

RESSALVA

Atendendo solicitação do autor, o texto completo desta dissertação será disponibilizado somente a partir de 27/09/2021.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS EXATAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOCIÊNCIAS E MEIO AMBIENTE

**SISTEMÁTICA DOS BIVALVES (MOLLUSCA) DA FORMAÇÃO
CRATO (EOCRETÁCEO), NE DO BRASIL E SEU SIGNIFICADO
PALEOAMBIENTAL**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

VICTOR RIBEIRO DA SILVA

ORIENTADOR: PROF. DR. MARCELLO GUIMARÃES SIMÕES

Rio Claro – SP

2019

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
Câmpus de Rio Claro

VICTOR RIBEIRO DA SILVA

SISTEMÁTICA DOS BIVALVES (MOLLUSCA) DA FORMAÇÃO CRATO
(EOCRETÁCEO), NE DO BRASIL E SEU SIGNIFICADO
PALEOAMBIENTAL

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
do Câmpus de Rio Claro, da Universidade
Estadual Paulista, como parte dos
requisitos para obtenção do título de
Mestre em Geociências e Meio Ambiente

Orientador: Prof. Dr. Marcello Guimarães
Simões

Rio Claro – SP

2019

S586s Silva, Victor Ribeiro da
Sistemática dos bivalves (Mollusca) da Formação Crato
(Eocretáceo), NE do Brasil e seu significado paleoambiental / Victor
Ribeiro da Silva. -- Rio Claro, 2019
166 f. : il., tabs., fotos, mapas

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista (Unesp),
Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro
Orientador: Marcello Guimarães Simões

1. Zoologia Classificação. 2. Geologia estratigráfica Cretáceo. 3.
Bivalve (Molusco). I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca do Instituto de
Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.

VICTOR RIBEIRO DA SILVA

SISTEMÁTICA DOS BIVALVES (MOLLUSCA) DA FORMAÇÃO CRATO
(EOCRETÁCEO), NE DO BRASIL E SEU SIGNIFICADO PALEOAMBIENTAL

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Instituto de Geociências e Ciências Exatas
do Câmpus de Rio Claro, da Universidade
Estadual Paulista, como parte dos
requisitos para obtenção do título de
Mestre em Geociências e Meio Ambiente

Comissão Examinadora

Prof. Dr. Luiz Eduardo Anelli

Prof. Dr. Marcello Guimarães Simões

Prof. Mario Luis Assine

Conceito: Aprovado

Rio Claro/SP, 27 de setembro de 2019

DEDICATÓRIA

Dedico o presente trabalho, em primeiro lugar, a todos aqueles que auxiliaram na realização do mesmo, seja direta ou indiretamente. Aos meu pais, Paula Simone Dias Ribeiro e Vilson Dutra da Silva, pelo suporte e paciência, através dos quais, mesmo sem compreender por completo o tortuoso caminho da carreira acadêmica, não tentaram, até o momento, interditar as ambições de seu único filho.

Aos indispensáveis camaradas Daniel Fernandes, Lucas Oliveira, Paulo Henrique de Vasconcelos, tanto pelas amizades que, de diferentes formas, tornaram-se verdadeiros pilares de estabilidade para o autor, bem como pelas estimulantes discussões científicas e filosóficas.

Aos membros da República Ressaca, pela grande hospitalidade, cumplicidade e todas experiências de convivência.

A Galileo Galilei, Giordano Bruno e tantos outros cientistas perseguidos e mortos pelo fundamentalismo, obscurantismo e ignorância que prevaleceram — e continuam a prevalecer — na “civilização” humana.

A Vincent van Gogh, Franz Schubert, Edgar Allan Poe e todos outros gênios das artes que morreram falidos, sem o mínimo reconhecimento de uma ordem social que só recompensa a produção mecânica de bens de consumo e despreza a criatividade.

Aos povos indígenas das etnias Shawandawa, Fulni-ô e Huni Kuin, que, através de suas medicinas, ensinamentos e tradições, foram capazes de proporcionar curas e experiências que ampliaram e ampararam enormemente os horizontes, a visão e a maneira de pensar do autor.

A todas as outras etnias nativas da América Latina, que foram — e são — espoliadas, exploradas, assassinadas, e seguem resistindo com admirável resiliência às excruciantes e humilhantes intempéries sociais às quais são sistematicamente submetidas.

A todos os camaradas que lutaram e lutam por uma sociedade mais justa, menos desigual e menos hostil às ideias progressistas, revolucionárias e criativas.

AGRADECIMENTOS

A realização da presente pesquisa só foi possível graças às contribuições de:

Prof. Dr. Marcello Guimarães Simões, através de sua competente orientação e envolvimento com o projeto de pesquisa;

Dra. Suzana Aparecida Matos, pela enorme paciência e assistência oferecidas durante as diferentes fases de desenvolvimento do projeto;

Geólogo Filipe Giovanini Varejão que tanto colaborou com os levantamentos estratigráficos, análises de fácies sedimentares e coletas de campo, permitindo o preciso enquadramento das ocorrências fossilíferas estudadas em termos de posicionamento estratigráfico na sucessão sedimentar da Formação Crato;

Diversos membros do Laboratório de Paleozoologia Evolutiva do Instituto de Biociências da UNESP Botucatu, pelas coletas em campo e discussões enriquecedoras que, mesmo indiretamente, influenciaram na evolução de um raciocínio científico;

Prof. Dr. Lucas Veríssimo Warren, cujo apoio científico, acolhimento e discussões diversas (da geologia à política), se mostraram de grande importância para a presente pesquisa e minha formação acadêmica;

Prof. Dr. Mário L. Assine, pela colaboração científica em diversas etapas da pesquisa, inclusive nos trabalhos de campo na Bacia do Araripe;

Geóloga Mariza Gomes Rodrigues tanto pelas colaborações diretas nos trabalhos de campo e gabinete, quanto pela fundamental hospitalidade, sem a qual a realização do curso de Mestrado não teria sido viável;

Todos os membros do Laboratório de Estudos Sedimentares e Tectono-Estratigráficos da UNESP de Rio Claro, que, assim como a equipe de cientistas do Câmpus de Botucatu, forneceram pequenas contribuições que inevitavelmente exerceram influência no trabalho;

Professor Franz Theodor Fürsich, que colaborou diretamente, tanto pessoalmente quanto à distância, com a elucidação da problemática envolvida e com a produção de todos os resultados da pesquisa;

Dr. Wagih Hannaa (Alemanha), Dra. Aleksandra Skawina (Polônia) e Dr. Dário G. Lazo (Argentina), todos especialistas em bivalves mesozoicos, cujos comentários, discussões e sugestões referentes à taxonomia da fauna de bivalves da Formação Crato se mostraram de grande importância para identificação dos táxons aqui preliminarmente descritos e/ou mencionados;

Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelo financiamento parcial da pesquisa conduzida, na forma de Bolsa de Mestrado (processo nº 2017/22036-8);

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001;

Finalmente, apoio financeiro foi também fornecido pelo CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico; 304800/2017-1) e Petrobras/SIGITEC (2014/00519-9).

Those who compare the social organism with the animal body leave unconsidered the fact that men do not differ like various cells or organs, but only in degree of their capacity. [...]. While it is positively true that in the struggle for existence those animals that are strong, healthy and well survive; yet this does not happen under capitalist competition. Here victory does not depend upon perfection of those engaged in the struggle, but in something that lies outside of their body. [...]. It is not the personal qualities, but the possession of money that decides who the victor shall be in the struggle. [...]. It is the capitalist system that causes so many strong and healthy ones to succumb. [...]. Thus the Socialists prove that different from the animal world, the competitive struggle existing between men does not bring forth the best and most qualified, but destroys many strong and healthy ones because of their poverty, while those that are rich, even if weak and sick, survive.

ANTON PANNEKOEK, 1912, Ch. 5

How smooth must be the language of the whites, when they can make right look like wrong, and wrong like right.

BLACK HAWK, 1882, p. 30

The economic anarchy of capitalist society as it exists today is, in my opinion, the real source of the evil. [...]. I am convinced there is only one way to eliminate these grave evils, namely through the establishment of a socialist economy, accompanied by an educational system which would be oriented toward social goals.

ALBERT EINSTEIN, 1949, p. 59-61

One does not sell the earth upon which the people walk.

