous clay sandstones represent the Exu Formation.

The present day continents of Africa, South America, Antarctic and India were still part of the Gondwana when the Araripe Formation started to form. During the time between the Ordovician and the Eosilurian (?), in the region composed of basement granite rocks formed a low-lying area that was filled by clastic rocks of the Cariri Formation. Around 270 million years later (Neojurassic), the region once again became a low-lying area and was flooded, forming shallow lakes and swamps, as shown by the Brejo Santo Formation. Over the time, the rivers became larger and began to transport more clastic rocks from nearby hills, which were already covered by coniferous forests, depositing the Missão Velha Formation. The Gondwana began to fracture, but the Araripe region continued as a low-lying area, full of water and sediments brought by rivers, perhaps forming a delta, as recorded by the Abaiara Formation.

After around 10 million years (Aptian-Albian), when South America had already separated from Africa and the South Atlantic Ocean was being formed, once again the Araripe region remained sufficiently low for rivers to be carved out, as recorded by the Barbalha Formation. With the passage of time, floodplains with low vegetation and even a fresh water lake inhabited by small fishes, crustaceans and algae, with insects and pterosaurs flying overhead were formed. All this was recorded in the laminated limestones from the Santana Formation. The climate was hot and humid, but became gradually dryer, until the lake dried up, forming thick layers of gypsite, as recorded in Ipubi layers of the Santana Formation. Later the climate became milder and a coastal lagunar environment was formed with a number of marine and fluvial water inlets. From this era come the fish, crocodiles, turtles, pterosaurs and dinosaurs preserved today in calcareous concretions from the Santana Formation. Subsequently, all the region silted and dried up, as evidenced by the Arajara and Exu Formations.

3.1.2. MATERIALS AND METHODS

An exhaustive bibliographic review starting from the early 19th century to analyze the paleontological knowledge of the Cariri sub-basin revealed 126 titles referring to the paleontology, stratigraphy, sedimentology and related geological areas of the Araripe Basin up to the end of 1959, representing 150 years of paleontological research in this basin. This list does not include a description of maps and geological quadrangles, bibliographic references, daily newspaper articles, pamphlets, scientific journals and magazine supplements. Nor are non-published or restricted access work, such as short course notes, internal reports and corporate studies included. The vast majority of studies were examined in their original form.

A number of historical studies not directly related to the paleontology of the Araripe Basin were consulted to enrich the description of the historical moment or to fill in gaps in the available information. The main sources were: Nogueira (1888), Branner (1909), Gonsalves (1928), Iglesias (1943), Camargo Mendes (1945), Leonardos (1970, 1973), Nobre (1978), Fittkau (2001), Paiva (2002), Pinheiro & Lopes (2002, 2006), Lopes & Silva (2003), Figueirôa *et al.* (2004), Telles (2004) and Carvalho & Santos (2005).

3.1.3. PALEONTOLOGICAL HISTORY OF THE ARARIPE BASIN

All the geological history of the Araripe Basin was deduced by several scientists that investigated its rocks and fossils, and who continue to detail it and correct it through new studies and discoveries. Hundreds of scientific articles were published and translated into various languages. In the present work, we present the history of paleontological development in the Araripe Basin, emphasizing individuals who collaborated and who collaborate with their published studies in reconstructing the geological history of this important paleontological region of Brazil. This area has long been neglected, probably because it is located in the semi-arid hinterland of the northeast, far from large urban centers, renowned universities and research institutions.

In the 19th century, we found just over 30 published articles mentioning the Araripe Basin fossils, most of which are reports of visits to the plateau or of information transmitted orally by third parties. In 1846, the first geological map, elaborated by the Austrian geologist Franz Fötterle, was published in Vienna, with no formal designation of the Araripe plateau. The first Brazilian scientific journal, the *Archivos do Museu Nacional*, was founded in 1876. In the same year, the *Escola de Minas de Ouro Preto* was created, forming engineers who later contributed greatly to Brazilian geological knowledge, including that of the Araripe Basin.

The first half of the 20th century saw the emergence of descriptions and comparisons of the ichthyofauna and ostracofauna fossils of the Araripe Basin with fauna known in Europe and in North America. The first geological maps also date from this period. These maps include the Araripe area and all were created by foreigners. At this time, around twenty Brazilian geologists and engineers published observations on the sedimentology and stratigraphy of Araripe, perhaps stimulated by the creation of the Geological and Mineralogical Service of Brazil (1907), the Brazilian Academy of Sciences (1916), the National Department of Mineral Production (1933) and the Brazilian Society of Geology (1946). Shortly after, the National Research Council (CNPq, 1951) and the Brazilian Society of Paleontology (1958) were also created.

3.1.3.1. Pioneers of the 19th century

Lieutenant-Coronel and Rio de Janeiro-born naturalist João da Sylva Feijó was the first to record the fossils present in the Araripe Basin in “Introduction to a philosophical and political essay on the Ceará Captaincy to be used in its general history”, published by the Royal Press of Rio de Janeiro, in 1810. In this essay, Feijó, who was a member of the Royal Academy of Sciences of Lisbon, reports on an expedition he undertook in the hinterland of Ceará, between 1799 and 1800, and on the collection of several petrifications of fish on lands of the Gameleira sugar cane estate, between Missão Velha and Milagres. On that occasion, Feijó sent a specimen of his work to the Governor of Ceará Captaincy, along with a collection of fossiliferous concretions packed in boxes (Antunes *et al.*, 2005). Four years later, he published an article in the prestigious Rio de Janeiro journal entitled “O Patriota”, where he describes “the rarest and most curious faint petrifications of fish” that he found in the Cariri highlands. This article was republished in 1889 in the Quarterly Journal of the Ceará Institute of Fortaleza, Brazil.

In 1815, the state of Brazil was elevated to the rank of kingdom and in 1818 the Royal Museum (formerly the Natural History Museum) was founded in Rio de Janeiro. It was a reference point for foreign naturalists who came to collect scientific material to study in their homeland. Thus, shortly after, in 1822, the year Brazil became a monarchy, the German Baron and Lieutenant-Coronel Wilhelm Ludwig Freiherr von Eschwege, who lived in Brazil from 1810 to 1812, reported Feijó’s findings in a note about the geology of Brazil published in Weimar. One year later, this note was also translated into French (edited in Paris) and English (Edinburgh).

The next publication was a result of other German visitors who also did not visit the Araripe plateau. It is an extensive report of their travels in Brazil, led by the doctor and zoologist Johann Baptist Ritter von Spix with the collaboration of the young botanist Karl Friedrich Philipp von Martius, published in 1823, in Munich. In 1819, these scientists were in Oeiras, Piauí, perhaps at the suggestion of von Eschwege, of whom they were friends. On that occasion, they received a collection of calcareous concretions, and communicated this fact in the first volume of their report sent to Maximilian Joseph I, the king of Bavaria. Another volume of this report (edited in 1831) shows the first illustration of a calcareous concretion containing a fossil fish from Araripe. The report was reedited in the 19th century in London (1824) and in Augsburg (1846), and in the following century in Brazil and Germany. In 1825, a summary of this trip was published in a Nürnberg journal, confirming once again the success of this large body of work and the scientific curiosity at the time surrounding the natural riches of Brazil.

In 1841, new publications emerged in London on the paleontology of the Araripe region, in works by the Scottish doctor and botanist George Gardner. These comprise three reports in which the author describes the collection of different calcareous concretions with fossil fish and ostracods that he gathered in 1838 in Barra do Jardim, Mundo Novo, Santana do

Brejo Grande and on the Massapé farm, all located in the state of Ceará. During the same year, the Swiss doctor (naturalized American), Jean Louis Rodolphe Agassiz describes and draws in Edinburg, based on the specimens collected by von Spix and von Martius, the first South American fossil fish, all related to new species briefly mentioned by Agassiz in an article published in Neuchâtel. In 1843, Gardner reported in Glasgow, details on the geology of the area where the fossil fish were found. He was the first European scientist to visit Cariri and describe its geology. One year later (1844), in Paris, Agassiz adds, with an introduction by François de Chabrilac, new data on this discovery, dating the fish as cretaceous, based on their scale type. In 1846, the complete report of Gardner's travels, which had equally significant editorial repercussions, was published in London and shortly after re-edited in Dresden (1848) and London (1849).

The Brazilian publications of that time, describing the fossils of Ceará, are found in the elementary geology book written by the naturalist Nereo Boubée (1846), edited by the National Typographic Publishing Company of Rio de Janeiro for the agronomy students, in which there are two brief mentions of this unusual fossil occurrence: one authored by von Eschwege and the other by Gardner. In 1863, the B. de Mattos typographic publishing company of Fortaleza released a statistical essay on Ceará written by the Ceará-born lawyer and Senator Thomaz Pompeu de Souza Brazil, where there are references to the work of Feijó. In 1856, the first Scientific Exploration Commission was organized in Brazil. An expedition of Brazilian researchers was formed to recognize the wide variety of natural riches from the lesser known Brazilian provinces and to collect material for the National Museum. Ceará was chosen as the first province to be visited. The geological and mineralogical components of this expedition was led by the Minas Gerais-born engineer and Major Guilherme Schüch Capanema, the first and only Baron of Capanema, who reported his observations of the geology of Ceará in several articles published in the newspaper "Diario do Rio de Janeiro". Later, in 1868, this newspaper published these reports by Capanema in a book, where there are brief mentions of the fossil fish of Araripe.

A report describing the already well-known fossil fish of Ceará appeared in Boston in 1870. The article was published by the Canadian (naturalized American) geologist Charles Frederic Hartt. Two Brazilians republished these notes in Rio de Janeiro: the Bahia-born politician Felisberto Caldeira Brant Pontes Barbacena, second Viscount of Barbacena (1877) and the Ceará-born provincial congressman Marco Antonio de Macedo (1878). At that time, four scientific articles emerged describing the fossils collected in the Araripe Basin: one by the Englishman Thomas Rupert Jones on conchostracean arthropods (1887) and three by Sir Arthur Smith Woodward on fish (1887, 1890 and 1895). This renowned English paleontologist visited Brazil in 1896, but he did not go to Araripe.

At the end of the 19th century, mentions of Araripe fossils, based on earlier reports and studies, are found. These published articles include those of José Pompeu de A. Cavalcanti (1888, in Rio de Janeiro), the American John Casper Branner (1889 and 1893) the Englishman William H. Brown (1890, in London), the French engineer Louis Émile Dombé (1893, in Recife), the French paleontologist Charles Eugéne Bertrand (1898, in Lille), the American geologist Charles Rochester Eastman (1898, in Chicago), and the American (naturalized Brazilian) Orville Adelbert Derby (1895 and 1900, in Rio de Janeiro), the latter published in the book “Summary of Geology” by Albert Felix de Lapparent.

3.1.3.2. Pioneers of the 20th century

At the beginning of the 20th century there was a natural transition in the scenario of paleontological-sedimentological studies published on the Araripe Basin, with the continued investigation by some authors and the emergence of others. At the turn of the century, the French mining engineer Joseph Henri Ferdinand Douvillé relates the cretaceous layers of Ceará with others known in Europe and North America. In the following years, Charles Eugéne Bertrand (1901 and 1906) and John Casper Branner (1906) continued to publish their studies, while new names emerged: the Austrian geologist Friedrich Katzer (1902 and 1903), and the American ichthyologist David Starr Jordan (1907), who in 1910 described, along with Branner, four more new species of fossil fish. These two authors also mention the presence of ostracods in the calcareous concretions.

Among all the foreigners in the first decade of the 20th century, there were three reports written by Ceará-born authors: one on the gypsite of Ceará by the Rio de Janeiro-born journalist Virgilio Brigido (1903), another on a fish of the genus *Notelops* authored by the Ceará-born Francisco de Paula Pessôa (1905), and a third by professor Thomaz Pompêo de Sousa Brasil (son of the previously mentioned senator) in his book entitled “Ceará at the beginning of the 20th century” (1909). In 1907, the Geological and Mineralogical Service of Brazil was created.

In the second decade of the century ten studies were published containing information on the fossil record of Cariri, some of which were re-editions, such as the report on Gardner’s trip, translated to Portuguese in 1912 for the Quarterly Journal of the Ceará Institute of Fortaleza, from Branner’s book (1915). The Ceará Institute, through its quarterly journal, also highlighted, in 1912, the fossils of Ceará in an article by Alfredo de Carvalho about George Gardner and in the publication of letters written by João da Sylva Feijó. Also published in Portuguese were the five geological articles published by the California engineer Roderic Crandall (1910; and later re-edited in 1923), by the American geologist Horace L. Small (1914; re-edited in 1923 and 1941), by the Ceará-born naturalist Francisco Dias da Rocha (1911), by the Bahia-born Coronel Heráclito Carvalho (1913) and by the Minas Gerais-born mining engineer and professor Alberto

Betim Paes Leme (1920). In 1910, Katzer published, in Vienna, a synthesis of the geology of Ceará, including observations on the Araripe plateau. In 1919, Branner presented a synthesis of Brazilian geology in Washington. New forms of fish also continued to be identified and described by Jordan (1920). In 1910, the first geological map of the state of Ceará appeared. It was authored by the American Horace Elbert Williams and was strongly based on observations made by Guilherme Schüch de Capanema, in 1856.

The 1920s was the period in which Brazilian authors produced a majority of the work on the Araripe Basin, all summaries and sedimentary or stratigraphic studies. Nevertheless, it is one of the least productive decades for the paleontology of the Araripe Basin (only ten published studies). Important names from the Brazilian geological literature emerged, such as the Bahia-born chemical engineer Sylvio Fróes de Abreu (1922, 1928 and 1929) and the Minas Gerais-born geologists Antonio de Barros Barreto (1928) and Euzébio Paulo de Oliveira (1929), along with Alberto Betim Paes Leme (1924 and 1929), already known for his reports on the Araripe Basin. Paleontology was led by important foreign scientists such as: David Starr Jordan (1923), who continued to describe fish fossilized in concretions, and Carlotta Joaquina Maury (1929), an American paleontologist who reported on the abundant presence of ostracods at determinate levels of the sedimentary sequence of the Araripe Basin.

In the 1930s, we once again observe the presence of Brazilians dedicated to the geology of the Araripe plateau, mainly the gypsite deposits. Only a little more than ten studies or reports were published, but the Annals of the Brazilian Academy of Sciences had been issuing a quarterly publication since 1929. The articles published in that decade were authored by Fróes de Abreu (1931), Euzébio Paulo de Oliveira (1933, 1936), the Rio de Janeiro-born geologist Luiz Flôres Moraes Rego (1935), the German geologist Heinrich Gerth (1935), the Minas Gerais-born mining engineers Carlos Gomes Filho (1935), Djalma Guimarães (1936), Gerson de Faria Alvim (1937 and 1939) and Trajano de Mello Moraes (1938). The Neapolitan paleontologist Geremia D'Erasmus (1938) revised Jordan's descriptions of fish from the Santana Formation. In 1938 a two-volume edition of von Spix and von Martius' work was published in Rio de Janeiro.

The 1940s were more productive, with almost two dozen published articles, written mainly by Brazilians, on the paleontology, sedimentology and/or stratigraphy of the Araripe Basin. In 1940, a study was published by the American ichthyologist David Hosbrook Dunkle on the osteology of the fish *Notelops brama*, described by Woodward in 1901. In 1941, the Brazilian version of Charles Frederic Hartt's book of travels was published as well as a study by the Ceará-born engineer Thomaz Pompeu Sobrinho on the geological structure of his home state. In 1943, two important books on Brazilian geology appeared: one by Rio de Janeiro-born Avelino Ignácio de Oliveira and Minas Gerais native Othon Henry Leonardos and the other by Alberto Betim Paes Leme, along with studies by Fróes de Abreu (from 1942 to 1944) and short

travel notes by the Rio Grande do Sul-born Jesuit Balduino Rambo (1943). In 1942, Gardner's "Travels in Brasil" was re-edited. In 1945, the first work on Araripe Basin fish was published by the Rio de Janeiro-born paleo-ichthyologist Rubens da Silva Santos, who would become one of the foremost experts on this area. This marked the real beginning of the Brazilian paleontology phase at the Araripe Basin. During his lifetime Santos published nearly three dozen articles on the fossil fish of this basin. In the same year, the São Paulo-born professor and geologist Josué Camargo Mendes draws an excellent historical outline of paleontological investigations in Brazil, not to mention his research in Cariri. In 1946, the Brazilian Society of Geology was created and a geology-related article was published by Ceará-born Major Joaquim Alves. The decade ended with publications on fossil fish authored by the American zoologist Bobb Schaeffer (1947) and by Rubens da Silva Santos (1947), as well as on the geology of the region, written by the American geologist Frederick Byron Plummer (1948).

Starting in 1950, the fossils of Cariri became the focus of study by Brazilian paleontologists, in general from the south and southeast of the country. New organism groups were incorporated into the paleontological knowledge of the Araripe Basin, thereby diversifying their study. Along with Rubens da Silva, who continued his investigations on the fish of the region (1950 and 1958), emerged a description of crocodylus remnants by the Rio Grande do Sul-born paleontologist (son of Americans) Llewellyn Ivor Price (1959). In 1950, the first study of a fossil insect (mayfly nymph) from the laminated limestones of the Santana Formation was conducted by the Rio de Janeiro-born doctor and entomologist Angelo Moreira da Costa Lima and in 1959, a note on the presence of amber in the Araripe was written by the Rio de Janeiro-born chemist Feiga Rebeca Tiomno Rosenthal. The other articles published in that decade were stratigraphic (Barbosa, 1953), geomorphological (Czajka, 1957) or more generalized geological observations (Erichsen, 1953; Petrone, 1955; A.I. Oliveira, 1956; P.E. Oliveira, 1958; and Martins, 1959).

3.1.4. CONSIDERATIONS AND CONCLUSIONS

The casual discovery of fossils on the lands of the Gameleira sugar cane estate by João da Sylva Feijó, before 1800, published in his reports of 1810 and 1814 for the Governor of Ceará province, was undoubtedly the object of curiosity and comment among foreign naturalists that visited the Royal Museum in Rio de Janeiro, such as Wilhelm Ludwig Freiherr von Eschwege, who lived in Brazil between 1810 and 1821, and Johann Baptist Ritter von Spix who, at that time, along with Karl Friedrich Philipp von Martius, was undertaking an expedition into the interior of Brazil. When von Eschwege returned to Germany, he soon reported Feijó's discovery in an 1822 note published in Weimar, and presented one year later in Paris and Edinburgh. Apparently the English were very interested in these items, since a short time after,

in 1838, the Scottish botanist George Gardner explored the rocks in the southern hinterland of Ceará. Thus, the Araripe region has taken part in the international paleontological scenario since its discovery.

Fish were the first fossils known and described in the Araripe Basin, given their abundance and three-dimensional preservation within calcareous concretions. In the 19th century, the vast majority of scientists that investigated the geological samples of this region focused on describing these fish or reporting on their occurrence. Among these were Jean Louis Rodolphe Agassiz and Sir Arthur Smith Woodward. Other Araripe fossils recorded in that century were small crustaceans with calcareous shells: the ostracods, mentioned by George Gardner (1941), and the conchostraceans, described by Thomas Rupert Jones (1887).

In the first half of the following century, fish continued to predominate in paleontological investigations of the Araripe Basin, highlighted by studies conducted by David Starr Jordan (from 1910 to 1923), Geremia D'Erasmus (1938), David Hosbrook Dunkle (1940), Rubens da Silva Santos (1945, 1947) and Bobb Schaeffer (1947). Microscopic ostracods did not arouse much interest, given that they were only mentioned by David Starr Jordan and John Casper Branner (1910) and by Carlotta Joaquina Maury (1929). However, the limestone lithology of the region spawned innumerable studies, especially those on the thick gypsite layers, which were declared by Virgilio Brigido in 1903 as having high economic value.

In the early 1950s, fossil fish were researched by Rubens da Silva Santos, but other groups of organisms began to be recorded in the strata of the Araripe Basin. In 1950, Angelo Moreira da Costa Lima described a small insect occurring in the laminated limestones of the Santana Formation, which would later reveal exceptionally diversified and excellently preserved arthropod fauna. In 1959, the first paleobotanic record in the basin occurred, with a brief note by Feiga Rebeca Tiomno Rosenthal on the presence of amber. In the same year, another group of vertebrates were included in the cretaceous paleobiota of the basin, thanks to a description of a crocodylomorph by Llewellyn Ivor Price.

One hundred and fifty years after the first report of fossils in the Araripe region was published, the paleontological knowledge of its exceptional and abundant fossils was still quite limited, practically restricted to fish and a few crustaceans. Most of the paleontological contributions came from foreign researchers, whereas sedimentary geology was mainly studied by Brazilian geologists. However, in the 1950s the paleobiota knowledge of the Araripe Basin began to diversify, with the greater participation of Brazilian scientists.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors are grateful for the collaboration of innumerable colleagues who resolved minor doubts and provided studies for consultation, especially Anderson Camargo (National

Department of Mineral Production – DNPM, Crato), Antonio Álamo Feitosa Saraiva (Universidade Regional do Cariri - URCA, Crato), Francisco Idalécio de Freitas (URCA), José Artur Ferreira Gomes de Andrade (DNPM, Crato), Plácido Cidade Nuvens (URCA, Crato), Rafael Gioia Martins Neto (Universidade Federal de Juiz de Fora), and Sonia Maria Agostinho (Universidade Federal de Pernambuco).

REFERENCES

- Agassiz, Jean L.R. 1833-1843. *Recherches sur les poissons fossiles*. 3 vols. Neuchâtel: Petitpierre.
- Agassiz, J.L.R. 1841. On the fossil fishes found by Mr. Gardner in the province of Ceara, in the north of Brazil. *Edinburgh New Philosophical Journal* 30: 82-84.
- Agassiz, J.L.R. 1844. Sur quelques poissons fossiles du Brésil. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences* 18(22): 1007-1015.
- Alves, Joaquim. 1946. O vale do Cariri. *Revista do Instituto do Ceará* 59: 94-133.
- Alvim, G.F. 1937. Um estudo sobre a gypsita. *Notas Preliminares e Estudos da DGM* 12: 1-16.
- Alvim, G.F. 1939. Um estudo sobre a gypsita. *Revista Brasileira de Chimica* 8: 158-160.
- Antunes, M.T., Balbino, A.C. and Freitas, F.I. 2005. Early (18th century) discovery of Cretaceous fishes from the chapada do Araripe, Ceará, Brazil: Specimens kept at the 'Academia das Ciências de Lisboa' Museum. *Comptes Rendus Palevol* 4: 375-384.
- Assine, M.L. 2008. Bacia do Araripe. *Boletim de Geociências da Petrobras* 15: 371-389.
- Barbacena, F.C.B.P. 1877. Observações sobre a secca do Ceara. *Auxiliador da Industria Nacional* 45: 574-578.
- Barbosa, Octavio. 1953. Sobre a idade das camadas mesozóicas do nordeste do Brasil. *Notas Preliminares e Estudos da DGM* 72: 1-19.
- Barreto, Antonio B. 1928. *Lições de Geologia*. São Paulo: Diario Official.
- Bertrand, C.E. 1898. Le schiste bitumineux ou charbon humique de Ceara. *Travaux et Mémoires d'Université Lille* 6: 97-130.
- Bertrand, C.E. 1901. Le schiste Cretacé de Ceara. *Congrès Géologique International*, 8, Paris [1900], *Comptes Rendus*, IUGS: 489-494.
- Bertrand, C.E. 1906. Ce que les coupes minces de charbons de terre nous ont appris sur leur modes de formation. *Comptes Rendus du Congrès International des Mines, de la Metallurgie, de la Mécanique et de la Géologie Appliquées* 1: 349-390.
- Branner, J.C. 1889a. Cretaceous and Tertiary geology of the Sergipe-Alagôas Basin of Brazil. *Transactions of the American Philosophical Society* 16: 369-434.
- Branner, J.C. 1889b. The age and correlation of the Mesozoic rocks of the Sergipe-Alagôas Basin of Brazil. *Proceedings of the American Association for the Advancement of Science*

- 37: 187-188.
- Branner, John C. 1893. *A geologia cretacea e terciaria da bacia do Brasil Sergipe-Alagôas*. Aracaju: Garcia Muniz.
- Branner, John C. 1906. *Geologia elementar preparada com referencia especial aos estudantes brasileiros*. Rio de Janeiro: E. & H. Laemmert.
- Branner, J.C. 1909. Bibliography of the Geology, Mineralogy, and Paleontology of Brazil. *Geological Society of America Bulletin* 20: 1-132.
- Branner, John C. 1915. *Geologia elementar*. 2th edn. Rio de Janeiro: Francisco Alves.
- Branner, J.C. 1919. Resumo da Geologia do Brasil. *Geological Society of America Bulletin* 30: 1-152.
- Brasil, Thomaz P.S. 1909. *O Ceara no começo do seculo XX*. Fortaleza: Typo- Lithographia a Vapor.
- Brazil, T.P.S. 1863. *Ensaio estatístico da província do Ceará*, vol. 1. Fortaleza: Typographia B. de Mattos.
- Brigido, Virgilio. 1903. Mineral resources of Ceará. *Brazilian Mining Review* 1: 93-94.
- Brown, William H. 1890. Dates of publication of 'Recherches sur les Poissons Fossiles' par L. Agassiz with a note on Owen's 'Odontography'. In: *Catalogue of British fossil vertebrata*, edited by Arthur S. Woodward and Charles D. Sherborn, xxiv-xxv. London: Dulau.
- Camargo Mendes, Josué. 1945. Esboço histórico das pesquisas paleontológicas no Brasil. *Boletim de Geologia [USP]* 2: 141-161.
- Capanema, Guilherme S. 1868. *Apontamentos geologicos (ao correr da penna)*. Rio de Janeiro: Typographia do Diário do Rio de Janeiro.
- Carvalho, Alfredo. 1912. Um botânico inglês no Ceará, de 1838 a 1839. *Revista Trimestral do Instituto do Ceará* 26: 142-205.
- Carvalho, Heráclito. 1913. Riqueza geológica do Ceará. *A Industria* 2: 32-33.
- Carvalho, M.S.S. and Santos, M.E.C.M. 2005. Histórico das pesquisas paleontológicas na Bacia do Araripe, nordeste do Brasil. *Anuário do Instituto de Geociências [UFRJ]* 28: 15-34.
- Cavalcanti, José P.A. 1888. *Chorographia da provincia do Ceará*. Rio de Janeiro: Imprensa Nacional.
- Chabrilac, François. 1844. Sur quelques poissons fossiles de la province de Ceará, au Brésil. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences* 18: 1007.
- Crandall, Roderic. 1910. *Geographia, geologia, supprimento d'água, transportes e açudagem nos Estados orientaes do norte do Brazil, Ceará, Rio Grande do Norte, Parahyba*. Rio de Janeiro: Inspectoria de Obras contra as Seccas.
- Crandall, Roderic. 1923. *Geographia, geologia, supprimento d'água, transportes e açudagem nos Estados orientaes do norte do Brazil, Ceará, Rio Grande do Norte, Parahyba*. 2th edn. Rio de Janeiro: Inspectoria de Obras contra as Seccas.

