



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE GEOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA

OLGA ALCÂNTARA BARROS

CONTRIBUIÇÃO PARA O ESTUDO DE CAMARÕES DO GRUPO SANTANA
(APTINIANO DA BACIA DO ARARIPE)

FORTALEZA

2020

OLGA ALCÂNTARA BARROS

CONTRIBUIÇÃO PARA O ESTUDO DE CAMARÕES DO GRUPO SANTANA
(APTINIANO DA BACIA DO ARARIPE)

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Geologia. Área de concentração: Paleontologia e Geologia Histórica.

Orientadora: Prof. Dr^a. Maria Somália Sales Viana.

Coorientador: Prof. Dr. João Hermínio da Silva.

FORTALEZA

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

B28c Barros, Olga Alcântara.
Contribuição para o estudo de camarões do grupo Santana (Aptiniano da Bacia do Araripe) / Olga Alcântara Barros. – 2020.
157 f. : il. color.

Tese (doutorado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Fortaleza, 2020.
Orientação: Profª. Dra. Maria Somália Sales Viana.
Coorientação: Prof. Dr. João Hermínio da Silva.

1. Camarões. 2. Espectroscopia. 3. Grupo Santana. 4. Bacia do Araripe. 5. Fóssil. I. Título.

CDD 551

OLGA ALCÂNTARA BARROS

CONTRIBUIÇÃO PARA O ESTUDO DE CAMARÕES DO GRUPO SANTANA
(APTINIANO DA BACIA DO ARARIPE)

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Geologia da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Doutora em Geologia. Área de concentração: Paleontologia e Geologia Histórica.

Aprovado em: 27/11/2020.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr^a. Maria Somália Sales Viana (Orientadora)
Universidade Estadual Vale do Acaraú (UVA)

Prof. Dr. Vladimir de Araújo Távora
Universidade Federal do Pará (UFPA)

Prof. Dr^a. Deusana Maria da Costa Machado
Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO)

Prof. Dr. Bruno Gabriel Nunes Pralon
Universidade Federal do Piauí (UFPI)

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

A Deus, por sempre me proteger e iluminar meus passos, aos meus queridos pais, Roberto e Marilene por todo amor, carinho e incentivo nos momentos difíceis. Ao meu irmão Ismael, pela força e ajuda durante a minha trajetória.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha orientadora, prof. Dr^a. Maria Somália Sales Viana pelo apoio, acolhimento e ensinamentos concedidos durante a excelente orientação e pela confiança depositada em mim. Ao prof. Dr. Álamo Saraiva pelo apoio nas coletas em campo, e pelo empréstimo do material fossilífero. Agradeço ao prof. Dr. William Santana e ao Prof. Dr. Alysson Pinheiro pelos conselhos na identificação de alguns camarões fósseis. Ao amigo e co-orientador prof. Dr. João Hermínio pela força, amizade, pelos conhecimentos transmitidos e apoio na execução deste trabalho.

Agradeço ao professor Dr. Márcio Mendes pelo empréstimo do material fossilífero e uso dos equipamentos do laboratório de paleontologia da UFC para desenvolvimento de parte da pesquisa, ao Prof. Dr. Ismar Carvalho e a museóloga Flávia Figueiredo pelo acesso ao material da coleção do departamento de Geologia da UFRJ.

Agradeço à Central Analítica da UFC/CT-Infra/MCTI-SISNANO/Pró-Equipamentos CAPES pelas análises de espectroscopia; difração de raios-X, fluorescência de raios-X, Raman, infravermelho e microscopia eletrônica de varredura (MEV). Ao Prof. Dr. Alexandre Paschoal e Prof. Dr. Bartolomeu Viana pela revisão do inglês dos artigos da revista PeerJ e PlosOne. À amiga Nayara Oliveira e ao Prof. Dr. Amauri Jardim pela ajuda nas análises de microscopia eletrônica de varredura (MEV).

Ao amigo Joel Pedrosa, pelo auxílio com a microscopia eletrônica. Ao Sérgio Xavier pela ajuda no uso do programa Qgis3 para confecção dos mapas das Bacias Sedimentares. Aos amigos; Claudener Teixeira, Maria Edenilce Peixoto, Soraya Macedo, Dayanne Abreu e Paulo Victor de Oliveira pelos conselhos acadêmicos.

Agradeço a todos que, mesmo não sendo citados, contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho. O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

Só eu sei cada passo por mim dado nessa estrada esburacada que é a vida, passei coisas que até mesmo Deus duvida, fiquei triste, capiongo, aperreado, porém nunca me senti desmotivado, me agarrava sempre numa mão amiga, e de forças minha alma era munida pois do céu a voz de Deus dizia assim: - Suba o queixo, meta os pés, confie em mim, vá pra luta que eu cuido das feridas (Bráulio Bessa).

RESUMO

Durante esta pesquisa foi apresentado o estado da arte sobre os camarões fósseis em bacias brasileiras, correlacionando os espécimes no espaço e no tempo geológico. A primeira ocorrência de camarões fósseis na Formação Ipubi foi apresentada, bem como, a caracterização deste grupo fóssil através de espectroscopia por fluorescência de raios-X, difração de raios-X, infravermelho, Raman, microscopia eletrônica de varredura (MEV) e energia dispersiva de raio- X (EDS), contribuindo com dados paleoecológicos e diagenéticos. Nas últimas décadas, pesquisas científicas envolvendo camarões fósseis apesar de relativamente intensa, foram voltadas apenas para a prospecção e identificação taxonômica no contexto da paleontologia clássica e através das técnicas de caracterização de fósseis, obtivemos respostas aos processos de fossilização, dados tafonômicos e paleoecológicos do grupo, contribuindo para o cenário paleontológico destes decápodes. Apresentamos também, novos dados sobre *Beurlenia araripensis*, mostrando a provável plasticidade morfológica existente para este gênero, por exemplo, a presença de 5-14 espinhos rostrais com aparência serrilhada, como ocorre nas espécies existentes *Macrobrachium* Bate (1868) e *Palaemon* Weber (1795).

Palavras-chave: Camarões. Espectroscopia. Grupo Santana.

ABSTRACT

During this research we performed a taxonomic review of Brazilian fossil shrimp and their evolutionary characteristics, correlating the specimens in space and geological time. We report the first occurrence of fossil shrimp in the Ipubi Formation (Lower Cretaceous of the Araripe Basin) and performed the characterization of this fossil group through measurements by X-ray diffraction, infra-red, Raman, and large-field energy dispersive spectroscopy (EDS), and scanning electronic microscopy (SEM) to contribute with paleoecological and digenetic data. In the last few decades, scientific research involving fossil shrimp, although relatively intense, has been focused only on prospecting and taxonomic identification in the context of classical paleontology, and with fossil characterization techniques we have obtained responses to fossilization processes, taphonomic and paleoecological data about this group, contributing to the paleontological scenario of these decapods. We present also new data about *Beurlenia araripensis*, showing the probable morphological plasticity existing for this genus, for example, the shape of the rostrum, with 5-14 dorsal spines with serrated appearance, as occurs in the current species *Macrobrachium* Bate (1868) and *Palaemon* Weber (1795).

Keywords: Shrimp. Spectroscopy. Santana Group.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	Característica do grupo dos camarões	12
1.2	Histórico dos camarões fósseis brasileiros e seus caracteres evolutivos	14
1.3	Taxonomia paleontológica (Camarões fósseis brasileiros)	32
2	OBJETIVOS	42
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	43
3.1	Localização da Bacia Sedimentar do Araripe	43
3.2	Espectroscopia	45
3.3	Procedimentos Metodológicos	46
3.4	Atividades de gabinete	47
3.5	Trabalhos de campo	48
3.6	Trabalhos de laboratório	48
4	RESULTADOS	56
4.1	Capítulo 1 - O estudo de camarões fósseis no Brasil	56
4.2	Capítulo 2 - First occurrence of fossil shrimps (crustacea, decapoda) in the Ipubi Formation (Lower Cretaceous, Araripe Basin)	75
4.3	Capítulo 3 - Physicochemical investigation of shrimp fossils from the Romualdo and Ipubi formations (Araripe Basin)	87
4.4	Capítulo 4 - New data on <i>Beurlenia araripensis</i> Martins-Neto & Mezzalira, 1991, a lacustrine shrimp from Crato Formation, Early Cretaceous of the Araripe Basin, northeastern Brazil, and its morphological variations based on the shape and the number of rostral spines	110
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	145
	REFERÊNCIAS	146
	ANEXO A - ARTIGO ACEITO EM PUBLICAÇÃO 1	156
	ANEXO B - ARTIGO ACEITO EM PUBLICAÇÃO 2	157
	ANEXO C - ARTIGO PARALELO À TESE	158
	ANEXO D - COLABORAÇÃO EM ARTIGOS	159

1 INTRODUÇÃO

Fósseis são vestígios ou restos de seres vivos que ficaram preservados naturalmente em rochas como ossos, conchas, dentes, folhas, lenho e esporos (MAISEY, 1991; MARTILL *et al.*, 1993). Os fósseis são instrumentos fundamentais para a compreensão do aparecimento e evolução da vida no nosso planeta durante sua longa história geológica, uma vez que fornecem informações acerca do ambiente no qual habitaram (CARVALHO, 2000).

Os fósseis podem se preservar de diferentes modos, dependendo dos fatores e das substâncias químicas que atuaram após a morte do organismo. As partes duras, devido a sua natureza, têm maior possibilidade de se fossilizarem. Sua composição pode ser de sílica (SiO_2), bastante resistente às intempéries, como as espículas de algumas esponjas; de carbonato de cálcio e aragonita (CaCO_3), preferencialmente sob a forma de calcita, das quais são constituídas as placas esqueléticas de equinodermas e conchas de moluscos; de quitina, um polissacarídeo complexo, menos durável do que a maioria dos esqueletos minerais e que compõe o exoesqueleto dos insetos e crustáceos. Desta forma, mesmo nas rochas mais antigas, são encontradas partes duras que se conservaram sem alterações na sua composição química original (CASSAB, 2010).

A presença de partes moles preservadas em fósseis é um evento extraordinário. Após a morte, esses organismos entram rapidamente em processo de decomposição, e dependendo do ambiente, raramente se conservam. Plantas e animais de florestas tropicais, por exemplo, decompõem-se com tanta rapidez devido a grande quantidade de água e oxigênio disponível no ambiente, que somente em condições muito especiais como um soterramento rápido, esses organismos podem se fossilizar. Águas ricas em cálcio neutralizam os ácidos dos sedimentos, permitindo que partes moles, como pele, músculos e órgãos internos de vertebrados permaneçam intactos (CASSAB, 2010).

Os malacostráceos são compostos predominantemente pelas superordens Peracarida e Eucarida, que são duas principais linhas evolutivas dentro desta subclasse. A ordem dominante dos Eucarida é a Decapoda (STORER, 2003; RUPPERT *et al.*, 2005).

O caráter principal da evolução dos decápodes é a transformação de um ancestral alongado, e com corpo similar ao de um camarão, em um animal mais curto, achatado, reptante e com a forma de um caranguejo. A classificação dos decápodes é baseada na extensão desta transformação, que de maneira simplificada resultou em três formas básicas: camarão

(Penaeidea, Stenopodidea, Caridea), lagosta (Astacidea, Thalassinidea, Palinura), caranguejo (Anomura, Brachyura), (RUPPERT *et al.*, 2005).