CRAZY HORSE in BROWN, 1970, p. 292

RESUMO

A Formação Crato, Aptiano, é uma das principais unidades litoestratigráficas da sucessão sedimentar mesozoica da Bacia do Araripe, NE do Brasil. A unidade é reconhecida por conter um dos mais importantes depósitos do tipo *Konservat-Lagerstätte* do Gondwana. Tais depósitos são representados por calcários laminados contendo fósseis excepcionalmente bem preservados. Investigações estratigráficas e paleontológicas, combinadas com mapeamento detalhado da unidade na borda Leste da Bacia do Araripe, tornaram possível o reconhecimento de um importante intervalo contendo siltitos e argilitos ricos em fósseis de moluscos (gastrópodes, bivalves e restos vegetais incarbonizados), com ampla distribuição lateral. O intervalo, com 0,3-2,25 m de espessura, é representado por camadas tabulares de lamitos acinzentados, intensamente bioturbados e intercalados em folhelhos, arenitos finos e fácies heterolíticas. No presente estudo são descritas, pela primeira vez, as espécies de moluscos bivalves encontradas nesta camada e discutidas as suas implicações paleoambientais e paleobiogeográficas. Espécimes foram coletados em quatro localidades distintas (i.e., Três Irmãos, Batateira, Caldas e Estiva), e foram posteriormente submetidos à minuciosa análise de caracteres-chave (e.g., cicatrizes musculares, charneira e ornamentação). São descritos dois novos gêneros (*Cratonaia* gen. nov. e *Araripenaia* gen. nov.), pertencentes a Silesunionoidea Skawina e Dzik, 2011 e Trigonioideoidea Cox, 1952, respectivamente. Ambos os gêneros são monoespecíficos e representados pelas novas espécies *Cratonaia novaolindensis* gen. et sp. nov. e *Araripenaia elliptica* gen. et sp. nov., respectivamente. O gênero *Monginella* aparentemente também está presente, e representado pela nova espécie *?Monginella bellaradiata* sp. nov. Tal gênero é típico das assembleias de moluscos cretáceos do norte da África. Assim sendo, são registradas a primeira ocorrência de membros da Subordem Silesunionidina Skawina e Dzik, 2011 e da Superfamília Trigonioideoidea para o Cretáceo Inferior da América do Sul. Os fósseis estudados são representados, em geral, por moldes compostos com variável qualidade de preservação. Estão comumente preservados com valvas articuladas (abertas ou fechadas), sugerindo curto transporte lateral (i.e., fauna autóctone a parautóctone). As características paleoautoecológicas da fauna, com bivalves escavadores rasos ou de semi-infauna, suspensívoros, e as observações estratigráficas e sedimentológicas disponíveis sugerem que o ambiente deposicional ocupado pelos moluscos constituía uma imensa planície lamosa de uma laguna de águas doces a salobras. Isso significa que a camada fossilífera rica em bivalves registra mudanças ambientais em larga escala, representando evento regional de curta duração, imediatamente após a deposição dos calcários laminados, indicativos de condições lacustres hipersalinas. Finalmente, a possível presença de bivalves da superfamília Trigonioideoidea, família Plicatounionidae Chen, 1987, permite estabelecer relações com assembleias de moluscos do Aptiano do norte da África, mais especificamente dos depósitos Barremianos-Aptianos do Grupo Djoua, Argélia.

Palavras-chave: Sistemática, Ambiente Lagunar, Cretáceo, Bacia do Araripe, Formação Crato, Mollusca, Bivalvia.

ABSTRACT

The Aptian Crato Formation is one of the main lithostratigraphic units of the Mesozoic sedimentary succession of the Araripe Basin, northeastern Brazil. This unit is widely known for containing one of the main *Konservat-Lagerstätte* deposits of the Gondwana. Such deposits are represented by laminated limestones enclosing exceptionally well-preserved fossils. Stratigraphic and paleontological investigations, combined with detailed mapping of the unit in the eastern border of the Araripe Basin, enabled the recognizing of a key interval encompassing shell-rich siltstones and claystones, with wide lateral distribution. The 0.3–2.25-m-thick interval is represented by tabular layers of intensely bioturbated grayish mudstones, intercalated in shales, fine sandstones and heterolithic facies. In this study, for the very first time, bivalve molluscs found within this layer are described, and their paleoenvironmental and paleobiogeographic implications are discussed. Specimens have been collected in four different locations (i.e., Três Irmãos, Batateira, Caldas and Estiva), and then submitted to careful analyses of key morphological characters (e.g., muscle scars, hinge and ornamentation). Two new genera are herein described (*Cratonaia* gen. nov. and *Araripenaia* gen. nov.), each one of them belonging to the superfamilies Silesunionoidea Skawina and Dzik, 2011 and Trigonioideoidea Cox, 1952, respectively. Both genera are monospecific and represented by the new species *Cratonaia novaolindensis* gen. et sp. nov. and *Araripenaia elliptica* gen. et sp. nov. The genus *Monginella* also seems to be present, represented by the new species *?Monginella bellaradiata* sp. nov. This genus is typical of north African cretaceous mollusc assemblages. Therefore, bivalves of both the suborder Silesunionidina Skawina and Dzik, 2011 and the superfamily Trigonioideoidea are recorded for South American Early Cretaceous deposits for the first time. The studied fossils are generally represented by composite molds with variable preservation quality. They are commonly preserved with articulated valves (closed or splayed), suggesting short lateral transportation (i.e., autochthonous to parautochthonous fauna). The predominantly shallow-burrowing, or semi-infaunal, suspensivorous fauna paleoautoecological attributes, along with the available stratigraphic and sedimentological observations, suggest that the depositional environment inhabited by these molluscs consisted in a huge muddy flat of a freshwater to brackish lagoon. This means that the bivalve-rich fossiliferous layer records large-scale environmental changes, representing a short-timed event, immediately after the deposition of the laminated limestones, which, in turn, are an indicative of hypersaline lake conditions. Finally, the potential presence of the bivalve family Plicatounionidae Chen, 1987, may suggest affinities with mollusc assemblages from the Aptian of north Africa, more specifically, with Barremian-Aptian deposits of the Djoua Group, Algeria.

Keywords: Systematics, Lagoon Environment, Cretaceous, Araripe Basin, Crato Formation, Mollusca, Bivalvia.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 Os fósseis da Bacia do Araripe	12
1.2 Motivação: Por Que Estudar os Bivalves Cretáceos da Formação Crato, Bacia do Araripe?	13
1.3 Problemática Envolvida e Hipótese de Trabalho	15
1.4 Justificativa	16
1.5 Objetivos	16
1.5.1 Objetivos gerais	16
1.5.2 Objetivos específicos	17
1.6 Organização da Dissertação	17
1.6.1 Apêndice A. The “Três Irmãos” Bed, a key regional stratigraphic marker bed from the Crato Formation, Araripe Basin, NE Brazil	18
1.6.2 Apêndice B. <i>Cratonaia novaolindensis</i> gen. et sp. nov.: an exceptional bivalve (<i>Silesunionidina</i> Skawina and Dzik, 2011) from the Early Cretaceous Crato Formation, Araripe Basin, NE Brazil	18
1.6.3 Apêndice C. First record of trigonoidids (<i>Unionida</i> bivalves) from the Brazilian Cretaceous (Aptian Crato Formation, Araripe Basin)	19
2 CONTEXTO GEOLÓGICO	20
2.1 Aspectos Gerais da Área de Estudo	20
2.2 Formação Crato, Cretáceo Inferior, Bacia do Araripe: Breve Histórico e Aspectos Geológicos da Unidade	24
2.3 Seção Estudada na Localidade de Nova Olinda, CE	27
3 MATERIAIS E MÉTODOS	32
3.1 Atividades de Campo	32
3.2 Atividades de Laboratório	32
3.2.1 Preparação das amostras	33
3.2.2 Moldagem dos espécimes	33
3.2.3 Fotodocumentação	34
3.2.4 Ilustração e confecção de pranchas	34
3.2.5 Análise taxonômica	34
4 RESULTADOS	36
4.1 A Camada “Três Irmãos”, Uma Camada-Chave para Correlações Estratigráficas Regionais na Formação Crato, Bacia do Araripe, NE do Brasil	36
4.2 <i>Cratonaia novaolindensis</i> gen. et sp. nov.: Um Excepcional Bivalve (Subordem <i>Silesunionidina</i>) do Cretáceo Inferior da Formação Crato, Bacia do Araripe, NE do Brasil	37

4.3 Primeiro Registro de Trigonioideoidea (Bivalves Unionida) do Cretáceo Brasileiro (Formação Crato, Aptiano, Bacia do Araripe)	38
5 DISCUSSÃO	40
6 CONCLUSÃO	45
REFERÊNCIAS	48
APÊNDICE A ^{5,6}	58
The “Três Irmãos” Bed, a key regional stratigraphic marker bed from the Crato Formation, Araripe Basin, NE Brazil	58
APÊNDICE B ^{7,8}	82
Cratonaia novaolindensis gen. et sp. nov. (Unionida: Silesunionoidea) from the Aptian of Brazil (Araripe Basin), and its implications on the early evolution of freshwater mussels ..	82
APÊNDICE C ^{9,10}	128
First record of Trigoniodids (Unionida bivalves) from the Brazilian Cretaceous (Aptian Crato Formation, Araripe Basin)	128