- Czajka, Willi. 1957. Die Serra do Araripe: ein Tafelgebirge in Norest-Brasilien. *Erde* 88: 320-333.
- D'Erasmus, Geremia. 1938. Ittilioti cretacei del Brasile. *Atti della Società Reale di Napoli* 1: 1-41.
- Derby, O. A. 1895. As investigações geológicas do Brasil. *Revista Brasileira* 2: 140-157.
- Derby, Orville A. 1900. As investigações geológicas do Brasil. In: *Resumo de Geologia*, edited by Albert F. Lapparent, 312-333. Rio de Janeiro: Garnier.
- Dombré, Louis É. 1893. *Viagens do engenheiro Dombré ao interior da província de Pernambuco em 1874 e 1875*. Recife: Typographia de M. Figueiroa de F. & Filhos.
- Douvillé, J.H.F. 1900. Cretaceous of north Brazil in relation to other regions. *Bulletin de la Société Géologique de France* 3: 234-235.
- Dunkle, D.H. 1940. The cranial osteology of *Notelops brama* (Agassiz), an elopid fish from the Cretaceous of Brazil. *Lloydia* 3: 157-190.
- Eastman, C.R. 1898. Agassiz's work on fossil fishes. *The American Naturalist* 32: 177-185.
- Erichsen, A.I. 1953a. Sugestão para o desenvolvimento da produção mineral do nordeste. *Engenharia, Mineração e Metalurgia* 18: 247-248.
- Erichsen, A.I. 1953b. Polígono das secas: súmula de seus recursos minerais. *Revista Brasileira de Geografia* 3: 435-439.
- Feijó, João S. 1810. *Preâmbulo para um ensaio filosófico e político sobre a capitania do Ceará para ser usado em sua história geral*. Rio de Janeiro: Imprensa Regia.
- Feijó, J.S. 1814. Memória sobre a capitania do Ceará. *O Patriota* 3: 46-62.
- Feijó, J.S. 1889. Memória sobre a capitania do Ceará. *Revista Trimestral do Instituto do Ceará* 3: 3-27.
- Feijó, J.S. 1912. Cartas de João da Sylva Feijó. *Revista Trimestral do Instituto do Ceará* 26: 361-363.
- Fittkau, E.J. 2001. Johann Baptist Ritter von Spix: primeiro zoólogo de Munique e pesquisador no Brasil. *História, Ciências, Saúde Manguinhos* 8(Suplemento): 1109-1135.
- Figueirôa, S.F.M., Silva, C.P. and Pataca, E.M. 2004. Aspectos mineralógicos das 'viagens filosóficas' pelo território brasileiro na transição do século XVIII para o século XIX. *História, Ciências, Saúde Manguinhos* 11: 713-729.
- Fróes de Abreu, Sylvio. 1922. Schisto betuminoso da chapada do Araripe (Ceará). *Memórias do Congresso Brasileiro de Carvão e outros Combustíveis Nacionais* 1: 1-18.
- Fróes de Abreu, Sylvio. 1928. Um capítulo da geographia do Ceará: recursos mineraes. *Revista da Sociedade de Geografia do Rio de Janeiro* 33: 145-180.
- Fróes de Abreu, Sylvio. 1929. *O nordeste do Brasil*. Rio de Janeiro: Papelaria Mello.
- Fróes de Abreu, Sylvio. 1931. *Recursos minerais do Brasil*. Rio de Janeiro: MTIC.
- Fróes de Abreu, Sylvio. 1942a. Um capítulo da geographia do Ceará: recursos mineraes.

- Boletim do MTIC* 8: 113-136.
- Fróes de Abreu, Sylvio. 1942b. Um capítulo da geographia do Ceará: recursos mineraes. *Boletim do MTIC* 8: 127-156.
- Fróes de Abreu, Sylvio. 1943a. O nordeste do Brasil. *Boletim Geográfico* 1: 9-25.
- Fróes de Abreu, Sylvio. 1943b. O nordeste do Brasil. *Boletim Geográfico* 1: 15-31.
- Fróes de Abreu, Sylvio. 1944a. O nordeste do Brasil. *Boletim do MTIC* 11: 233-253.
- Fróes de Abreu, Sylvio. 1944b. O nordeste do Brasil. *Boletim do MTIC* 11: 244-268.
- Fróes de Abreu, Sylvio. 1944c. O nordeste do Brasil. *Boletim do MTIC* 11: 306-325.
- Gardner, George. 1841a. On the geology and fossil fishes of north Brazil. *Transactions of the British Association for the Advancement of Science* 1840: 118-120.
- Gardner, George. 1841b. Geological notes made during a journey from the coast into the interior of the province of Ceará, in the north of Brazil. *Edinburgh New Philosophical Journal* 30: 75-82.
- Gardner, George. 1843. On the existence of an immense deposit of chalk in the northern province of Brazil. *Proceedings of the Royal Philosophical Society* 1: 146-153.
- Gardner, George. 1846a. *Travels in the interior of Brazil principally through the northern provinces and gold and the diamond districts during the years 1836-1841*. London: Reeve, Benham & Reeve.
- Gardner, George. 1846b. Peixes petrificados que se acham na província do Ceará. In: *Geologia elementar applicada à agricultura e industria com um dictionario dos termos geológicos*, edited by Nereo Boubée, 54-55. Rio de Janeiro: Typographia Nacional.
- Gardner, George. 1848. *Reisen im Inneren Brasiliens, besonders durch die nördlichen Provinzen und die Gold und Diamanten districts*. Dresden: Arnoldische.
- Gardner, George. 1849. *Travels in the interior of Brazil, principally through the Northern provinces and gold and the diamond districts during the years 1836-1841*. 2th edn. London: Reeve, Benham & Reeve.
- Gardner, George. 1912. Um botânico inglez no Ceará, de 1838 a 1839. *Revista Trimestral do Instituto do Ceará* 26: 143-205.
- Gardner, George. 1942. *Viagens no Brasil, principalmente nas províncias do norte e nos distritos do ouro e do diamante durante os anos de 1836-1841*. São Paulo: Companhia Editora Nacional.
- Gerth, Heinrich. 1935. *Geologie Südamerikas 2*. Berlin: Gebrüder Borntraeger.
- Gomes Filho, Carlos. 1935. Chapada do Araripe. In: *Relatório Annual do Director, Anno de 1934*, edited by Euzébio P. Oliveira, 52-63. Rio de Janeiro: Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil.
- Gonsalves, A.D. 1928. Bibliographia da Geologia, Mineralogia e Paleontologia do Brasil. *Boletim do Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil* 27: 1-205.

- Guimarães, Djalma. 1936. Quadro chronogeológico do Brasil. *Mineração & Metalurgia* 1: 65-71.
- Hartt, Charles F. 1870. *Geology and physical geography of Brazil*. Boston: Fields, Osgood & Co.
- Hartt, Charles F. 1941. *Geologia e geografia física do Brasil*. São Paulo: Companhia Editora Nacional.
- Iglesias, Dolores. 1943. Bibliografia e índice da Geologia do Brasil. *Boletim da DGM* 111: 1-323.
- Jones, T.R. 1887. On some fossil Entomostraca from Brazil. *Geological Magazine* 4: 195-202.
- Jordan, D.S. 1907. The fossil fishes of California with supplementary notes on other species of extinct fishes. *California University Publications of Geological Sciences* 5: 95-144.
- Jordan, D.S. 1920. New genera of fossil fishes from Brazil. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia* [1919] 71: 208-210.
- Jordan, D.S. 1923. Peixes cretaceos do Ceará e Piauí. *Monografias do Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil* 3: 1-101.
- Jordan, D.S. & Branner, J.C. 1910. The Cretaceous fishes of Ceará, Brazil. *Smithsonian Miscellaneous Collection Quarterly Issue* [1908] 52: 1-29.
- Katzer, Friedrich. 1902. Der landschaftliche Charakter von Ceara (Brasilien). *Globus* 82: 1-5.
- Katzer, Friedrich. 1903. Paizagens do Ceará. *Revista Trimestral do Instituto do Ceará* 17: 291-298.
- Katzer, Friedrich. 1910. Beitrag zur Geologie von Ceara (Brasilien). *Denkschriften der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften* 78: 525-560.
- Leonardos, Othon H. 1970. *Geociências no Brasil: a contribuição britânica*. Rio de Janeiro: Fórum.
- Leonardos, Othon H. 1973. *Geociências no Brasil: a contribuição germânica*. Rio de Janeiro: Fórum & Sulina.
- Lima, A.M.C. 1950. Ninfa de efemerido fóssil do Ceará. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 22(4): 419-420.
- Lopes, M.M. & Silva, C.P. 2003. Investigações em História Natural no Ceará: os estudos do naturalista João da Silva Feijó (1760-1824). *Revista de Ciências Humanas* [UNITAU] 9: 69-75.
- Macedo, Marco A. 1878. *Observações sobre as seccas do Ceara e meios de augmentar o volume das águas nas correntes do Cariry*. Rio de Janeiro: Tipografia Nacional.
- Martins, E.A. 1959. Sinopse de geologia do Brasil. *Publicações Avulsas do Museu Nacional* 30: 1-66.
- Maury, C.J. 1929. Novas colleções paleontologicas do Serviço Geologico do Brasil. *Boletim do Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil* 33: 2-23.

- Moraes, T.M. 1938a. A exploração de gipsita no Ceará e no Rio Grande do Norte. *Avulso do Serviço de Fomento Produção Mineral* [DNPM] 35: 1-15.
- Moraes, T.M. 1938b. A exploração de gipsita no Ceará e no Rio Grande do Norte. *Mineração e Metalurgia* 3: 105-111.
- Moraes Rego, Luiz F. 1935a. *Notas sobre a geologia do Estado do Maranhão*. São Paulo: Imprensa Oficial do Estado.
- Moraes Rego, L.F. 1935b. Aspectos geológicos e physiographicos geraes no nordeste do Brasil. *Revista Polytechnica* 32: 88-89.
- Moraes Rego, L.F. 1935c. Aspectos geológicos e physiographicos geraes no nordeste do Brasil. *Geografia* 1: 72-76.
- Nobre, Geraldo S. 1978. *João da Silva Feijó: um naturalista no Ceará*. Fortaleza: Instituto Histórico do Ceará.
- Nogueira, Paulino. 1888. O naturalista João da Silva Feijó. *Revista Trimestral do Instituto do Ceará* 2: 247-276.
- Oliveira, A.I. 1956. Brazil. *Geological Society of America Memoir* 65: 1-62.
- Oliveira, Avelino I. and Leonardos, Othon H. 1943. *Geologia do Brasil*. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura.
- Oliveira, E.P. 1929a. Columna geologica do Estado do Ceará. *Sciencia e Educação* 1: 1-2.
- Oliveira, Euzébio P. 1929b. *Geologia historica do Brasil*. Rio de Janeiro: Serviço Geologico e Mineralogico do Brasil.
- Oliveira, E.P. 1929c. Geologia historica do Brasil. *Anuario do Ministério da Agricultura, Industria e Commercio* 1929: 423-428.
- Oliveira, Euzébio P. 1933. *Geologia historica do Brasil*. Rio de Janeiro: Serviço Geologico e Mineralogico do Brasil.
- Oliveira, Euzébio P. 1936. Estudos na chapada do Araripe. In: *Relatório Annual do Director, Anno de 1935*, edited by Euzébio P. Oliveira, 18-23. Rio de Janeiro: Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil.
- Oliveira, Euzébio P. 1958. Secção de paleontologia. In: *Relatório Anual do Diretor 1958* edited by Alberto R. Lamego, 167-194. Rio de Janeiro: DNPM.
- Paes Leme, A.B. 1920. Notas sobre a geologia do Ceará. *Revista de Ciencias* 4: 150-152.
- Paes Leme, Alberto B. 1924. *Evolução da estrutura da Terra e geologia do Brasil vistas através das collecções do Museu Nacional*. Rio de Janeiro: Imprensa Nacional.
- Paes Leme, A.B. 1929. État des connaissances géologiques sur le Brésil. *Bulletin de la Société Géologique de France* 4: 35-64.
- Paes Leme, A.B. 1943. *História física da Terra*. Rio de Janeiro, F. Briguet, 1020p.
- Paiva, Melquíades P. 2002. *Os naturalistas e o Ceará*. Fortaleza: Instituto do Ceará.
- Pessôa, F.P. 1905. Um notavel peixe fossil (*Notelops brama*). *Renascença* 2: 177-179.

- Petrone, Pasquale. 1955. Contribuição ao estudo da região do Cariri, no Ceará. *Boletim Paulista de Geografia* 19: 3-29.
- Pinheiro, Rachel & Lopes, M.M. 2002. João da Silva Feijó (1760-1824) no Ceará: um elo entre a ilustração luso-brasileira e a construção local das ciências. *Anais do Congresso Luso-brasileiro de História da Ciência e da Técnica* 1[2001]: 160-172.
- Pinheiro, Rachel & Lopes, M.M. 2006. “Eu fiz com que o povo que a tomara por sonho tornasse a acreditar nela”: as propostas da seção geológica da Comissão Científica de Exploração (1856). *Asclepio* 58: 95-112.
- Plummer, Frederick B. 1948. Estados do Maranhão e Piauí. In: *Relatório de 1946* edited by Brasil, 87-134. Rio de Janeiro: Conselho Nacional do Petróleo.
- Pompeu Sobrinho, Thomaz. 1941. Estrutura geológica do Ceará. *Revista do Instituto do Ceará* 59: 159-175.
- Price, L.I. 1959. Sobre um crocodilídeo notossúquio do Cretáceo brasileiro. *Boletim da DGM* 188: 1-55.
- Rambo, Balduino. 1943. Aspectos do Brasil: viagens de estudo. *Boletim do Instituto Histórico e Geográfico do Rio Grande do Sul* 23: 66-70.
- Rocha, F.D. 1911. Subsídios para o estudo das sciencias naturaes e archeologicas no Ceara. *Boletim do Museu Rocha* 2: 61-63.
- Rosenthal, F.R.T. 1959. Notas sobre uma resina fóssil do nordeste. *Revista de Química Industrial* 28: 15-21.
- Schaeffer, Boob. 1947. Cretaceous and Tertiary actinopterygian fishes from Brazil. *Bulletin of the American Museum of Natural History* 89: 1-39.
- Silva Santos, Rubens. 1945. Revalidação de *Aspidorhynchus comptoni* Agassiz, do Cretáceo do Ceará, Brasil. *Notas Preliminares e Estudos da DGM* 29: 1-13.
- Silva Santos, Rubens. 1947. Uma redescrição de *Dastilbe elongatus*, com algumas considerações sobre o gênero *Dastilbe*. *Notas Preliminares e Estudos da DGM* 43: 1-9.
- Silva Santos, Rubens. 1950. *Anaedopogon*, *Chiromystus* e *Ennelichthys* como sinônimos de *Cladocyclus*, da família Chirocentridae. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 22: 123-138.
- Silva Santos, Rubens. 1958. *Leptolepis diasii*, novo peixe fóssil da serra do Araripe, Brasil. *Notas Preliminares e Estudos da DGM* 108: 1-16.
- Small, Horace L. 1914. *Geologia e supprimento d'água subterrânea no Ceará e parte do Piauhy*. Rio de Janeiro: Inspectoria Federal de Obras contra as Seccas.
- Small, Horace L. 1923. *Geologia e supprimento d'água subterrânea no Ceará e parte do Piauhy*. 2th edn. Rio de Janeiro: Inspectoria Federal de Obras contra as Seccas.
- Small, Horace L. 1941. *Geologia e supprimento d'água subterrânea no Piauhy e parte do Ceará*. 3th edn. Rio de Janeiro: Inspectoria Federal de Obras contra as Seccas.

- Telles, P.C.S. 2004. Outras atividades de engenharia do século XIX. *Boletim da SBC* 51: 3-14.
- von Eschwege, W.L. 1822. Geognostisches Gemälde von Brasilien und wahrscheinlichen Muttergestein der Diamanten. *Landes, Industrie, Comptoir* 8: 1-44.
- von Eschwege, W.L. 1823a. Esquisse géognostique du Brésil. *Annales des Mines* 3: 1-430.
- von Eschwege, W.L. 1823b. Note on geognosy of Brazil. *Edinburgh New Philosophical Journal* 9: 200-202.
- von Eschwege, Wilhelm L. 1846. Bosquejo geognostico do Brasil com huma dissertação sobre a matriz dos diamantes. In: *Geologia elementar applicada à agricultura e industria com um dictionario dos termos geológicos edited by Nereo Boubée*, 35-39. Rio de Janeiro, Typographia Nacional.
- von Spix, Johann B. & von Martius, Karl F.P. 1823-1831. *Reise in Brasilien auf Befehl Sr. Majestät Maximilian Joseph I König von Baiern in den Jahren 1817-1820 gemacht und beschrieben*. 4 vols. München: M. Lindauer.
- von Spix, Johann B. & von Martius, Karl F.P. 1824. *Travel in Brazil, 1817-1820*. 2 vols. London: Longman.
- von Spix, J.B. & von Martius, K.F.P. 1825. Mineralogische Bemerkungen der Herren Dr. Spix und Dr. Martius auf ihrer Brasilianischen Reise. *Neue Jahrbuch der Berg- und Hüttenkunde* 6: 1-128.
- von Spix, Johann B. & von Martius, Karl F.P. 1846. *Reise in Brasilien auf Befehl Sr. Majestät Maximilian Joseph I König von Baiern in den Jahren 1817-1820 gemacht und beschrieben*. 2th edn., 2vols. Augsburg: G. Jaquet.
- von Spix, Johann B. & von Martius, Karl F.P. 1938. *Viagem pelo Brasil*. 2 vols. Rio de Janeiro: Imprensa Nacional.
- Woodward, A.S. 1887. On the fossil teleostean genus *Rhacolepis* Agassiz. *Proceedings of the Zoological Society* 1887: 535-542.
- Woodward, A.S. 1890. On some Upper Cretaceous fishes of the family of Aspidorhynchidae. *Proceedings of the Zoological Society* 1890: 629-637.
- Woodward, Arthur S. 1895-1901. *Catalogue of the fossil fishes in the British Museum, Part 3*. 2 vols. London: The British Museum.

3.2. SEGUNDO ARTIGO (PUBLICADO NA REVISTA ESTUDOS GEOLÓGICOS)

REGISTROS PALEONTOLÓGICOS DO CRETÁCEO MARINHO NA BACIA DO ARARIPE

Ana Paula dos Santos Bruno

Maria Helena Hessel

apsbruno@yahoo.com.br

helena.hessel@ufpe.br

Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE

RESUMO: Este trabalho apresenta uma análise crítica da fauna e flora possivelmente marinha já registrada nos depósitos cretáceos da Bacia do Araripe, objetivando oferecer uma visão integrada da ocorrência de organismos indubitavelmente marinhos na bacia, como subsídio para direcionar futuras investigações paleontológicas. De todas as unidades estratigráficas desta seqüência, apenas nas formações Crato e Romualdo há citações de formas marinhas. Nos calcários laminados da Formação Crato são conhecidos *Dastilbe crandalli*, um peixe aparentemente eurihalino, *Cladocyclus gardneri* e celacantos tidos como de águas salinas, *Araripemys barretoii*, um quelônio considerado dulceaquícola, e bivalvíos que habitavam águas não-marinhas. Nos folhelhos desta formação, ocorrem conchostráceos, bivalvíos e algas dulceaquícolas, sendo a presença de ostracodes marinhos ainda duvidosa. Deste modo, pelo registro na literatura, não fica comprovado que organismos tipicamente marinhos viviam no ambiente de deposição da Formação Crato. Nas concreções calcárias da Formação Romualdo ocorrem peixes osteícties marinhos, como *Vinctifer comptoni*, *Tharrhias araripis* e *Rhacolepis buccalis*. Os raros celacantos e o tubarão *Tribodus limae* são aparentemente não-marinhos; a raia *Iansan beurleni* é marinha sublitorânea; e os quelônios são na maioria de ambiente dulcícola. Dentre os invertebrados bentônicos tipicamente marinhos, há os equinóides irregulares *Pygurus tinocoi* e *P. araripensis*, e os gastrópodos *Gymnentome romualdoi*, *Craginia araripensis* e *Cerithium cf. austinense*. Os bivalvíos já identificados taxonomicamente (*Aguileria* sp.) são de ambiente transicional. O caranguejo *Araripecarcinus ferreirai* é tido como de águas doces, e o camarão *Paleomattea deliciosa*, marinho. A presença de foraminíferos na Formação Romualdo, como *Rhodonascia bontei*, *Quinqueloculina* sp., outros miliólídeos e rotaliídeos indeterminados, indica uma origem marinha, assim como os dinoflagelados *Subtilisphaera* sp. e *Spiriferites* sp. Observa-se, deste modo, que há organismos comprovadamente marinhos registrados na Formação Romualdo. Entretanto, a diversidade paleobiológica cretácea da Bacia do Araripe parece refletir uma diversidade paleoambiental no tempo e no espaço associada a uma grande dinâmica aquática, que ainda exige estudos detalhados para uma interpretação integrada dos eventos ocorridos.

Palavras chave: Bacia do Araripe, Formação Crato, Formação Romualdo, organismos marinhos.

ABSTRACT: The work presents a critical analysis of the possible marine fauna and flora already registered in the Cretaceous deposits of the Araripe Basin, with the objective to furnish an integrated vision of the occurrence of unequivocal marine organisms in the basin, and direct future paleontological inquiries. Among all the stratigraphic units in the Basin, only the Crato and Romualdo formations are mentioned to have marine organisms. In the laminated calcareous of the Crato Formation, *Dastilbe crandalli*, apparently a euhaline fish, *Cladocycclus gardneri* and coelacanths from saline waters, *Araripemys barretoii*, considered a fresh water turtle, and bivalves that inhabited non-marine waters are known. In the shales of this unit, occur freshwater conchostracans, bivalves, and seaweed, but the presence of marine ostracodes is still doubtful. Thus, it is not confirmed that typically marine organisms living in the deposition environment of the Crato Formation. In the calcareous concretions of the Romualdo Formation there are marine osteichthyan fishes, as *Vinctifer comptoni*, *Tharrhias araripis*, and *Rhacolepis buccalis*. The coelacanths and the shark *Tribodus limae* apparently are non-marine; the ray *Iansan beurleni* is marine sublittoral; and the turtles are mainly from freshwater environments. Amongst the typically marine benthic invertebrates, there are irregular echinoids *Pygurus tinocoi* and *P. araripensis*, and gastropods *Gymnentome romualdoi*, *Craginia araripensis* and *Cerithium cf. austinense*. The bivalves previously taxonomically identified (*Aguileria* sp.) are of transitional environment. The crab *Araripecarcinus ferreirai* inhabited in freshwaters and the shrimp *Paleomattea deliciosa*, in marine environment. The presence of foraminifera in the Romualdo Formation, such as *Rhodonascia bontei*, *Quinqueloculina* sp., indeterminate miliolids and rotaliids, indicate a marine origin, as well as the dinoflagellates *Subtilisphaera* sp. e *Spiriferites* sp. Thus, there are marine organisms recorded in the Romualdo Formation. However, the Cretaceous paleobiological diversity of the Araripe Basin seems to reflect the palaeoenvironmental diversity in time and space, associated with a great aquatic dynamics, which needs still demands detailed studies for an integrated interpretation of the occurred events.

Keywords: Araripe Basin, Crato Formation, Romualdo Formation, marine organisms.

INTRODUÇÃO

No interior do nordeste brasileiro, existem diversas pequenas bacias sedimentares com depósitos mesozóicos, cujo paleoambiente de deposição ainda foi pouco estudado (bacias de Quintaús, Sitiá e Rio dos Bastiões no Ceará; Rio Nazaré e Pau dos Ferros no Rio Grande do Norte; Afogados da Ingazeira, Betânia, Serra Talhada e Tupanaci em Pernambuco, por exemplo) ou ainda é controvertido (Bacia do Araripe), pelo menos em algumas de suas unidades. Outras bacias, como a do Barro, Lima Campos, Malhada Vermelha, Lavras de Mangabeira e Icó no Estado do Ceará; Serra Vermelha, Padre Marcos e Riacho do Padre no Piauí; e Rio do Peixe, Vertentes, Pombal e Uiraúna no Estado da Paraíba, são em geral aceitas como formadas em condições não-marinhas. De qualquer modo, afóra a Bacia do Araripe, não há nenhuma referência de organismo tipicamente marinho nestas bacias.