1.1 Característica do grupo dos camarões

Existem três grupos principais de camarões atuais: Dendrobranchiata, Stenopodidea e Caridea. Dendrobranchiata com duas superfamílias: Sergestoidea com cerca de 114 espécies e os Penaeoidea com cerca de 524 espécies. O grupo Stenopodidea apresenta cerca de 71 espécies e o Caridea com pelo menos 3.310 espécies. Os Dendrobranchiata são caracterizados por apresentarem os três primeiros pares de pereiópodos quelados com forma e tamanhos similares, a pleura do segundo somito sobrepõe o terceiro somito, porém, o segundo não sobrepõe o primeiro (FARFANTE, 1988). Segundo DURA (1985) os camarões da superfamília Penaeoidea se caracterizam por ter um ciclo de vida complexo determinado por movimentos migratórios de caráter trófico e reprodutivo. São preponderantemente oceânicos, realizando todo seu desenvolvimento em alto mar, porém, com dependência de águas protegidas, a maioria dos representantes deste grupo é bentônica e marinha, podendo ser encontrados desde pequena profundidade até 600 metros.

Os Camarões Penaeoidea se distinguem dos Caridea por possuir a pleuras dos somitos anteriores sobrepostos aos somitos posteriores (Figura 1) (SCHWEITZER *et al.*, 2010).

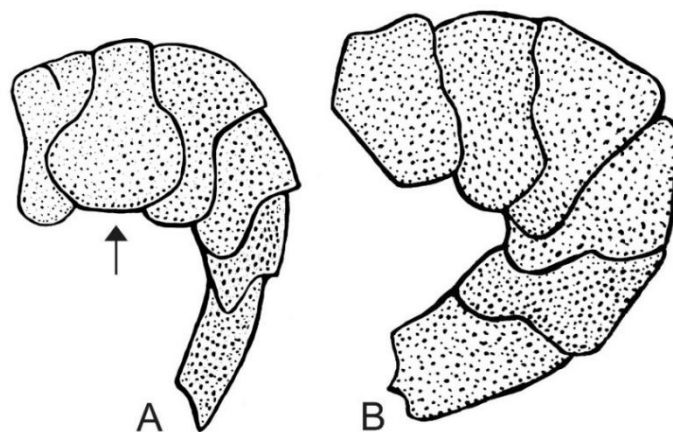


Figura 1. A) Desenho esquemático da vista lateral de um Caridea, evidenciando o segundo somito pleonal sobrepondo o primeiro e a terceiro. B) Desenho esquemático da vista lateral de um Penaeoidea. Desenho: Olga A. Barros

O segundo grupo de camarões, o Stenopodidea, exibe o formato do somito pleonal similar aos Dendrobranchiata, mas diferem por apresentar o terceiro dos primeiros três pares de pereiópodos quelados consideravelmente alongados e as brânquias são do tipo tricobrânquia (SCHWEITZER *et al.*, 2010).

A infraordem Caridea é caracterizada por não apresentar o terceiro par de pereiópodos quelados. O segundo somito pleonal sobrepõe o primeiro e o terceiro somitos (Figura 1) e as brânquias são do tipo filobrânquias (FARFANTE, 1988). A escama antenal é mais alargada e o segundo par de pereiópodos geralmente mais desenvolvido que os demais (BAUER, 2004).

A subordem Caridea é distribuída com cerca de 36 famílias atualmente (MARTIN e DAVIS, 2001). Estes camarões ocorrem em todos os habitats aquáticos do planeta, incluindo o pelagial marinho, cavernas alcalinas e dulcícolas (DE GRAVE *et al.*, 2008).

Os Carídeos apresentam grande diversidade, tanto em relação ao seu habitat quanto em relação a sua morfologia, despertando grande interesse pela potencialidade que apresentam para o cultivo, especialmente a família Palaemonidae popularmente conhecida como “camarões de água doce” (BUCKUP *et al.*, 1999). Os representantes destas famílias encontram-se distribuídos nos ambientes marinhos, estuarinos e de água doce (MURPHY e AUSTIN, 2003).

As famílias Atyidae De Haan (1849) e Palaemonidae Rafinesque (1815), pertencem aos camarões de água doce. Atyidae são raspadores-filtradores que habitam correntes, lagoas e lagos nas zonas tropicais e subtropicais do mundo. Palaemonidae incluem muitas espécies de águas rasas marinhas e salobras, como, por exemplo, os *Palaemonetes* que tanto em regiões tropicais como temperadas, osmorregulam-se através das brânquias assim como os Atyidae (RUPPERT *et al.*, 2005).

BAUER (2004) afirma que os Palaemonidae são predominantemente marinhos, embora existam vários gêneros e espécies exclusivas de água doce, salobra ou ainda ambientes cavernícolas, distribuí-se por todos os continentes, em regiões tropicais e temperadas. Esta família popularmente é conhecida como pitus ou camarões de água doce e vivem junto a pedras e a vegetação aquática (SOUSA *et al.*, 2014).

A família Palaemonidae encontra-se dividida em duas subfamílias: Palaemoninae Rafinesque (1815) e Pontoniinae Kingsley (1878). A diferenciação entre as subfamílias se dá pela ausência de pleurobrânquia no 3º maxilípodo e pela presença de três pares de espinhos na margem posterior do telso na subfamília Pontoniinae, enquanto na subfamília Palaemoninae há

pleurobrânquia no 3° maxilípodo e na margem posterior do telso ocorrem dois pares de espinhos com um ou mais pares de cerdas (FERREIRA, 2009).

Todos os indivíduos da subfamília Pontoniinae são marinhos (FERREIRA, 2009), já a subfamília Palaemoninae apresenta espécies que vivem em água doce, bem como, espécies que habitam águas marinhas. Algumas espécies do gênero *Macrobrachium* Bate (1868), vivem como adultos em água doce possuindo um desenvolvimento larval dependente de águas com uma maior salinidade, a dependência fisiológica de águas salobras restringe a distribuição dessas espécies a rios que fluem diretamente para o oceano (MOSSOLIN e BUENO, 2002).

1.2 Histórico dos camarões fósseis brasileiros e seus caracteres evolutivos

A preservação de camarões é difícil de ocorrer no registro fossilífero, tendo em vista a propensão para decomposição que esse grupo sofre (FELDMANN e POLE, 1994). Segundo GARASSINO *et al.* (2002), os Carídeos mais antigos foram os gêneros *Acanthinopus* Pinna (1974) e *Leithorax* Pinna (1974), reconhecidos em estratos Triássico da Itália. A partir do Jurássico a dominância genérica foi aumentando.

As primeiras descrições de crustáceos Palemonídeos no Brasil foram datadas nos afloramentos do Paleógeno (BEURLIN, 1950), com ocorrências registradas na Formação Tremembé (Oligoceno, Estado de São Paulo, Bacia de Taubaté) e na localidade de Cícero Dantas (Bahia) atribuídos aos gêneros *Palaemon* Weber (1795) e *Atyoida* Randall (1840). Para esse último gênero, foram descritas as espécies; *Atyoida tremembeensis* Beurlen (1950), procedente da Mina Nossa Senhora da Guia, Tremembé/SP e *Atyoida roxoi* Beurlen (1950), oriundos da fazenda Quatis, Cícero Dantas, estado da Bahia. Para a família Palaemonidae foi descrita a espécie *Palaemon bahiaensis* Beurlen (1950), também procedente da fazenda Quatis.

Anos mais tarde, MARTINS-NETO e MEZZALIRA (1991a), após encontrar um novo espécime de *Palaemon bahiaensis*, efetuaram a revisão deste grupo fóssil, além da proposta de novos taxos. Com relação ao material fossilífero encontrado por BEURLIN (1950), os autores propuseram enquadrá-lo no gênero *Bechleja* Houša (1956) (Figura 2) com espécies descritas para o Oligoceno/Mioceno da Checoslováquia (HOUŠA, 1956) e Eoceno de Wyoming, EUA (FELDMANN, 1981) comportando, portanto, uma nova combinação feita por MARTINS-NETO e MEZZALIRA (1991a): *Bechleja bahiaensis* (Beurlen, 1950) (Figura 3), verificando-se então, um novo gênero de família indeterminada, além da descrição de duas novas espécies,

Bechleja robusta Martins-Neto e Mezzalira (1991) e *Propalaemon longispinata* Martins-Neto e Mezzalira (1991) (Figura 4).

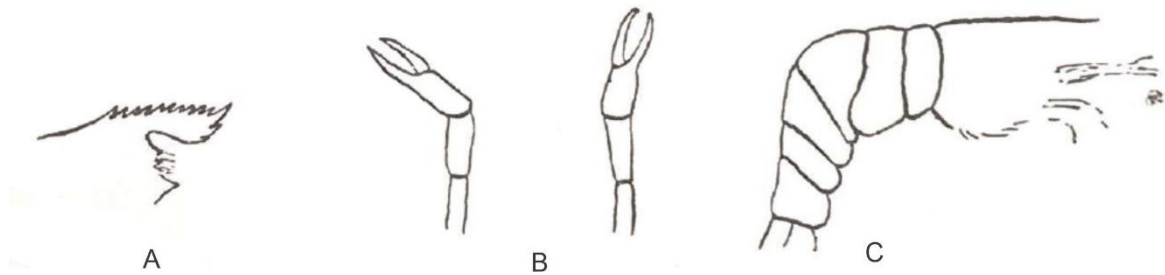


Figura 2. *Bechleja*, anteriormente descrito como *Palaemon*. A) rostro; B) dois pereópodes; C) abdômen. Procedência: Mina Nossa Senhora da Guia, Tremembé, Estado de São Paulo. Modificado de BEURLEN (1950).



Figura 3. *Bechleja bahiaensis* (Beurlen, 1950). Modificado de BEURLEN, 1950.