1 INTRODUÇÃO

1.1 Os fósseis da Bacia do Araripe

Situada na região nordeste do Brasil, a bacia sedimentar do Araripe se estende por aproximadamente 9.000 km² (CATTO et al., 2016), ocupando parte dos territórios dos estados do Ceará, Pernambuco e Piauí. A geologia da bacia vem sendo estudada desde o século XIX (CARVALHO; SANTOS, 2005), e, desde então, diferentes descrições e interpretações estratigráficas e paleoambientais, bem como datações, foram produzidas (veja, por exemplo, MAISEY, 1991; ASSINE, 1992; MARTILL, 1993; VIANA; NEUMANN, 2002; CARVALHO; SANTOS, 2005; ASSINE, 2007; MARTILL et al., 2007a; ASSINE et al., 2014; ARAI, 2016; CATTO et al., 2016). Trata-se de uma das importantes localidades fossilíferas do Mesozoico do Brasil e do mundo, abrigando um impressionante arquivo da biodiversidade cretácea. Conforme sugerido por vários autores (MAISEY, 1991; MARTILL et al., 2007a; WARREN et al., 2016), a espetacular preservação dos fósseis, e sua abundância em determinados estratos, foram propiciadas por condições ambientais e diagenéticas singulares, em determinados intervalos, durante a evolução geológica da bacia (OSÉS et al., 2017; VAREJÃO et al., 2019), que se desenvolveu concomitantemente à abertura do Oceano Atlântico e ao desmantelamento do supercontinente Gondwana.

Os estudos paleontológicos na Bacia do Araripe tiveram início com a chegada da comitiva da arquiduquesa da Áustria, e futura Imperatriz Consorte do Brasil, Maria Leopoldina, no início do século XIX. Entre os cientistas que a acompanhavam, estavam presentes Johann Baptist von Spix e Karl Friedrich Philipp von Martius, dois membros da Academia de Ciências de Munique que, por sua vez, realizaram uma viagem exploratória pelo Brasil, tendo como resultado a publicação do livro *Reise in Brasilien*, onde consta a primeira ilustração de um peixe fóssil advindo da Bacia do Araripe (CARVALHO; SANTOS, 2005; SPIX; MARTIUS, 1854).

Durante o século XIX, mais estudos foram conduzidos por naturalistas, merecendo destaque as descrições de peixes fósseis do cientista suíço Louis Agassiz. Seu trabalho foi pioneiro em classificar as camadas fossilíferas como sendo de idade cretácea (AGASSIZ, 1833). Ictiofósseis continuaram a ser o foco quase exclusivo dos estudiosos da Bacia do Araripe até a metade do século XX (COPE, 1871;

WOODWARD, 1887; 1890; JORDAN; BRANNER, 1908; D'ERASMO, 1938; DUNKLE, 1940; SILVA-SANTOS, 1945; 1947; 1958; 1960).

Na década de 70, diversos trabalhos jogaram luzes às impressionantes diversidades faunística e florística contidas nas camadas fossilíferas do Grupo Santana. Foram descritas várias espécies de plantas (DUARTE; JAPIASSU, 1971; SILVA, 1975; LIMA, 1978), centenas de artrópodes (BATE, 1972; SILVA, 1978a, 1978b; SILVA; ARRUDA, 1976), e diferentes grupos de peixes (SILVA-SANTOS, 1970; 1971; TAVERNE, 1974; 1976; WENZ, 1977), tartarugas e pterossauros (PRICE, 1971; 1973; WELLNHOFER, 1977).

Somente a partir da década de 80 e, mais recentemente (vide OSÉS et al., 2017; VAREJÃO et al., 2019), a Formação Crato, em particular, começa a se destacar como fonte de fósseis preservados de modo extraordinário. Desta época, são famosas as descrições de diversos artrópodes (CAMPOS, 1986; PINTO; PURPER, 1986; BRITO, 1987; MARTINS-NETO, 1987; 1988a; 1988b; MARTINS-NETO; VULCANO, 1988; 1989a; 1989b), uma pena de ave (MARTINS-NETO; KELLNER, 1988) e um anuro (KELLNER; CAMPOS, 1986). O reconhecimento da preservação excepcional dos fósseis encontrados na sucessão de calcários laminados característicos desta formação geológica, permitiu que estes depósitos fossem classificados como sendo do tipo *Konservat-Lagerstätte* (sensu SEILACHER, 1970; SEILACHER et al., 1985), isto é, depósitos contendo fósseis extraordinariamente bem preservados, por vezes incluindo tecidos moles conservados (e.g., SCHWEITZER et al., 2007; MALDANIS et al., 2016) e, portanto, capazes de prover informações paleobiológicas relevantes.

1.2 Motivação: Por Que Estudar os Bivalves Cretáceos da Formação Crato, Bacia do Araripe?

Apesar do longo histórico de pesquisas paleontológicas na Bacia do Araripe, em especial no Grupo Santana, esses estudos foram concentrados nos fósseis provenientes dos depósitos de calcários laminados da Formação Crato e concreções carbonáticas da Formação Romualdo, em detrimento de outros intervalos estratigráficos também fossilíferos.

Especialmente, no que se refere à malacofauna do Grupo Santana em específico, existe maior conhecimento acerca daqueles provenientes da Formação

Romualdo (destaque para os trabalhos de BEURLIN, 1969; 1966, MABESOONE; TINOCO, 1973 e PEREIRA et al., 2016) do que os da Formação Crato. Esta última recebe a primeira menção da presença de bivalves em estudo conduzido por Beurlen (1963), limitando-se, no entanto, somente a citá-los.

Outras citações interessantes são as de Martill et al. (2005) e Martill (2007), onde é relatada a presença de bivalves unionídeos na Formação Crato, em um estrato não pertencente aos calcários laminados da sucessão sedimentar. De acordo com Martill (2007), tais bivalves seriam provenientes de um lamito situado acima do “Membro Nova Olinda”. Chama-se atenção para o fato de que nenhum desses autores realizou uma descrição detalhada e/ou ilustração, algo bastante peculiar para o Cretáceo brasileiro, visto que a fauna de bivalves fósseis deste período foi extensamente estudada em outras bacias, contando com trabalhos clássicos como os de White (1887) e Maury (1925; 1937).

Em breve nota, Barbosa et al. (2004) chegaram a mencionar a ocorrência inédita de quatro formas de bivalves encontrados na Formação Crato. Os fósseis foram registrados em quatro diferentes níveis da unidade, na porção leste da Bacia do Araripe (i.e., estado do Ceará), incluindo, da base para o topo da unidade: o perfil do rio da Batateira, na cidade do Crato, e os afloramentos das pedreiras Caldas, do André e Pedra Branca, em Nova Olinda. Os autores se referem à presença de *Yoldia* Möller, 1842, *Barbatia* Gray, 1842, *Pseudohyria* Morris, 1936 e *Malletia* Desmoulins, 1832. Esses bivalves são apenas citados novamente — e precariamente figurados — em Bruno e Hessel (2006) e Neta et al. (2017), ou seja, mesmo após mais de uma década do comunicado original de Barbosa et al. (2004), não receberam, até o momento, qualquer tratamento ou descrição formal.

O aspecto mais notável dessas ocorrências, em especial daquelas registradas na seção aflorante na área das pedreiras de Nova Olinda, diz respeito ao fato dos bivalves ocorrerem acima do nível de calcários laminados tão característicos da Formação Crato. Esses calcários foram originados durante eventos transgressivo-regressivos, associados à expansão e contração de imenso sistema lacustre (NEUMANN, 1999), desenvolvida em associação à abertura do Oceano Atlântico. Admiravelmente, das quatro formas mencionadas por Barbosa et al. (2004), apenas *Pseudohyria* não é marinha. Nesse sentido, os bivalves da Formação Crato são extremamente relevantes para o entendimento de questões paleoambientais,

paleoecológicas e paleobiogeográficas do nordeste brasileiro, em momento anterior à deposição das formações Ipubi e Romualdo.

1.3 Problemática Envolvida e Hipótese de Trabalho

O presente trabalho teve como finalidade central a pioneira descrição formal da fauna de bivalves da Formação Crato, bem como a interpretação de seu significado paleoambiental, somado a um conjunto de dados obtidos através de detalhadas observações estratigráficas e sedimentológicas da unidade. Por meio destas análises, tornou-se possível uma descrição mais precisa e detalhada do histórico deposicional da unidade, cuja necessidade de profunda reavaliação é evidenciada pelo sistemático foco exclusivo nos calcários laminados *Konservat-Lagerstätte* da unidade, muitas vezes ignorando a verdadeira complexidade envolvida no passado geológico completo da Formação Crato.