Atualmente, a Bacia do Araripe ocupa cerca de 8000km², sendo sua principal área delimitada ao norte pelo lineamento de Patos e ao sul pela falha de Farias Brito (Neves, 1990). Sua seqüência sedimentar cretácea foi depositada ao longo de quase 50 milhões de anos, compreendendo sete unidades estratigráficas (Neumann & Cabrera, 1999). A Formação Abaiara representa a mais antiga sedimentação deste período geológico, sendo formada predominantemente por folhelhos e siltitos com intercalações de arenitos finos e margas, de idade berriasiana? a hauteriviana? (Arai *et al.*, 2001). Discordantemente acima (Medeiros *et al.*, 2001), estão os arenitos médios com intercalações de siltitos argilosos e arenitos mais finos da Formação Rio da Batateira, em cuja porção mais superior há folhelhos escuros, depositados provavelmente durante o Aptiano. Mais acima, encontram-se os calcários laminados de mesma idade (Coimbra *et al.*, 2002) da Formação Crato e os depósitos de gipsita e anidrita intercalados por folhelhos escuros da

Formação Ipubi. Após uma discordância com superfície erosional (Viana & Cavalcanti, 1991), estão as margas e arenitos finos com concreções calcárias da Formação Romualdo (neo-aptiana, segundo Regali, 2001), recobertas pela Formação Arajara, composta por uma seqüência de siltitos avermelhados eo-albianos (Arai *et al.*, 2004). Após outra lacuna estratigráfica, há os depósitos de arenitos de granulação de média a grossa com bancos conglomeráticos da Formação Exu, até hoje tidos como afossilíferos.

Os fósseis mais conhecidos da Bacia do Araripe são indubitavelmente os peixes que ocorrem em incontáveis nódulos calcários da Formação Romualdo (Carvalho & Santos, 2005). Plummer (1948) menciona que os peixes desta formação, identificados por Jordan, “comumente indicam água doce ou salobra”, mostrando “que ela foi depositada numa série de lagos ou, pelo menos, numa série de baías interiores. O elevado número de ostracodes indica abundância de suprimento de alimentos para os peixes e a grande quantidade de restos de peixes encontrados em uma seção de vários metros faz supor que a massa d’água secava periodicamente, causando a morte de muitos peixes”. Para Price (1959) e Martill (1988, 1989a, 1989b, 1990), estes eventos de mortalidade em massa eram devidos provavelmente ao brusco aumento de salinidade no ambiente onde os peixes viviam, o que deixaria as águas hipersalinas e facilitaria sua rápida fossilização e excepcional preservação.

Martill (1990b) observa que há algumas evidências de que as águas eram marinhas antes da deposição dos peixes preservados em concreções, mas os organismos bentônicos associados não revelam pertencer a uma biota de águas marinhas, como atesta a presença de ostracodes darwinuláceos, cipridáceos e ceteráceos (Arai & Coimbra, 1990), de conchostráceos (Carvalho & Viana, 1993) e de carófitas (Silva, 1975; Saraiva *et al.*, 2003). Ponte (1992) ad-

mite que a presença de equinóides e moluscos marinhos nos calcários da Formação Romualdo registram “uma efêmera incursão marinha naquela bacia”, talvez “através da Bacia da Parnaíba, como postulado originalmente por Beurlen (1963)”.

Silva-Santos & Valença (1968) mostram uma reconstrução paleoambiental da deposição do Grupo Santana, na qual incluem representantes de todos os gêneros de peixes até então descritos nas formações Crato e Romualdo no mesmo ambiente (Fig.6), ainda que no texto afirmem “que viviam provavelmente em diferentes zonas de um mar”. Estes autores, assim como Mabesoone & Tinoco (1973) e Viana (1990a), admitem que esta ictiofauna é indistintamente marinha, resultante de uma extensa transgressão, o que seria confirmado pela presença de equinóides nas camadas mais superiores da Formação Romualdo. Silva-Santos & Valença (1968) mencionam ainda que os “restos de plantas e de animais de hábitos terrestre e dulceaquícola, como o crocodilídeo e um quelônio nessas camadas comprovam o afluxo de águas fluviais ou pluviais nesse ambiente, formado por um largo golfo”. Wenz & P.M. Brito (1990) resumiam as idéias expressas por Bate (1972), que considera a associação de peixes e ostracodes do Grupo Santana como de águas doces, e de Martill (1988), que considera o ambiente francamente marinho, concluindo que, para interpretar perfeitamente o ambiente deposicional da Formação Romualdo, é preciso considerar as associações faunísticas e florísticas como um todo ao longo do tempo de deposição.

Ponte (1992) admite que, com exceção da Formação Romualdo, que é de origem marinha litorânea, todas as demais formações mesozóicas da Bacia do Araripe “são de origem essencialmente continental”. Neste contexto, as formações Abaiara, Rio da Batateira, Crato, Ipubi, Arajara e Exu seriam não-marinhas, ainda que nelas, por vezes, tenham sido registrados fósseis de

diferentes ambientes, alguns possivelmente marinhos (Cavalcanti & Viana, 1990; Arai, 1999; Barbosa *et al.*, 2004).

Na Formação Abaiara ocorrem ostracodes cipridáceos e citeráceos (Coimbra *et al.*, 2002), além de palinomorfos (Arai *et al.*, 2004). Os folhelhos escuros da Formação Rio da Batateira são bastante fossilíferos, neles ocorrendo fragmentos de peixes, conchostráceos, palinomorfos (Ponte & Appi, 1990) e coprólitos (Souto *et al.*, 2001). Pequenos peixes, restos de vegetais e algas são extremamente comuns em alguns níveis da Formação Crato (Neumann *et al.*, 2003; P.M. Brito *et al.*, 2005), assim como insetos e outros artrópodos (Martins Neto & Mesquita, 1991). Nesta unidade, também foi registrada a presença menos freqüente de bivalvíos (Barbosa *et al.*, 2004), de gastrópodos e conchostráceos (Viana, 1992), de anuros, aves e pterosauros (Maisey, 1991; Kellner, 2006), de quelônios (Oliveira & Kellner, 2005) e de ostracodes darwinuláceos e bairdiáceos (Silva, 1976). Na Formação Ipubi ocorrem ostracodes darwinuláceos, cipridáceos e citeráceos (Coimbra *et al.*, 2002), conchostráceos, fragmentos de conchas de moluscos, restos de vegetais superiores, estromatólitos (Arai *et al.*, 2004) e coprólitos (Souto *et al.*, 2001). E na Formação Arajara são encontrados os icnofósseis *Diplocraterion* sp., *Skolithos* sp. e *Taenidium* sp. (Arai, 1999), tanto de origem continental como marinha.

Apesar destas informações e interpretações contraditórias, persiste uma idéia de que a seqüência mesozóica da Bacia do Araripe foi depositada sob influência marinha, talvez por causa da abundante ictiofauna, com tubarões e raias (em geral considerados marinhos), e da presença de equinodermas, dinoflagelados e foraminíferos, ainda que geográfica e/ou temporalmente restrita. Desta forma, no presente estudo é apresentada uma análise da fauna e flora possivelmente marinha já registrada nos

depósitos cretáceos da Bacia do Araripe, objetivando oferecer uma visão integrada da ocorrência estratigráfica e geográfica de organismos indubitavelmente marinhos na bacia, como subsídio para direcionar futuras investigações paleontológicas.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a elaboração do presente trabalho, foi efetuada uma exaustiva consulta da bibliografia relacionada à paleontologia da Bacia do Araripe e demais bacias interiores do nordeste brasileiro, visando listar todos os registros de organismos possivelmente marinhos já citados na literatura, de modo a proceder, posteriormente, a análise crítica destas citações. Foi realizada uma atualização estratigráfica, com base na proposta de Neumann & Cabrera (1999), e taxonômica, com base em Wenz & P.M. Brito (1990), Silva-Santos (1991) e Maisey (1991; 2001), para possibilitar uma síntese do conhecimento por unidade estratigráfica. Foram selecionadas as informações relevantes, descartando-se as citações generalizadas por grupo de organismo ou as listagens de fósseis baseadas em autores precedentes.

PEIXES E RÉPTEIS

A ictiofauna cretácea da Bacia do Araripe é uma das mais estudadas, com mais de 20 gêneros conhecidos, provenientes das formações Crato e Romualdo (Wenz & P.M. Brito, 1990; Silva-Santos, 1991; Maisey, 1991; 2001). Ainda é desconhecida a salinidade das águas onde viviam alguns destes peixes, ou por serem extintos ou por não possuírem correlatos atuais, como é o caso dos gêneros ocorrentes na Formação Romualdo e de procedência geográfica incerta: *Araripichthys* Silva-Santos 1985; *Iemanja* Wenz 1989; *Placidichthys* P.M. Brito 2000; *Oshunia* Wenz & Kellner 1986; e *Beurlenichthys* Figueiredo & Gallo 2004, este também ocorrente na Formação Crato (Figueiredo & Gallo, 2004). Na Formação Romualdo ainda há re-

ferências a gêneros de peixes possivelmente eurihalinos, que toleram grandes variações de salinidade, vivendo em mares, estuários, deltas de rios, regiões de intermarés e de baixa salinidade, não sendo diagnósticos de ambiente marinhos. Entre eles, estão *Araripepidotes* Silva-Santos 1985, *Brannerion* Jordan 1919, *Calamopleurus* Agassiz 1841, *Notelops* Woodward 1901 e *Paraelops* Silva-Santos 1971.

Nos calcários laminados da Formação Crato são conhecidos abundantes restos de *Dastilbe crandalli* Jordan 1910, um gênero eurihalino (Davis & Martill, 1999) que possui formas marinhas (Oliveira, 1978), de ambiente litorâneo (Silva-Santos & Valença, 1968) ou lacustre (Maisey, 2001). Ainda nos calcários desta formação, próximo à localidade de Crato, são encontrados raros restos de *Cladocylus gardneri* Agassiz 1841, um gênero é tido como marinho litorâneo por Silva-Santos & Valença (1968) e Oliveira (1978), ainda que Maisey (2001) admita que seja também lacustre. Destas mesmas camadas, P.M. Brito & Martill (1999) descreveram restos de um jovem exemplar de celanto, que atualmente é um grupo marinho, ainda que no Cretáceo apresentasse formas não-marinhas (Maisey, 2001). Ocorrem ainda na Formação Crato, porém sem registro de litologia associada e bem mais raramente, *Vinctifer longirostris* P.M. Brito, Martill & Wenz 1998, pertencente a um gênero considerado marinho (P.M. Brito *et al.*, 2005) e *Beurlenichthys diasii* (Silva-Santos 1958), este vivendo em águas cuja salinidade ainda é desconhecida (Silva-Santos, 1995).

Na Formação Romualdo, onde os peixes osteíteis são mais conhecidos e estudados, em geral ocorrendo em concreções calcárias, são reconhecidamente marinhos os gêneros *Vinctifer* e *Tharrhias* (Oliveira, 1978; Maisey, 2001). *Vinctifer comptoni* (Agassiz 1841) é o segundo táxon de peixe mais abundante nos ictiólitos desta formação (Fig. 1b), sendo encontrado com frequência nos mu-

nicípios de Jardim e Missão Velha. Também são abundantes *Tharrhias araripis* Jordan & Branner 1908 (incluindo o sinônimo junior *T. rochae* (Jordan & Branner, 1908), cf. Maisey, 1991), especialmente em Santana do Cariri, sendo mais raro em Jardim. Silva-Santos & Valença (1968) sugerem que viveriam em ambiente marinho litorâneo. *Rhacolepis*

buccalis Agassiz 1841 é o peixe mais abundante na Formação Romualdo (Fig. 1a), sendo muito freqüente em Pedra Branca, Jardim e Missão Velha. Parece também ter sido de águas marinhas (Maisey, 2001), ainda que Silva-Santos & Valença (1968) o reconheça como um possível habitante de estuários e lagunas litorâneas.



Figura 1 – Concreções calcárias da Formação Romualdo com espécimes de: *Rhacolepis buccalis* (a) e *Vinctifer comptoni* (b). Fotografias de Maria Helena Hessel; barra indica 1cm.

Na Formação Romualdo também ocorrem fósseis de celacantos, como *Axelrodichthys araripensis* Maisey 1986 e *Mawsonia gigas* Woodward 1907, que é o maior peixe até hoje encontrado nesta unidade estratigráfica da Bacia do Araripe, ambos provenientes da região de Jardim. Ainda que os celacantos atuais sejam marinhos de águas profundas, Maisey (2001) menciona que o gênero *Mawsonia* é não-marinho.

Dentre os peixes condrícties que foram registrados na literatura como provenientes da Formação Romualdo, há uma raia do gênero *Iansan* e um tubarão do gênero *Tribodus*. Ainda de ocorrência rara, pois foi encontrada apenas em Lagoa de Dentro (Pernambuco) e no norte cearense da chapada, *Iansan beurleni* (Silva-Santos 1968) é tida como uma forma marinha que viveu provavelmente na parte mais interna de zonas sublitorâneas (Silva-Santos & Valença, 1968), podendo eventualmente entrar em

águas doces. O outro condrícte presente nesta unidade é o seláquio *Tribodus limae* P.M. Brito & Ferreira 1989, coletado em local desconhecido, que, segundo Maisey ou é uma forma marinha que eventualmente entra em águas doces (1996) ou é de ambientes não-marinhos (2001), como o mesozóico gênero *Hybodus*.

Os répteis aquáticos fósseis ocorrentes na Bacia do Araripe são encontrados nas formações Crato e Romualdo, pertencentes a dois grupos taxonômicos: quelônios e crocodilianos, estes últimos considerados todos de águas doces. Os quelônios são mais conhecidos na Formação Romualdo, de onde foi descrito o primeiro exemplar, proveniente de uma mina a 2km de Santana do Cariri: *Araripemys barretoii* Price 1973, que também foi registrado na Formação Crato (Oliveira & Kellner, 2005). Posteriormente foram descritas, da Formação Romualdo, as espécies *Santanachelys gaffneyi* Hirayama 1998; *Bra-*

silemys josai Broin 2000 e *Cearachelys placidoi* Gaffney, Campos & Hirayama 2001 (Oliveira & Kellner, 2005), além de uma espécie indeterminada do gênero *Teneremys* (Broin & Campos, 1985). Price (1973) considerou a espécie por ele descrita como marinha, e Santos (1982) enfatizou seu caráter alóctone. Oliveira & Kellner (2005) sugerem que *Araripemys barretoii*, na Formação Crato, por estar associada a restos de anuros, seria de ambiente dulcícola. Broin & Campos (1985) e Broin (2000) mencionam que representantes dos gêneros *Araripemys*, *Teneremys* e *Brasilemys* na Bacia do Araripe pertencem a “uma rica fáunula não-marinha de peixes”. Gaffney *et al.* (2001) admitem que *Cearachelys placidoi* tanto pode ser uma tartaruga marinha costeira como dulceaquícola, tendo sido coletada em local incerto. E a espécie de *Santanachelys* é considerada por Hirayama (1998) como marinha.

INVERTEBRADOS

Dentre os invertebrados tipicamente marinhos relatados como ocorrentes na Bacia do Araripe, há equinodermas, moluscos e artrópodos, relacionados tanto à Formação Crato como à Formação Romualdo.

A presença de equinóides é registrada desde a década de '60, em bancos calcários na região de Ipubi – Araripina, inicialmente através dos trabalhos de K. Beurlen (1962a, 1962b, 1963, 1966) e de seus alunos: Albuquerque (1963), Anjos (1963) e Costa (1963). Apenas duas espécies são descritas, ambas de equinóides irregulares (Manso & Hessel, 2005; Fig.2): *Pygurus tinocoi* K. Beurlen 1966, e *P. araripensis* (K. Beurlen 1966), ambas associadas a uma pequena fauna composta por gastrópodos, bivalvíos, anelídeos e ostracodes, além de raros fragmentos de peixes indeterminados (Berthou *et al.*, 1990).



Figura 2 – Exemplar do equinóide *Pygurus araripensis* da Formação Romualdo (barra indica 1cm; fotografias de Cleide Regina Moura).

Duas classes de moluscos estão representadas na Bacia do Araripe: a dos bivalvíos e a dos gastrópodos. Enquanto os bivalvíos foram mencionados nas formações Crato e Romualdo, os gastrópodos foram identificados apenas em níveis estratigráficos acima dos ictiólitos da Formação Romualdo, em bancos calcários (K. Beurlen, 1963).

Na Formação Crato, a maioria das formas de bivalvíos conhecidos pertence a gê-

neros atualmente marinhos: *Yoldia*, *Barbattia* e *Malletia* (Barbosa *et al.*, 2004; Fig.3). Entretanto, ocorrem nas mesmas camadas que os abundantes espécimes do gênero tipicamente dulceaquícola, *Pseudohyria*, indicando que possivelmente as formas fósseis viviam em águas menos salgadas do que as atuais. São encontrados em folhelhos aflorantes no rio da Batateira e na região de Nova Olinda, Barbalha e Santana do Cariri, porção leste da Bacia de Araripe.

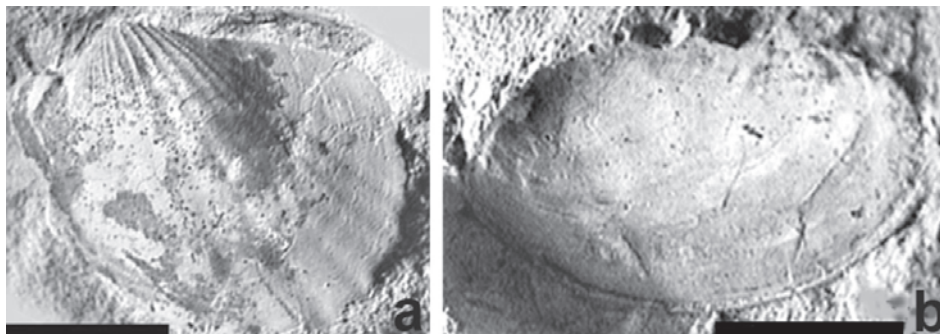


Figura 3: Exemplares dos bivalvíos *Barbatia* sp. (a) e *Malletia* sp. (b) da Formação Crato (barra indica 1cm; fotografias de José Antonio Barbosa).

Os bivalvíos ocorrentes nos depósitos calcários da Formação Romualdo estão representados por espécimes que provêm da região de Lagoa de Dentro e Araripina: *Aguileria* sp., *Crassatella*? sp., *Anomia*? sp. e *Brachidontes*? sp., estes dois últimos também presentes nos municípios de Santana do Cariri, Ipubi e Exu, onde ocorrem representantes de *Corbula*? sp. (K. Beurlen, 1963). Santos (1982) cita a ocorrência de *Plicatula* sp. no município de Caldeirão Grande, Piauí, e Sales *et al.* (2001) registram a

presença de um mitilídeo na região de Jardim. Estas formas nunca foram descritas e ilustradas, de modo que sequer sua identificação taxonômica é conhecida. A maioria dos gêneros mencionados é eurihalina de ampla distribuição geográfica, com exceção de *Aguileria*, que é um bivalvío que vive em ambientes transicionais, sob águas de mais baixa salinidade (Hessel & Filizola, 1991). Os mitilídeos também vivem em ambientes marinhos e salobros, e *Plicatula* sp. é de uma família aparentemente marinha.



Figura 4 – Banco calcário com gastrópodos da Formação Romualdo aflorante próximo a Araripina (fotografia de Antonio de Souza Leal).

Todos os gastrópodos fósseis identificados da Bacia do Araripe provêm da Formação Romualdo, ocorrendo de modo geral em bancos calcários (Fig.4) das regiões de Ipubi e Araripina (K. Beurlen, 1963, 1964; Mabesoone & Tinoco, 1973): *Gymnentome romualdoi* K. Beurlen 1964 (Fig.5) e *Craginia araripensis* K. Beurlen 1964 (que aparentemente também é encontrada no Crato e Exu), e formas preliminarmente relacionadas a gastrópodos turriteliformes e neritíoides, que foram registrados ainda

em Porteiras e Barbalha. Santos (1982) e Sales *et al.* (2001) registraram a presença de *Cerithium cf. austinense* na região de Caldeirão Grande, Piauí. K. Beurlen (1964) observou que *G. romualdoi* e *C. araripensis* são formas marinhas, ocorrendo em bancos calcários junto com equinóides, restritos ao sudoeste da bacia. *Cerithium* é um gênero tido como marinho, e os demais gastrópodos necessitam uma identificação taxonômica precisa para serem utilizados como referenciais paleoambientais.

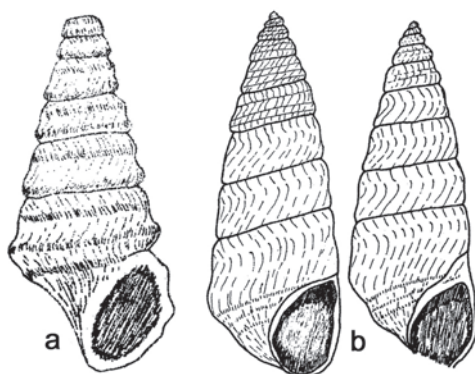


Figura 5 – Os gastrópodos *Gymnentome romualdoi* (a) e *Craginia araripensis* (b) da Formação Romualdo, como ilustrados por K. Beurlen (1964).

Dentre os artrópodos aquáticos, possivelmente marinhos, já registrados na Bacia do Araripe (exceto ostracodes), na Formação Romualdo, há uma espécie de caranguejo descrita por Martins Neto (1987): *Araripecarcinus ferreirai*. Esta forma foi encontrada na mesma concreção onde ocorre um espécime de *Vinctifer comptoni*, provindo de uma pedreira localizada próximo a Porteiras, Ceará. As formas atuais da superfamília Portunidae, a qual pertence *A. ferreirai*, são marinhas, mas isto não significa que este gênero também tenha sido marinho, de modo que o autor considerou provisoriamente este caranguejo como um habitante de águas doces. O outro táxon de artrópodo com possibilidade de ser de origem marinha é um camarão da espécie

Paleomattea deliciosa Maisey & Carvalho, 1995, encontrado em nódulos calcários (K. Beurlen, 1963), em folhelhos aflorantes em Santana do Cariri (Viana & Agostinho, 1995) e também no conteúdo estomacal de *Rhacolepis* (Maisey & Carvalho, 1995). Viana & Agostinho (1995) o consideraram de origem marinha.

Há ainda o registro de copépodos parasitas do grupo Dichelesthioidea, que foram reconhecidos nas brânquias de um exemplar de *Cladocycclus gardneri* (Cressey & Patterson, 1973), encontrado dentro de um ictiólito com ostracodes dulcícolas (Lima, 1979). Maisey (2001) admite que esta espécie de peixe é eurihalina, vivendo tanto em ambientes marinhos como lacustres. Martins Neto (1987) salienta, citando Cressey &

Patterson (1973), que “os copépodos são tão abundantes nas comunidades de ambiente marinho como nas de água doce, embora os autores afirmassem que os copépodos de Araripe fossem marinhos e que *Cladocycclus*, ao invés de forma marinha, fosse uma forma altamente tolerante a variações de salinidade, podendo contaminar-se com parasitas marinhos e perecer em água doce”.

MICROFÓSSEIS

Dentre os microfósseis possivelmente marinhos relatados como ocorrentes na Bacia do Araripe há os foraminíferos, ostracodes e dinoflagelados.

Branner (1915) foi o primeiro a mencionar a presença de foraminíferos na Bacia do Araripe, citando que ela “contém quantidades enormes de foraminíferos fósseis, mostrando claramente que estas formações são depósitos marinhos”. Carvalho & Carvalho (1974) citam a ocorrência de foraminíferos bentônicos numa tabela-síntese, ao analisar amostras da perfuração GSB-1 em Serra Branca, próximo a Ipubi. Lima (1978, 1979) reconhece um foraminífero quitinoso ocorrente na Formação Romualdo como sendo da espécie *Rhodonascia bontei* Deak 1964, tido pelo autor como marinho não costeiro. Berthou *et al.* (1990) assinalam e ilustram foraminíferos miliolídeos, entre os quais *Quinqueloculina* sp., e formas hiálinas indeterminadas provenientes de estratos da Formação Romualdo na região de Pedra Branca, considerando-os como de

origem marinha. Arai & Coimbra (1990) mencionam a presença de foraminíferos quitinosos e rotalídeos indeterminados ao estudarem amostras do poço 2-AP-1-CE, ao sudeste da cidade de Araripe, Ceará,

Os ostracodes cretáceos são fósseis muito comuns e bastante estudados na Bacia do Araripe, onde ocorrem ao longo de toda a seqüência, com exceção talvez das formações Rio da Batateira, Arajara e Exu. Predominam os cipridáceos, mas darwinuláceos e ceteráceos são também comuns (Hessel *et al.*, 2006), todos habitantes de ambientes de águas doces ou salobras. Ostracodes tipicamente marinhos, os bairdiáceos, foram descritos e ilustrados por Silva (1976; Fig.6a-b) nos folhelhos aflorantes da Formação Crato, porém não mais confirmados em estudos posteriores.

Dinoflagelados provenientes da Formação Romualdo (na argila cinza-escuro logo acima da gipsita da Formação Ipubi) foram ilustrados por Lima (1971; Fig.6c), que estudou amostras da perfuração GSB-1, município de Ipubi. Arai & Coimbra (1990) observaram inúmeras espécies de dinoflagelados em amostras do poço 2-AP-1-CE, na porção oeste da Bacia do Araripe, ilustrando com exemplares dos gêneros *Subtilisphaera* e *Spiriferites*. Os autores mencionam que esta associação sugere uma indubitável influência marinha. Dino & Viana (2001) acrescentaram que estas ocorrências observadas por Arai & Coimbra (1990) correspondem a ambientes marinhos distais e de baixa energia,



Figura 6 – Microfósseis da Bacia do Araripe: Bairdia? sp. (a) e Bythocypris sp. (b), ostracodes da Formação Crato (ilustrações de Silva, 1975); dinoflagelado da Formação Romualdo (c; ilustração de Lima, 1971).

por sua associação com grande quantidade de matéria orgânica amorfa. Pons *et al.* (1990) relataram a presença de dinocistos na Formação Rio da Batateira, que Arai (2002) provou serem resultantes de retrabalhamento de espécies de acritarcos marinhos devonianos, que ocorrem nas formações Abaiara e Rio da Batateira.