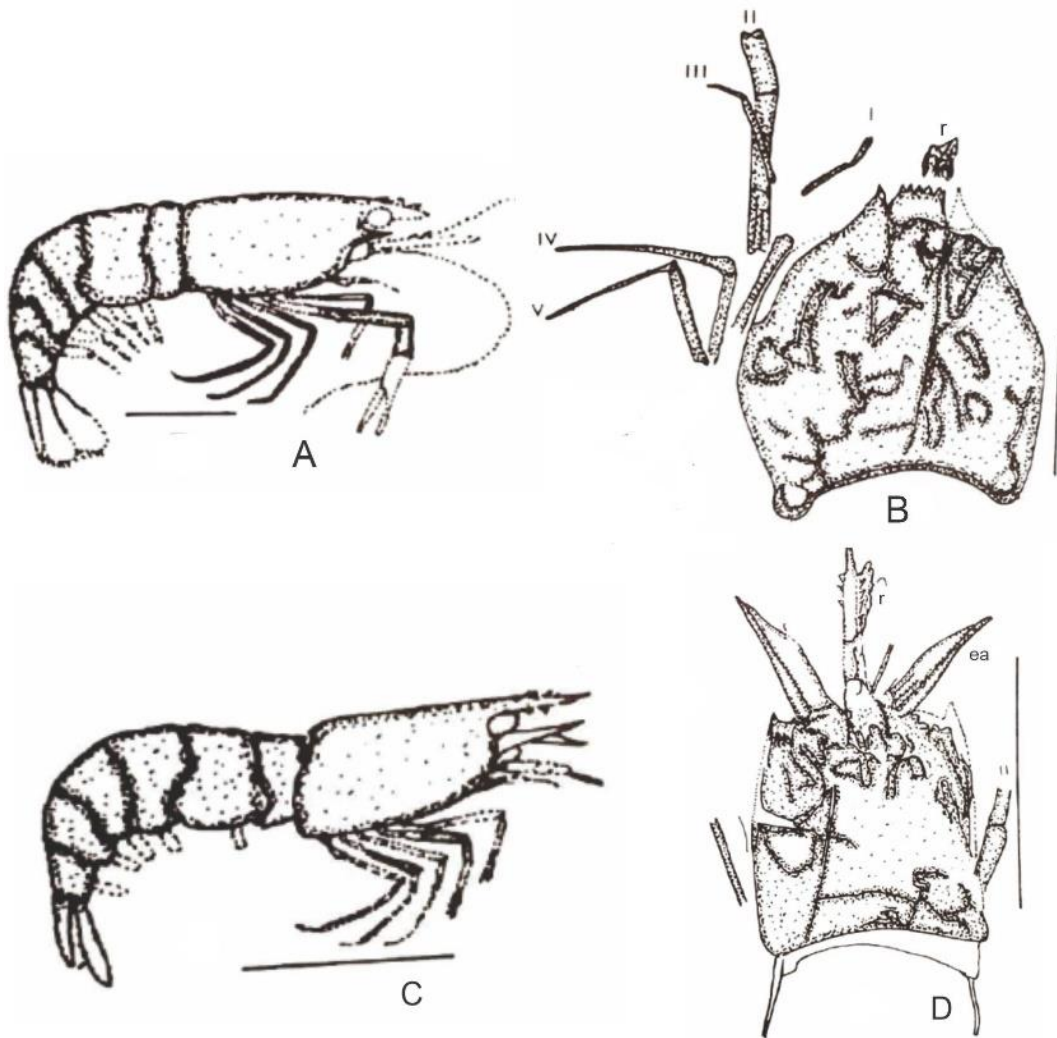


Figura 4. A e B) Desenho esquemático baseado no holótipo e vista dorsal de *Bechleja robusta* Martins-Neto e Mezzalira, 1991. C) e D) Desenho esquemático baseada no holótipo e vista dorsal de *Propalaeon longispinata* Martins-Neto e Mezzalira, 1991. Escala 5mm. Modificado de MARTINS-NETO e MEZZALIRA (1991a).

Com a descoberta de um novo material de *Bechleja robusta* em 1998, novos aspectos morfológicos foram descritos por MARTINS-NETO (1998), (Figura 5).

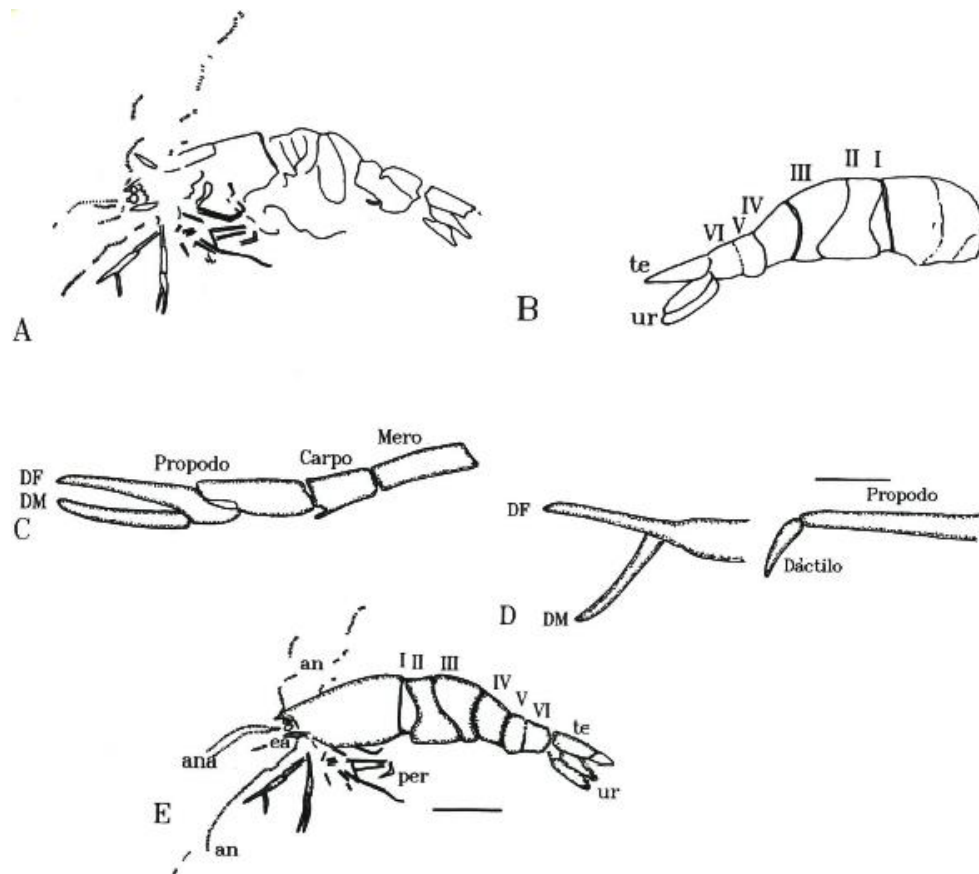


Figura 5. *Bechleja robusta*, espécime UnG/IT-062. A) desenho esquemático do aspecto geral (parte); B) desenho esquemático do aspecto geral (contraparte). C) detalhe dos pereópodes D) reconstituição baseada na parte e na contraparte do holótipo. Escala indica 5mm. Terminologia: (I-VI) Somitos, (Te) Telson, (Ur) urópodes, (DF) dígito fixo, (DM) dígito móvel, (ana) antênulas, (an) antena. Modificado de MARTINS-NETO (1998).

MARTINS-NETO e MEZZALIRA (1991a) após um novo estudo das espécies *Atyoida tremembeensis* e *Atyoida roxoi* descritas por BEURLLEN (1950) observaram que ao efetuar o enquadramento no gênero atual *Atyoida* Randall (1840), que foi posto em sinonímia de *Atya* Leach (1816) por GLAESSNER (1969), a morfologia apresentada afastou qualquer possibilidade de afinidade na família Atyidae, sendo requerido então, um novo gênero de família indeterminada.

A proposta de MARTINS-NETO e MEZZALIRA (1991a) foi enquadrar as espécies descritas para o gênero *Atyoida* e agrupá-las em *Pseudocaridinella* Martins-Neto e Mezzalira (1991), sendo reformuladas as duas espécies: *Pseudocaridinella tremembeensis* (Beurlen, 1950), (Figura 6) e *Pseudocaridinella roxoi* (Beurlen, 1950), (Figura 7).

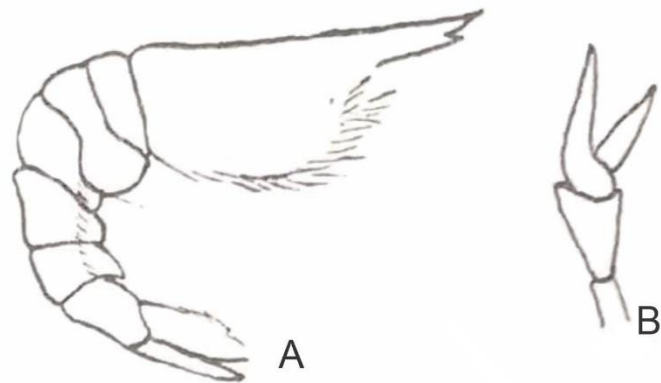


Figura 6. A) Desenho esquemático baseado no holótipo *Pseudocaridinella tremembeensis*; B) Parátipo de um quela desta espécie. Modificado de BEURLEN (1950).

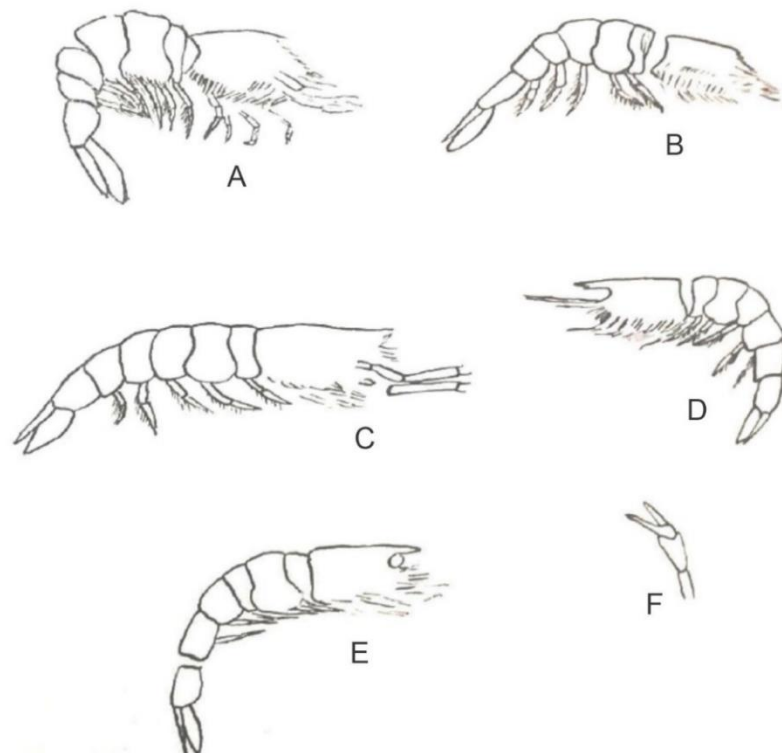


Figura 7. (A), (B), (D) e (E) são desenhos esquemáticos de *Pseudocaridinella roxoi* (parátipo). (C) desenho esquemático baseada no holótipo de *Pseudocaridinella roxoi*. O exemplar (F) é um Parátipo de um quela. Modificado de BEURLEN (1950).

A partir de um novo material, a revisão do grupo originalmente descrito por Beurlen (1950) foi feita por SCHWEITZER *et al.* (2019). Atualmente, o gênero *Pseudocaridinella* foi reagrupado na família Palaemonidae (DE GRAVE *et al.*, 2008; SCHWEITZER *et al.*, 2010). A diferenciação original entre as espécies *Pseudocaridinella tremembeensis* e de *Pseudocaridinella roxoi*, feitas por MARTINS-NETO e MEZZALIRA (1991a), foi baseada em características bastante gerais, como, por exemplo, o segundo somito pleonal mais largo e o segundo pereiópode mais delicado em *Pseudocaridinella roxoi*, bem como, a diferença de idade com cerca de 90 milhões de anos, juntamente com diferentes localizações geográficas nas localidades-tipo (separadas por cerca de 700 km de distância) sugeriram que essas duas espécies não eram congêneres (SCHWEITZER *et al.*, 2019).

Diante destes questionamentos, a partir de um novo material coespecífico de *Pseudocaridinella roxoi* (*Atyoida roxoi*), SCHWEITZER *et al.*, 2019 reagruparam este táxon em um novo gênero *Bahiacaris*, sendo *Bahiacaris roxoi* (Beurlen, 1950), um dos membros mais antigos de Palaemonidae (Figuras 8, 9 e 10).