Em se tratando especificamente dos bivalves fósseis desta unidade, já foram aqui mencionados os escassos trabalhos que citam a possível presença de “unionoides” em camadas não pertencentes aos famosos calcários laminados (BEURLIN, 1963; MABESOONE; TINOCO, 1973; MARTILL et al., 2005; 2007a; SALES, 2005). No entanto, devido à completa ausência de ilustrações e descrições detalhadas dos mesmos, assim como o fato de outros trabalhos apontarem para a presença de uma malacofauna marinha na Formação Crato (BARBOSA et al., 2004; BRUNO; HESSEL, 2006), autores chegaram ao ponto de considerar as afirmações acerca da presença destes “unionoides” como provavelmente errôneas (VAN DAMME et al., 2015).

É neste contexto de lacunas taxonômicas que se insere o presente estudo, o qual, mediante inédita análise pormenorizada destes fósseis, foi capaz de, pela primeira vez, alocá-los da maneira mais precisa possível dentro de categorias taxonômicas abaixo de Família, corroborando assim as observações prévias antes consideradas errôneas por Van Damme et al. (2015). Essas descobertas, concatenadas ao arcabouço de dados estabelecido por observações sedimentológicas de detalhe (vide VAREJÃO, 2019), forneceram importantes informações acerca dos ambientes deposicionais que sucederam o sistema lacustre hipersalino associado aos calcários laminados da Formação (CATTO et al., 2016; WARREN et al., 2016; VAREJÃO et al., 2019).

1.4 Justificativa

Em 1994, o Prof. Dr. Marcello Guimarães Simões teve a oportunidade de, pela primeira vez, visitar a Bacia do Araripe, a convite da Prof.^a Dr.^a Eva Batista Caldas, do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará (UFC). Durante os trabalhos de campo no município do Crato, foram encontrados bivalves fósseis em folhelhos cinza-esverdeados na Formação Crato, pertencentes à sucessão do Rio da Batateira. Bivalves similares também já estavam disponíveis em uma pequena coleção do Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará. Esses bivalves foram doados ao Laboratório de Paleozoologia Evolutiva do Instituto de Biociências de Botucatu (IBB), UNESP, onde foram incorporados à coleção de invertebrados fósseis, porém, por diversas razões, nunca haviam sido estudados. Mais recentemente, nos anos de 2015 e 2016, durante os trabalhos de campo relativos ao Projeto CNPq 401039/2014-15, foram revisitados os afloramentos da Formação Crato na área de exploração dos calcários laminados no município de Nova Olinda, Ceará (CE). Em abril de 2017, juntamente com o Prof. Franz Theodor Fürsich, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, e a pós-doutoranda Suzana Aparecida Matos, IBB/UNESP, foram coletados diversos espécimes de bivalves e gastrópodes na sucessão sedimentar acima dos calcários laminados. A coleção, atualmente, contém mais de duas centenas de exemplares, vários deles relativamente bem preservados, representados por moldes internos, externos e compostos. É, certamente, a maior coleção de bivalves da Formação Crato disponível em universidades do Sudeste e Sul do Brasil. Mais importante ainda, os fósseis provêm das mesmas camadas reportadas por Barbosa et al. (2004).

Dito isso, e levando em consideração a relevância paleontológica destes animais, somada ao fato de nunca terem sido formalmente descritos, ou nem mesmo interpretados de maneira apropriada na literatura até o momento, justifica-se o trabalho de análise taxonômica realizado, bem como as interpretações de natureza paleoambiental.

1.5 Objetivos

1.5.1 Objetivos gerais

O presente estudo visa, primeiramente, descrever formalmente os bivalves da Formação Crato, Eocretáceo, da Bacia do Araripe, a partir de exemplares

provenientes de quatro localidades principais: as sucessões sedimentares da Pedreira Três Irmãos; do Rio da Batateira; da Mina Caldas; e de Estiva (vide apêndices). Além disso, visou fornecer dados sedimentológicos que permitiram interpretar a gênese das camadas portadoras dos fósseis em termos de processos e produtos sedimentares. Finalmente, objetivou lançar luz sobre as condições paleoambientais reinantes nos sistemas deposicionais da Formação Crato, durante o intervalo representado pelas camadas fossilíferas localizadas acima do principal banco de calcários laminados da unidade.

1.5.2 Objetivos específicos

O presente estudo visa, especificamente:

- a. Através da realização de procedimentos paleontológicos padrão e pormenorizada análise de caracteres-chave, a classificação taxonômica dos bivalves da Formação Crato a nível de gênero e espécie;
- b. A descrição da importante camada estratigráfica situada imediatamente acima dos calcários laminados da Formação Crato, de onde os fósseis analisados foram coletados;
- c. A partir da obtenção destes resultados, realizar uma avaliação de suas consequentes implicações paleoambientais.

1.6 Organização da Dissertação

A presente dissertação está organizada em duas partes principais, sendo a primeira delas o documento em si, aqui apresentado sob a forma clássica dos itens “Introdução”, “Contexto Geológico”, “Materiais e Métodos”, “Resultados”, “Discussão”, e “Considerações Finais”; e a segunda, na forma dos Apêndices A, B e C, cada um deles contendo um artigo científico produzido a partir dos dados obtidos durante o período de pesquisa aqui abrangido que, por sua vez, compõem um sólido arcabouço de dados que contribuem grandemente para a elucidação das questões associadas à composição da malacofauna de bivalves da Formação Crato, bem como à natureza deposicional de intervalos contendo os fósseis destes bivalves dentro da unidade. Adiante, serão apresentados três subitens explicativos acerca do conteúdo de cada um dos Apêndices.

1.6.1 Apêndice A. The “Três Irmãos” Bed, a key regional stratigraphic marker bed from the Crato Formation, Araripe Basin, NE Brazil

Este apêndice apresenta dados obtidos através de minuciosa análise estratigráfica, bem como mapeamento de toda a Formação Crato ao leste da Bacia do Araripe (vide VAREJÃO, 2019). Tais investigações evidenciaram a existência de um notável intervalo rico em fósseis de bivalves, e que representa um importante episódio no passado geológico da unidade. O objetivo central deste apêndice é explicitar a importância do referido intervalo, propondo uma definição formal do mesmo como “Camada Três Irmãos”; uma camada-chave persistente por dezenas de quilômetros e de grande importância para a correlação regional durante o Aptiano. Além disso, destaca-se a relevância de uma ampla e abrupta alteração ambiental que teria se dado posteriormente à deposição dos insígnies calcários laminados da unidade.

O texto integral deverá ser submetido ao periódico *Brazilian Journal of Geology*.

1.6.2 Apêndice B. *Cratonaia novaolindensis* gen. et sp. nov. (Unionida: Silesunionoidea) from the Aptian of Brazil (Araripe Basin), and its implications on the early evolution of freshwater mussels

Neste apêndice, traz-se à tona o primeiro registro de bivalves da subordem Silesunionidina na América do Sul. Esta seria ainda a ocorrência mais recente da história do grupo que, até então, seria reconhecido apenas para o Triássico da Austrália, África, Europa e, possivelmente, Índia. Através de uma minuciosa investigação de caracteres-chave, tais como cicatrizes musculares, morfologia da charneira e ornamentação, é também proposta uma nova espécie, denominada *Cratonaia novaolindensis* gen. et sp. nov. Trata-se de uma descoberta inédita que traz consigo diversas informações paleoambientais, baseadas na paleoautoecologia dos indivíduos pertencentes à subordem Silesunionidina. Além disso, a ocorrência deste táxon no Eocretáceo Sul-americano indica que a musculatura de bivalves mesozoicos dulciaquícolas necessita ser precisamente descrita para que seja possível uma alocação a nível de família.

Este texto foi submetido para ao periódico *Cretaceous Research*, Elsevier.

1.6.3 Apêndice C. First record of trigoniodids (Unionida bivalves) from the Brazilian Cretaceous (Aptian Crato Formation, Araripe Basin)

O apêndice detalha a primeira ocorrência de membros da superfamília Trigonioideoidea no Cretáceo Inferior da Bacia do Araripe. Cerca de 172 espécimes foram examinados em assembleias fossilíferas amostradas na borda leste da bacia. A análise pormenorizada dos principais caracteres morfológicos das conchas indicaram que pelo menos dois novos táxons estão presentes. Dito isso, são propostas as novas espécies *Araripenaia elliptica* gen. et sp. nov. e *Monginella bellaradiata* sp. nov. No momento, seguimos trabalhando nestes fósseis, visto que sua identificação precisa tem implicações paleogeográficas importantes. A possível presença destes táxons na unidade, além de dialogar diretamente com os dados obtidos nos dois apêndices anteriores, permite estabelecer relações com assembleias fossilíferas cretáceas do norte africano. Ademais, este registro estende a distribuição paleogeográfica da superfamília Trigonioideoidea para o nordeste do território Sul-americano.