CONSIDERAÇÕES SOBRE SALINIDADE

A aptiana Formação Crato é considerada por K. Beurlen (1971) e Ponte (1992) como depositada em um ambiente lacustre de águas doces em uma bacia relativamente restrita. Mabesoone & Tinoco (1973) sugerem que deve ter sido depositada em águas calmas, pelo baixo percentual de fósseis fragmentados, além de indícios de ordem sedimentar (laminação dos calcários e dos folhelhos). Mabesoone *et al.* (2000) admitem que esta unidade representa a deposição de um lago de águas doces e rasas, com peixes do gênero eurihalino *Dastilbe* e anfíbios anuros (Leal & Brito, 2006), aos quais Barbosa *et al.* (2004) acrescentaram a ocorrência de bivalvíos. Moura *et al.* (2006) consideram o ambiente de deposição da Formação Crato como “lacustre interno com pouca ou quase nenhuma energia”.

Nos calcários da Formação Crato ocorrem abundantes restos de pequenos *Dastilbe*, um peixe eurihalino, e raros representantes de *Cladocylus gardneri* e de celacantos, tidos como de ambientes salinos. Um quelônio procedente destes calcários laminados, *Araripemys barretoii*, tem sido considerado como dulceaquícola, por sua associação a anuros. Nesta litologia, ainda ocorrem *Yoldia*, *Barbatia* e *Malletia*, gêneros de bivalvíos atualmente marinhos, associados à *Pseudohyria*, tipicamente dulceaquícola, sendo assim considerados como possivelmente tolerantes a variações de salinidade.

Nos folhelhos da Formação Crato ocorrem conchostráceos, representantes

do bivalvío *Pseudohyria* e algas do gênero *Botryococcus*, todos tipicamente dulceaquícolas. E ainda existe o registro de ostracodes bairdiáceos, que são marinhos, mas cuja presença não foi confirmada em estudos posteriores, sendo este dado aqui não considerado. Ainda na Formação Crato, mas sem registro em qual litologia ocorrem, há raros espécimes dos peixes *Beurlenichthys diasii*, cujas características do ambiente de vida são desconhecidas, e *Vinctifer longirostris*, cujo gênero é considerado marinho.

Neumann *et al.* (2001, 2003) postularam que a Formação Crato foi depositada em um sistema lacustre salino com certa influência de águas doces (pântanos e planícies de inundação). Esta hipótese pode ser confirmada pela predominância de calcários sobre os folhelhos nesta unidade, estes contendo organismos tolerantes a variações de salinidade: *Dastilbe crandalli*, *Yoldia* sp., *Barbatia* sp. e *Malletia* sp. Periodicamente, por ocorrência de tormentas e enchentes fluviais, as águas desta bacia lacustre relativamente restrita (K. Beurlen, 1971) tornavam-se estratificadamente menos salinas, o que é registrado pela deposição de folhelhos com bivalvíos do gênero *Pseudohyria* e conchostráceos. Nestas ocasiões, também ocorreriam explosões bióticas das algas verde-amarelas *Botryococcus* sp., que viveriam em águas calmas e rasas (Mabesoone & Tinoco, 1973; Mabesoone *et al.*, 2000). Aparentemente *Cladocylus gardneri* vivia no ambiente lacustre salino e, por ser estenohalino, morria quando as águas tornavam-se doces e havia a explosão algálica (o que reduzia a disponibilidade de oxigênio no ambiente), fossilizando então no folhelho. *Vinctifer longirostris*, ainda que marinho, poderia ingressar em águas menos salinas em tempos de reprodução, como sugerido por P.M. Brito *et al.* (2005).

Assim sendo, pelo registro na literatura, não fica comprovado que organismos

tipicamente marinhos viviam no ambiente de deposição da Formação Crato, que aflora na porção leste da Bacia do Araripe (região de Santana do Cariri, Crato, Barbalha e Nova Olinda).

Na Formação Romualdo, peixes osteícties considerados de ambiente marinho ocorrem com frequência em ictiólitos da região de Santana do Cariri, Pedra Branca, Jardim e Missão Velha (Fig.7): *Vinctifer comptoni*, *Tharrhias araripis*, este gênero talvez sendo litorâneo (Silva-Santos & Valença, 1968). O peixe mais abundante nesta unidade é *Rhacolepis buccalis*, que Maisey (2001) considera marinho e Silva-Santos & Valença (1968) como de estuários e de lagunas litorâneas. Ainda nesta formação, na área de Jardim, ocorrem raros peixes celacantos, como o *Axelrodichthys araripensis* e *Mawsonia gigas*, este tido como não-marinho. Dentre os peixes condrícties, há o registro da raia *Iansan beurleni*, que Silva-Santos & Valença (1968) sugerem ter vivido em zonas sublitorâneas. O outro condrícte presente é o tubarão *Tribodus limae* que é não-marinho. Os peixes da Formação Romualdo parecem indicar que viviam em ambientes de diferentes salinidades, pois também há várias formas eurihalinas: *Araripelepidoles*, *Brannerion*, *Calamopleurus*, *Notelops* e *Paraelops*. Esta diversidade provavel-

mente reflete não somente diferentes condições paleoambientais em distintas áreas geográficas e no tempo geológico, como também uma dinâmica aquática relacionada a eventuais incursões marinhas e/ou ao estabelecimento de uma estratificação halina das águas.

Já entre os répteis possivelmente marinhos ocorrentes nas concreções calcárias da Formação Romualdo, há os quelônios, em geral de procedência desconhecida: *Araripemys barretoii*, que seria de ambiente dulcícola, assim como *Teneremys* sp. e *Brasilemys josai*. *Cearachelys placidoi* era aparentemente uma espécie eurihalina, vivendo tanto em ambientes marinhos costeiros como dulcícolas, e *Santanachelys gaffneyi* é considerada marinha. Estes registros sugerem que o único exemplar de quelônio da Formação Romualdo tido como de origem marinha deve ter fossilizado de forma alóctone.

Dentre os invertebrados marinhos ocorrentes na Formação Romualdo (Fig.7), em bancos calcários, há duas espécies de equinóides irregulares: *Pygurus tinocoi* e *P. araripensis*, ambas associadas a uma fauna de gastrópodos ainda pouco estudados: *Gymmentome romualdoi*, *Craginia araripensis*, *Cerithium* cf. *austinense* e formas turteliformes e neritóides. Estes organismos ocorrem frequentemente na porção oes-

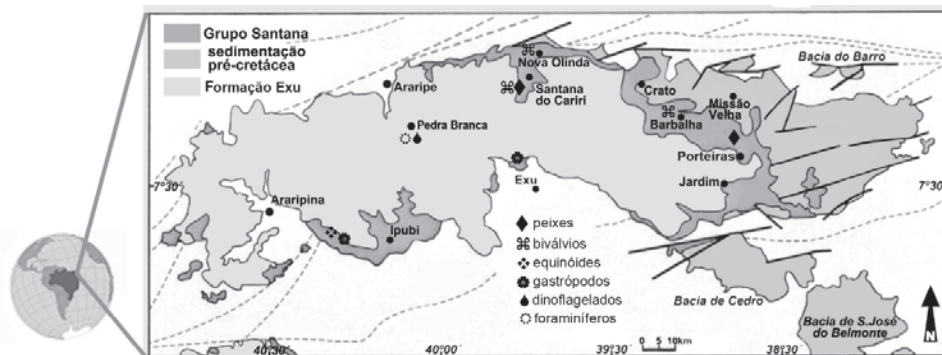


Figura 7 – Mapa geológico simplificado da Bacia do Araripe, com as indicações aproximadas da ocorrência de organismos tipicamente marinhos da Formação Romualdo (modificado de Arai et al., 2004).

te da bacia, como em Porteiras, Caldeirão Grande, Missão Velha, Ipubi e Araripina, mas foram também observados a leste, no Crato, em Santana do Cariri e Barbalha. K. Beurlen (1964) observa que *G. romualdoi* e *C. arari-pensis* são formas marinhas. Os bivalvíos da Formação Romualdo ocorrem na mesma área dos gastrópodos e permanecem até hoje classificados preliminarmente, com exceção de *Aguilera* sp., que é uma forma que vive em ambientes transicionais, sob águas de baixa salinidade. Ainda nesta unidade estratigráfica, encontram-se restos de artrópodos aquáticos que poderiam ser de origem marinha: o caranguejo *Araripecarcinus ferreirai*, provavelmente de águas doces, e o camarão *Paleomattea deliciosa*, encontrado em nódulos calcários, dentro de peixes e em margas, tido como marinho.

A literatura assim nos fornece uma visão novamente variada do paleoambiente indicado pelos invertebrados ocorrentes na Formação Romualdo da Bacia do Araripe: enquanto os bancos calcários e ricamente fossilíferos do oeste da bacia parecem ter sido depositados em ambiente de franca influência marinha, com equinóides e gastrópodos, os bivalvíos e artrópodos parecem ser de ambientes menos salinos e de uma distribuição geográfica mais ampla.

No registro de microfósseis da Formação Romualdo há foraminíferos, como *Rhodonascia bontei*, *Quinqueloculina* sp. e outros miliolídeos e rotalídeos indeterminados, todos considerados como de origem marinha, habitando provavelmente ambientes rasos e costeiros. Há também inúmeras espécies de dinoflagelados provenientes desta formação, como os gêneros *Subtilisphaera* e *Spiriferites*, sugerindo novamente uma indubitável influência marinha no ambiente de deposição, representando provavelmente áreas mais distais e de baixa energia (Dino & Viana, 2001). Ainda que copépodos parasitas sejam geralmente marinhos, o fato de serem encontrados alguns

de seus exemplares nas brânquias de um *Cladocylus gardneri* pode simplesmente refletir uma ocasional contaminação deste indivíduo.

Assim sendo, os microfósseis (foraminíferos e dinoflagelados), ainda que de forma geograficamente restrita, indicam que houve influência marinha em algum tempo de deposição da Formação Romualdo, corroborando os dados obtidos com os invertebrados (equinóides e gastrópodos) e os peixes (*Vinctifer*, *Tharrhias* e *Rhacolepis*).

Silva-Santos & Valença (1968) apresentaram a hipótese de que durante o tempo de deposição da Formação Romualdo haveria na região da Bacia do Araripe um largo golfo com afluxo de águas fluviais. Esta feição geomorfológica poderia ter sido a natural evolução de uma laguna costeira existente no início da sedimentação desta unidade, quando as águas marinhas que então depositavam parte da Formação Codó na vizinha Bacia da Parnaíba (Campos, 1964) ingressaram temporariamente na Bacia do Araripe. As águas deste possível golfo teriam variações de salinidade tanto vertical quanto horizontalmente, proporcionando uma variedade de microhabitats para a diversidade biótica hoje encontrada nos estratos da Formação Romualdo. Mabesoone & Tinoco (1973) sugeriram que durante a deposição da Formação Romualdo já não havia mais condições estáveis e um ambiente calmo, pois há bancos com grande número de conchas de moluscos quebradas, como pode ocorrer em áreas restritas de um golfo.

Della Fávera (1987) sugeriu que nesta época grandes tempestades ocorreram na Bacia do Araripe, formando ondas capazes de revolver seu fundo lodoso, rico em matéria orgânica em decomposição, provocando um envenenamento local das águas e conseqüente mortalidade da fauna, similarmente ao que hoje ocorre na lagoa Rodrigo de Freitas (Rio de Janeiro), como já aventa-

ra K. Beurlen (1963). Della Fávera acrescenta que nestas ocasiões, eventuais barreiras poderiam ser rompidas, havendo aumento de salinidade pelo ingresso de maior volume de águas marinhas (no golfo), que poderiam trazer também organismos que viviam normalmente em mar aberto. Cavalcanti & Viana (1990) sugerem que ingressões marinhas iniciaram-se somente quando houve a formação de bancos carbonáticos, nos quais foram preservados equinóides, moluscos e peixes, na porção mais superior da Formação Romualdo, o que parece corresponder à paleofauna encontrada, pois, em camadas desta unidade, logo acima da Formação Ipubi, ocorrem organismos típicos de águas doces, como as algas carófitas (Silva, 1975; Saraiva *et al.*, 2003). Mesmo assim, parece que uma influência claramente marinha na Bacia do Araripe veio do oeste, onde ocorrem fósseis de organismos bentônicos tipicamente marinhos, como já havia postulado K. Beurlen (1963), Campos (1964) e Ponte (1992). Foraminíferos e dinoflagelados, planctônicos, assim como os peixes neotônicos, alcançaram naturalmente maior distribuição geográfica, dispersando-se também a leste da bacia.

Pela análise do registro de organismos cretáceos na Bacia do Araripe, disponível na literatura, observa-se que ocorrem formas marinhas bentônicas na porção oeste da bacia, e espécies planctônicas e neotônicas em mais ampla distribuição, ainda que somente nos depósitos sedimentares não basais da Formação Romualdo (Neo-aptiano). Entretanto, para interpretar mais adequadamente os paleoambientes então existentes é preciso considerar as associações faunísticas e florísticas como um todo, como já afirmaram Wenz & P.M. Brito (1990), muitas delas ainda carentes de estudo. A diversidade paleoictiológica, de microorganismos e de invertebrados, parece refletir não somente diferentes nichos paleoecológicos no tempo e no espaço,

como também uma dinâmica aquática relacionada a eventuais incursões marinhas e/ou ao estabelecimento de estratificações halinas das águas, ocorrida durante quase 50 milhões de anos.

CONCLUSÕES

Com a revisão bibliográfica realizada sobre o registro de organismos fósseis possivelmente marinhos ocorrentes na Bacia do Araripe, é possível listar diversas conclusões, como é a seguir relacionado.

- a. Nos calcários laminados da Formação Crato é conhecido *Dastilbe crandalli*, um peixe aparentemente eurihalino, tido ora como lacustre não-marinho ora como marinho litorâneo, *Cladocycclus gardneri* e celantos de águas salinas, *Araripe-mys barretoii*, um quelônio considerado dulceaquícola, e bivalvíos dos gêneros *Yoldia*, *Barbatia* e *Malletia* associados à *Pseudohyria*, sugerindo que estes moluscos eram eurihalinos.
- b. Nos folhelhos da Formação Crato são encontrados bivalvíos do gênero *Pseudohyria*, conchostráceos e algas verde-amarelas *Botryococcus*, todos estes de ambiente dulcícola, sendo a presença de ostracodes bairdiáceos marinhos ainda duvidosa.
- c. De litologia incerta da Formação Crato foram registrados raros espécimes de *Beurlenichthys diasii*, cujas características do ambiente de vida são desconhecidas, e *Vinctifer longirostris*, cujo gênero é considerado marinho, podendo ter ingressado em águas menos salinas em períodos de reprodução.
- d. Não é comprovado que organismos tipicamente marinhos viviam no ambiente de deposição da Formação Crato, que aparentemente foi depositada em um sistema lacustre salino com eventual influência de águas doces, quando haveria formas dulceaquícolas e ocorreriam explosões algálicas, estas responsáveis

- pela morte de peixes estenohalinos, como *Cladocyclus gardneri*.
- e. Nas concreções calcárias da Formação Romualdo encontram-se peixes osteícties marinhos, como *Vinctifer comptoni*, *Tharrhias araripis* e o abundante *Rhacolepis buccalis*, este também vivendo em estuários e lagunas litorâneas.
- f. No mesmo nível dos ictiólitos da Formação Romualdo ocorrem raros peixes celacantos (*Axelrodichthys araripensis* e *Mawsonia gigas*), não-marinhos, e condrícties, como o tubarão *Tribodus limae* e a raia *Iansan beurleni*, aparentemente marinhos sublitorâneos.
- g. Nas concreções calcárias da Formação Romualdo há quelônios como *Araripemys barretoii*, *Brasilemys josai* e *Teneremys* sp., dulceaquícolas, *Cearachelys placidoi* de ambiente dulcícola e marinho costeiro, e *Santanachelys gaffneyi*, marinho e possivelmente alóctone.
- h. Dentre os invertebrados bentônicos tipicamente marinhos ocorrentes na Formação Romualdo, há duas espécies de equinóides irregulares: *Pygurus tinocoi* e *P. araripensis*, encontradas em bancos calcários na porção oeste da bacia.
- i. Os gastrópodos identificados na Formação Romualdo (*Gymnentome romualdoi*, *Craginia araripensis* e *Cerithium* cf. *austinense*) indicam um ambiente marinho, enquanto os bivalvíos reconhecidos taxonomicamente (*Aguileria* sp.) sugerem um ambiente transicional, ainda que a maior parte da malacofauna necessite ser corretamente identificada.
- j. Na Formação Romualdo encontram-se restos de artrópodos aquáticos, como o caranguejo *Araripecarcinus ferreirai*, considerado preliminarmente de águas doces, o camarão *Paleomattea deliciosa*, tido de origem marinha, e copépodos marinhos encontrados parasitando as brânquias de um *Cladocyclus gardneri*, refletindo uma ocasional contaminação.
- k. Na Formação Romualdo ocorrem foraminíferos, como *Rhodonascia bonteii*, *Quinqueloculina* sp., outros miliolídeos e rotaliídeos indeterminados, todos de origem marinha, habitando provavelmente ambientes rasos e costeiros.
- l. Inúmeras formas de dinoflagelados provenientes da Formação Romualdo foram reconhecidas, como os gêneros *Subtilisphaera* e *Spiriferites*, sugerindo influência marinha em seu ambiente de deposição.
- m. A Formação Romualdo aparentemente foi depositada em um sistema ecológico ecótono, onde eventuais barreiras de ligação oceânica poderiam ser removidas, com aumento de salinidade nas águas, influência esta provavelmente vinda do oeste, onde ocorre o registro de organismos bentônicos tipicamente marinhos.
- n. A paleobiota cretácea da Bacia do Araripe parece refletir uma diversidade paleoambiental no tempo e no espaço associada a uma grande dinâmica aquática, que ainda exige estudos faunísticos e florísticos detalhados para uma interpretação integrada dos eventos ocorridos.

Agradecimentos: Nossos melhores agradecimentos aos professores Dra. Valéria Gallo (UERJ), M.Sc. Antônio Álamo Feitosa Saraiva (URCA), Dra. Maria Somália Sales Viana (UVA), Dr. Gorki Mariano (UFPE), Dra. Sonia Agostinho (UFPE) e Dr. Mário Lima Filho (UFPE) por diversas colaborações que enriqueceram e melhoraram o texto. Também somos gratas a Antonio de Souza Leal, Cleide Regina Moura e José Antonio Barbosa, pelas fotografias cedidas.

REFERÊNCIAS

- Albuquerque, J.P.T. 1963. Geologia da área sudeste de Rancharia, sul de Araripina, Estado de Pernambuco. *Boletim de Geologia* (UFPE), Recife, 3: 46-48.

- Anjos, N.F.R. 1963. Conteúdo fóssil e idade da série Araripe. *Symposium*, Recife, 5(1-2): 175-178.
- Arai, M. 1999. Transgressão marinha mesocretácea: sua implicação no paradigma da reconstituição paleogeográfica do Cretáceo no Brasil. *Simpósio do Cretáceo no Brasil*, 5, Rio Claro, *Resumos Expandidos*, UNESP: 577-582.
- Arai, M. 2002. Ocorrência de palinóforos devonianos retrabalhados na Bacia do Araripe (Nordeste do Brasil): sua relação com a evolução tectono-sedimentar policíclica. *Paleontologia em Destaque*, Porto Alegre, 17(40): 10-11.
- Arai, M. & Coimbra, J.C. 1990. Análise paleoecológica do registro das primeiras ingressões marinhas na Formação Santana (Cretáceo Inferior da chapada do Araripe). *Simpósio sobre a Bacia do Araripe e Bacias Interiores do Nordeste*, 1, Crato, *Atas*, URCA: 225-239.
- Arai, M., Coimbra, J.C. & Telles Jr, A.C.S. 2001. Síntese bioestratigráfica da Bacia do Araripe (nordeste do Brasil). *Simpósio sobre a Bacia do Araripe e Bacias Interiores do Nordeste* [1997], 2, Crato, *Comunicações*, DNP/URCA/SBP: 109-117.
- Arai, M., Carvalho, I.S. & Cassab, R.C.T. 2004. Bacia do Araripe. *Phoenix*, Aracaju, 6(72): 1-6.
- Barbosa, J.A., Hessel, M.H. & Neumann, V.H. 2004. Bivalves da Formação Crato, Bacia do Araripe. *Paleontologia em Destaque*, Porto Alegre, 20(49): 41-42.
- Bate, R.H. 1972. Phosphatized ostracods with appendages from the Lower Cretaceous of Brazil. *Palaeontology*, London, 15(3): 379-393.
- Berthou, P.Y., Viana, M.S.S. & Campos, D.A. 1990. Coupe de la Formation Santana dans le secteur de Pedra Branca (Santana do Cariri; Bassin d'Araripe, NE du Brésil): contribution a l'étude de la sédimentologie et des paleoenvironnements. *Simpósio sobre a Bacia do Araripe e Bacias Interiores do Nordeste*, 1, Crato, *Atas*, URCA: 173-191.
- Beurlen, K. 1962a. Posição estratigráfica e paleogeográfica da chapada do Araripe. *Congresso Brasileiro de Geologia*, 16, Porto Alegre, *Resumos*, SBG: 2.
- Beurlen, K. 1962b. A geologia da chapada do Araripe. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, 34(3): 365-370.
- Beurlen, K. 1963. Geologia e estratigrafia da chapada do Araripe. *Congresso Nacional de Geologia*, 17, Recife, *Anais*, SBG: 1-47.
- Beurlen, K. 1964. As espécies dos Cassiopininae, nova subfamília dos Turritellidae, no Cretáceo do Brasil. *Arquivos de Geologia da UFPE*, Recife, 5: 1-43.
- Beurlen, K. 1966. Novos equinóides no Cretáceo do nordeste do Brasil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, 38(3/4): 455-464.
- Beurlen, K. 1971. As condições ecológicas e faciológicas da Formação Santana na chapada do Araripe (nordeste do Brasil). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, 43 (Suplemento): 411-415.
- Branner, J.C. 1915. *Geologia elementar*. Rio de Janeiro, Francisco Alves & Cia, 396p.
- Brito, P.M. & Martill, D.M. 1999. Discovery of a juvenile coelacanth in the Lower Cretaceous, Crato Formation, Northeastern Brazil. *Cybium*, Paris, 23(3): 209-211.
- Brito, P.M., Mayrinck, D., Leal, M.E.C. & Martill, D.M. 2005. An overview of the Crato Formation ichthyofauna. *International Meeting on Mesozoic Fishes*, 4, Madrid, *Extended Abstracts*, Universidad Autónoma de Madrid: 47-49.
- Brito, P.M. & Séret, B. 1996. The new genus *Iansan* (Chondrichthyes, Rhinobatoidea) from the Early Cretaceous of Brazil and its phylogenetic relationships. In G. Arratia & G. Viohl (eds) *Mesozoic Fishes: Systematics and Paleoecology*. München, Friedrich Pfeil: 47-62.