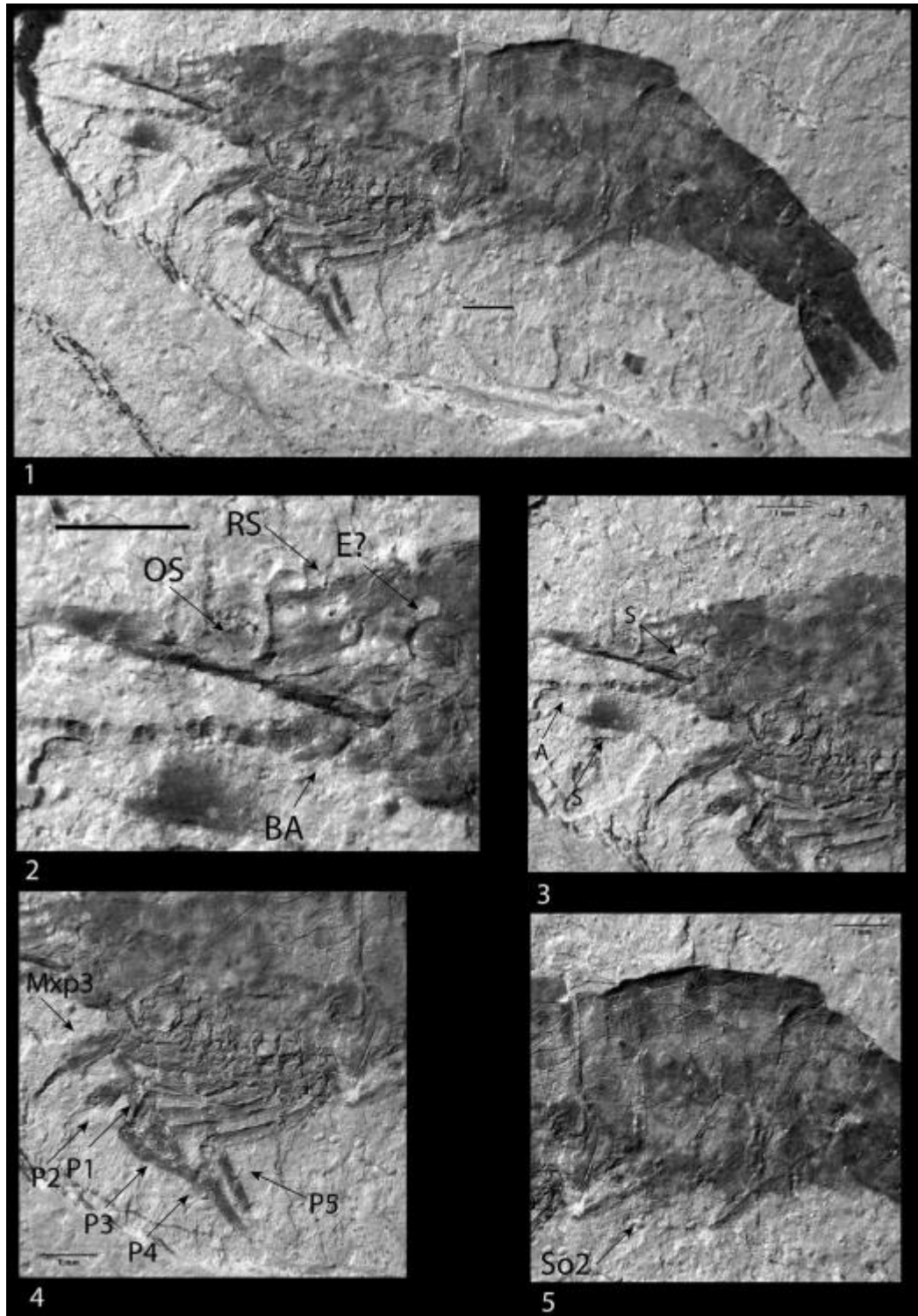


Figura 8. *Bahiacaris roxoi* (Beurlen, 1950), USNM 722100. 1) corpo inteiro, vista lateral esquerda; 2) vista anterior, BA = parte basal da antena; E? = olho, OS = ostrácodo, RS = rostró; 3) vista anterior com apêndices torácicos, A = flagelo antenal, S = escaferito; 4) apêndice torácicos, Mxp3 = terceiro maxilípede; P = pereiópodos; 5) vista dos somitos pleonais, So2= segundo somito pleonal. Barras de escala = 1 mm. Modificado de SCHWEITZER *et al.* (2019).

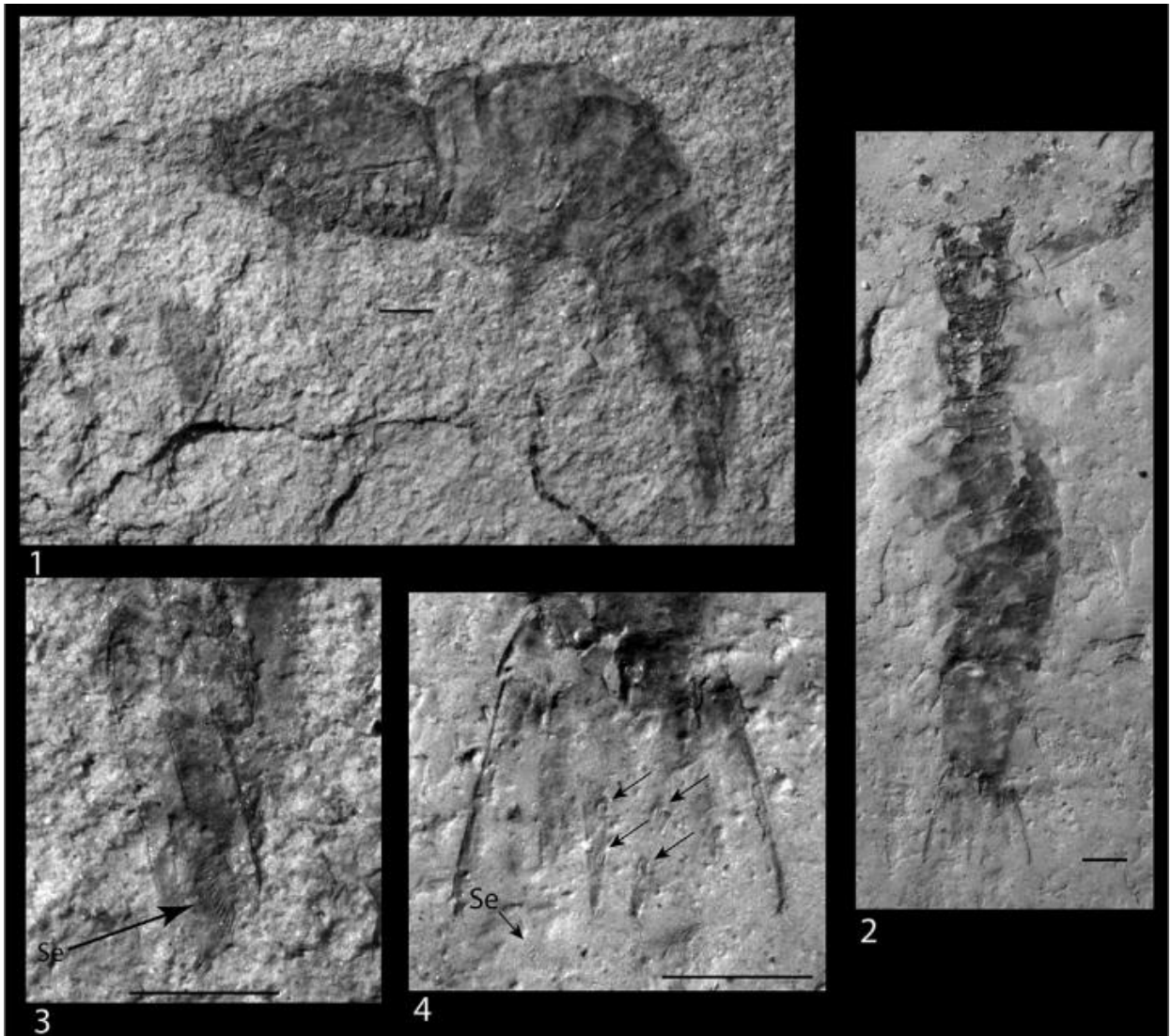


Figura 9. *Bahiacaris roxoi* (Beurlen, 1950), USNM 722102, vista lateral esquerda (1) detalhe do telson e urópodes (3), Se = cerdas; (2) e (4) USNM 722101, visão dorsal (2) e detalhe de telson e urópodes (4), Se = cerdas, setas não marcadas indicam espinhos dorsais do telson. Barras de escala = 1 mm. Modificado de SCHWEITZER *et al.* (2019).

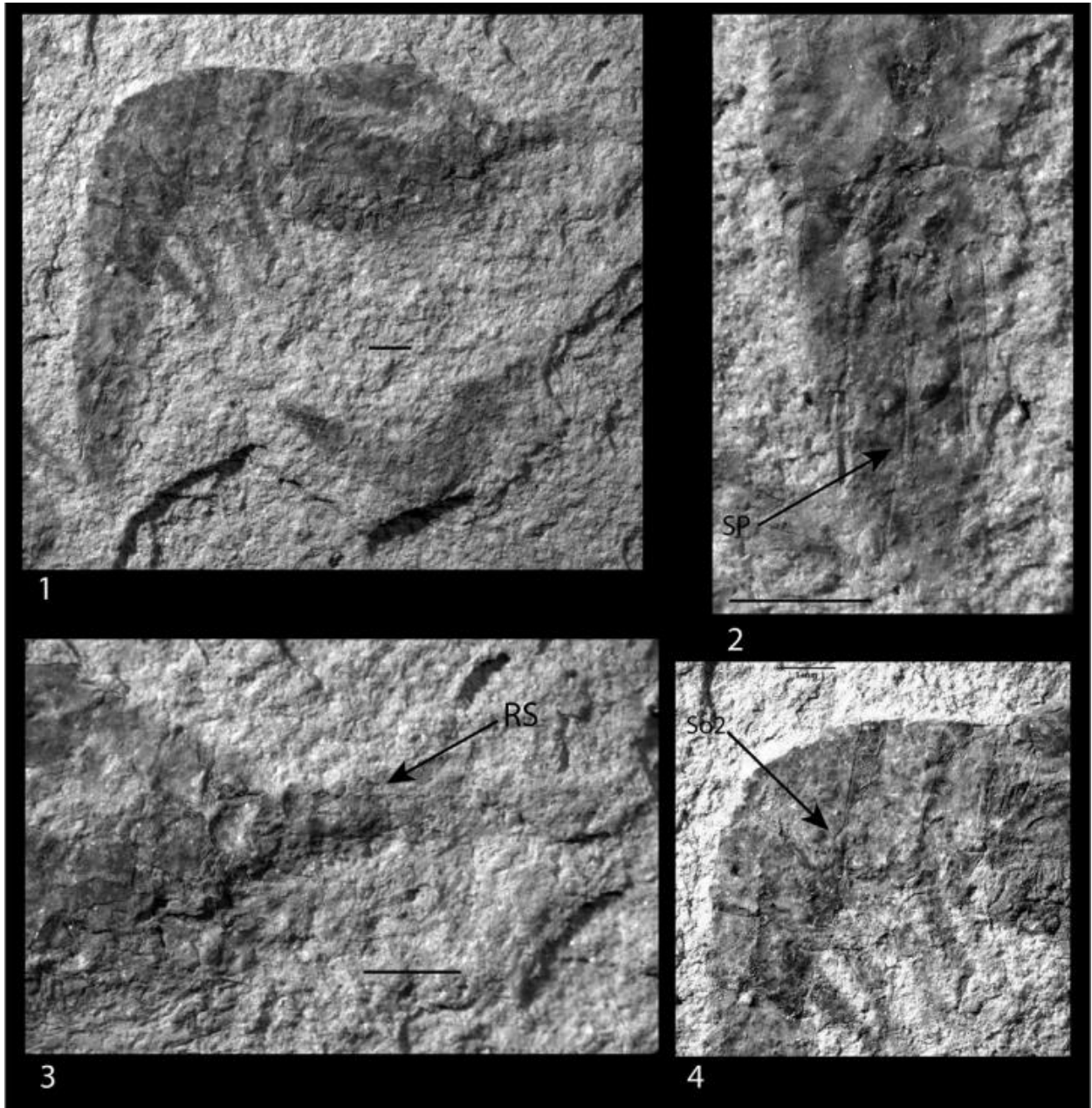


Figura 10. *Bahiacaris roxoi* (Beurlen, 1950), USNM 722103. 1) vista lateral direita; 2) detalhe do telson e urópodes; 3) vista anterior, RS = rostro; 4) vista parcial do somito pleonal, So2 = segundo somito pleonal. Barras de escala = 1 mm. Modificado de SCHWEITZER *et al.* (2019).