O referido apêndice foi submetido ao periódico científico *Geobios*, Elsevier.

6 CONCLUSÃO

A partir dos dados obtidos e analisados na presente pesquisa, foi possível traçar uma série de conclusões relevantes no contexto da evolução geológica da Bacia do Araripe durante o Albiano, bem como da composição de sua malacofauna.

Investigações estratigráficas pormenorizadas, somadas a um mapeamento detalhado da Formação Crato, permitiram o reconhecimento de uma nova camada-chave dentro da sucessão sedimentar da unidade, aqui referida como Camada “Três Irmãos”. Possuindo espessura centimétrica a métrica, a Camada “Três Irmãos” apresenta um conjunto de atributos litológicos e paleontológicos que tornam-na facilmente detectável em amplas áreas ao longo da faixa de afloramentos da Formação Crato. Ademais, a Camada “Três Irmãos” representa uma abrupta mudança nos processos deposicionais da Formação Crato, onde um ambiente hipersalino e predominantemente carbonático foi subitamente substituído por um ambiente preponderantemente siliciclástico, com prevalência de sedimentação fina. As características paleoambientais detectadas na camada correspondem às de uma grande laguna de água doce, com uma ampla planície lamosa, por sua vez, contendo intensa bioturbação. Em suma, os atributos litológicos e paleontológicos descritos para a Camada “Três Irmãos” fornecem-na uma significativa importância para a realização de correlações litoestratigráficas intrabasinais, sendo ela, portanto, uma importante ferramenta para estudos geológicos regionais.

Outrossim, na Camada “Três Irmãos” foram encontrados bivalves autóctones a parautóctones e, notavelmente, nenhum deles pôde ser alocado em táxons marinhos, ainda que isso tenha sido largamente feito pela escassa literatura que trata do assunto. Dentre os elementos faunísticos encontrados na unidade, inclui-se o novo gênero descrito *Cratonaia* gen. nov. Este, por sua vez, detém características morfológicas típicas da subordem Silesunionidina, e o arranjo de suas cicatrizes musculares anteriores assemelham-se às daquelas da superfamília Silesunionoidea. A alocação deste novo gênero a uma família específica dentro de Silesunionoidea permanece nebulosa, visto que as cicatrizes de músculos pediais apresentam divergências concernentes ao arranjo, tamanho e distribuição quando comparadas às daquelas das famílias

Silesunionidae e Unionellidae, ambas pertencentes à superfamília Silesunionoidea. Foi, ainda, descrita uma nova espécie, *Cratonaia novaolindensis* gen. et sp. nov. que, por sua vez, muito provavelmente se tratava de uma espécie endêmica da Bacia do Araripe durante o Cretáceo Inferior.

A presença de *Cratonaia novaolindensis* gen. et sp. nov. na Bacia do Araripe demonstra que bivalves da superfamília Silesunionoidea não estão restritos ao Triássico, como previamente pensado. Sua presença teria se estendido também ao Cretáceo, sendo esta ocorrência de *Cratonaia novaolindensis* gen. et sp. nov. a mais recente conhecida até o momento para este grupo.

Além de *Cratonaia novaolindensis* gen. et sp. nov., mais duas novas espécies foram também descritas para a Formação Crato. São elas *Araripenaia elliptica* gen. et sp. nov. e *Monginella bellaradiata* sp. nov. Estas espécies constituem o primeiro registro de membros da superfamília Trigonioideoidea (Ordem Unionida) para o Cretáceo Inferior da América do Sul. O reconhecimento destas espécies confirma o fato de que Trigonioideoidea possuem uma distribuição geográfica bem mais ampla do que o estabelecido até então, ocorrendo também no oeste do Gondwana. Finalmente, chega-se também à conclusão de que o registro paleontológico de ambas as superfamílias (i.e., Trigonioideoidea e Silesunionoidea), é pouco conhecido e/ou incompleto. A paleobiogeografia destes táxons está distante de ser inteiramente compreendida.

Tendo isso em mente, é possível pensar em diversos possíveis caminhos para abordagens científicas futuras, como por exemplo a condução de um estudo paleoautoecológico destas novas espécies. A realização de análises morfofuncionais destes fósseis pode propiciar uma compreensão mais detalhada acerca de seus hábitos de vida, bem como de aspectos paleoecológicos e paleogeográficos da unidade. Salienta-se que aspectos paleogeográficos constituem discussão de grande importância científica para a geologia do Gondwana.

Pode-se pensar ainda em uma avaliação tafonômica de detalhe. Dada a quantidade de espécimes e informações tafonômicas obtidas ao longo do

período abrangido por este estudo, tornar-se-ia possível a geração de um robusto e confiável arcabouço de dados que poderia ser de grande auxílio à compreensão de aspectos paleoambientais e sedimentológicos associados ao depósito. A importância de um estudo abordando este tema é ainda mais potencializada dado o pouco desenvolvimento acerca do tópico.

Finalmente, pode-se pensar, a longo prazo, em novas prospecções paleontológicas em áreas que possam estar correlacionadas com a unidade descrita. Isso poderia auxiliar a preencher lacunas taxonômicas e paleobiogeográficas que ainda persistem na paleontologia das superfamílias Silesunionoidea e Trigonioideoidea.

REFERÊNCIAS

- AGASSIZ, L. **Recherches sur les poissons fossiles**. Neuchatel: Petitpierre, 1833.
- ALLPORT, S. On the Discovery of some Fossil Remains near Bahia in South America. **Quarterly Journal of the Geological Society**, v. 16, p. 263-266, 1859.
- ARAI, M. Reply to the comments of Assine et al. (Comments on paper by M. Arai "Aptian/Albian (Early Cretaceous) paleogeography of the South Atlantic: a paleontological perspective"). **Brazilian Journal of Geology**, v. 46, p. 9-13, 2016.
- ARAI, M.; COIMBRA, J.C. Análise paleoecológica do registro das primeiras ingressões marinhas na Formação Santana (Cretáceo Inferior da Chapada do Araripe). In: SIMPÓSIO SOBRE A BACIA DO ARARIPE E BACIAS INTERIORES DO NORDESTE, 1, 1990, Crato. **Atas...** Crato: Universidade Regional do Cariri, 1990. p. 225-239.
- ASSINE, M.L. Análise estratigráfica da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 22, p. 289-300, 1992.
- _____. (2007). Bacia do Araripe. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, v. 15, p. 371-389.
- ASSINE et al. Sequências deposicionais do Andar Alagoas da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. **Boletim de Geociências da Petrobrás**, v. 22, n. 1, p. 3-28, 2014.
- _____. et al. (2016). Comments on paper by M. Arai "Aptian/Albian (Early Cretaceous) paleogeography of the South Atlantic: a paleontological perspective". **Brazilian Journal of Geology**, v. 46, n. 1, p. 3-7, 2016.
- BAEZ, A.M. et al. Anurans from the Lower Crato Formation of northeastern Brazil: implications for the early divergence of neobatrachians. **Cretaceous Research**, v. 30, p. 829-846, 2009.
- BARBOSA, J.A. et al. Bivalves da Formação Crato, Bacia do Araripe. **Paleontologia em Destaque**, v. 20, p. 41-42, 2004.
- BARBOSA, O. Notas sobre plantas fósseis da Formação Cícero Dantas do Cretáceo da Bahia. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 22, n. 1, p. 25-28, 1950.
- BARDOLA, T.P. **Caracterização Paleoambiental dos Carbonatos Microbiais do Membro Crato, Formação Santana, Aptiano-Albiano da Bacia do Araripe**. 2015. 147 f. Tese de Doutorado (Geociências) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.
- BATE, R.N. Phosphatized ostracod with appendages from the Lower Cretaceous of Brazil. **Palaeontology**, v. 15, n. 3, p. 379-393, 1972.
- BAUER, G.; WÄTCHLER, K. (Eds.). **Ecology and Evolution of the Freshwater Mussels Unionoida**. Berlin: Springer-Verlag, 2001.

BEURLIN, K. Geologia e estratigrafia da Chapada do Araripe. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 23, 1963, Recife, **Anais...** São Paulo: Universidade de São Paulo, 1963, p. 47.

_____. (1964). As espécies dos Cassiopinae, nova subfamília dos Turritellidae, no Cretáceo do Brasil. **Arquivos de Geologia**, n. 5, p. 1-44.

_____. (1966). Novos equinóides do Cretáceo do Nordeste do Brasil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 38, n. 3-4, p. 455-464.