- Broin, F.L. 2000. The oldest prepodocnemid turtle (Chelonii, Pleurodira), from the Early Cretaceous, Ceará State, Brazil, and its environment. *Treballs del Museu de Geologia de Barcelona*, Barcelona, 9: 43-95.
- Broin, F.L. & Campos, D.A. 1985. *Araripe-mys barretoii*, uma tartaruga pleurodira do Cretáceo Inferior da Chapada do Araripe, Nordeste do Brasil. *Congresso Brasileiro de Paleontologia*, Fortaleza, Resumos: 14.
- Campos, C.W.M. 1964. Estratigrafia das bacias paleozóica e cretácea do Maranhão. *Boletim Técnico de Petrobras*, Rio de Janeiro, 7(2): 137-164.
- Carvalho, I.S. & Viana, M.S.S. 1993. Os conchostráceos da Bacia do Araripe. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, 65(2): 181-188.
- Carvalho, M.S.S. & Santos, M.E.C.M. 2005. Histórico das pesquisas paleontológicas na Bacia do Araripe, nordeste do Brasil. *Anuário do Instituto de Geociências da UFRJ*, Rio de Janeiro, 28(1): 15-34.
- Carvalho, S.G. & Carvalho, M.F. 1974. Microfácies sedimentares do furo GSB-1, Serra Branca, chapada do Araripe, Pernambuco. *Estudos Sedimentológicos [UFRN]*, Natal, 3/4: 49-63.
- Cavalcanti, V.M.M. & Viana, M.S.S. 1990. Faciologia dos sedimentos não-lacustres da Formação Santana (Cretáceo Inferior da Bacia do Araripe, nordeste do Brasil). *Simpósio sobre a Bacia do Araripe e Bacias Interiores do Nordeste, 1*, Crato, Atas, SBP/URCA: 193-207.
- Coimbra, J.C., Arai, M. & Carreño, A.L. 2002. Biostratigraphy of Lower Cretaceous microfossils from the Araripe Basin, northeastern Brazil. *Geobios*, Amsterdam, 35: 687-698.
- Costa, M.J. 1963. Geologia da região oeste de Rancharia, município de Araripina, PE. *Boletim de Geologia [UFPE]*, Recife, 3: 49-51.
- Cressey, R. & Patterson, C. 1973. Fossil parasitic copepods from a Lower Cretaceous fish. *Science*, New York, 180: 1238-1285.
- Davis, S.P. & Martill, D.M. 1999. The gonorynchiform fish *Dastilbe* from Lower Cretaceous of Brazil. *Palaeontology*, London, 2(4): 715-740.
- Della Fávera, J.C. 1987. Tempestades como agentes de poluição ambiental e mortandade em massa no passado geológico: caso das formações Santana (Bacia do Araripe) e Irati (Bacia do Paraná). *Boletim de Geociências da Petrobras*, Rio de Janeiro, 1(2): 239-240.
- Dino, R. & Viana, M.S.S. 2001. Palinomorfos da parte superior da Formação Santana (Albiano da Bacia do Araripe). *Revista Brasileira de Paleontologia*, Porto Alegre, 2: 92-93.
- Figueiredo, F.J. & Gallo, V. 2004. A new teleost fish from the Early Cretaceous of Northeastern Brazil. *Boletim do Museu Nacional*, Rio de Janeiro, 73: 1-23.
- Gaffney, E.S., Campos, D.A. & Hirayama, R. 2001. *Cearachelys*, a new side-necked turtle (Pelomedusoides: Bothremydidae) from the Early Cretaceous of Brazil. *American Museum Novitates*, New York, 3319: 1-20.
- Hessel, M.H. & Filizola, N.P. 1991. Algumas espécies de *Aguilera* (Bivalvia) do Albiano Inferior de Sergipe. *Congresso Brasileiro de Paleontologia*, Curitiba, 11, Anais 1: 301-316.
- Hessel, M.H., Tomé, M.E. & Moura, C.R. 2006. Ostracodes mesozóicos das bacias do interior nordestino: estado da arte. *Simpósio do Cretáceo do Brasil, 7*, São Pedro, *Boletim*: 66.
- Hirayama, R. 1998. Oldest known sea turtle. *Nature*, London, 392: 705-708.
- Kellner, A.W.A. 2006. *Pterossauros: os senhores do céu do Brasil*. Rio de Janeiro, Vieira & Lent, 176p.
- Leal, M.E.C. & Brito, P.M. 2006. Anura do Cretáceo Inferior da Bacia do Araripe,

- nordeste do Brasil. In V. Gallo, P.M. Brito, H.M.A. Silva & F.J. Figueiredo *Paleontologia de vertebrados: grandes temas e contribuições científicas*. Rio de Janeiro, Interciência: 145-152.
- Lima, M.R. 1971. Contribuição palinológica à estratigrafia do Cretáceo do nordeste do Brasil: análise da perfuração GSB-1, Serra Branca, Pernambuco. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 88p.
- Lima, M.R. 1978. Palinologia da Formação Santana (Cretáceo do nordeste do Brasil). Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 335p.
- Lima, M.R. 1979. Paleontologia da Formação Santana (Cretáceo do nordeste do Brasil): estágio atual do conhecimento. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, (51)3: 545-546.
- Mabesoone, J.M. & Tinoco, I.M. 1973. Palaeoecology of the Aptian Santana Formation (Northeastern Brazil). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Amsterdam, 14: 97-118.
- Mabesoone, J.M., Viana, M.S.S. & Neumann, V.H. 2000. Late Jurassic to Mid-Cretaceous lacustrine sequences in the Araripe-Potiguar depression of Northeastern Brazil. *AAPG Studies in Geology*, Tulsa, 46: 197-208.
- Maisey, J.G. (ed.) 1991. *Santana fossils: An illustrated atlas*. Neptune City, TFH, 459p.
- Maisey, J.G. 2001. Distribution patterns among Early Cretaceous fishes of Western Gondwana. *Simpósio sobre a Bacia do Araripe e Bacias Interiores do Nordeste*, 2 [1997], Crato, *Comunicações*, DNP/URCA/SBP: 227-237.
- Maisey, J.G. & Carvalho, M.G.P. 1995. First records of fossil Sergestid decapods and fossil brachyuran crab larvae (Arthropoda, Crustacea), with remarks on some Palaemonid fossils from Santana Formation (Aptian-Albian, NE Brazil). *American Museum Novitates*, New York, 3132: 1-20.
- Manso, C.L.C. & Hessel, M.H. 2005. Revisão sistemática de *Pygidiolampas araripensis* (K. Beurlen 1966), Echinodermata Cassiduloida do Albiano da Bacia do Araripe, Brasil. *PALEO 2005*, Ilhéus, *Resumos*: 12.
- Martill, D.M. 1988. Preservation of fish in the Cretaceous Santana Formation of Brazil. *Palaeontology*, London, 31(1): 1-18.
- Martill, D.M. 1989a. Fast fossilization. *QUGS Journal*, Milton Keynes, 10(1): 4-10.
- Martill, D.M. 1989b. The Medusa effect: Instantaneous fossilization. *Geology Today*, London, 5(6): 201-205.
- Martill, D.M. 1990. The significance of the Santana biota. *Simpósio sobre a Bacia do Araripe e Bacias Interiores do Nordeste*, 1, Crato, *Atas*, SBP/URCA: 253-264.
- Martins Neto, R.G. 1987. Primeiro registro de decápode na Formação Santana, Bacia do Araripe (Cretáceo Inferior), nordeste do Brasil. *Ciência & Cultura*, Rio de Janeiro, 39(4): 406-410.
- Martins Neto, R.G. & Mesquita, M.V. 1991. A paleoentomofauna do nordeste brasileiro: estado da arte. *Simpósio de Geologia do Nordeste*, 14, Recife, *Atas*, SBG: 59-62.
- Medeiros, R.A., Ponte, F.C. & Ponte Fº, F.C. 2001. Análise estratigráfica da chapada do Araripe, parte 2: análise de fácies. *Simpósio sobre a Bacia do Araripe e Bacias Interiores do Nordeste*, 2, Crato, *Atas*, SBP/URCA: 93-100.
- Moura, G.J.B., Barreto, A.M.F. & Baéz, A.M. 2006. *A biota da Formação Crato, Eocretáceo da Bacia do Araripe, nordeste do Brasil*, Olinda, Edição dos autores [Livro Rápido], 101p.
- Neumann, V.H. & Cabrera, L. 1999. Una nueva propuesta estratigráfica para la tectonosecuencia post-rifte de la Cuenca de Araripe, noreste de Brasil. *Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil*, 5, Serra Negra, *Boletim*, UNESP: 279-285.
- Neumann, V.H., Dino, R. & Cabrera, L. 2001. Compartimentação paleoambiental e

- significado paleoclimático da paleoflora reconhecida na seqüência lacustre aptiana da Bacia do Araripe. *Revista Brasileira de Paleontologia*, Rio de Janeiro, 2: 99-100.
- Neumann, V.H., Borrego, A.G., Cabrera, L. & Dino, R. 2003. The Aptian-Albian lacustrine system of the Araripe Basin, northeastern Brazil: Paleoambiental and paleoclimatic significance of the recognized paleoflora. *Latin-American Congress of Sedimentology*, 3, Belém, *Abstract Book*, IAS: 131-133.
- Neves, B.B.B. 1990. A Bacia do Araripe no contexto geotectônico regional. *Simpósio sobre a Bacia do Araripe e Bacias Interiores do Nordeste*, 1, Crato, *Atas*, URCA: 21-33.
- Oliveira, A.F. 1978. O gênero *Tharrhias* no Cretáceo da chapada do Araripe. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, 52(3): 569-590.
- Oliveira, G.R. & Kellner, A.W.A. 2005. Note on a plastron (Testudines, Pleurodira) from the Lower Cretaceous Crato Member, Santana Formation, Brazil. *Arquivos do Museu Nacional*, Rio de Janeiro, 3(63): 523-528.
- Plummer, F.B. 1948. Estados do Maranhão e Piauí. In Brasil, *Relatório de 1946*. Conselho Nacional do Petróleo, Rio de Janeiro, 87-134.
- Pons, D., Berthou, P.Y. & Campos, D.A. 1990. Quelques observations sur la palynologie de l'Aptien Supérieur et l'Albien du Bassin d'Araripe (NE du Brésil). *Simpósio sobre a Bacia do Araripe e Bacias Interiores do Nordeste*, 1, Crato, *Atas*, URCA: 241-252.
- Ponte, F.C. 1992. Sistemas deposicionais na Bacia do Araripe, nordeste do Brasil. *Simpósio sobre as Bacias Cretáceas Brasileiras*, 2, Rio Claro, *Resumos*, UNESP: 81-84.
- Ponte, F.C. & Appi, C.J. 1990. Proposta de revisão da coluna litoestratigráfica da Bacia do Araripe. *Congresso Brasileiro de Geologia*, 36, Natal, *Anais*, 1, SBG: 211-226.
- Price, L.I. 1959. Sobre um crocodilídeo notossúquio do Cretáceo brasileiro. *Boletim da DGM*, Rio de Janeiro, 188: 1-63.
- Price, L.I. 1973. Quelônio Amphichelydia no Cretáceo Inferior do nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, 3(2): 84-96.
- Regali, M.S.P. 2001. Palinoestratigrafia dos sedimentos cretáceos da Bacia do Araripe e das bacias interiores do nordeste, Brasil. *Simpósio sobre a Bacia do Araripe e Bacias Interiores do Nordeste*, 2 [1997], Crato, *Comunicações*, DNPM/URCA/SBP: 101-106.
- Sales, A.M.F., Simões, M.G. & Ghilardi, R.P. 2001. Ocorrência de Mytilidae (Bivalvia, Mollusca) nos calcários superiores do Membro Romualdo (Formação Santana, Albiano, Bacia do Araripe): implicações paleoecológicas e paleogeográficas. *Simpósio de Geologia do Nordeste*, 19, Natal, *Resumos*, SBG: 18-19.
- Santos, M.E.C.M. 1982. Ambiente deposicional da Formação Santana, chapada do Araripe (PE/PI/CE). *Congresso Brasileiro de Geologia*, 32, Salvador, *Anais*, 4, SBG: 1413-1426.
- Saraiva, A.A.F., Rodrigues, S.R.G. & Kellner, A.W.A. 2003. Partes vegetativas de carófitas fossilizadas no Membro Romualdo (Albiano, Formação Santana), Bacia do Araripe, nordeste brasileiro. *Boletim do Museu Nacional*, Rio de Janeiro, 70: 5-8.
- Silva, M.D. 1975. Primeira ocorrência de Charophyta na Formação Santana (Cretáceo) do Grupo Araripe, nordeste do Brasil. *Simpósio de Geologia*, 7, Fortaleza, *Atas*, SBG: 67-73.
- Silva, M.D. 1976. Ostracodes não-marinhos da Formação Santana (Cretáceo Inferior) do Grupo Araripe, nordeste do Brasil. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, Tese de Livre-docência, 326p.

- Silva-Santos, R. 1991. *Fósseis do nordeste do Brasil: paleoictiofauna da Chapada do Araripe*. Rio de Janeiro, UERJ, 64p.
- Silva-Santos, R. 1995. *Santanichthys*, novo epíteto genérico para *Leptolepis diasii* Silva-Santos, 1958 (Pisces, Teleostei) da Formação Santana (Aptiano), Bacia do Araripe, NE do Brasil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, 67: 249-258.
- Silva-Santos, R. & Valença, J.G. 1968. A Formação Santana e sua paleoictiofauna. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, 40(3): 339-358.
- Souto, P.R.F., Andrade, J.A.F.G. & Freitas, F.I. 2001. Análise e distribuição dos cóprólitos da Bacia do Araripe. *Revista Brasileira de Paleontologia*, Rio de Janeiro, 2: 144.
- Viana, M.S.S. 1990. Estratigrafia e paleontologia da Formação Santana, Cretáceo Inferior da Bacia do Araripe, nordeste do Brasil. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Dissertação de Mestrado, 107p.
- Viana, M.S.S. 1992. Um perfil paleoecológico no Membro Crato da Formação Santana. *Simpósio sobre as Bacias Cretáceas Brasileiras*, 2, Rio Claro, *Resumos*, UNESP: 71-73.
- Viana, M.S.S. & Cavalcanti, V.M.M. 1991. Sobre a estratigrafia da Formação Santana, Bacia do Araripe. *Revista de Geologia*, Fortaleza, 4: 51-60.
- Viana, M.S.S. & Agostinho, S. 1995. Camarões do Membro Romualdo da Formação Santana (Cretáceo Inferior da Bacia do Araripe). *Simpósio de Geologia do Nordeste*, 16, Recife, *Boletim*, 1, SBG: 239-243.
- Wenz, S. & Brito, P.M. 1990. L'ichthyofaune des nodules fossilifères de la chapada do Araripe (NE du Brésil). *Simpósio sobre a Bacia do Araripe e Bacias Interiores do Nordeste*, 1, Crato, *Atas*, DNPM/URCA/SBP: 337-349.

3.3. TERCEIRO ARTIGO (SUBMETIDO AO CRETACEOUS RESEARCH)

PSEUDOPTERA BEURLeni, A NEW SPECIES OF BAKEVELLIIDAE (BIVALVIA)
FROM THE SANTANA FORMATION (ALBIAN?), NORTHEASTERN BRAZIL,
AND ITS PALAEOONTOLOGICAL IMPLICATIONS

Ana Paula Bruno^{a,*}, Maria Helena Hessel^b, Alcides Nóbrega Sial^a

^a NEG-LABISE, Department of Geology, Federal University of Pernambuco, Recife, Brazil

^b Federal University of Ceará, Juazeiro do Norte, Brazil

ABSTRACT

This study describes a new species of bivalve bakevelliid from the Santana Formation of the Araripe Basin, northeastern Brazil, denominated *Pseudoptera beurleni* n.sp. It was probably a semi-infaunal suspensivore bivalve that lived subvertically anchored by a byssus in soft substrates, like a mud sticker. The $\delta^{13}\text{C}$ values of marls range between -5.2‰ and -8.2‰, similar to that of shells (-5.9‰ to -8.6‰), and the $\delta^{18}\text{O}$ results varied between -6.3‰ and -6.9‰ in the marls and between -6.2‰ and -7.4‰ PBD in the shells corresponding to mesohaline waters. The paleotemperature values obtained by $\delta^{13}\text{C}$ were between 33°C and 35°C, indicating tropical regions. Thus, *P. beurleni* must have inhabited a shallow, calm marine environment, with good circulation and oxygenation, and fluvial afflux from adjacent emerged lands. The co-occurrence of *Pseudoptera* species with calcareous concretions is common in the Early Cretaceous, as can be observed with *P. beurleni* (Santana Formation, Brazil), *P. subtortuosa* (Fox Hills Formation, U.S.A.), *P. securiformis* (Eutaw Formation, U.S.A.), *P. coeruleascens* (Gulpen Formation, Belgium), and *P. acuticarinata* (Mikasa Formation, Japan). This suggests similar environmental and depositional conditions in several parts of the world at this time, where there were perhaps gulfs or lagoons with occasional influence of fluvial waters, when the environmental ionic balance was suddenly altered. Belonging to a predominantly Tethyan genus, without occurrences in the South Atlantic, *P. beurleni* probably inhabited a shallow stretch of the Tethys Sea, recorded by the carbonates of the same age in the Araripe (Santana Formation) and Grajaú Basins (Codó Formation). *Pseudoptera beurleni* may be an Early Cenomanian species, as are most of the species of this genus, since there are no known co-occurring organisms that date the upper beds of the Santana Formation, usually considered to be Albian.

Keywords: Araripe Basin; Early Cretaceous; Isotopes; Paleoecology; Pseudoptera

3.3.1. Introduction

The knowledge of Cretaceous molluscs in Brazil is still incipient. The main requirement is a taxonomic update of the abundant forms that occur in the different sedimentary basins, especially those located in the northeast of the country. In Brazil, the Bakevelliidae family was recorded in the Early Albian carbonates of the Sergipe Basin (Riachuelo Formation), with the presence of *Gervillia solenoidea* DeFrance 1820, *Aguileria dissita* (White 1887), and *A. regoi* (Maury 1937), and in the marls considered to have the same age in the Araripe Basin (Santana Formation), as *Aguileria* sp (Beurlen, 1963). This diversified family of Cretaceous bivalve is probably present in other Brazilian basins, although this has not yet been confirmed. In this paper we attempt to complement knowledge of Bakevelliidae in Brazil, by describing a new species of *Pseudoptera* Meek 1873, occurring in the upper strata of the Santana Formation.

The Araripe Basin is a small sedimentary basin internationally known for the exceptional abundance and excellent preservation of its fossils from the Early Cretaceous. This NE-SW lying basin covers around 7.200km² (Silva and Neumann, 2003), and is located between the coordinates 38°30' and 40°50'W, and 7°05' and 7°50'S, northeastern Brazil (Viana and Neumann, 2002). It occupies parts of the Ceará, Pernambuco, and Piauí States, and is limited by different geological faults (Fig. 1). It is composed of a predominantly Mesozoic sequence and was formed as a result of geological events related to the breakup of the Gondwana supercontinent and subsequent opening of the South Atlantic. The sedimentary strata are practically horizontal, with a slight dipping to the West (Brito, 1990).

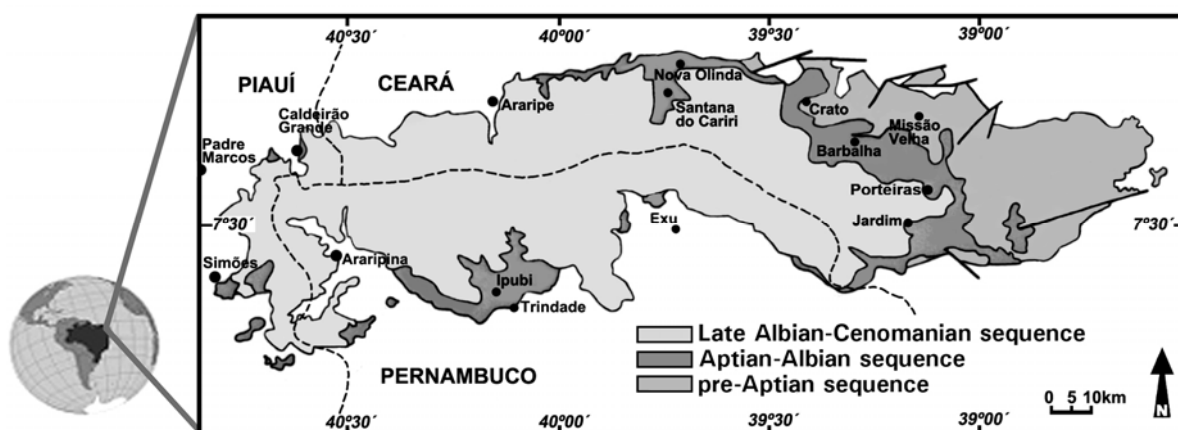


Fig. 1: Localization map of the Araripe Basin and the Cretaceous outcrop sequence (Bruno and Hessel, 2007).

Several stratigraphic subdivisions of Araripe Basin sequence were proposed to facilitate the understanding of its geological evolution. Among these, are expressives the proposals by Beurlen (1962), Ponte and Appi (1990), Martill (1993), Assine (1994), and Neumann and

Cabrera (1999). According to Assine (2008), the sedimentary filling of the basin occurred in four depositional sequences, one Paleozoic and the others Mesozoic (Fig. 2):

(a) Paleozoic sequence (Ordovician/Silurian?): represented by coarse sandstones with ortoconglomeratic levels from the Cariri Formation, remains of ample fluvial sedimentation developed in the northeast of Brazil during the Paleozoic;

(b) Pre-rift sequence (Jurassic): represented essentially by well stratified shales and mudstones from the Brejo Santo Formation, with ostracods and fish remains, possibly deposited in a lacustrine environment with some fluvial influence; and by sandstones with conglomeratic levels and abundant petrified wood fragments from the Missão Velha Formation, indicating a floodplain deposition.

(c) Rift sequence (Neocomian): represented by well selected sandstones and siltstones from the Abaiara Formation, where ostracods and palynomorphs occur, record a deltaic floodplain deposition.

(d) Post-rift sequence (Late Aptian - Early Albian): represented by fine sandstones and shales of Barbalha Formation, probably deposited in a deltaic, which were preserved palynomorphs, coprolites, and fragments of fish, molluscs and conchostraceans. The laminated limestone, sandstone and shales the basal leaves of the Santana Formation were possibly formed in a saline lake with possible influence river where there is abundant preserved remains of fish, arthropods, algae, plants, pterosaurs and, rarely, of amphibians, reptiles and birds. In the dark shale interdigitated the evaporitic deposits of gypsum and anhydrite of the Santana Formation occur crustaceans and stromatolites, indicating progressive drying of the aquatic ecosystem. The marls and green-gray sandstone with calcareous concretions from the upper part of the Santana Formation, apparently deposited in a large lagoon or Gulf coast, have large amounts of fish and ostracods, and less frequent echinoids, molluscs, foraminifera, dinoflagellates and plants. The argillites and clayey sandstones with cross-stratification, incised and marks the waves Araripina Formation were deposited in the floodplain. The Exu Formation, which represents the final deposition of this sequence, has clayey sandstone, red and without fossils sometimes conglomeratic and with cross-stratification, were deposited in fluvial sedimentation environment.

The Bakevelliidae forms herein described come from the upper strata of the Santana Formation, where the abundant calcareous concretions show a variety of osteichthyan fish fauna, with *Rhacolepis buccalis* Agassiz 1841, *Vinctifer comptoni* (Agassiz 1841) and *Tharrhias araripis* Jordan and Branner 1908, all considered marine and frequent at the region of Jardim, Ceará (Bruno and Hessel, 2006). Most bivalve genera mentioned in the Araripe Basin are euryhaline with wide geographic distribution, with the exception of *Aguileria* sp., which is a bivalve from transitional environments with more restricted distribution (Brazil, Mexico, Japan, and the United States). *Aguileria* sp. occurs only in the western part of the Araripe Basin, with

equinoids (*Pygurus araripensis* (Beurlen 1966) and *P. tinocoi* Beurlen 1966) and gastropods (*Gymnentome romualdoi* Beurlen 1966, *Craginia araripensis* Beurlen 1964 and *Cerithium cf. austinense* Römer 1888).

| | | | |
|--|-------------------------|--------------------------|---|
| MESOZOIC | CRETACEOUS NEOCOMIAN | pos-rift sequence | EXU FORMATION ARARIPINA FORMATION SANTANA FORMATION BARBALHA FORMATION |
| | | pre-Aptian discordance | |
| | JURASSIC | sin-rift sequence | ABAIARA FORMATION |
| | | pre-rift sequence | MISSÃO VELHA FORMATION BREJO SANTO FORMATION |
| | | pre-Mesozoic discordance | |
| PALEOZOIC (SILUR-ORDOVICIAN) | Paleozoic sequence | | CARIRI FORMATION |
| | | | pre-Fanerozoic discordance |
| PRE-CAMBRIAN | basement | | |
| | | | |

Fig. 2: Stratigraphic sequence of the Araripe Basin, without Quarternary cover (modified from Assine, 1994).

Within the microfossils, the ostracods are extremely common in the basin, occurring in nearly all the Mesozoic units, especially in the Santana Formation where the cypridaceans *Brasacypris* sp., *Cypridea* spp., *Pattersoncypris* spp., *Petrobrasias* sp., *Pseudocypridina* sp., *Reconconvona* spp., and *Salvadoriella* spp. predominate (Hessel *et al.*, 2006). The most abundant palynomorphs are *Araucariacites australis*, *Classopollis brasiliensis*, *Cyathidites australis*, *C. minor*, *Deltoidospora hallii*, *Gleicheniidites senonicus* and *Sergipea naviformis* (Regali, 2001). Representatives of the dinoflagellate (*Subtilisphaera* and *Spiriferites*) and foraminifer (*Rhodonascia* and *Quinqueloculina*) genera are also found in this unit.

The taxonomic identification of fossil molluscs from the Santana Formation, with suitable descriptions and comparisons with other regions, is necessary to answer paleoecological and paleogeographic questions, considering the constant controversies arising in the environment interpretation.

3.3.2. Brief overview on bivalves of the Santana Formation

Fossil bivalves in the Araripe Basin were first recorded by Hartt (1870), who observed specimens in the region of Bom Jardim, Maçapé and Mundo Novo, in the Ceará State, provisionally identifying them as *Venus* sp. Beurlen (1962) reported the discovery of molluscs and equinoids in the Santana Formation, representatives of the Anomiidae, Isognomonidae, Mytilidae, Pteriidae, and Veneridae families. Leal (1963) reported the presence of Corbulidae, Pteriidae, and Veneridae specimens in calcareous banks south of Pedra Branca and Ipubi,

Pernambuco State. In 1963, Beurlen detailed this cited occurrences, mentioning: coquinoid banks with indeterminate bivalves at Crato and Exu; limestones with *Brachidontes* sp. and *Craginia* sp. concentrations in Araripina; and banks composed of small shells from two species of *Corbula* and one species of *Pteria* in Ipubi and Casa de Pedra. This author also observed that remains of *Anomia* sp., *Brachidontes* sp. and a small species of Veneriidae are very common in the region between Rancharia and Lagoa de Dentro, whereas specimens of *Crassatella?* sp. and *Aguileria* sp. are rare. Leite (1963) reported that silicified shell remains are occasionally found in this region.

Beurlen (1971) observed that the bivalves to the west of the Araripe Basin (Araripina and Ipubi regions) are large, whereas to the east (Crato and Jardim regions) they are small forms, which were confirmed by Cavalcanti and Viana (1990). Mabesoone and Tinoco (1973) synthesized the mollusc occurrence in the basin, reporting the presence of small valves from Anomiidae, molds from Crassatellidae, and shells probably belonging to the family Cyrenidae, currently Corbiculidae. These authors observed that only *Brachidontes* specimens are of normal size, whereas the other bivalves are undersized. Lima (1979) listed the occurrences of known genera (*Eupteria*, *Pteria*, *Aguileria*, *Anomia*, *Brachydontes*, *Crassatella*, *Ostrea*, *Corbula*, and *Venus*), in addition to the families Unionidae and Corbiculidae.

Santos (1982) observed that in the eastern portion of the Araripe Basin there are abundant fragments of valves and molds of bivalves near Crato, and delicate ornamented specimens of Corbulidae and Arcidae at Missão Velha. In the western part of the basin, this author reported the occurrence of coquinoid banks with ornamented valves of *Brachidontes* sp. in Araripina, and a large number of *Plicatula* sp. specimens in Fronteiras. More recent studies show the presence of possible corbulides in calcareous concretions (Maisey, 1991) and of dense concentrations of Mytilidae shells in the marls at the top of the Santana Formation (Sales *et al.*, 2001; Sales, 2005). Bruno and Hessel (2007), Santos (2007), and Martill (2007) synthesizes the published data on the molluscs of Araripe.

In none of the studies published since 1870, in which there are references to bivalves in the Santana Formation, are there any illustrations, description or reference of institutional deposits of the specimens, which preliminar taxonomic recognition.