Em relação aos camarões fósseis da Bacia do Araripe, o estudo aprofundando iniciou na década de 90, *Beurlenia araripensis* Martins-Neto e Mezzalira (1991), proveniente do nível de calcário laminado da Formação Crato (Cretáceo Inferior). Este material constituiu um dos mais antigos representantes da Família Palaemonidae no registro geológico, fato anteriormente inédito para todo o Mesozoico do Hemisfério Sul (Figura 11).

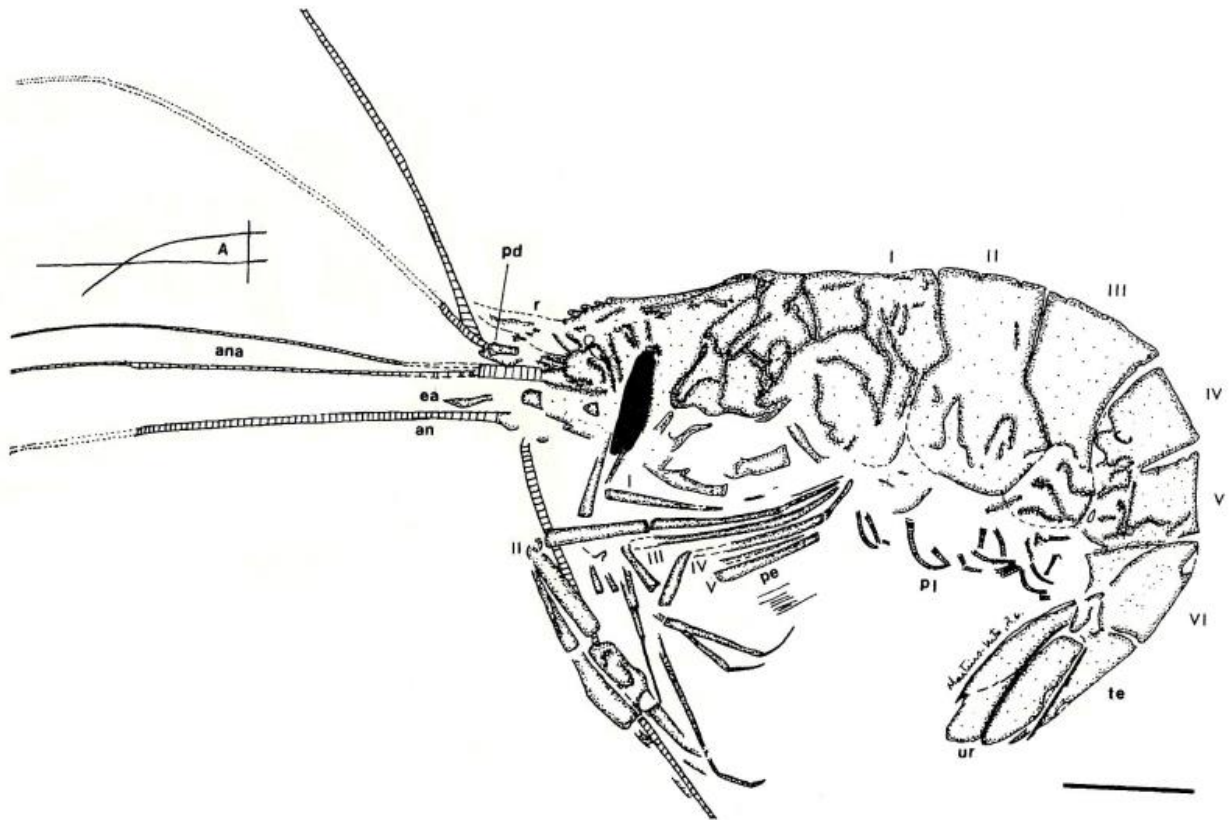


Figura 11. *Beurlenia araripensis*, desenho esquemático do holótipo. Terminologia: (an) antena; (ana) antênulas; (ea) escama antenal; (pd) pedúnculo; (pe) pereiópode; (pl) pleópodes; (r) rostrum; (te) telson; (ur) urópodes. Detalhe "A" indica a extremidade das antênulas (na mesma escala). Área em negrito na região do cefalotórax indica nadadeiras caudais de *Dastilbe* preservadas sobre o crustáceo. Escala indica 5 mm. (Modificado de MARTINS-NETO e MEZZALIRA, 1991b).

No mesmo trabalho, uma amostra fossilífera de camarão proveniente da Formação Romualdo foi mencionado por MARTINS-NETO e MEZZALIRA (1991b), porém, o elevado grau de desarticulação e estado de preservação inadequado não permitiram o enquadramento sistemático em nível de família. De qualquer forma, as reduzidas dimensões, a forma do cefalotórax e dos somitos pleonais diferenciavam-se de *Beurlenia araripensis* descritas para a Formação Crato (Cretáceo Inferior). Para MARTINS-NETO e MEZZALIRA (1991b) a morfologia geral do espécime da Formação Romualdo se equiparava com a da Família Oplophoridae Dana (1852), com fortes implicações ambientais, já que esta é exclusivamente marinha, com representantes no Jurássico da África Central e Cretáceo do Líbano, além de espécies recentes. Este espécime também não se enquadra na Família Palaemonidae, tornando-se obscura sua correta atribuição em qualquer outra família de Carídeos (MARTINS-NETO e MEZZALIRA, 1991b) (Figura 12).

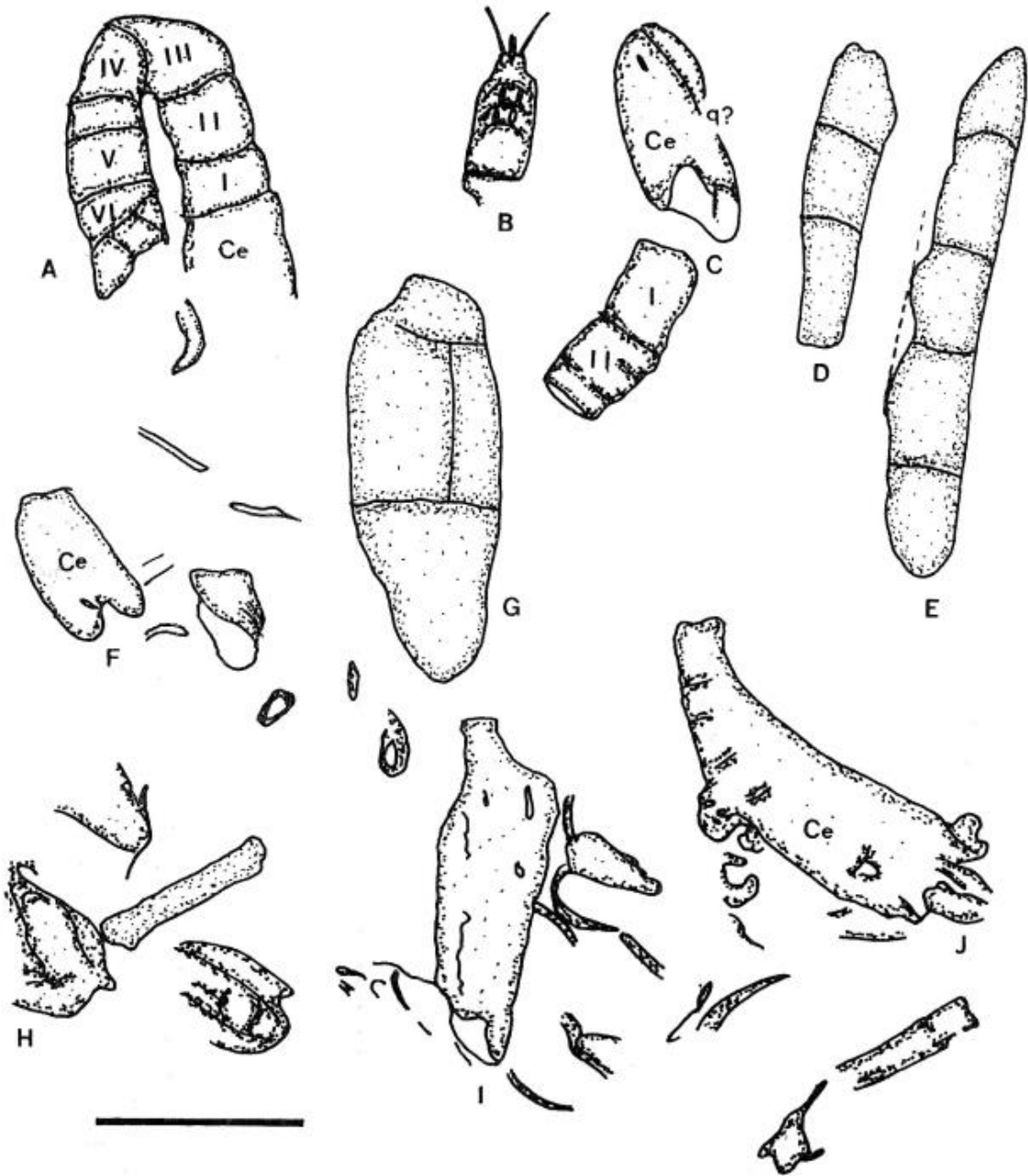


Figura 12. Caridea gen. indet., desenho esquemático parcial, mostrando diversos fragmentos: (A) Pleón e parte do cefalotórax; (B) pequeno cefalotórax; (C) cefalotórax e dois somitos pleonais; (D, E) fragmentos de somitos pleonais; (F, J) cefalotórax. Terminologia; (ce) cefalotórax; (q) quilha. Escala indica 5 mm. Modificado de MARTINS-NETO e MEZZALIRA (1991b).

Anos mais tarde, MAISEY e CARVALHO (1995) constataram em novos espécimes encontrados que certos caracteres partilhados por *Beurlenia araripensis* e decápodes Palaemonidae recentes eram filogeneticamente informativas apenas em nível mais geral, ou

seja, da infraordem Caridea. A combinação de alguns caracteres morfológicos não unia *Beurlenia araripensis* conclusivamente com a família Palaemonidae e essas semelhanças não representavam caracteres apomórficos para esta atual família (MAISEY e CARVALHO, 1995).

Alguns caracteres frequentemente encontrados em Palaemonidae atuais estavam ausentes em *Beurlenia araripensis*, embora o espécime encontrado tivesse características gerais de Carídeos, não evidenciava nenhuma característica morfológica diagnóstica preservada para apoiar a inclusão destes Carídeos na família Palaemonidae ou em subfamílias recentes (MAISEY e CARVALHO, 1995; MARTILL *et al.*, 2007).

A colocação desta espécie na família Palaemonidae foi confirmada por SARAIVA *et al.* (2009) como sugerido por MARTINS-NETO e MEZZALIRA (1991b). A carapaça apresentava dois espinhos bem evidentes que são comuns em Palaemonidae, combinado a isto, o espécime ainda possuía espinhos articulados encontrados na região posterior na extremidade do telson (SARAIVA *et al.*, 2009).