_____. (1971). As condições ecológicas e faciológicas da Formação Santana na Chapada do Araripe (Nordeste do Brasil). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 43, p. 411-415.

BIELER, R. et al. Classification of bivalve families. **Malacologia**, v. 52, p. 113-133, 2010.

BRETT, C.; BAIRD, G.C. Comparative taphonomy: a key to paleoenvironmental interpretation based on fossil preservation. **Palaios**, v. 1, p. 207-227, 1986.

BRITO, I.M. Nota preliminar sobre uma nova efêmera do Cretáceo do Ceará (Insecta Ephemeroptera). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 10, Rio de Janeiro, 1987, **Anais...**, Rio de Janeiro: Museu de Ciências da Terra, p. 593-597.

BROWN, D. **Bury My Heart at Wounded Knee: An Indian History of the American West**. New York: Holt, Rinehart & Winston, 1970.

BRUNO, A.P.S.; HESSEL, M.H. Registros paleontológicos do Cretáceo Marinho na Bacia do Araripe. **Estudos Geológicos**, v. 16, p. 39-49, 2006.

BUSCALIONI, A.D.; POYATO-ARIZA, F.J. Las Hoyas: A Unique Cretaceous Ecosystem. In: KHOSLA, A.; LUCAS, S.G. (Eds.). **Cretaceous Period: Biotic Diversity and Biogeography**. New Mexico: University of New Mexico Press, 2016. v. 71, p. 51-63.

CAMPOS, D.A.; KELLNER, A.W.A. Panorama of the flying reptiles study in Brazil and South America. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 57, p. 453-466, 1985.

CAMPOS, D.R.B. Primeiro registro fóssil de Scorpionoidea na chapada do Araripe (Cretáceo inferior, Brasil). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 58, n. 1, p. 135-137, 1986.

CARMO, D.A. et al. On the validity of two lower Cretaceous non-marine ostracod genera: biostratigraphic and paleogeographic implications. **Journal of Paleontology**, v. 82, p. 790-799, 2008.

CARTER, J.G. et al. A synoptical classification of the Bivalvia (Mollusca). **Paleontological Contributions**, v. 4, p. 1-47, 2011.

CARVALHO, A.R.A.; BARRETO, A.M.F. Novos materiais de *Araripemys barreto* da Formação Romualdo (Albiano – Bacia do Araripe), Pernambuco, Brasil. **Estudos Geológicos**, v. 25, n. 1, p. 3-14, 2015.

CARVALHO, M.S.S.; SANTOS, M.E.C.M. Histórico das pesquisas paleontológicas na Bacia do Araripe, nordeste do Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências da UFRJ**, v. 28, p. 15-34, 2005.

CATTO, B. et al. The microbial nature of laminated limestones: Lessons from the Upper Aptian, Araripe Basin, Brazil. **Sedimentary Geology**, v. 341, p. 304-315, 2016.

CHAGAS, D.B. **Litoestratigrafia da Bacia do Araripe: reavaliação e propostas para revisão**. 2006. 112 f. Dissertação de Mestrado (Geologia Regional) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. Rio Claro.

CHEN, J. Classification and evolution of non-marine trigonioids (Bivalvia). **Advances in Science of China, Earth Sciences**, v. 2, p. 141-152, 1987.

COMISSÃO ESPECIAL DE NOMENCLATURA ESTRATIGRÁFICA – SBG. Código Brasileiro de Nomenclatura Estratigráfica: Guia de Nomenclatura Estratigráfica. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 16, n. 4, p. 370-415, 1986.

COPE, E.D. On two extinct forms of Phisostomi of the Neotropical region. **Proceedings of the American Philosophical Society**, v. 12, p. 53-55, 1871.

COX, L.R. Lamellibranchia from the Karoo Beds of the Ruhuhu Coalfields, Tanganyika Territory. **The Quaterly Journal of the Geological Society of London**, v. 88, p. 623-633, 1932.

COX, L.R. Notes on Trigoniidae, with outlines of a classification of the family. **Malacological Society of London, Proceedings**, v. 29, n. 2-3, p. 45-70, 1952.

COX, L.R. et al. **Treatise on Invertebrate Paleontology**. Kansas: The University of Kansas Printing Service, 1969.

CUSTÓDIO, M.A. **Arquitetura Estratigráfica da Formação Romualdo, pós-rito da Bacia do Araripe, Brasil**. 2017. 78 f. Dissertação de Mestrado (Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro.

CUSTÓDIO, M.A. et al. The transgressive-regressive cycle of the Romualdo Formation (Araripe Basin): Sedimentary archive of the Early Cretaceous marine ingression in the interior of Northeast Brazil. **Sedimentary Geology**, v. 359, p. 1-15, 2017.

D'ERASMO, G. Ittioliti Cretacei del Brasile. **Atti della Reale Accademie delle Scienze fisiche e Matematiche**. Napoli, v. 1, n. 3, p. 1-44, 1938.

DESMOULINS, C. Description d'une nouveau genre de coquille vivant, bivalve, des mers du Chile. **Actes de la Société Linnéenne de Bordeaux**, v. 5, n. 26, p. 83-92, 1832.

DUARTE, L.; JAPIASSU, A.M.S. Vegetais Meso e Cenozóicos do Brasil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 43, p. 443, 1971.

DUNKLE, D.H. The cranial osteology of *Notelops brama* (Agassiz) and Elopidae Fish from the Cretaceous of Brazil. **Lloydia**, v. 3, n. 3, p. 157-190, 1940.

EINSTEIN, A. Why Socialism?. **Monthly Review**, v. 1, n. 1, p. 59-61, 1949.

ETHERIDGE, R. The invertebrate fauna of the Hawkesbury-Wianamatta Series. **Memoirs of the Geological Survey of New South Wales Palaeontology**, v. 1, p. 1-26, 1888.

FARINA, M. Sequência plumbífera do Araripe – mineralização sulfetada no Cretáceo sedimentar brasileiro. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 28, 1974, Porto Alegre. **Anais...** São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1974. p. 61-77.

FÜRSICH, F.T.; KAUFFMAN, E.G. Palaeoecology of marginal marine sedimentary cycles in the Albian Bear River Formation of southwestern Wyoming. **Palaeontology** v. 27, p. 501-536, 1984.

FÜRSICH, F.T. et al. Analysis of a Cretaceous (late Aptian) high-stress ecosystem: The Romualdo Formation of the Araripe Basin, northeastern Brazil. **Cretaceous Research**, v. 95, p. 268-296, 2019.

GARDNER, G. Geological notes during a journey from the coast into the interior of the Province of Ceará, in the North of Brazil. **Edinburgh New Philosophical Journal**, v. 30, p. 75-82, 1841.

GRAY, J.E. Molluscs. **Synopsis of the contents of the British Museum**, v. 44, p. 81-92, 1842.

_____. (1854). A revision of the arrangement of the families of bivalve shells (Conchifera). **The Annals and Magazine of Natural History series 2**, v.14, n. 79, p. 408-418.

HAWK, B. **Autobiography of Ma-ka-tai-me-she-kia-kiak, or Black Hawk, embracing the traditions of his nation, various wars in which he has been engaged, and his account of the cause and general history of the Black Hawk war of 1832, his surrender, and travels through the United States.** Rock Island: J.B. Patterson, 1882.

HEIMHOFER, U.; HOCHULI, P.A. Early Cretaceous angiosperm pollen from a low-latitude succession (Araripe Basin, NE Brazil). **Review of Palaeobotany and Palynology**, v. 161, p. 105-126, 2010.

HOLZ, M.; SIMÕES, M.G. **Elementos Fundamentais de Tafonomia.** Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2002.

JAIN, K.P.; MILLEPIED, P. Cretaceous microplankton from Senegal Basin, NW Africa, I. Some new genera, species and combinations of dinoflagellates. **The Paleobotanist**, v. 20, p. 22-32, 1973.

JORDAN, D.S.; BRANNER, J.C. The Cretaceous fishes of Ceara, Brazil. **Smithsonian Miscellaneous Collection**, v. 5, n. 1, p. 1-29, 1908.

KELLNER, A.W.A.; CAMPOS, D.A. Primeiro registro de Amphibia (Anuro) no Cretáceo Inferior da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 58, n. 4, p. 610, 1986.

KIDWELL, S.M. et al. Conceptual framework for the analysis and classification of shell concentration. **Palaos**, v. 1, p. 228-238, 1986.

KÜTZING, F.T. **Species algarum**. Leipzig: F.A. Brockhaus, 1849.

LIMA, M.R. **Palinologia da Formação Santana (Cretáceo do Nordeste do Brasil)**. 1978. 335 f. Tese de Doutorado (Paleontologia e Estratigrafia) — Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo.

MABESOONE, J.M.; TINOCO, I.M. Paleocology of Aptian Santana Formation (Northeastern Brazil). **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 14, p. 87-118, 1973.