3.3.3. Material and methods

The fossils herein described come from a outcrop of the Santana Formation at the Mr. Expedito Posidônio Roberto ranch in Sobradinho, Jardim District, Ceará State, Brazil: UTM 7°34'16''S and 39°09'52''W. It is an excavation on the slope of a hill with light-cream marls, locally coquinoid, sedimentologically investigated by Sales (2005; fig.30). In addition to small bivalves from other genera, such as *Legumen* and *Sphaerium*, there are abundant tiny shells from indeterminate gastropods and rare teeth from pycnodontid fishes. The bivalve specimens

collected are generally preserved as inner molds of entire valves, with shell fragments. Most of the valves are found on the slightly fractured posterior and ventral margins. All the specimens were prepared with a conventional vibrating drill and steel styles.

A carbon and oxygen isotopic analysis was performed in 10 lithological samples and nine fragments of different shells. The conventional digestion method was adopted (McCrea, 1950) in a dual inlet, multiple-collector SIRA II mass spectrometer, at the Stable Isotope Laboratory of the Department of Geology at the Federal University of Pernambuco, in Recife, Brazil. The isotopic compositions were contrasted against the in-house Borborema skarn calcite (BSC) standard. The precision of analysis was better than 0.1‰, based on multiple analyses of this internal standard. Results are reported in the international $\delta\%$ notation with respect to the PDB scale. The external precision based on multiple standard measurements of NBS-19 is better than 0.1 for Carbon and Oxygen.

To estimate the temperature of the water with which the carbonate has isotopically equilibrated, the equation of Epstein *et al.* (1953) modified by Craig (1965) was used. This equation expresses the relationship between water temperature and the δ values of calcite, where $t^{\circ}\text{C} = 16.9 - 4.2(\delta_c - \delta_w) + 0.13(\delta_c - \delta_w)^2$. Horibe and Oba's equation (1972) was also applied, expressing the relationship between water temperature and the δ values of aragonite: $t^{\circ}\text{C} = 13.85 - 4.54(\delta_c - \delta_w) + 0.04(\delta_c - \delta_w)^2$. To calculate the temperature the equations used here, the value $\delta_w = -3$ was adopted to fit the data obtained to the Early Cretaceous, a period during which the organisms described here lived.

The taxonomic description uses the abbreviations and terminology shown in the Fig. 3. All the measures in this study are in millimeters. The systematic classification adopted is based on Cox (1969).

3.3.4. Systematic description

Class: Bivalvia Linné, 1758 pars

Subclass: Pteriomorphia Beurlen, 1944

Order: Pteroida Newell, 1965

Superfamily: Pteracea Gray, 1847 (1820)

Family: Bakvelliidae King, 1850

Genus *Pseudoptera* Meek, 1873

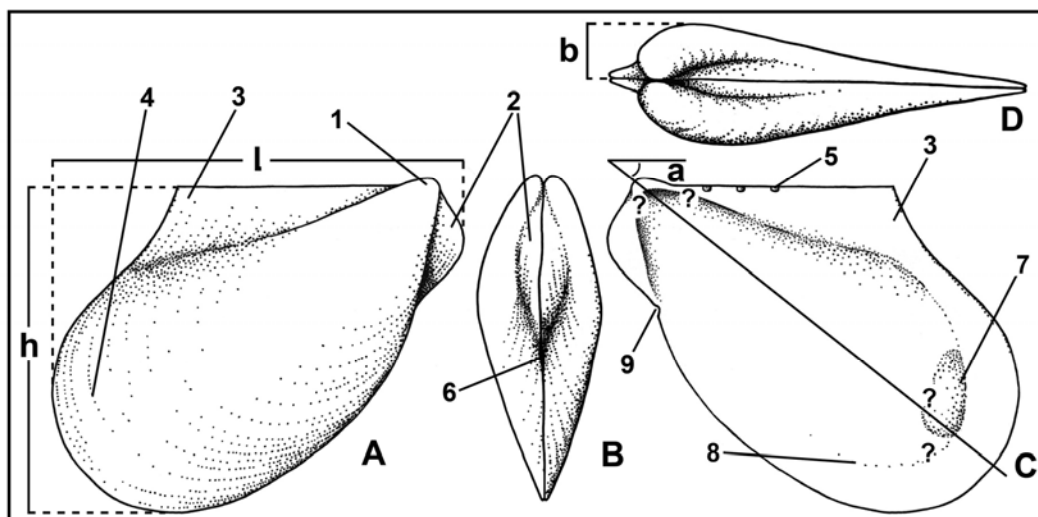


Fig. 3: Morphological terminology and measures of *Pseudoptera beurleni* n.sp.: A - lateral view of the right valve; B - bivalve anterior view; C - inner view of the right valve; D - bivalve dorsal view; 1 - valve width, that is, the maximum dimension between the anterior and posterior margins, parallel to the cardinal line; h - valve height, that is, the maximum dimension perpendicular to 1; b - maximum convexity of the valve; a - angle between the cardinal line and the growth axis; 1 - umbo; 2 - anterior auricle; 3 - posterior auricle; 4 - growth line; 5 - ligamental pit; 6 - byssal sinus; 7 - aductor muscle scar; 8 - paleal line; 9 - byssal gape.

Type species. *Avicula anomala* Sowerby, 1836

Diagnosis: Medium-sized, rhomboidal, oblique, inequivalve; left valve with angular, scarcely protruding umbo, rather large, round-margined anterior auricle, much extended downward, posterior wing obtuse except for acutely pointed tip in some specimens and diagonal angulation or rib; ligamental pits few and well separated; left valve with strong, oblique anterior tooth and elongated, longitudinal posterior tooth, both received between two teeth in right valve; left valve commonly bearing weak radial threads (Cox, 1969).

Pseudoptera beurleni n.sp.

Fig. 3, Pl. 1, Tab. 1

Derivation of the name: In honor of the geologist and paleontologist Karl Beurlen, who dedicated part of his life to the study of Cretaceous molluscs from northeast Brazil, including the Araripe Basin.

Holotype: Specimen B-2043, with a recrystallized shell and the anterior-dorsal part preserved as an inner mold, collected by senior author in October 2006.

Type locality: Sobradinho, Bom Jardim District, Ceará State, Brazil.

Type strata: Albian(?) from Santana Formation, Araripe Basin.

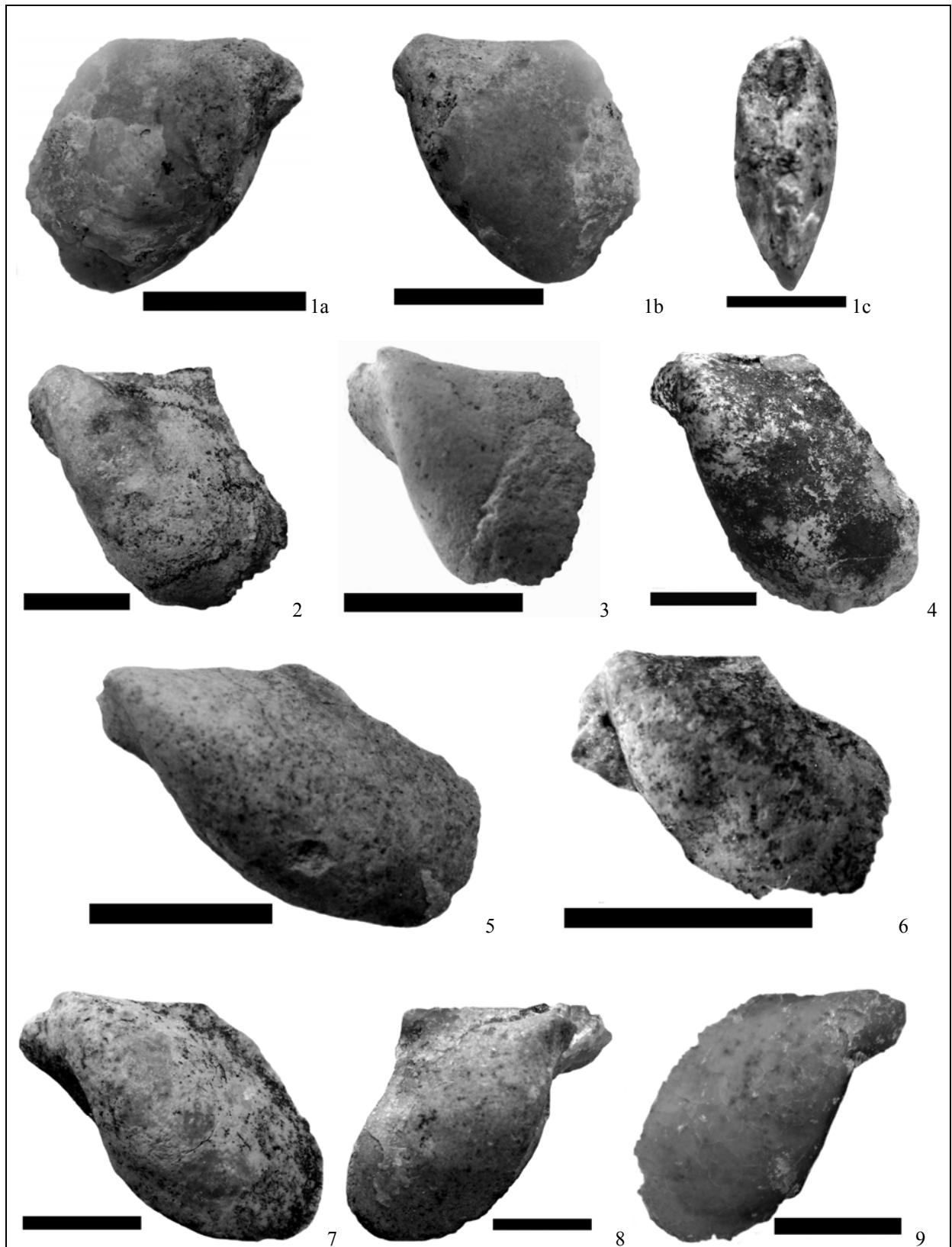
Material: Four double valve specimens (holotype B-2043, and B-2044 to B-2046), 25 left valves (paratypes from B-2047 to B-2072), seven right valves (paratypes from B-2073 to B-2079) and a cast of a bivalve dorsal portion (paratype B-2080). The specimens are deposited in the Paleoinvertebrate Collection of the Paleontological Museum of the Regional University of Cariri (URCA) at Santana do Cariri, Ceará State, Brazil.

Diagnosis: Small, smooth, thin, inequivalve, inequilateral, rhomboidal, obliquely elongated, and mytiliform shell. Long and subrectilinear cardinal line. Acute and prosogyre umbo. Small subtriangular rounded anterior auricle, separated from the rest of the shell by a deep furrow. Large subtriangular elongated posterior auricle, separated from the rest of the shell by a slight depression that forms with the cardinal line an angle between 5° and 15° . Deep, narrow, long, and smooth escutcheon. Few tiny ligamentary pits, regularly spaced.

Description: The holotype is a shell of an adult specimen measuring 16mm high and 16mm wide (Tab. 1), exhibiting slightly fractured posterior and ventral margins. It is inequivalve, inequilateral, and moderately elongated shell, with the left valve a little more inflated ($b = 4\text{mm}$) than the right ($b = 3\text{mm}$; Pl. 1:1a-1c, Tab. 1). The shell is clearly biconvex in the anterior portion, becoming increasingly flatter to the posterior margin. The shell is slender. The outline, viewed laterally, is rhomboidal, obliquely elongated, forming an angle of 59° between the cardinal line and the growth axis. The anterior margin is subrectilinear, forming an angle of 86° with the cardinal line, and taking a more oblique direction until reaching the broadly rounded ventral margin. The dorsal margin is subrectilinear, forming an angle of 120° with a widely convex posterior margin. The $h/2b$ ratio is around 2 and the h/l ratio is about 1:1. The umbo is prosogyre, acute and quite prominent, located on the anterior third of the shell, with an angle of 26° . The anterior auricle is preserved as a small elongated fragment, showing a small byssal gape in a deep depression just below its ventral end. The posterior auricle is well developed, subtriangular, posteriorly elongated, with very thin growth lines, delimited by a slight depression. The cardinal line is elongated, measuring 11mm. The dorsal area occupies more than $2/3$ of the cardinal line, with a deep, long, narrow smooth escutcheon. The hinge and ligamentary pits are not preserved. Fine growth lines (Pl. 1:1a) can be observed on the entire outer surface of the shell. Since the specimen is preserved with the valves closed, it is not possible to visualize the inner features.

Tab. 1: Dimensions (in mm) of *Pseudoptera beurleni* from the Araripe Basin: h - height; l - length; S - maximum dimension of the hinge line; b - maximum convexity of the valve. The asterisk indicates incomplete dimensions.

| Samples | Left valve | | | | | Right valve | | | | |
|---------|------------|-------|------|-------|-----|-------------|-------|------|-----|-----|
| | h | l | h/l | S | b | h | l | h/l | s | b |
| B-2043 | 16* | 16* | - | 11 | 4,0 | 16* | 15,5* | - | 11 | 3,0 |
| B-2044 | 18 | 14* | - | 10* | 4,3 | 17 | 14* | - | 10* | 4,0 |
| B-2045 | 10 | 12 | 0,83 | 9 | 3,3 | 9* | 12 | - | 9 | 3,0 |
| B-2046 | 14* | 13* | - | - | - | 15* | 14* | - | 10* | 3,0 |
| B-2047 | 22,5 | 22,5 | 1 | 15,5 | 5,3 | - | - | - | - | - |
| B-2048 | 12,5* | 13* | - | 8,3* | 4,5 | - | - | - | - | - |
| B-2049 | 14,5* | 15,5* | - | 11* | 4,0 | - | - | - | - | - |
| B-2050 | 11* | 13,5* | - | 7* | 3,0 | - | - | - | - | - |
| B-2051 | 20 | 23 | 0,87 | 17,5 | 6,0 | - | - | - | - | - |
| B-2052 | 23* | 20* | - | 5* | 5,5 | - | - | - | - | - |
| B-2053 | 17,5* | 20* | - | 12* | 5,5 | - | - | - | - | - |
| B-2054 | 13 | 14 | 0,93 | 8 | 3,0 | - | - | - | - | - |
| B-2055 | 16* | 15* | - | 11 | 3,5 | - | - | - | - | - |
| B-2056 | 15* | 18* | - | 10 | 4,0 | - | - | - | - | - |
| B-2057 | 12* | 12,5* | - | 7 | 3,5 | - | - | - | - | - |
| B-2058 | 10 | 13 | 0,77 | 8 | 3,0 | - | - | - | - | - |
| B-2059 | 15 | 20 | 0,75 | 15 | 4,0 | - | - | - | - | - |
| B-2060 | 16 | 17,5 | 0,91 | 10,5* | 4,5 | - | - | - | - | - |
| B-2061 | 17,5 | 17,5 | 1 | 8* | 3,5 | - | - | - | - | - |
| B-2062 | 16* | 14,5* | - | 12 | 4 | - | - | - | - | - |
| B-2063 | 15* | 15* | - | 11 | 4 | - | - | - | - | - |
| B-2064 | 23 | 21 | 1,09 | 13 | 4 | - | - | - | - | - |
| B-2065 | 22* | 22* | - | - | 4* | - | - | - | - | - |
| B-2066 | 21* | 20* | - | 10* | 5 | - | - | - | - | - |
| B-2067 | 12 | 13 | 0,92 | 8 | 3 | - | - | - | - | - |
| B-2068 | 16* | 15,5* | - | 8* | 4 | - | - | - | - | - |
| B-2069 | 16* | 16,5* | - | 12* | 6,0 | - | - | - | - | - |
| B-2070 | 22 | 21 | 1,05 | 11 | 5,0 | - | - | - | - | - |
| B-2071 | 19* | 18* | - | 14 | 5,5 | - | - | - | - | - |
| B-2072 | 16 | 18 | 0,89 | 12 | 4 | - | - | - | - | - |
| B-2073 | - | - | - | - | - | 20 | 23 | 0,87 | 14 | 4 |
| B-2074 | - | - | - | - | - | 20 | 20 | 1 | 12 | 4 |
| B-2075 | - | - | - | - | - | 13,5* | 14* | - | 11 | 3,5 |
| B-2076 | - | - | - | - | - | 15* | 15* | - | 11 | 4 |
| B-2077 | - | - | - | - | - | 16* | 17* | - | - | 3 |
| B-2078 | - | - | - | - | - | 15 | 15 | 1 | 10 | 3 |
| B-2079 | - | - | - | - | - | 18* | 19* | - | - | 3 |



Pl. 1: *Pseudoptera beurleni* n.sp. from the Santana Formation (Albian?) of Araripe Basin, Brazil: 1 - holotype B-2043 (a - right valva; b - left valve; c - anterior view of adult specimen); 2 - paratype B-2047; 3 - paratype B-2063; 4 - paratype B-2064; 5 - paratype B-2065; 6 - paratype B-2067; 7 - paratype B-2070; 8 - paratype B-2073; 9 - paratype B-2074. Escala = 1cm.

Variation: Many of the 37 paratypes have a posteroventral region and one of the auricles missing. They are generally preserved as inner molds, 11 having remains of recrystallized shells (Pl. 1:2, 5, 8, 9). One specimen (B-2080) is a cast of a bivalve dorsal portion. There are larger (for example, B-2047, B-2052, B-2064, B-2065, and B-2073) and smaller (B-2045 and B-2058) forms than the holotype (Tab. 1). Nevertheless, the species is small, ranging from 10mm to 23mm high (h) by 12mm to 23mm wide (l). The h/l ratio varies from 0.75 to 1.09 (Tab. 1). The average h/l ratio of 12 left valves is 0.92 and of three right valves, 0.97. The shell is obliquely elongated, with the angle between the cardinal line and the growth axis ranging from 51° (B-2059) to 63° (B-2074), with an average of 58.2° in 10 specimens. Like the holotype, the shell is slightly inflated, with the left valve slightly more convex than the right valve. The maximum convexity of the left valve varies between 3mm and 6mm, and of the right valve, between 3mm and 4mm.

The cardinal line varies between 7mm and 17.5mm (Tab. 1), occupying around 65% of the shell width. Even though it is conditioned to specimen size, like the holotype, it is quite long. The dorsal margin forms an obtuse angle with the posterior margin, varying from 36° (B-2056) to 74° (B-2064). The escutcheon is narrow, smooth and elongated, in general less deep than the holotype. The umbo forms an acute angle (measured in 23 specimens), which ranges between 14° (B-2063) and 26° (B-2054, B-2056, and B-2062); most of the specimens lie between 15° and 18°, which shows that it is generally narrower than the holotype. The anterior auricle is small, subtriangular, rounded and dorsally inclined in the ventral direction and quite curved, becoming subrectilinear or slightly convex at byssal gape, which is located in the right valve (B-2073 and B-2074; Fig.3). This auricle shows thin growth lines subparallel to the margin, and separated from the rest of the shell by a deep groove. The posterior auricle is narrow, with the angle between the cardinal line and the slight depression that separates it from the rest of the shell varying from 5° (B-2067) to 15° (B-2064). It is often indistinct, smooth and without growth lines.

Owing to the unfavourable diagenesis, which dissolved or recrystallized the shells, it is not possible to observe the juvenile stage, the hinge or the ligamental area. However, specimen B-2070 shows four tiny ligamentary pits spaced along the cardinal line at the umbonal area, exhibiting an opisthodontic ligament. *Pseudoptera beurleni* has an oval-shaped adductor muscle scar located in the posteroventral region, visible in specimens B-2047 and B-2065 (Fig. 3). The paleal line is integripaleal, as shown in specimens B-2047 and B-2070.

Affinities: *Pseudoptera* is a bakevelliid genus proposed by Meek (1873) for species of bivalves with inequivalve and oblique shells, with protruding umbo, few ligamentary pits, rounded anterior marginal auricle and posterior auricle forming an obtuse angle with the dorsal margin. *Pseudoptera* commonly shows thin radial stria on the outer surface of the shell, and a

hinge with small teeth posteriorly elongated, features that are not visible in the specimens described here. Nevertheless, because it shares all the remaining morphological features, the species described is classified as a *Pseudoptera* genus.

The *Pseudoptera* species that most morphologically resembles *Pseudoptera beurleni* is *P. viana* Stephenson 1952 (p.72, pl.15:3-7), described of the Woodbine Formation (Cenomanian) from Texas, and also recorded in the Hauterivian from Iwate Province, Japan (Nakazawa and Murata, 1966), and Turonian from Peru (Dhondt and Jaillard, 2005). In common with the form from Araripe, it has an elongated, subtrigonal, and moderately inflated shell, with the right valve slightly compressed than the left, as is typical of the genus. Both species show a short trigonal anterior auricle, and a trigonal elongated posterior auricle, wider in the posterior portion. However, *P. viana* differs from *P. beurleni* mainly in being larger, more obliquely inclined, with a slightly prominent umbo and outer surface with radial stria.

P. anomala (Sowerby 1836), the type-species from the genus, is known from different periods and continents: Late Albian at Devonshire, England (Sowerby, 1836) and south Morocco (Freneix, 1972, p. 76-78, text-fig. 6-7, pl. 3:4-5); Cenomanian-Turonian (Miraflores Formation) at Potosí Department, Bolivia (Branisa and Hoffstetter, 1966); Turonian at Le Mans, France (D'Orbigny, 1845, p. 478, pl. 392); Coniacian-Santonian in north Peru (Brüggen, 1910); and Cenomanian-Santonian from Germany, Italy, Belgium, Austria, Sweden, and Bulgaria (Speden, 1970). It is a very inequivalve form, with narrow and elongated anterior auricular, two accentuated folds on the left valve and the outer surface of the shell with radial and concentric grooves that cross forming small tubercles, characterizing it as a very different species from *P. beurleni*.

Other species of *Pseudoptera* are found in Cretaceous deposits from North America. From the Woodbine Formation (Cenomanian) of Texas, Stephenson (1952) described three *Pseudoptera* species that, despite their large size, can be compared with the form from Araripe: *P. gregaria* Shumard 1860, which has a wider shell and less acute umbo (Stephenson, 1952, p. 73, pl. 44:1); *P. hornensis* Stephenson 1952, which shows a narrow anterior auricle, little distinct umbo and thin tuberculated stria (Stephenson, 1952, p. 71-72, pl. 15:12-14); and *P. serrata* Stephenson 1952, which exhibits a narrow anterior auricle, very wide posterior auricle and considerably inflated shell with serrated radial stria (Stephenson, 1952; p. 71, pl. 13:6). In all of these features, these species of North American Cenomanian differ from *P. beurleni*. *P. propleura* Meek 1873, from the Frontier Formation (Cenomanian-Turonian) of Utah, and Mancos Shale (Late Cenomanian) of Arizona (Sepkoski, 2002), is a form that has radial ribs on the anterior portion of the shell, and anterior and posterior auricles separated from the rest of the shell by deep grooves, which differ it from *P. beurleni*. *Pseudoptera securiformis* Stephenson 1956, from the Eutaw Formation (Santonian) of Alabama and Georgia (Stephenson, 1956, p. 238, pls 40:9-10 and 41:12-14), has a large shell (around 10cm wide), with radial stria in the

anterior portion, a small umbo, and narrow elongated anterior auricle, which differentiates it from the Araripe Basin species.

There are a number of European species of *Pseudoptera* that can be morphologically compared to *P. beurleni*, even though they are quite different. *P. coerulescens* (Nilsson 1827), from the Campanian-Maastrichtian (Gulpen Formation) of Belgium (Dhondt and Jagt, 1987, p. 79, fig. 4:7), and from the Maastrichtian of England, France, Germany, and Poland (Aberhan, 1994), has a more ventrically elongated shell, with concentric stria and a narrow anterior auricle, features that differentiate it from the *Pseudoptera* species from Araripe Basin. *P. raricosta* (Reuss 1854), from the Santonian-Campanian of Bavaria (Germany; Häntzschel, 1933, p. 116-117, pl. 4:2-5), the Cenomanian of Gosau (Austria), and Late Cretaceous of West Africa (Dhondt, 1987, p. 62-63, pl. 3:1), is a small species somewhat similar to *P. beurleni*, differing in its narrower shell with tuberculated radial stria and narrow anterior auricle. *P. subdepressa* Gabb 1861, from the Aptian (Atherfield Clay) of England (Casey, 1952) is a different species of *P. beurleni*, with its larger and finely ornamented shell. Another African species of *Pseudoptera*, in addition to *P. raricosta* (West Africa), *P. anomala* (Morocco) and *P. sowerbyi* (Algeria), is *P. moutaniana* D'Orbigny 1888, from the Maastrichtian of the Algerian Sahara (Collignon, 1971), a species which differs from *P. beurleni* mainly because of its larger, more inflated shell.

Japanese species of the genus show few morphological relations with the species from the Araripe Basin. *Pseudoptera? elongata* (Nakazawa and Murata 1966) from the Hauterivian of Iwate Province, Japan, is tentatively related to the genus (Nakazawa and Murata, 1966, p. 312; pl. 4:1), and externally seems to closely resemble *P. beurleni*. However, it has a more obliquely inclined shell, with a shorter anterior auricle and narrower posterior auricle, suggesting to be distinct species. *Pseudoptera acuticarinata* (Nagao 1932) from the Cenomanian (Mikasa Formation) of Hokkaido, Japan (Hayami, 1975; Ando and Aoki, 1999), is a more elongated form, with thin carinae, and is thus a different species from that described here.

There are also species of *Pseudoptera* that, unlike *P. beurleni*, have shells dextrally twisted about the hinge axis. This occurs with *P. subtortuosa* (Meek and Hayden 1932) from the Fox Hills Formation (Maastrichtian), South and North Dakota (Speden, 1970); *P. rushana* Stephenson 1952 from the Woodbine Formation (Cenomanian), Texas, (Stephenson, 1952); *P. sowerbyi* Matheron 1849, from the Maastrichtian of the Algerian Sahara (Collignon, 1971); and *Pseudoptera glabra* (Sowerby 1819), from the Branderfleck Formation (Cenomanian) of the Bavarian Alps, Germany (Smettan, 1997). There is also the sinistrally twisted *Pseudoptera* sp.n. from the Early Cenomanian of Portugal (Savazzi, 1984).