Através da análise de um novo espécime de camarão, SARAIVA *et al.* (2009) constataram uma variação na quantidade de espinhos rostrais em *Beurlenia araripensis*. A amostra encontrada continha 14 espinhos sub-rostrais, enquanto que os espécimes analisados por MAISEY e CARVALHO, 1995 continham apenas 12 espinhos sub-rostrais preservados (Figura 13). Essa quantidade de espinhos rostrais é essencial para as espécies de Carídeos (HOLTHUS, 1951) e a variação destes espinhos pode indicar uma provável plasticidade morfológica dessa espécie, como ocorre para a espécie recente do gênero *Macrobrachium* Bate (1868) (GOMES-CORRÊA, 1977).

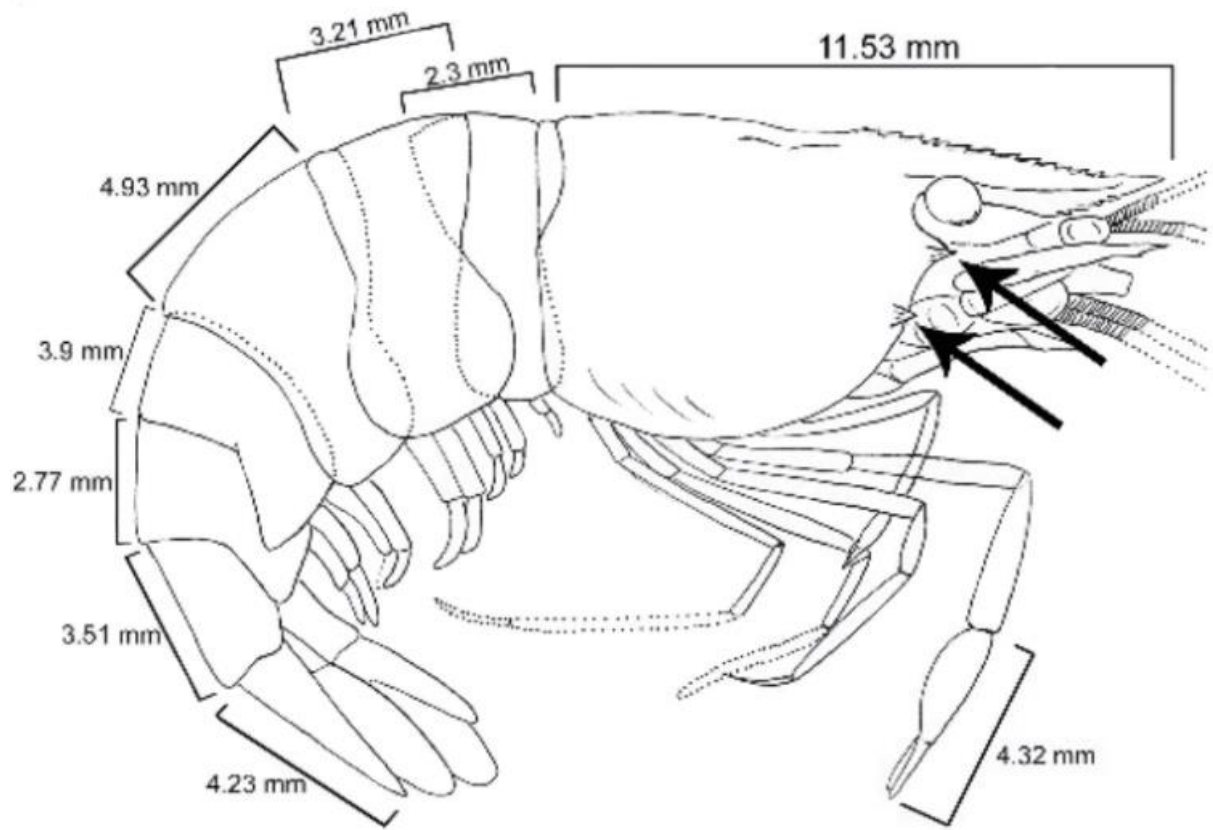


Figura 13. *Beurlenia araripensis* proveniente do Membro Crato, Formação Santana (MPSC/C/2108). Reconstrução detalhada com as medidas das diferentes seções do corpo (setas pretas indicam a posição dos espinhos da carapaça). Modificado de SARAIVA *et al.* (2009).

O primeiro Dendrobranchiata da Bacia do Araripe foi descrito na década de 90, *Paleomattea deliciosa* Maisey e Carvalho (1995), encontrado em uma concreção carbonática da Formação Romualdo. Características morfológicas dos Dendrobranchiata observadas em gêneros recentes da família Sergestidae poderia haver uma semelhança particular estreita com *Acetes erythraeus* Nobili (1906), existente na África do Sul (KENSLEY, 1972; MAISEY e CARVALHO, 1995), (Figura 14).

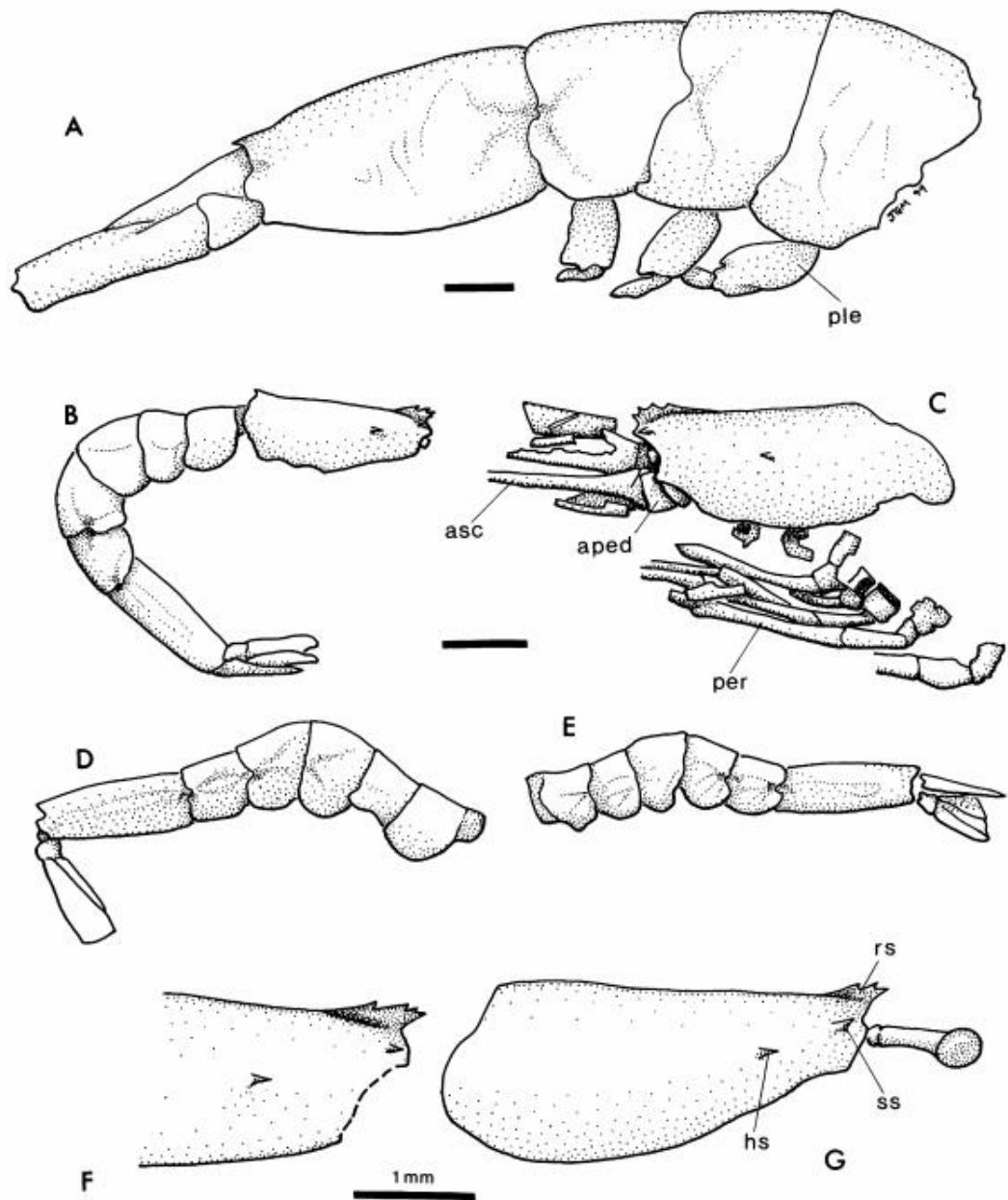


Figura 14. (A-F) Exemplos do Sergestídeo *Paleomattea deliciosa*, Formação Romualdo, Grupo Santana. Escala: 1 mm. (A) O maior exemplar AMNH 44988 recuperou-se da matriz de uma concreção durante a preparação ácida; (B) o holótipo, AMNH 44985, recuperado do conteúdo estomacal de *Rhacolepis buccalis* (AMNH DVP 13914); (C) espécime AMNH 44989 com partes de apêndices intactas recuperados do conteúdo estomacal de *Rhacolepis buccalis* (AMNH DVP 19380); (D, E) somitos pleonais (AMNH 44986 e 44987 respectivamente) associado ao holótipo de *Paleomattea deliciosa*, encontrado no estômago de *Rhacolepis buccalis* (AMNH DVP 13914); (F) detalhe anterior da carapaça encontrada no *Rhacolepis buccalis* (AMNH DVP 19380) mostrando rostro pequeno, espinho supra orbital e espinho hepático; (G) Carapaça atual de *Acetes erythraeus* da África do Sul, mostrando a similaridade com *Paleomattea deliciosa*. Modificado de MAISEY e CARVALHO, 1995.

Os Dendrobranchiatas mais antigos em nível global são pertencentes ao permo-triássico, onde habitualmente estão incluídos Peneídeos e os Sergestídeos, embora as relações não estejam bem estabelecidas (GLAESSNER, 1969). Para MAISEY e CARVALHO, 1995, se Peneídeos e Sergestídeos fossem grupos irmãos, eles provavelmente teriam uma ascendência longa, propondo que a presença de Sergestídeos no Cretáceo inferior não seria tão inesperado.

A partir de novas observações realizadas e de um novo material disponível de *Paleomattea deliciosa*, como, por exemplo, os pleópodes alongados e bem desenvolvidos sugere-se uma indicação de estilo de vida planctônicas (SARAIVA *et al.*, 2009), no qual, provavelmente estes indivíduos passaram grande parte de sua vida em uma coluna de água e utilizavam-se dos pleópodos para nadar (VERESHCHAKA, 2000).

Anos mais tarde, a confirmação de *Paleomattea deliciosa* (Figura 15) na superfamília Sergestoidea foi baseada em rostró curto, sexto somito pleonal alongado, quarto e quinto pereópodes reduzidos ou ausentes (ALENCAR *et al.*, 2020).

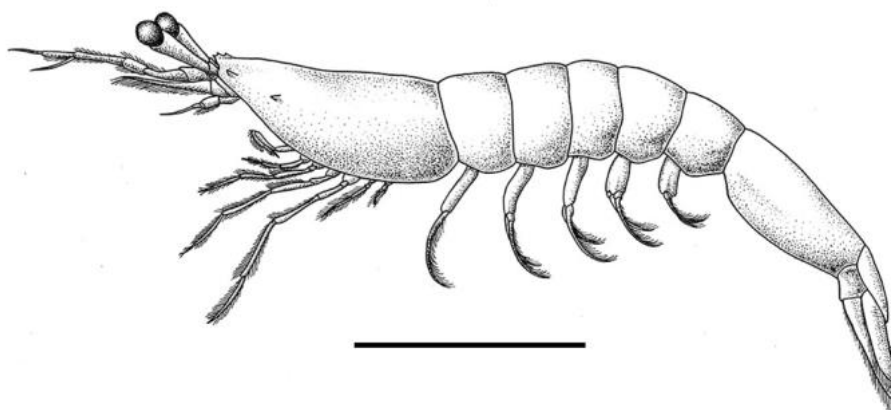


Figura 15. Vista lateral de *Paleomattea deliciosa* (LPU 1303). Escala 5mm. Modificado de ALENCAR *et al.* (2020).