MAISEY, J.G. **Santana Fossils: An Illustrated Atlas**. Neptune: T.F.H. Publications, INC, 1991.

MAKARKIN, V.N.; MENON, F. New species of the Mesochrysopidae (Insecta, Neuroptera) from the Crato Formation of Brazil (Lower Cretaceous), with taxonomic treatment of the family. **Cretaceous Research**, v. 26, p. 801-812, 2005.

MALDANIS, L. et al. Heart fossilization is possible and informs the evolution of cardiac outflow tract in vertebrates. **eLife**, 5e14698, 2016.

MANTELL, G.A. **A pictorial atlas of fossil remains**: consisting of coloured illustrations selected from Parkinson's "Organic remains of a former world" and Artis' "Antediluvian phytology". London: H.G. Bohn, 1850.

MARTILL, D.M. The preservation of fossil fishes in concretions from the Cretaceous of Brazil. **Palaeontology**, v. 30, p. 1-18, 1988.

_____. (1993). **Fossils of the Santana and Crato Formations, Brazil**. London: Palaeontological Association.

_____. (2007). The age of the Cretaceous Santana Formation fossil Konservat Lagerstätte of north-east Brazil: a historical review and an appraisal of the biochronostratigraphic utility of its palaeobiota. **Cretaceous Research**, v. 28, p. 895-920.

MARTILL, D.M. et al. An unusual occurrence of amber in laminated limestones: the Crato Formation Lagerstätte (Early Cretaceous) of Brazil. **Palaeontology**, v. 48, n. 6, p. 1399-1408, 2005.

_____. et al. (2007a). **The Crato Fossil Beds of Brazil: Window into an ancient world**. New York: Cambridge University Press.

_____. et al. (2007b). Halite pseudomorphs in the Crato Formation (Early Cretaceous, Late Aptian – Early Albian), Araripe Basin, Northeast Brazil: further evidence for hypersalinity. **Cretaceous Research**, v. 28, p. 613-620.

_____. et al. (2008). Mass mortality of fishes in the Santana Formation (Lower Cretaceous, ?Albian) of northeast Brazil. **Cretaceous Research**, v. 29, n. 4, p. 649-658.

MARTILL, D.M.; WILBY, P.R. Stratigraphy. In: MARTILL, D.M. (Ed.). **Fossils of the Santana and Crato Formations, Brazil: Field Guides to Fossils 5**. Londres: The Paleontological Association, 1993. p. 20-50.

MARTINS-NETO, R.G. Um novo gênero de Orthoptera (Insecta, Grylloidea) da Formação Santana, Bacia do Araripe (Cretáceo Inferior), Nordeste do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 10, Rio de Janeiro, 1987, **Anais...**, p. 559-609.

_____. (1988a). A new fossil insect (Homoptera, Cixiidae) from the Santana Formation (Lower Cretaceous), Araripe Basin, Northeast Brasil. **Interciência**, v. 13, n. 6, p. 313-316.

_____. (1988b). A new genus and species of Cixiidae (Homoptera, Fulgoroidea) from the Santana Formation (Lower Cretaceous) Araripe Basin, northeast, Brazil. **Acta Geologica Leopoldensia**, v. 11, n. 26, p. 7-140.

_____. (2006). Insetos fósseis como bioindicadores em depósitos sedimentares: um estudo de caso para o Cretáceo da Bacia do Araripe (Brasil). **Revista Brasileira de Zoociências**, v. 8, p. 155-183.

MARTINS-NETO, R.G.; KELLNER, A.W.A. Primeiro registro de pena na Formação Santana (Cretáceo Inferior), bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 60, n. 1, p. 61-68, 1988.

MARTINS-NETO, R.G.; VULCANO, M.A. Neuropteros (Insecta: Planipennia) da Formação Santana (Cretáceo inferior, bacia do Araripe, Nordeste do Brasil). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 60, n. 2, p. 189-201, 1988.

_____; _____. (1989a). Amphiesmenoptera, (Trichoptera, Lepidopetra) na Formação Santana (Cretáceo Inferior) Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. I – Lepidoptera (Insecta) com descrição de novas espécies. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 61, n. 4, p. 460-466.

_____; _____. (1989b). Neurópteros (Insecta, Planipennia) da Formação Santana (Cretáceo Inferior), Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. II. Superfamília Myrmeleontoidea. **Revista Brasileira de Entomologia**, v. 33, n. 2, p. 367-402.

MAURY, C.J. Fósseis Terciários do Brasil com Descrição de Novas Formas Cretáceas. **Monografia do Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil**, v. 4, p. 1-665, 1925.

_____. (1937). O Cretáceo de Sergipe. **Monografia do Serviço Geológico de Mineralógico do Brasil**, v. 11, p. 1-283.

MAWSON, J.; WOODWARD, A.S. On the Cretaceous Formation of Bahia (Brazil), and on vertebrate fossils collected therein. **Quarterly Journal of the Geological Society**, v. 63, p. 128-142, 1907.

MELO Júnior., J.L. de; OLIVEIRA, P.E de. Novas localidades fossilíferas do Nordeste da Baía. **Departamento Nacional da Produção Mineral, Divisão de Geologia e Mineralogia, Boletim**, n. 103, 1939.

MOHR, B.A.R.; EKLUND, H. *Araripiaflorifera*, a magnoliid angiosperm from the Lower Cretaceous Crato Formation (Brazil). **Review of Palaeobotany and Palynology**, v. 126, p. 279-292, 2003.

MÖLLER, H.P.C. Index Molluscorum Groenlandiae. **Naturhistorisk Tidsskrift**, v. 4, p. 76-97, 1842.

MORAES, L.J. Estudos geológicos no Estado de Pernambuco, Brasil. **Serviço Geológico Mineral do Brasil**, v. 32, p. 1-100, 1928.

MORRIS, F.K. Central Asia in Cretaceous time. **Bulletin of the Geological Society of America**, v. 47, p. 1477-1534, 1936.

NETA, A.L.C.L. et al. Descrição de bivalves fósseis da Formação Crato, Aptiano da Bacia do Araripe. In: CONGRESSO BRASILEIRO DA PALEONTOLOGIA, 25, 2017, Ribeirão Preto. **Boletim de Resumos...** Ribeirão Preto: Universidade de São Paulo, 2017, p. 218.

NEUMANN, V.H.M.L. **Estratigrafia, sedimentologia, geoquímica y diagénesis de los sistemas lacustres Aptienses-Albienses de la Cuenca de Araripe (Noroeste do Brasil)**. 1999. 233 f. Tese de Doutorado (Análise de Bacias, Geomorfologia e Paleontologia) – Facultat de Geologia, Universitat de Barcelona. Barcelona.

NEUMANN, V.H.M.L.; CABRERA, L. Uma nueva propuesta estratigráfica para la tectonosecuencia post-rifte de la cuenca de Araripe, nordeste de Brasil. In: SIMPÓSIO SOBRE O CRETÁCEO DO BRASIL, 5, 1999, Serra Negra. **Boletim...** São Paulo: Universidade Estadual Paulista, 1999, p. 279-285.

NEUMANN, V.H.M.L. et al. Organic matter composition and distribution through the Aptian – Albian lacustrine sequences of the Araripe Basin, northeastern Brazil. **International Journal of Coal Geology**, v. 54, n. 1, p. 21-40, 2003.

OSÉS, G.L. et al. Deciphering pyritization-kerogenization gradient for fish soft-tissue preservation. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1468, p. 1-15, 2017.

PANNEKOEK, A. **Marxism and Darwinism**. Chicago: C.H. Kerr & Co., 1912.

PEREIRA, P.A. et al. Cassiopidae gastropods, influence of Tethys Sea of the Romualdo Formation (Aptian - Albian), Araripe Basin, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 70, p. 211-233, 2016.

PINTO, I.D.; PURPER, I. A new blattoid from the Cretaceous of Brazil. **Pesquisas**, v. 18, p. 31-38, 1986.

PONTE, F.C.; APPI, C.J. Proposta de revisão da coluna litoestratigráfica da Bacia do Araripe. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 36, 1990, Natal. **Anais...** Natal: Sociedade Brasileira de Geologia, 1990, p. 211-226.

PRICE, L.I. A presença de Pterosauria no Cretáceo Inferior da Chapada do Araripe, Brasil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 43, p. 451-461, 1971.

_____. (1973). Quelônio *Amphichelydia* no Cretáceo Inferior do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 3, p. 84-95.

REGALI, M.S.P. A idade dos evaporitos da plataforma continental do Ceará, Brasil, e sua relação com os outros evaporitos das bacias nordestinas. **Boletim do Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo**, v. 7, p. 139-143, 1989.