Because it is different from all the species of the genus *Pseudoptera* previously described, *P. beurleni* is a new species, with a small, thin, smooth shell and acute umbo, rounded, subtriangular anterior auricle and well-developed elongated subtriangular posterior auricle.

In the Araripe Basin, there are three genera of bivalves with pteriform valves mentioned in the literature: *Aguileria* White 1887 (Beurlen, 1963), *Euptera* Dartevelle 1957 (Mabesoone and Tinoco, 1973) and *Pteria* Scopoli 1777 (Beurlen, 1963). *Aguileria* is a medium-size bakevelliid bivalve, with a thick inflated shell, whose specimens collected by Beurlen in the Santana Formation have never been described and are considered lost. *Euptera* is a still doubtful unispecific genus of Bakevelliidae that Cox (1969) related to the well-established genus *Pseudoptera*. The species *Euptera flicki* Pervinquière 1907 has never been described or illustrated, and is considered a *nomen nudum*. *Pteria* is a genus of Pteriidea widespread since the Triassic that has thin valves and a long posterior auricle, which the bakevelliids do not have. If the specimens mentioned by Beurlen (1963) were fractured, it would be easy to confuse them with *Pseudoptera*. Thus, the innumerable references to pteriids in the Araripe Basin very probably refer to *Pseudoptera beurleni*. Similarly, the small shell of the genus *Brachidontes* Linnaeus 1758 (cited by Beurlen, 1963, and other authors), from the family Mytilidae, can be easily confused with *Pseudoptera*, which differs for having valves ventrally slightly recurved, an outer surface with thin radial stria and a short rounded umbo. In his doctoral dissertation, Sales (2005) figured a sample (Pl.9:E) coming from Santana Formation in the western portion of the Araripe Basin, between Torre and Araripina, Pernambuco State, where various specimens of *Pseudoptera beurleni* were identified as mytiloids, what it is a deceit.

Occurrence: Sobradinho, Bom Jardim District, Ceará State, and Torre, Araripina District, Pernambuco State, Brazil, in marls from the Santana Formation, associated to bivalves of the genera *Legumen* and *Sphaerium*, small indeterminate gastropods and remains of pycnodontids.

3.3.5. C and O isotopes in carbonates and shells

Stable Carbon and Oxygen isotopes have been used to infer paleoenvironmental characteristics, mainly temperature and salinity, and with this objective samples of marls and *Pseudoptera beurleni* shells from Santana Formation were analyzed.

The carbonates of marine origin showed $\delta^{13}\text{C}$ values between -3‰ and +3‰ (Veizer and Hoefs, 1976; Schidlowski *et al.*, 1983) and those of freshwater origin, show lower values, between -10 and -15‰ PDB (Reinhardt *et al.*, 2003). When precipitated under marine water at 25°C, the calcite crystals of mollusc shells show $\delta^{13}\text{C}$ values of around 0.9‰, and those of aragonite, 2.7‰ (Rubinson and Clayton, 1969). The $\delta^{18}\text{O}$ values for biogenic carbonates and carbonate rocks from freshwater environments are also lower than those of marine environments (Faure, 1986).

The results of Carbon isotope analyses (Tab. 2) conducted with 10 marls samples from the uppermost part of the Santana Formation at Sobradinho, Araripe Basin, showed $\delta^{13}\text{C}$ values

between -5.2‰ and -8.2‰ (Fig. 4A), compatible with mixohaline waters. The nine shell fragments of *Pseudoptera beurleni* obtained $\delta^{13}\text{C}$ values ranging between -5.9‰ and -8.6‰, similar to those found in the surrounding lithology, as expected. In the analysis of Oxygen isotopes (Tab.2) performed in the upper marls of the Santana Formation, the $\delta^{18}\text{O}$ values found varied between -6.4‰ and -6.9‰ PDB. The results obtained in the shell analysis showed greater variation, with values between -6.2‰ and -7.4‰ PDB (Fig. 4B).

Tab. 2: $\delta^{18}\text{O}$ PDB, $\delta^{13}\text{C}$ PDB, and yield values in marls and in *Pseudoptera beurleni* shells from Sobradinho, Araripe Basin, Brazil.

| Shells | | | | Litology | | | |
|---------|-----------------------|-----------------------|--------|----------|-----------------------|-----------------------|--------|
| Samples | $\delta^{18}\text{O}$ | $\delta^{13}\text{C}$ | yields | Samples | $\delta^{18}\text{O}$ | $\delta^{13}\text{C}$ | yields |
| C1 | -6,2 | -6,2 | 82 | L10 | -6,5 | -6,3 | 90 |
| C2 | -6,2 | -8,6 | 75 | L2047 | -6,3 | -6,2 | 90 |
| C3 | -6,7 | -8,4 | 74 | L2049 | -6,8 | -6,7 | 90 |
| C4 | -6,2 | -6,8 | 73 | L2050 | -6,9 | -5,3 | 40 |
| C5 | -7,4 | -6,4 | 65 | L2051 | -6,3 | -5,8 | 55 |
| C6 | -6,2 | -6,4 | 77 | L2056 | -6,9 | -5,2 | 55 |
| C7 | -6,6 | -6,4 | 86 | L2061 | -6,7 | -5,9 | 59 |
| C8 | -6,2 | -7,8 | 70 | L2070 | -6,4 | -5,9 | 63 |
| C9 | -6,3 | -5,9 | 77 | L2071 | -6,5 | -5,4 | 67 |
| | | | | L2072 | -6,4 | -8,2 | 80 |

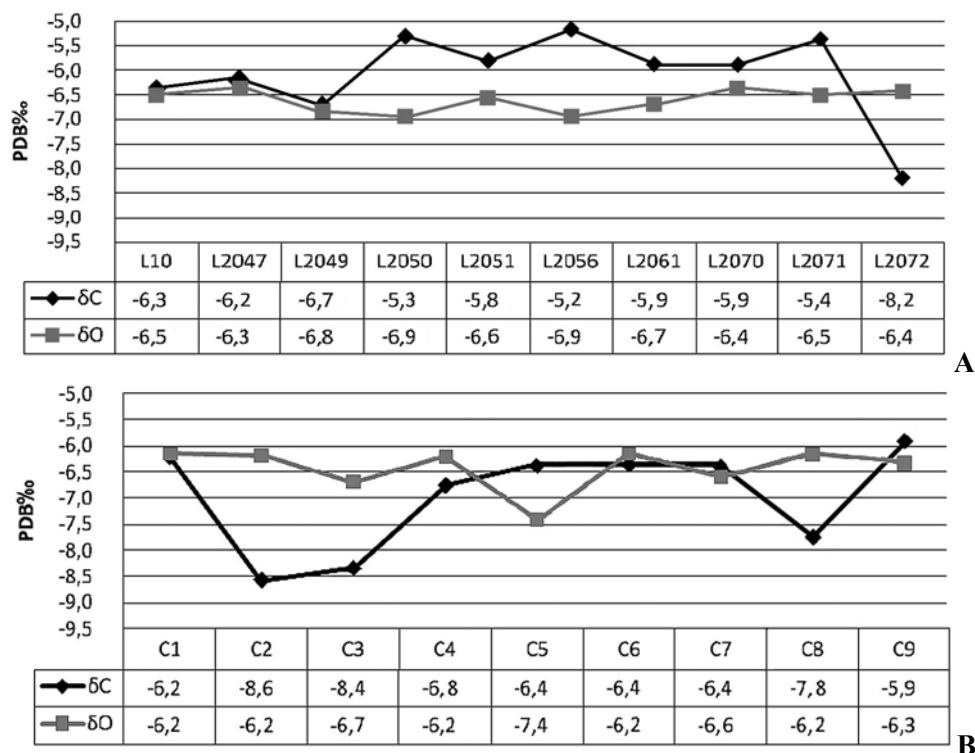


Fig. 4: $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$ values in marls (A) and in *Pseudoptera beurleni* shells (B) from Sobradinho, Araripe Basin, Brazil.

The shells from the Bakevelliidae, a family to which *Pseudoptera beurleni* belongs, consist of scleroprotein and aragonite (Cox, 1969), and the shells herein studied were recrystallized by calcite (Pl. 1:9). Nevertheless, two equations were applied to the above results to deduce paleoenvironmental temperatures. The application of the Horibe and Oba (1972) equation with a value of $\delta_w = -3$ (relative to aragonite) resulted in average values of the shell remains that are compatibles of surface waters from tropical regions: around 33°C (Fig. 5). The Epstein *et al.* (1953) equation, modified by Craig (1965), based on the calcite of the shells analyzed (since they were recrystallized) showed that the average of 35°C, a little higher but also corresponding to tropical areas.

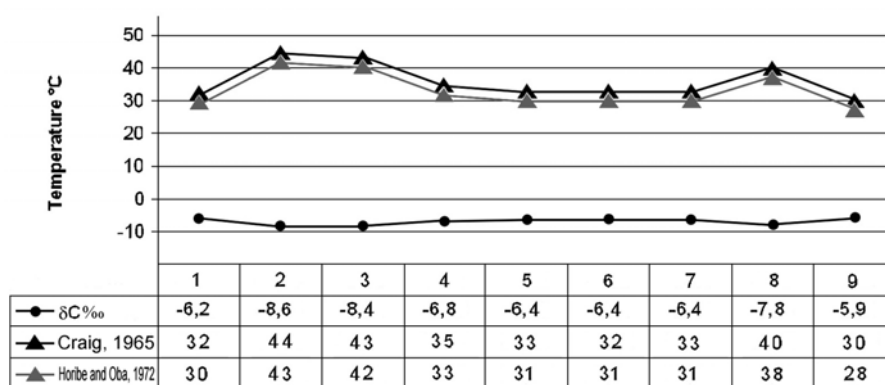


Fig. 5: Temperatures in °C obtained by $\delta^{13}C$ in *Pseudoptera beurleni* shells, Santana Formation, Araripe Basin: gray triangle - according to the Horibe and Oba equation (1972); black triangle - according to the Epstein *et al.* (1953) and Craig (1965) equation.

3.3.6. Paleocological considerations

The bakevelliids, the family to which the genus *Pseudoptera* belongs, are non-burrowing sessile benthonic bivalves (McGhee Jr, 1978). They generally have a byssus (Müster, 1995), which, together with a reduced anterior region, enables the organism to live vertically anchored in soft substrates as a semi-infaunal inhabitant (Stanley, 1970, 1972). *Pseudoptera beurleni* seems to have adopted this habit, similarly to that suggested by Speden (1970) for *P. subtortuosa*. The right valve of *P. beurleni* is slightly smaller and flatter than the left, as occurs with most bakevelliids (McGhee Jr, 1978; Savazzi, 1981), which favors the stability of inequivalve bivalves (Stanley, 1970). *Pseudoptera beurleni* was likely a form whose byssus was buried in the substrate like a ‘mud sticker’ (*sensu* Seilacher, 1984), with the shell vertically positioned and slightly inclined, with the left valve (a little larger and heavier) closer to the substrate (Fig. 6). Its thin auricles, totally or nearly totally buried, act as keels to giving more vertical stability to *P. beurleni*, similar to a ship’s keel. This mechanical stabilization strategy in

bivalves with thin shells, without an active burrowing process, is commonly adopted by organisms in calm environments with a relatively high sedimentation rate (Seilacher, 1984).

Pseudoptera beurleni, with its small (around 2cm), thin, smooth shell, was possibly a semi-infaunal form that used the sediment where it lived not only as a stabilizing element, but also for protection. The opisthodetic multivincular ligament along the cardinal line, characterized by several ligamental pits, likely counterbalanced the surrounding water and sediment pressure, helping to open the slender shell. The single adductor muscle, ventrally located, would help to keep the valves closed during an attack by other organisms or under adverse environmental conditions.

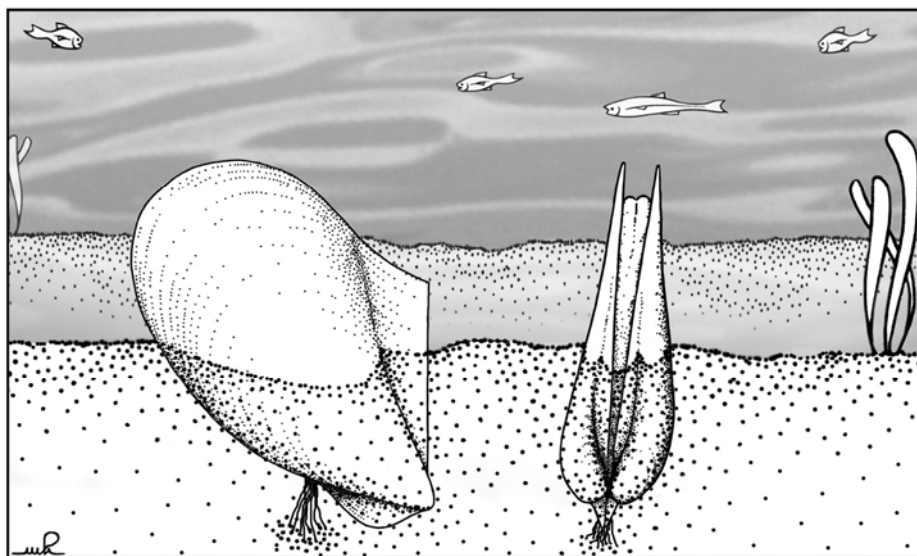


Fig. 6: Reconstruction of adult individual of *Pseudoptera beurleni* (Albian? of Araripe Basin) in life position.

P. beurleni, as an endobryssate semi-faunal bivalve, was suspensivore, feeding plankton and small detritus in suspension from the surrounding water, thus not requiring well developed siphons and feet, as suggested by its shell with subparallel margins, without pedal or siphonal gapes. Thus, the subaquatic environment in which *P. beurleni* lived needed good circulation (it would bring food to the organism, fixed by the byssus) and a certain turbidity (amount of elements in suspension), which could generate a high sedimentation rate. *P. anomala* from the Miraflores Formation (Cenomanian-Turonian), Bolivia (Branisa and Hoffstetter, 1966) also lived in shallow environments with weak current action (Freneix, 1972).

The majority of the species of *Pseudoptera* inhabit marine waters: *P. anomala* (Miraflores Formation, Bolivia), *P. viana*, *P. gregaria*, *P. hornensis*, *P. serrata*, and *P. rushana* (Woodbine Formation, Texas), *P. subtortuosa* (Fox Hills Formation, South Dakota), *P. propleura* (Frontier Formation, Utah), *P. securiformis* (Eutaw Formation, Alabama), *P. subdepressa* (Atherfield Clay, England), *P. coerulescens* (Gulpen Formation, Belgian), and *P. acuticarinata* (Mikasa Formation, Hokkaido). The osteichthyan fishes occurring in the east of the Araripe Basin, in

lower strata than those here studied, but in the same unit, as *Rhacolepis buccalis*, *Vinctifer comptoni* and *Tharrhias araripis* are considered marine (Bruno and Hessel, 2006).

The analytical Carbon isotope results in the marls of the Santana Formation at Sobradinho showed values between -5.2‰ and -8.2‰, similar to those found in *Pseudoptera beurleni* shells (-5.9‰ to -8.6‰). Considering that the marine carbonates have $\delta^{13}\text{C}$ values between -3‰ and 3‰ PDB (Veizer and Hoefs, 1976; Schidlowiski *et al.*, 1983) and those from freshwater between -10 and -15‰ PDB (Reinhardt *et al.*, 2003), the values found correspond to less saline water than that of the sea, but with higher salinity than fresh water. Given that calcite crystals from marine mollusc shells have $\delta^{13}\text{C}$ values of around 0.9‰, and those of aragonite, 2.7‰ (Rubinson and Clayton, 1969), and marine pterioid shells (around 40‰ salinity) from the Late Cretaceous of the Western Interior Basin of North America show an average $\delta^{13}\text{C}$ value of 2.6‰ (Wright, 1987), the low values found in the *P. beurleni* shells also suggest that they were formed in a mesohaline environment. The $\delta^{18}\text{O}$ results obtained in the samples here analyzed ranged from -6.3‰ to -6.9‰ in the marls and from -6.2‰ to -7.4‰ PDB in the shell fragments. Considering that negative $\delta^{18}\text{O}$ values reflect low-salinity waters (Scholle, 1977) and positive $\delta^{18}\text{O}$ values reflect normal marine salinities (Keller *et al.*, 2004), the Oxygen isotopes of the Santana Formation confirm a mesohaline water environment.

The macrofauna associated to *Pseudoptera beurleni* in the Araripe Basin is quite poor: pycnodontid fish (possibly from the genus *Neoproscinetes*, occurring in the same unit), small bivalves (*Legumen* sp. and *Sphaerium* sp.) and tiny gastropods, as yet undetermined. This low local biological diversity may reflect some environmental restriction, such as occasional low salinity, since the paleofauna in slightly lower strata to *P. beurleni* suggests a marine environment.

In batimetric terms, *Pseudoptera beurleni* inhabited shallow waters with low turbidity and good oxygenation, where phytoplankton could develop and serve as a food source for these benthonic sessile and suspensivore bivalves. This environment might have been located near emerged lands with afflux of fluvial water, where there is generally a high sedimentation rate and good water circulation, promoting oxygenation and the transport of particles in suspension necessary to the life of *Pseudoptera beurleni*. However, the waters were not very agitated with strong waves since the majority of delicate valves of *P. beurleni* are mostly intact and there are bivalve specimens. *Pseudoptera subtortuosa* also lived in low-energy shallow environments, on a shelf formed during the retraction of the epicontinental sea that deposited the Fox Hills Formation in South Dakota, around 80km from a large deltaic complex (Turekian and Armstrong, 1961). *P. acuticarinata* from the Mikasa Formation of Hokaydo, and the five species of *Pseudoptera* from the Woodbine Formation of Texas (*P. viana*, *P. gregaria*, *P. hornensis*, *P. serrata*, and *P. rushana*) also lived in shallow marine waters nearshore (Ando,

1990; Stephenson, 1952). But *P. propleura*, from the Frontier Formation of Utah, also lived in substrates under a larger water mass (Sepkoski, 2002), as well as *P. securiformis*, from the Eutaw Formation of Alabama (Savrda and Nanson, 2003).

The high sedimentation rate in this environment probably explains the existence of certain levels with a large concentration of shell remains in more lithified lithology, as Sales (2005) observed in the upper portion of the Santana Formation, including at Sobradinho, the locality from which the fossils herein described come. This concentrated fossil deposit may have occurred because of occasional sudden underwater landslides in shallow areas near emerged lands, as also suggested Sales (2005).

On the other hand, calcareous concretions are common in the marls of the Santana Formation at slightly lower levels than those of *Pseudoptera beurleni* (Saraiva *et al.*, 2007), similar to those observed in stratigraphic units where other species of *Pseudoptera* occur. These occurrences are observed in North America, in the Fox Hills Formation (Maastrichtian) from South Dakota (with *P. subtortuosa*; Speden, 1970), and in the Eutaw Formation (Santonian) from Alabama (with *P. securiformis*; Stephenson, 1956); in Europe, in the Gulpen Formation (Campanian-Maastrichtian) from Belgium (with *P. coerulescens*; Jagt, 1999); and in Japan, in the Cenomanian of the Mikasa Formation (with *P. acuticarinata*; Kurihara, 2006). This curious coincidence seems to indicate that there were very similar environmental and depositional conditions during the Early Cretaceous in different parts of the world, perhaps in regions containing gulfs or lagoons with occasional influence of fluvial waters that suddenly altered the ionic equilibrium of the environment.

The soft and slimy substrate where *Pseudoptera beurleni* lived semi-buried was possibly composed mainly of clay and calcium carbonate minerals, later forming the marls where their shells are currently found. The negative values obtained by Carbon isotope analysis of the Santana Formation marls (between -5.2‰ and -8.2‰ PBD) indicates low levels of organic matter in decomposition in the environment, as observed by Ferreira *et al.* (2003) in carbonates from the Late Cretaceous in Argentina. Considering that *Pseudoptera beurleni* was not a detritivore organism, a slightly muddy environment with a low concentration of organic matter was perfectly adequate to his mode of life.

Given the widespread distribution of the genus *Pseudoptera* during the Cretaceous, both in tropical and temperate waters, it is difficult to deduce the temperature of the waters in which *P. beurleni* lived in the Araripe Basin. Freneix (1972) reported that *Pseudoptera anomala*, a species with wide temporal and paleogeographic distribution, lived preferentially in tropical climates. The average paleotemperature value obtained by $\delta^{13}\text{C}$ using the Horibe and Oba equation (1972) was 33°C, and using the equation of Epstein *et al.* (1953) and Craig (1965) was 35°C. Both values correspond to tropical regions, and lie within the temperatures calculated by

Clarke and Jenkyns (1999) for the Early Cretaceous in the Southern Hemisphere (between 31°C and 36°C), confirming the preference of some species of this genus for tropical climates.

Thus, *Pseudoptera beurleni* from Santana Formation would have lived at the bottom of the calcareous mud with the low levels of organic matter of a shallow marine environment with the influx of continental waters and good circulation, but outside the agitation caused by strong waves. The waters were likely oxygenated, photic and with low turbidity, similar to a shelf formed during the retraction of a gulf or epicontinental sea, in a tropical climate.

7. Stratigraphic and paleogeographic considerations

The family Bakevelliidae, a group of bivalves extinct in the Early Eocene, was widespread distributed in the Mesozoic seas and displayed high specific variability (Müster, 1995). *Pseudoptera* is an exclusively Cretaceous genus (Cox, 1969), reported from the Hauterivian to the Maastrichtian, with greater specific diversity in the Cenomanian (Tab. 3). Most of the species seem to have been of short temporal duration, but this may only be a reflection of isolated descriptions and a lack of a taxonomic review of the genus.

Tab 3: Temporal and paleogeographic distributions of the known species of *Pseudoptera*: Eu - Europe; Af - Africa; SA - South America; NA - North America; Ja - Japan.

| Age / species | <i>elongata</i> | <i>viana</i> | <i>subdepressa</i> | <i>anomala</i> | <i>raricosta</i> | <i>glabra</i> | <i>gregaria</i> | <i>serrata</i> | <i>rushana</i> | <i>hornensis</i> | <i>propleura</i> | <i>acuticarinata</i> | <i>securiformis</i> | <i>coerulescens</i> | <i>orientalis</i> | <i>subtortuosa</i> | <i>sowerbyi</i> | <i>moutaniana</i> |
|----------------------|-----------------|--------------|--------------------|----------------|------------------|---------------|-----------------|----------------|----------------|------------------|------------------|----------------------|---------------------|---------------------|-------------------|--------------------|-----------------|-------------------|
| Maastrichtian | | | | | | | | | | | | | | Eu | Eu | NA | Af | Af |
| Campanian | | | | | Eu Af | | | | | | | | | Eu | | | | |
| Santonian | | | | Eu SA | Eu Af | | | | | | | | NA | | | | | |
| Coniacian | | | | SA | | | | | | | | | | | | | | |
| Turonian | | SA | | Eu SA | | | | | | | NA | | | | | | | |
| Cenomanian | | NA | | Eu SA | Eu | Eu | NA | NA | NA | NA | NA | Ja | | | | | | |
| Albian | | | | Eu Af | | | | | | | | | | | | | | |
| Aptian | | | Eu | | | | | | | | | | | | | | | |
| Hauterivian | Ja | Ja | | | | | | | | | | | | | | | | |

Stephenson (1952) studied the different species of *Pseudoptera* that occurred in the Cenomanian of Texas and mentioned the possible correlation with the strata from the Araripe Basin, based on the occurrence of fishes described by Jordan and Branner (1910), assigned

questionably to the Cenomanian by Gerth (1935). *Pseudoptera beurleni* might be Early Cenomanian, since, so far, there are no known co-occurring organisms that date these Santana Formation beds. However, this unit of the Araripe Basin has lower strata than those here studied, considered from the Albian age (Arai *et al.*, 2001). Because this is a new species of *Pseudoptera*, further studies are needed to be able to confirm whether *P. beurleni* is an Albian or Cenomanian species of this genus.

The potential of using bivalve-like fossils for paleobiogeographic studies is great, owing to the low degree of endemism of various genera, to the distribution pattern of their planktonic larvae by marine currents, and to their varied habitats, independent of sedimentary facies. Nevertheless, they occur mainly in the Tethys Sea, with dispersion routes along its margins (Lazo, 2003). The same occurred with *Pseudoptera*.

In the Early Cretaceous, the known species of *Pseudoptera* are few and the occurrence is mainly Tethyan: *P. elongata* and *P. cf. viana* (Hauterivian of Japan), *P. subdepressa* (Aptian of England), and *P. anomala* (Albian of Morocco and England). From the Cenomanian the genus diversified into more than half of the species known today: *P. acuticarinata* (Japan), *P. glabra* (Germany), *P. raricosta* (Austria), *P. anomala* (Austria, Italy, Germany, Belgium, Bulgaria, Sweden, and Bolivia), *P. viana*, *P. hornensis*, *P. rushana*, *P. serrata*, and *P. gregaria* (Texas), *P. propleura* (Utah and Arizona), and *P. sp.* from New Mexico (Cobban, 1977) and Portugal (Berthou and Lauverjat, 1979). Its distribution continues to be mainly Tethyan, with occurrences in the Western Interior of North America. In the Late Cretaceous, this geographical distribution also expands to more southern areas (Africa and South America). In the Turonian there is a record of *P. viana* in Peru, *P. anomala* in Bolivia and France, and *P. propleura* in the United States. In the Santonian-Campanian, *P. anomala* occurs in Peru, Sweden, Bulgaria, Italy, Belgium, Austria, and Germany, *P. raricosta* in Germany, and *P. securiformis* in the United States. During the Maastrichtian, a new diversification of the genus is observed, with four new species described: *P. coerulescens* from England, Belgium, France, Poland, and Germany; *P. subtortuosa* from the United States; and *P. sowerbyi* and *P. moutaniana* from Algeria. This distribution is naturally incomplete, since there are few well studied regions in the Southern Hemisphere, with a lack of studies in both South America and Africa.