Para a Formação Romualdo, a primeira espécie de camarão Carídeo, *Kellnerius jamacaruensis* Santana, Pinheiro, Silva e Saraiva (2013) foi encontrada em uma concreção carbonática (Figura 16). A colocação dentro da Infraordem Caridea está bastante clara (segundo somito pleonal sobrepõe o primeiro e terceiro somito), entretanto, a atribuição desta espécie para a família Palaemonidae foi atribuída com dúvidas (SANTANA *et al.*, 2013).

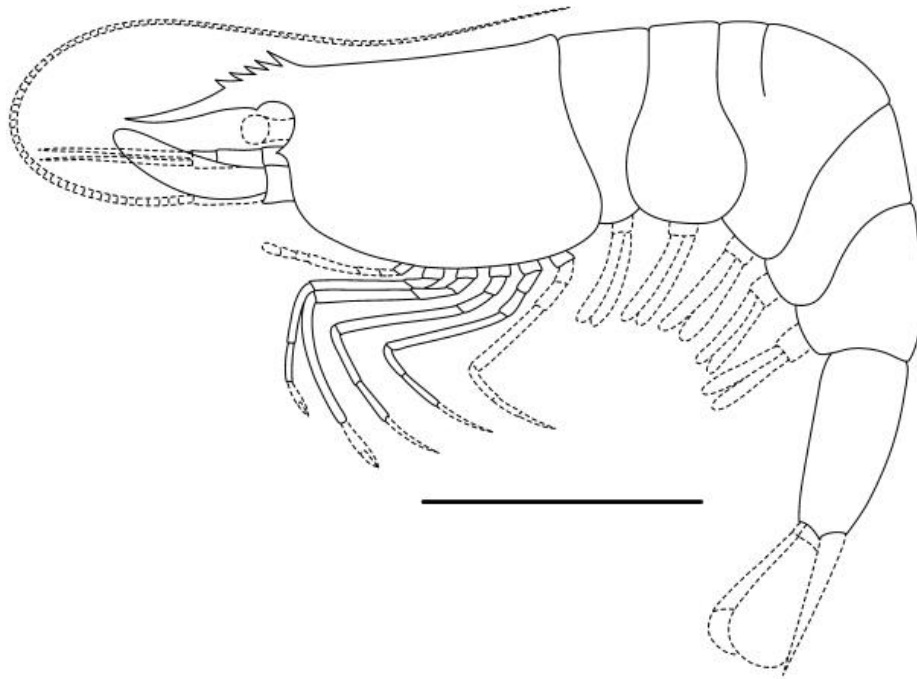


Figura 16. Reconstituição de *Kellnerius jamacaruensis*. Linhas representam as partes não preservadas. Escala de 5 mm. Modificado de SANTANA *et al.* (2013).

Um ano depois, o segundo Dendrobranchiata foi relatado no Brasil, sendo esse o primeiro da Superfamília Penaeoidea, *Araripenaeus timidus* Pinheiro, Saraiva e Santana (2014), (Figura 17), de família incerta, também encontrado nos níveis de concreções carbonáticas da Formação Romualdo (PINHEIRO *et al.*, 2014).

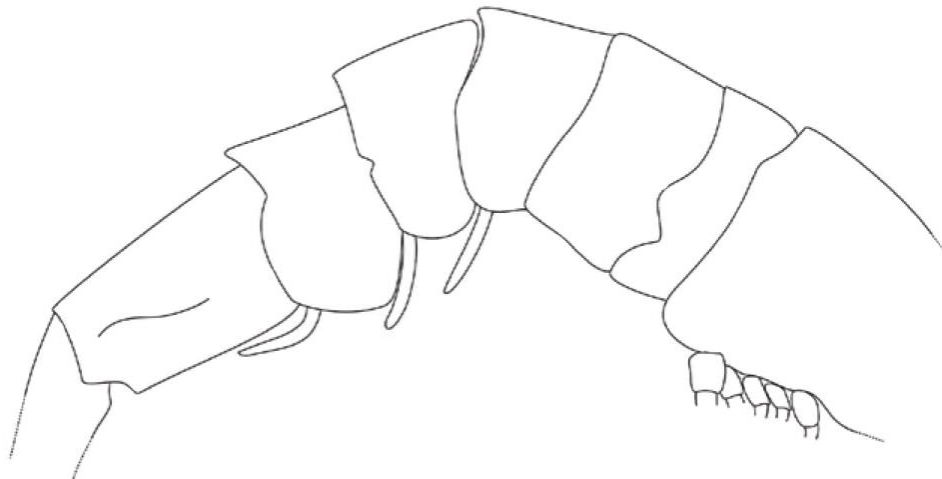


Figura 17. *Araripenaeus timidus* (MCNHBJ 339). Desenho esquemático do holótipo. Escala 5mm. Modificado de Pinheiro *et al.* (2014).

No material descrito por PINHEIRO *et al.* (2014), uma segunda amostra de *Kellnerius jamacaruensis* também foi encontrada no mesmo nível estratigráfico de *Araripenaeus timidus*. Essas duas espécies são típicas de águas estuarinas rasas e marinhas (PINHEIRO *et al.*, 2014). O nível da Formação Romualdo onde estes espécimes foram coletados, não foram encontrados animais exclusivamente marinhos (Por ex. equinodermas). Esse grupo normalmente é encontrado a 20 metros acima desta assembleia fossilífera, apoiando as evidências de um paleoambiente com transgressões marinhas ou áreas marinhas de transição, tais como ambientes estuarinos (PINHEIRO *et al.*, 2014).

Anos mais tarde, a partir de um novo material, ALENCAR *et al.* (2020) reportaram novas características morfológicas de *Araripenaeus timidus* (Figura 18), embora não tenham sido registrados caracteres suficientes para atribuir essa espécie com segurança às famílias conhecidas no grupo, a inclusão de *Araripenaeus timidus* em Penaeoidea permaneceu incerta (ALENCAR *et al.*, 2020).

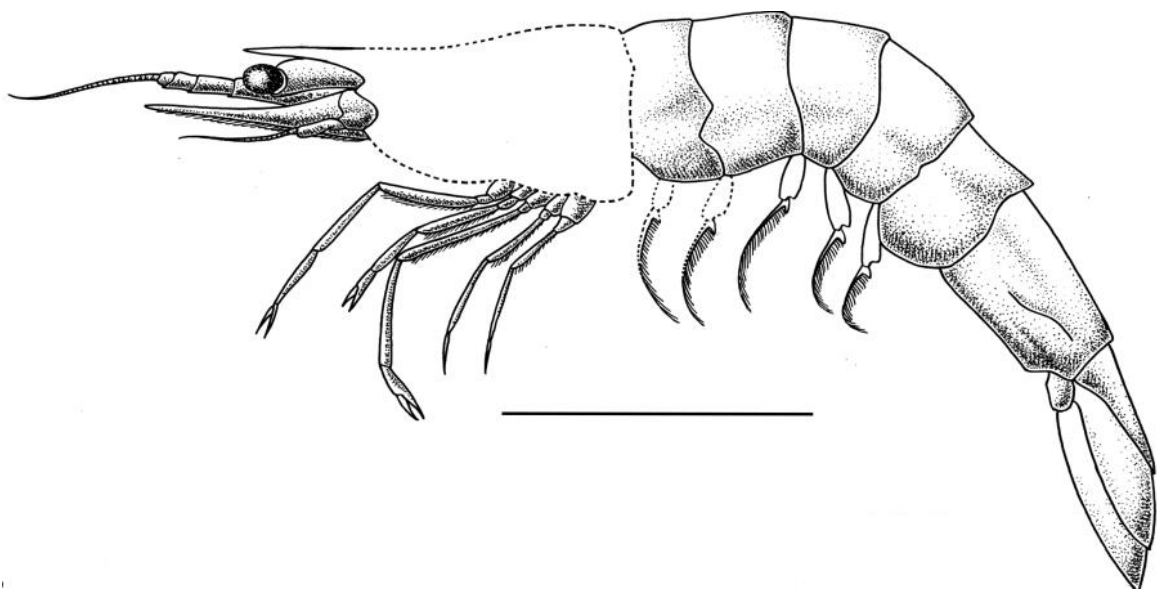


Figura 18. *Araripenaeus timidus* (LPU 1327) Modificado de ALENCAR *et al.* (2020). Escala 5mm.

Quatro anos mais tarde, uma nova espécie de camarões planctônicos da família Luciferidae foi descrita, *Sume marcosi* Saraiva, Pinheiro e Santana (2018); foi encontrada nos níveis calcíferos de folhelhos da Formação Romualdo, sendo este, o primeiro fóssil de Luciferidae conhecido para o Cretáceo (Figura 19).

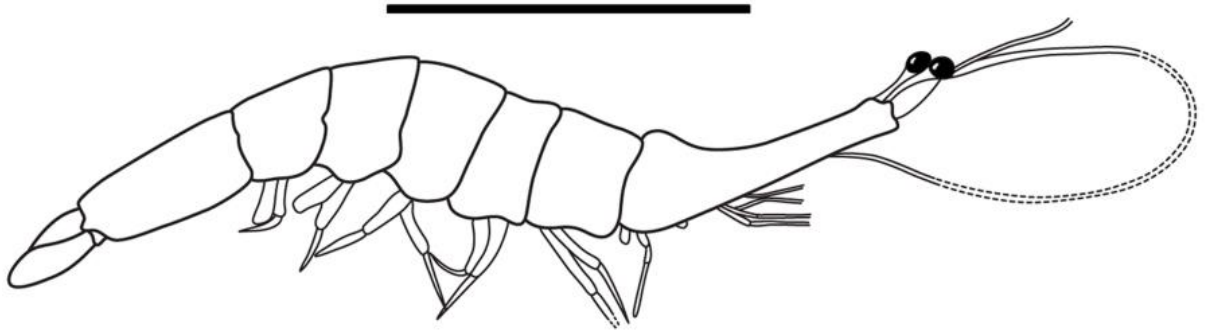


Figura 19. *Sume marcosi* (LPU 1250). Formação Romualdo. Desenho do holótipo. Detalhes em pontilhado representam partes não preservadas. Escala em 5 mm. Modificado de SARAIVA *et al.* (2018).

Em 2018 (ALENCAR *et al.*, 2018), um novo Dendrobranchiata foi descrito para o nível de folhelho cinza esverdeado da Formação Romualdo: *Priorhyncha feitosai* Alencar, Pinheiro, Saraiva, Oliveira e Santana (2018), constituindo o registro mais antigo da família Solenoceridae e o segundo da superfamília Penaeoidea ocorrente na Bacia do Araripe (Figura 20).



Figura 20. *Priorhyncha feitosai* (MPSC 2489). Vista lateral do Holótipo. Escala de 1mm. Modificado de ALENCAR *et al.* (2018).

Um ano depois (PRADO *et al.*, 2019), outro Dendrobranchiata da superfamília Penaeoidea foi reportado para Formação Romualdo, *Cretainermis pernambucensis* Prado, Calado e Barreto (2019), (Figura 21).