SALES, A.M.F. **Análise tafonômica das ocorrências fossilíferas de macroinvertebrados do Membro Romualdo (Albiano) da Formação**

Santana, Bacia do Araripe, NE do Brasil: significado estratigráfico e paleoambiental. 2005. 173 f. Tese de Doutorado (Geologia Sedimentar) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. São Paulo.

SANTOS, F.H. et al. Análise de fácies e petrografia de uma seção do Membro Crato em Nova Olinda (CE): contribuições à história deposicional e diagenética do neoaptiano na Bacia do Araripe. **Revista Geologia USP**, v. 17, n. 3-18, 2017.

SAYÃO, J.; KELLNER, A.W.A. Pterosaur wing with soft tissue from the Crato Member (Aptian – Albian), Santana Formation, Brazil. **Journal of Vertebrate Paleontology**, p. 15-75A, 1998.

SCHWEITZER, M.H. et al. Soft tissue and cellular preservation in vertebrate skeletal elements from the Cretaceous to the present. **Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences**, v. 274, n. 1607, p. 183-197, 2007.

SEILACHER, A. Begriff und Bedeutung der Fossil Lagerstätten. **Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie**, v. 1, p. 34-39, 1970.

SEILACHER, A. et al. Sedimentological, ecological and temporal patterns of Fossil-Lagerstätten. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London B**, v. 311, p. 5-23, 1985.

SILVA, M.A.M. Lower Cretaceous unconformity truncating evaporite-carbonate sequence, Araripe Basin, Northeastern Brazil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 16, n. 3, p. 306-310, 1986a.

_____. (1986b). Lower Cretaceous sedimentary sequences in the Araripe Basin, Northeastern Brazil: A Revision. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 16, n. 3, p. 311-319.

_____. (1988). Evaporitos do Cretáceo da Bacia do Araripe: ambientes de deposição e história diagenética. **Boletim Geológico da Petrobrás**, v. 2, n. 1, p. 53-63.

SILVA, M.D. Primeira ocorrência de *Charophyta* na Formação Santana (Cretáceo) do Grupo Araripe, Nordeste do Brasil. In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA, 7, 1975, Fortaleza. **Anais...** São Paulo: Universidade de São Paulo, 1975, p. 67-73.

_____. (1978a). Ostracodes do furo SE-2 — Formação Santana (Cretáceo inferior) grupo Araripe. Área da Casa de Pedra-Ipubi, Pernambuco, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30, Recife, **Anais...**, São Paulo: Universidade de São Paulo, p. 1002-1013.

_____. (1978b). Ostracodes da Formação Santana (Cretáceo inferior) grupo Araripe. Nordeste do Brasil. I – Novas espécies do gênero *Bisulcocyparis*. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 30, Recife, **Anais...**, São Paulo: Universidade de São Paulo, p. 1014-1022.

SILVA, M.D.; ARRUDA, G.P. Insetos (Hymenoptera) cretáceos do Grupo Araripe — Nordeste do Brasil. **Anais do Instituto de Ciências Biológicas**, v. 3, n. 1, p. 45-54, 1976.

SILVA, A.L.; NEUMANN, V.H. Formação Crato da Bacia do Araripe: um reservatório análogo ao calcário Trairí (Formação Paracuru), Bacia do Ceará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS, 2, 2003, Rio de Janeiro. **Anais...** Natal: Associação Brasileira de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás. p. 31-36.

SILVA-SANTOS, R.. Revalidação de *Aspidorhynchus comptoni* Agassiz, do Cretáceo do Ceará, Brasil. **Notas preliminares e estudos da Divisão de Geologia e Mineralogia**, n. 29, p. 1-10, 1945.

_____. (1947). Uma redescoberta de *Dastilbe elongatus*, com algumas considerações sobre o gênero *Dastilbe*. **Notas preliminares e estudos da Divisão de Geologia e Mineralogia**, n. 42, p. 1-7.

_____. (1958). *Leptolepis diasii* novo peixe fóssil da serra do Araripe. **Notas preliminares e Estudos da Divisão de Geologia e Mineralogia**, n. 108, p. 1-15.

_____. (1960). A posição sistemática de *Enneles audax* Jordan & Branner da Chapada do Araripe, Brasil. **Monografias da Divisão de Geologia e Mineralogia**, n. 17, p. 1-25.

_____. (1970). A paleoictiofauna da Formação Santana — Holostei: Família Girodontidae. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 42, n. 3, p. 445-542.

_____. (1971). Nouveau genre et espèce d'Elopidae du Bassin Sédimentaire de la Chapada do Araripe. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 43, n. 2, p. 439-442.

SILVA-SANTOS, R.; VALENÇA, J.G. A Formação Santana e sua paleoictiofauna. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 40, p. 339-360, 1968.

SKAWINA, A. Population dynamics and taphonomy of the Late Triassic (Carnian) freshwater bivalves from Krasiejów (Poland). **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 379-380, p. 68-80, 2013.

SKAWINA, A.; DZIK, J. Umbonal musculature and relationships of the Late Triassic filibranch unionoid bivalves. **Zoological Journal of the Linnean Society**, v. 163, p. 863-883, 2011.

SMALL, H.I. Geologia e Suprimento de Água Subterrânea no Piauí e Parte do Ceará. **Inspetoria de Obras Contra Secas do Recife**, v. 25, p. 1-80, 1913.

SPIX, J.B. von; MARTIUS, K.F.P. von. **Reise in Brasilien**. Augsburg: G. Jaquet, 1854.

STAROBOGATOV, Y.I. **Fauna Mollyuskov i Zoogeograficheskoe Raionirovanie Kontinental'nykh Vodoemov Zemnogo Shara [Fauna of molluscs and zoogeographic division of continental waterbodies of the globe]**. Leningrad: Nauka, 1970.

TAVERNE, L. Sur le premier exemplaire complet d'*Enneles audax* Jordan, D.S. & Branner, J.C., 1908 (Pisces, Holostei, Amiidae) du Crétacé Supérieur du Brésil. **Bulletin Société Belge de Géologie**, v. 83, n. 1, p. 66-71, 1974.

_____. (1976). À propos du Poisson fossile *Notelops brama* (Agassiz, L. 1841) du Crétacé Inférieur du Brésil et de sa position systematique au sein des Téléostéens primitifs. **Biologisch Jaarboek**, v. 44, p. 304-310.

VAN DAMME, D. et al. A revision of the Mesozoic naiads (Unionoida) of Africa and the biogeographic implications. **Earth-Science Reviews**, v. 147, p. 141-200, 2015.

VAREJÃO, F.G. **Abordagem multi-indicadores do sistema misto carbonático-siliciclástico da Formação Crato**: Evolução sedimentar, paleogeografia e tectônica. 2019. 203 f. Tese de Doutorado (Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista. Rio Claro.

VAREJÃO, F.G. et al. Excepcional preservation of soft tissues by microbial entombment: Insights into the taphonomy of the Crato *Konservat-Lagertätte*. **PALAIOS**, v. 34, p. 331-348, 2019.

VIANA, M.S.S. **Estratigrafia e paleontologia da Formação Santana, Cretáceo Inferior da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil**. 1990. 107 f. Dissertação de Mestrado (Geologia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.

VIANA, M.S.S.; NEUMANN, V.H.L. Membro Crato da Formação Santana, Chapada do Araripe, CE, riquíssimo registro de fauna e flora do Cretáceo. In: SCHOBENHAUS, C. et al. (Eds.). **Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil**. Brasília: DNPM/DPRM — Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos (SIGEP), 2002.

WARREN, L.V. et al. Stromatolites from the Aptian Crato Formation, a hypersaline lake system in the Araripe Basin, northeastern Brazil. **Facies**, v. 36, p. 1-19, 2016.

WENZ, S. Le squelette axial et l'endosquelette caudal d'*Enneles audax*, Poisson Amiidé du Crétacé de Ceara (Brésil). **Bulletin du Museum National d'Histoire Naturelle**, v. 490, n. 3, p. 341-348, 1977.

WELLNHOFER, P. *Araripedactylus dehmi* nov. gen., nov. sp., ein Fulgsaurier aus der Unterkreide von Brasilien. **Mitteilugen Bayer Stadt Palaontologie Histoire Geologie**, v. 17, p. 1157-1167, 1977.

WHITE, C.A. Contribuições à Paleontologia do Brasil. **Archivos do Museu Nacional do Rio de Janeiro**, v. 7, p. 1-273, 1887.

WOODWARD, A.S. On the fossil Teleostean genus *Rhacolepsis*, Agass. **Proceedings of the Zoological Society of London**, p. 535-542, 1887.

_____. (1890). On some Upper Cretaceous Fishes of the Family of Aspidorhynchidae. **Proceedings of the Zoological Society of London**, p. 629-636.