Belonging to a predominantly Tethyan genus, without occurrences in the South Atlantic, *Pseudoptera beurleni* may have inhabited a shallow stretch of the Tethys Sea, recorded by the deposition of carbonates of same age in both the Araripe Basin (Santana Formation) and the Grajaú Basin (Codó Formation), located to the west, where occur a common ichthyofauna (Góes and Feijó, 1994). The gulf or epicontinental sea that formed the most recent deposits of the Ronmualdo Formation probably having a communication with the marine waters that formed the Codó Formation, both representatives of a marine cycle in the region, as suggested by Petri (1977).

8. Conclusions

The present study of *Pseudoptera* shells describes a new species of bakevelliid in Brazil, based on recrystallized shells and molds from the upper strata of the Santana Formation in the Araripe Basin. Several conclusions can be made, as follows:

a. *Pseudoptera beurleni* n.sp. is a small (around 2cm) species of bakevelliid with a thin, smooth, inequivalve, mytiliform shell, with a long cardinal line and protruding umbo. It has a small rounded subtriangular anterior auricle, a large elongated posterior auricle, a deep narrow escutcheon and tiny regularly-spaced ligamentary pits.

b. The pteriform and mytilid bivalves previously mentioned as occurring in the Araripe Basin, such as *Pteria* sp., *Euptera* sp., *Euptera flicki*, *Brachidontes* sp., as well as being representatives of the pteriid and mytiloid families, very probably refer to *Pseudoptera beurleni*.

c. *Pseudoptera beurleni* n.sp. occurs in the marls of locality of Sobradinho, Bom Jardim District, in the Ceará State, and Torre, Araripina District, in the Pernambuco State, Brazil, associated to *Legumen* sp., *Sphaerium* sp., small indeterminate gastropods and pycnodontid fish.

d. *Pseudoptera beurleni* was possibly a semi-infaunal suspensivore bivalve that lived subvertically anchored by a byssus in soft substrates, as a ‘mud sticker’, with their thin auricles totally or nearly totally buried, giving it more vertical stability.

e. The results of Carbon isotope analysis of marls from the Santana Formation at Sobradinho show values between -5.2‰ and -8.2‰, similar to those found in *Pseudoptera beurleni* shells (-5.9‰ to -8.6‰), both compatibles with mesohaline waters. The $\delta^{18}\text{O}$ results obtained in the samples analyzed varied from -6.3‰ to -6.9‰ in the marls and from -6.2‰ to -7.4‰ PBD in the shells, confirming a mesohaline water environment.

f. The paleotemperature values obtained by $\delta^{13}\text{C}$ were on average between 33°C and 35°C, corresponding to tropical regions and confirming the preference of several species of *Pseudoptera*, as well as *P. beurleni*, for tropical climates.

g. Given that it is a sessile, semi-infaunal suspensivore organism, *Pseudoptera beurleni* probably inhabited shallow calm environments with good circulation of photic and oxygenated waters, with fluvial afflux originating in adjacent emersed lands, a condition that provides a high sedimentation rate.

h. The negative values obtained in the analysis of Carbon isotopes from the Santana Formation marls (between -5.2‰ and -8.2‰ PBD) suggest low levels of organic matter in decomposition in the environment, which is suitable for non-detritivore organisms such as *Pseudoptera beurleni*, which would have lived on the muddy bottom of a shallow marine environment with an influx of continental waters, like the environment of a shelf formed during the retraction of a gulf or epicontinental sea.

- i. The co-occurrence of *Pseudoptera* species with calcareous concretions is common in the Early Cretaceous, as can be observed with *P. beurleni* (Santana Formation, Brazil), *P. subtortuosa* (Fox Hills Formation, United States), *P. securiformis* (Eutaw Formation, United States), *P. coeruleascens* (Gulpen Formation, Belgium), and *P. acuticarinata* (Mikasa Formation, Japan), suggesting similar environmental and depositional conditions during this time in different parts of the world, perhaps where there were gulfs or lagoons with the occasional influence of fluvial waters that suddenly altered the ionic equilibrium of the environment.
- j. *Pseudoptera beurleni* might be Early Cenomanian, as are most species from this genus, corroborating the opinion of Gerth (1935) and Stephenson (1952) about the upper strata of the Santana Formation, since there are no known co-occurring organisms that date these layers, usually considered Albian.
- k. Belonging to a predominantly Tethyan genus, without occurrences in the South Atlantic, *P. beurleni* possibly inhabited a shallow stretch of the Tethys Sea, recorded by the deposit of carbonates of the same age in both the Araripe (Santana Formation) and Grajaú Basins (Codó Formation) to the west.

Acknowledgments

We thank Antônio Álamo Feitosa Saraiva and Francisco José de Souza Nunes for assistance in the field work. We are also thankful to the Fundação Araripe for logistic support and to the Expedito Posidônio Roberto for allowing us to collect samples within his ranch. The senior author acknowledges the National Council for Scientific and Technological Development (CNPq) for a scholarship. This is the contribution n. 251 of the NEG-LABISE.

References

- Aberhan, M., 1994. Guild-structure and evolution of Mesozoic benthic shelf communities. *Palaios* 9, 516-545.
- Ando, H., 1990. Stratigraphy and shallow marine sedimentary facies of the Mikasa Formation Middle Yezo Group (Upper Cretaceous). *The Journal of the Geological Society of Japan* 96, 279-295.
- Ando, H., Aoki, N., 1999. Late Cretaceous (Cenomanian) bivalve *Pseudoptera acuticarinata* (Nagao 1932) from the Mikasa Formation, Middle Yezo Group in central Hokkaido, Northeast Japan. *Bulletin of the Mikasa City Museum* 3, 41-50.
- Arai, M., Coimbra, J.C., Telles Jr, A.C.S., 2001. Síntese bioestratigráfica da Bacia do Araripe (nordeste do Brasil). *Comunicações, Primeiro e Segundo Simpósio sobre a Bacia do Araripe e Bacias Interiores do Nordeste, Crato*, 1[1990] e 2[1997], pp. 27, 109-117, 122-124. (in Portuguese abstracts).
- Assine, M.L., 1994. Paleocorrentes e paleogeografia na Bacia do Araripe, nordeste do Brasil.

- Revista Brasileira de Geociências 24, 223-232.
- Assine, M.L., 2008. Bacia do Araripe. Boletim de Geociências da Petrobras 15, 371-389.
- Berthou, P.Y., Lauverjat, J., 1979. Essai de synthèse paléogéographique et paléobiostratigraphique du Bassin Occidental portugais au cours du Crétacé Supérieur. Ciências da Terra [UNL] 5, 121-144.
- Beurlen, K., 1962. A geologia da chapada do Araripe. Anais da Academia Brasileira de Ciências 34, 365-370.
- Beurlen, K., 1963. Geologia e estratigrafia da chapada do Araripe. Anais, 17º Congresso Brasileiro de Geologia, Recife, 1987, pp.1-47.(abstracts in Portuguese).
- Beurlen, K., 1971. As condições ecológicas e faciológicas da Formação Santana na chapada do Araripe (nordeste do Brasil). Anais da Academia Brasileira de Ciências 43, 411-415.
- Branisa, L., Hoffstetter, R., 1966. Nouvelle contribution à l'étude de la paléontologie et de l'âge du groupe Puca (Crétacé de Bolivie). Bulletin du Museum Nationale de Histoire Naturel 38, 301-310.
- Brito, I.A.M., 1990. Breve histórico sobre a estratigrafia da Bacia do Araripe, nordeste do Brasil. Atas, Primeiro Simpósio sobre a Bacia do Araripe e Bacias Interiores do Nordeste, Crato, 1990, pp.1-18.(abstracts in Portuguese).
- Brüggen, H., 1910. Die Fauna des unteres Senons von Nord-Peru. Neues Jahrbuch für Mineralogie, Geologie und Paläontologie 30, 717-788.
- Bruno, A.P.S., Hessel, M.H., 2007. Registros paleontológicos do Cretáceo marinho na Bacia do Araripe. Estudos Geológicos 16, 15-34.
- Casey, R., 1952. Some genera and subgenera, mainly new, of the Mesozoic heterodont lamellibranchs. Proceedings from the Malacological Society of London 29, 121-176.
- Cavalcanti, V.M.M., Viana, M.S.S., 1990. Faciologia dos sedimentos não-lacustres da Santana Formation (Cretáceo Inferior da Bacia do Araripe, nordeste do Brasil). Atas, Primeiro Simpósio sobre a Bacia do Araripe e Bacias Interiores do Nordeste, Crato, 1990, pp. 193-207. (abstracts in Portuguese).
- Clarke, L.J., Jenkyns, H.C., 1999. New Oxygen isotope evidence for long-term Cretaceous climatic change in the Southern Hemisphere. Geology 27, 699-702.
- Cobban, W.A., 1977. Characteristic marine molluscan fossils from the Dakota Sandstone and intertongued Mancos Shale, west-central New Mexico. Geological Survey Professional Paper 1009, 1-30.
- Collignon, M., 1971. Gastéropodes et lamellibranches du Sahara. Annales de Paléontologie [Invertébrés] 57, 145-202.
- Cox, L.R., 1969. Family *Bakevelliidae* King 1850. In: Moore, R.C., Teichert, C (Eds.). Treatise on Invertebrate Paleontology, Part N, Mollusca 6, Bivalvia 1. Geological Society of America and University of Kansas Press, Boulder and Lawrence, Kansas, pp. N306-

N310.

- Craig, H., 1965. The measurement of Oxygen isotope paleotemperatures. *Proceedings Consiglio Nazionale delle Ricerche* 3, 161-182.
- Dhondt, A.V., 1987. Bivalves from the Hochmoos Formation (Gosau Group, Oberösterreich, Austria). *Annalen des Naturhistorischen Museums in Wien* 88A, 41-101.
- Dhondt, A.V., Jagt, J.W.M., 1987. Bivalvia uit de kalksteen van Vijlen in Hallembaye (België). *Grondboor en Hamer* 41, 78-90.
- Dhondt, A.V., Jaillard, E., 2005. Cretaceous bivalves from Ecuador and northern Peru. *Jour. South Amer. Earth Sci.* 19, 325-342.
- Faure, G. (Ed.), 1986. *Principles of isotope geology*. John Wiley & Sons, New York, 589pp.
- Ferreira, V.P., Sial, A.N., Alonso, R.N., Toselli, A.J., Aceñolaza, F.G., Parada, M.A., Toselli, J.R. 2003. $\delta^{13}\text{C}$ minimum in the Late Cretaceous-Paleocene Yacoraite carbonate sequence, NW Argentina. *Short Papers, Fourth South American Symposium on Isotope Geology*, Salvador, 1987, pp. 345-348.
- Freneix, S., 1972. Les Mollusques bivalves crétacés du bassin côtier de Tarfaya (Maroc méridional). *Notes and Mémoires du Service Géologique du Maroc* 228, 49-255.
- Gerth, H. (Ed.), 1955. *Geologie Südamerikas 2: Der geologische Bau der südamerikanischen Kordillere*. Bornträger, Berlin, 264pp.
- Góes, A.M.O., Feijó, F.J., 1994. Bacia da Parnaíba. *Boletim de Geociências da Petrobras* 8, 57-67.
- Häntzschel, W., 1933. Das Cenoman und die Plenus-Zone der sudetischen Kreide. *Abhandlungen der Preussischen Geologischen Landesanstalt, Neue Folge* 150, 1-161.
- Hartt, C.F. (Ed.), 1870. *Geology and physical geography of Brazil*. Fields, Osgood and Co., Boston, 620pp.
- Hayami, I., 1975. A systematic survey of the Mesozoic Bivalvia from Japan. *University of Tokyo Bulletin* 10, 1-249.
- Hessel, M.H., Tomé, M.E., Moura, C.R., 2006. Ostracodes mesozóicos das bacias do interior nordestino: o estado da arte. *Revista de Geologia da UFC* 19, 187-206.
- Horibe, Y., Oba, T., 1972. Temperatures scales of aragonite-water and calcite-water systems. *Fossils* 23/24, 69-79.
- Jablonski, D., Raup, D.M., 1995. Selectivity of end-Cretaceous marine bivalve extinctions. *Science* 268, 389-391.
- Jagt, J.W.M., 1999. Late Cretaceous-Early Palaeogene echinoderms and the K/T boundary in the southeast Netherlands and northeast Belgium. Part 1: Introduction and stratigraphy. *Scripta Geologica* 116: 1-57.
- Jordan, D.S., Branner, J.C. 1908., *The Cretaceous fishes of Ceará*. *Smithsonian Miscellaneous Collections* 5, 1-29.

- Keller, G., Berner, Z., Adatte, T., Stüben, D., 2004. Cenomanian-Turonian and $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$, sea level and salinity variations at Pueblo, Colorado. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 211, 19-43.
- Kurihara, K., 2006. Cenomanian/Turonian stage boundary event in the north-west Pacific: Marine biodiversity and palaeoceanographic background. Unpublished PhD thesis, University Waseda, Tokyo, 45pp.
- Lazo, D.G., 2003. Taxonomy, facies relationships and palaeobiology of bakevelliid bivalves from the Lower Cretaceous of west-central Argentina. *Cretaceous Res.* 24, 765-788.
- Leal, A.S., 1963. Geologia da região meridional de Serra Branca-Ipubi, Pernambuco. *Boletim de Geologia [UFPE]* 3, 40-42.
- Lima, M.R., 1979. Considerações sobre a subdivisão estratigráfica da Formação Santana, Cretáceo do nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências* 9, 116-121.
- Mabesoone, J.M., Tinoco, I.M., 1973. Paleocology of the Aptian Santana Formation (northeastern Brazil). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 14, 97-118.
- Maisey, J.G. (Ed.), 1991. Santana fossils: An illustrated atlas. Tropical Fish Hobbyist Publications, New Jersey, 459pp.
- Martill, D.M. (Ed.), 1993. Fossils of Santana and Crato Formations, Brazil. *Palaeontological Association Field Guides to Fossils*, London, 159pp.
- Martill, D.M., 2007. The age Cretaceous Santana Formation fossil konservat lagerstätte of north-east Brazil: A historical review and an appraisal of the biochronostratigraphic utility of its paleobiota. *Cretaceous Res.* 28, 895-920.
- McCrea, J.M., 1950. On the isotopic chemistry of carbonates and a paleotemperature scale. *The Jour. Chemical Physics* 18, 849-857.
- McGhee Jr, G.R., 1978. Analysis of the shell torsion phenomenon in the Bivalvia. *Lethaia* 11, 315-329.
- Müster, H., 1995. Taxonomie und Palaobiogeographie der Bakevelliidae (Bivalvia). *Beringia* 14, 3-161.
- Nakazawa, K., Murata, M., 1966. On the Lower Cretaceous fossils found near the Omine mine, Iwaté Prefecture, northeast Japan. *Memoires and Collections of Sciences University of Kyoto, serie B, Kyoto*, 32: 303-333.
- Neumann, V.H., Cabrera, L., 1999. Una nueva propuesta estratigráfica para la tectonosecuencia post-rifte de la Cuenca de Araripe, noreste de Brasil. *Boletim, Quinto Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil, Serra Negra, 1999*, pp. 279-285. (in English, Portuguese, Spanish abstracts).
- Orbigny, A. d'. (Ed.), 1845. *Paléontologie française: description des Mollusques et Rayonnés fossiles. Terrains crétacés, 3. Lamellibranches*, Masson, Paris, 807 pp.
- Petri, S., 1977. Mesozóico não marinho do Brasil e seus problemas. *Atas, Primeiro Simpósio de*

- Geologia Regional, São Paulo, 1977, pp. 29-47.
- Ponte, F.C., Appi, C.J., 1990. Proposta de revisão da coluna litoestratigráfica da Bacia do Araripe. Anais, 36º Congresso Brasileiro de Geologia, Natal, 1990, pp. 211-226.
- Regali, M.S.P., 2001. Palinoestratigrafia dos sedimentos cretácicos da Bacia do Araripe e das bacias interiores do nordeste, Brasil. Comunicações, Primeiro e Segundo Simpósio sobre a Bacia do Araripe e Bacias Interiores do Nordeste, Crato, 1[1990] e 2[1997], pp. 26-27, 101-108. (abstracts in Portuguese).
- Reinhardt, E.G., Fitton, R.J., Schwacz, H.P., 2003. Isotopic (Sr, O, C) indicators of salinity and taphonomy in marginal marine systems. Jour. Foraminiferal Res. 33, 262-272.
- Rubinson, M., Clayton, R.M., 1969. Carbon 13 fractionation between aragonite and calcite. Geochim. et Cosmochim. Acta 33, 997-1002.
- Sales, A.M.F., 2005. Análise tafonômica das ocorrências de concentrações de macroinvertebrados fósseis do Membro Romualdo (Albiano) da Formação Santana, Bacia do Araripe, NE do Brasil: significado estratigráfico, temporal e paleoambiental. Unpublished Doctoral thesis, Universidade de São Paulo, São Paulo, 160pp.
- Sales, A.M.F., Simões, M.G., Ghilardi, R.P., 2001. Ocorrência de Mytilidae (Bivalvia, Mollusca) nos calcários superiores do Membro Romualdo (Santana Formation, Albiano, Araripe Basin): implicações paleoecológicas e paleogeográficas. Resumos, 19º Simpósio de Geologia do Nordeste, Natal, 2001, pp. 18-19.
- Santos, C.R.G., 2007. Ocorrência de bivalvíos na Formação Romualdo, Araripe Basin. Paleontologia em Destaque 22, 34-35.
- Santos, M.E.M., 1982. Ambiente deposicional da Santana Formation, chapada do Araripe (PE/PI/CE). Anais, 32º Congresso Brasileiro de Geologia, Salvador, 1982, pp. 1413-1426.
- Saraiva, A.A.F., Hessel, M.H., Guerra, N.C., Fara, E., 2007. Concreções calcárias da Formação Santana, Bacia do Araripe: uma proposta de classificação. Estudos Geológicos 17, 40-57.
- Savazzi, E., 1981. *Barbatia mytiloides* and the evolution of shell torsion in arcid pelecypods. Lethaia 14, 143-150.
- Savazzi, E., 1984. Functional morphology and autecology of *Pseudoptera* (Bakeveliid bivalve, Upper Cretaceous of Portugal). Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 46, 313-324.
- Savrda, C.E., Nanson, L.L., 2003. Ichnology of fair-weather and storm deposits in an Upper Cretaceous estuary (Eutaw Formation, western Georgia, USA). Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 202, 67-83.
- Schidlowiski, M., Hayes, J.M., Kaplan, I.R., 1983. Isotopic inferences of ancient biogeochemistries: Carbon sulfur, hydrogen, and nitrogen. In: Schopf, J.W. (Ed.). Earth's earliest biosphere: Its origin and evolution. Princeton University, Princeton, pp. NJ149-

186.

- Seilacher, A., 1984. Constructional morphology of bivalves: Evolutionary pathways in primary versus secondary soft-bottom dwellers. *Palaeontology* 27, 207-237.
- Sepkoski, J.J., 2002. A compendium of fossil marine animal genera. *Bull. Amer. Paleontology* 363, 1-560.
- Scholle, P.A., 1977. Chalk diagenesis and its relation to petroleum exploration: Oil from chalks, a modern miracle? *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 61, 982-1009.
- Silva, A.L., Neumann, V.H.M.L., 2003. Caracterização estrutural do sistema lacustre carbonático (Aptiano-Albiano) da Bacia do Araripe e aplicação do GPR (Ground Penetrating Radar) para aplicação na análise de análogos de reservatórios carbonáticos fraturados. *Trabalhos Completos, Primeiro Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás, Recife, 2003*, pp 75-83.
- Smettan, K., 1997. Bivalven, Gastropoden und Serpuliden aus den Branderfleckschichten (Cenoman) der Fahrenbergmulde (Nördliche Kalkalpen, Bayern): Taxonomie und Palökologie. *Zitteliana* 21, 99-158.
- Sowerby, G.B. (Ed.), 1832-1842. *The conchological illustrations or coloured illustrations of all the hitherto unfigured recent shells*. G.B. Sowerby, London, 116pp.
- Speden, I.G., 1970. The type Fox Hills Formation, Cretaceous (Maestrichtian) South Dakota: Part 2. Systematics of the Bivalvia. *Peabody Museum of Natural History Bulletin* 33, 1-222.
- Stanley, S.M., 1970. Relation of shell form to life habitats of the Bivalvia (Mollusca). *Memoirs of the Geol. Soc. of America* 125, 1-496.
- Stanley, S.M., 1972. Functional morphology and evolution of byssally attached bivalve mollusks. *Jour. Paleontology* 46, 165-212.
- Stephenson, L.W., 1952. Larger invertebrate fossils of the Woodbine Formation (Cenomanian) of Texas. *United States Geological Survey Professional Paper* 242, 1-226.
- Stephenson, L.W., 1956. Fossils from the Eutaw Formation Chattahoochee river region, Alabama-Georgia. *United States Geological Survey Professional Paper* 274J, 227-250.
- Turekian, K.K., Armstrong, R.L., 1961. Chemical and mineralogical composition of fossil molluscan shells from the Fox Hills Formation, South Dakota. *Geol. Soc. Amer. Bull.* 72, 1817-1828.
- Veizer, J., Hoefs, J., 1976. The nature of $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ and $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ secular trends in sedimentary carbonate rocks. *Geochim. et Cosmochim. Acta* 40, 1387-1395.
- Viana, M.S.S., Neumann, V.H., 2002. Membro Crato da Formação Santana, chapada do Araripe, CE. In: Schobbenhaus, C., Campos, D.A., Queiroz, E.T., Winge, M., Berbert-Born, M.L.C (Eds.). *Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil*. DNPM/CPRM/SIGEP, Brasília, pp. 113-120.

Wright, E.K., 1987. Stratification and paleocirculation of the Late Cretaceous Western Interior seaway of North America. Geol. Soc. America Bull. 99, 480-490.

4. CONCLUSÕES GERAIS

Como principais conclusões advindas da realização desta tese, podemos listar:

- depois de 150 anos de ter sido publicada a primeira notícia de fósseis na região do Araripe, o conhecimento paleontológico de seus excepcionais e abundantes fósseis era praticamente restrito aos peixes e ostracodes;
- na década de 1950, o conhecimento da paleobiota da Bacia do Araripe começa a se diversificar, contando também com maior participação de cientistas brasileiros em suas investigações;
- a paleobiota cretácea da Bacia do Araripe parece refletir uma diversidade paleoambiental no tempo e no espaço associada a uma grande dinâmica aquática, que ainda exige estudos faunísticos e florísticos detalhados para uma interpretação integrada dos eventos ocorridos;
- a descrição de *Pseudoptera beurleni* n.sp. e as considerações estratigráficas e paleogeográficas apresentadas sugerem a existência de um paleoambiente mixohalino raso registrado nas partes mais superiores da Formação Romualdo, o que poderá ser confirmado ou não pelo estudo integrado de outros invertebrados ocorrentes na mesma unidade;
- descrições taxonômicas embasadas em literatura internacional e estudos interdisciplinares, principalmente geoquímicos, deveriam ser efetuados nos diversos táxons de organismos bentônicos das unidades cretáceas da Bacia do Araripe para melhorar o entendimento paleoambiental e paleogeográfico desta bacia.

ANEXOS



Editor-in-chief
Cretaceous Research
Elsevier

Recife, June 9th, 2009

Dear Prof. D.J. Nichols,

We are submitting a manuscript entitled “*Pseudoptera beurleni*, a new species of Bakevelliidae (Bivalvia) from the Santana Formation (Albian?), Northeastern Brazil, and its palaeontological implications” aimed to be published in Cretaceous Research.

Our submission is constituted by 1 manuscript, six Figures and three Tables.

We hope this manuscript meets the requirements of this prestigious Journal and that it can be accepted for publication.

Best regards

Ana Paula Bruno

Ana Paula Bruno

NEG-LABISE, Dept. of Geology, UFPE

Recife, PE, C.P. 7852, 59670-000, Brazil

e-mail: apsbruno@yahoo.com.br



Associate Editor
Earth Science History Journal

Recife, June 10th, 2009

Dear Profa. Maria Margareth Lopes,

We are submitting a manuscript entitled “**The paleontological history of the Araripe basin, northeast of Brazil, in its first 150 years**” aimed to be published in Earth Science History.

Our submission is constituted by 1 manuscript with copyright granted to journal.

We hope this manuscript meets the requirements of this prestigious Journal and that it can be accepted for publication.

Best regards

Ana Paula Bruno

Ana Paula Bruno

NEG-LABISE, Dept. of Geology, UFPE

Recife, PE, C.P. 7852, 59670-000, Brazil

e-mail: apsbruno@yahoo.com.br



Submission Confirmation

De: **ees.ycres.e.1903b.6e6a35bc@eesmail.elsevier.com** em nome de **D.J. Nichols**
(nichols@usgs.gov)

Enviada: terça-feira, 9 de junho de 2009 16:14:12

Para: anapaulabruno@hotmail.com

Dear ana paula,

We have received your article "Pseudoptera beurleni, a new species of Bakevelliidae (Bivalvia) from the Santana Formation (Albian?), Northeastern Brazil, and its palaeontological implications" for consideration for publication in Cretaceous Research.

Your manuscript will be given a reference number once an editor has been assigned.

De: **mmlopes@ige.unicamp.br** <mmlopes@ige.unicamp.br>

Assunto: Re: SubmissÃ£o de manuscrito

Para: "Ana Paula Bruno" <apsbruno@yahoo.com.br>

Data: Sexta-feira, 12 de Junho de 2009, 18:16

Prezada Ana Paula, como vocÃe deve ter visto, jÃa encaminhei o artigo de vocÃes para os editores responsÃaveis da HESS. Obrigada pelo interesse em publicar na HESS.

Margaret Lopes