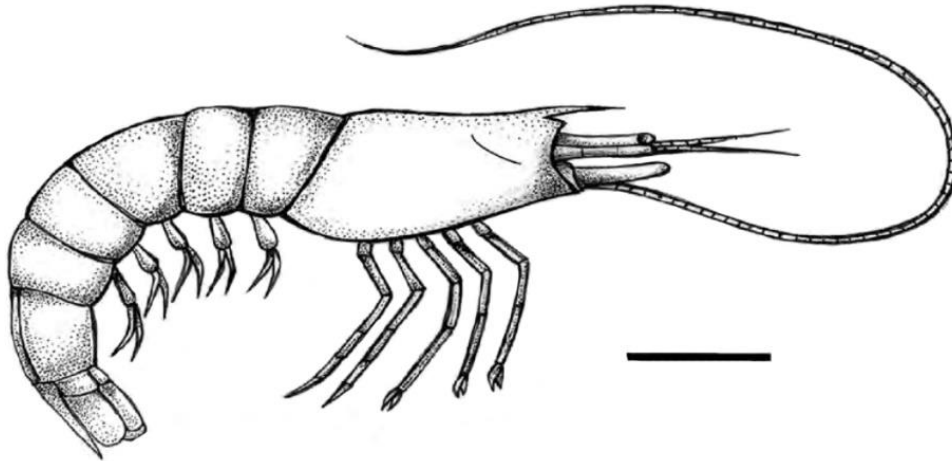


Figura 21. Reconstituição de *Cretainermis pernambucensis*. Desenho: Regina Carvalho. Escala 5mm. Modificado de PRADO et al. (2019).

1.3 Taxonomia paleontológica (Camarões fósseis brasileiros)

Classe MALACOSTRACA

Ordem DECAPODA Latreille, 1802

Subordem PLEOCYEMATA Burkenroad, 1963

Infraordem CARIDEA Dana, 1852

Família PALAEMONIDAE Rafinesque, 1815

Subfamília EURYRHYNCHINAE? Holthuis, 1913

Gênero *Bechleja* Houša, 1956

Espécie-tipo: *Bechleja inopinata* Houša, 1956. Oligoceno/Mioceno, Checoslováquia.

Diagnose de Houša, 1956: rostro serrilhado; primeiro pereiópode com pequena quela; segundo pereiópode com grande quela; terceiro ao quinto pereiópode sub-iguais; telson pequeno e mais curto que os urópodes; antena 1,5 vezes o comprimento do cefalotórax.

Bechleja bahiaensis (Beurlen, 1950)

NOV. COMB. Martins-Neto e Mezzalira, 1991

Diagnose de Martins-Neto e Mezzalira, 1991: a mesma que para o gênero

Holótipo: DGM-4124, depositado na Coleção Paleontológica do Museu Ciências da Terra – CPRM Serviço geológico do Brasil (antigamente Departamento Nacional da Produção Mineral – DNPM, Rio de Janeiro).

Formação: Marizal (Bacia do Tucano).

Comentário: para Martins-Neto e Mezzalira (1991) a diagnose de *Bechleja bahiaensis* (*Palaemon bahiaensis*) quando proposta por Beurlen (1950) não se enquadrava, no atual estágio do conhecimento para o gênero *Palaemon* Weber (1795), pelas seguintes características: possui rostro longo, espinhos antenais e braquiostegais, nenhum espinho hepático e telson possuindo dois pares de espinhos apicais, características estas não verificadas no espécime da Bahia (Glaessner, 1969). Além disso, possui o primeiro e o segundo pereiópode menos resistente (embora o segundo pereiópode seja maior e mais robusto que o primeiro).

Bechleja robusta Martins-Neto e Mezzalira, 1991

Diagnose de Martins-Neto e Mezzalira, 1991: cefalotórax dorsalmente triangular, pouco mais longo que largo, com espinhos antenais ultrapassando a altura da região ocular. Rostro relativamente curto e largo. Segundo pereiópode mais robusto e longo que o primeiro; terceiro ao quinto pereiópode sub igual, com dácilos lisos e agudos.

Holótipo: 049-PI-DBAV-UERJ, depositado na Coleção Paleontológica da Universidade Estadual do Rio de Janeiro.

Formação: Tremembé (Bacia de Taubaté).

Diagnose e descrição emendada por Martins-Neto (1998): Cefalotórax liso, lateralmente comprimido, pelo menos duas vezes mais longo que largo. Margem posterior encurvada, com a porção dorsal côncava. Margem ventral convexa, com a maior curvatura na altura do

comprimento médio. Nenhum espinho na carapaça. Rastro curto, liso, sem dentes. Dois pares de antenas longas, pelo menos 1 ½ vez o comprimento total do corpo. Antênula com dois flagelos parcialmente preservados. Escama antenal espatular, pequena ligeiramente acuminada, com alargamento lateral. Abdome liso, com todos os somitos preservados: o primeiro curto e largo, o segundo curto dorsalmente e longo na região da pleura, encobrendo parcialmente os somitos I e III.

Terceiro somito longo dorsalmente e curto ventralmente. Quarto somito quadrangular, tão largo quanto longo. Quinto e sexto somitos, os menores, com divisão indistinta. Terga dos somitos (tergitos) ligeiramente convexa em contorno. Tergo pouco maior que os urópodes, triangular e acuminado, sem espinhos. Urópodes flagelados. Pereiópodes longos e estreitos, sendo o segundo mais longo e mais robusto, com carpo curto e própodo longo, quase quatro vezes maior que o carpo. Primeiro pereiópode e do terceiro ao quinto, de tamanho similar com dáctilos agudos. Pleópodes não preservados.

Material referido: UnG-IT/62, parte e contraparte (depositado na Coleção Paleontológica do Departamento de Geociências, Universidade Guarulhos, SP

Gênero *Propalaemon* Woodward, 1903

Espécie-tipo: *Propalaemon osborniensis* Woodward, 1903. Eoceno Superior, Ilha de Wight.

Propalaemon longispinata Martins-Neto e Mezzalira, 1991

Diagnose de Martins-Neto e Mezzalira, 1991: cefalotórax cilíndrico, mais longo que largo; rostro longo, serrilhado, não comprimido. Espinhos antenais longos de comprimento similar ao do rostro. Presença de espinhos hepáticos. Segundo somito pleonal encobre boa parte do primeiro somito.

Holótipo: GP/1T-1648, depositado na Coleção Paleontológica do Instituto de Geociência da Universidade de São Paulo.

Formação: Tremembé (Bacia de Taubaté).

Gênero *Pseudocaridinella*
Martins-Neto e Mezzalira, 1991b

Espécie-tipo: *Atyoida tremembeensis* Beurlen, 1950

Diagnose de Martins-Neto e Mezzalira, 1991: rostro liso, carpo do segundo pereiópode escavado. Dilatação da base do segundo somito pleonal moderada.

Pseudocaridinella tremembeensis (Beurlen, 1950)
NOV. COMB. Martins-Neto e Mezzalira, 1991

Diagnose de Martins-Neto e Mezzalira, 1991: a mesma que para o gênero.

Holótipo: DGM-4118, depositado na Coleção Paleontológica do DNPM.

Formação: Tremembé (Bacia de Taubaté).

Pseudocaridinella roxoi (Beurlen, 1950)
NOV. COMB. Martins-Neto e Mezzalira, 1991

Diagnose de Martins-Neto e Mezzalira, 1991: possui a dilatação do segundo somito pleonal relativamente maior e a quela do segundo pereiópode relativamente mais delicada. Anos mais tarde, esta espécie foi agrupada novamente para um novo gênero; *Bahiacaris* Schweitzer, Santana, Pinheiro e Feldmann, 2019.

Holótipo: DGM-3780, depositados na Coleção Paleontológica do DNPM.

Formação: Marizal (Bacia do Tucano).

Infraordem CARIDEA Dana, 1852

Gênero *Bahiacaris* Schweitzer, Santana, Pinheiro e Feldmann, 2019

Diagnose de Schweitzer *et al.*, (2019): carapaça alta e curta; rostró com cerca de 30% de comprimento total da carapaça e serrilhada na margem superior; o escafoцерito não se estende além do rostró; o segundo somito pleonal sobrepõe o primeiro e ao terceiro, são variáveis em tamanho; telson com cerdas na extremidade, acentuado em vista lateral com ponta quadrada em visão dorsal contendo 2 pares de espinhos móveis; endopodito e exopodito nos urópodes são estreitos, muito mais longo que largo, margem interna do exopodito fracamente serrilhada, margem externa com uma depressão; terceiro maxilípode é mais curtos do que os pereiópodos 3-5; os pereiópodos 1 e 2 são mais curtos que os pereiópodos 3-4, que estes são mais longos e mais finos.

Bahiacaris roxoi (Beurlen, 1950)

NOV. COMB. Schweitzer, Santana, Pinheiro e Feldmann, 2019

Espécie tipo: *Atyoida roxoi* Beurlen, 1950

Diagnose de Schweitzer *et al.*, (2019): mesmo para o gênero

Depositados: Museu Nacional de História Natural dos Estados Unidos, USNM 722100, USNM 722102, USNM 722103.

Formação: Marizal (Bacia do Tucano).

Família PALAEMONIDAE Rafinesque, 1815

Gênero *Beurlenia* Martins-Neto e Mezzalira, 1991

Diagnose de Martins-Neto e Mezzalira, 1991: Palemonídeo com antenas longas, ultrapassando o comprimento do corpo e com dois flagelos; antênulas longas possuindo dois flagelos. Rostro serrilhado, relativamente curto. Escamas antenais curtas. Segundo pereiópode

mais robusto que os demais. Base do segundo tergito encobre parcialmente o primeiro e o terceiro somitos. Telson com um espinho apical. Pleópodes multissegmentado.

Diagnose e descrição emendada por Maisey e Carvalho (1995): antenas mais longas que o corpo; antenas e antênulas com dois flagelos; escamas antenais curtas; rostró que se estende além do nível do pedúnculo antenal, doze pequenos espinhos supra-rostrais e três espinhos sub-rostrais; segundo pereiópode alongado e quelado, pereiópodos posteriores não possuem quelas; pleópodes multissegmentado; telson com um único processo apical, aparentemente sem espinhos ou cerdas emparelhadas.

Material referido: AMNH 44984, 44990, 44991 (depositados no Museu Americano de História Natural).

Diagnose e descrição emendada por Saraiva *et al.*, (2009): antenas e antênulas são longas, o escafocerito laminar é presente, incisão ocular é estreita, espinhos branquiostegal são claramente visíveis. O rostró é médio e exibe 14 espinhos supra-rostrais pequenos e próximos com aparência serrilhada e com três espinhos sub-rostrais. Os dois primeiros pereiópodes (P1-P2) são representados por quilípodes, sendo o segundo (P2) bem maior que os demais pereiópodes, não possuindo cerdas terminais; os três pereiópodes subsequentes (P3-P5) são pernas ambulatórias típicas que não possuem quelas, mas possuem dáctilo alongado. Abdome liso (sem espinhos); a pleura do primeiro e terceiro somito é um pouco arredondada, enquanto o segundo somito é fortemente arredondado, sobrepondo o primeiro e o terceiro somito; o quarto e quinto somitos possuem uma pleura fortemente aguda. Os pleópodes são multissegmentados. O telson com pelo menos um par de espinhos articulados na extremidade distal e os urópodes são ligeiramente mais longos que o telson.

Material referido: MPSC/C/2108, depositados no museu de paleontologia Plácido Cidade Nuvens em Santana do Cariri/CE.

Beurlenia araripensis Martins-Neto e Mezzalira, 1991

Diagnose de Martins-Neto e Mezzalira, 1991: mesmo para o gênero

Holótipo: CD-I-161, depositado na Coleção Desirèe, Rio de Janeiro.

Formação: Crato (Bacia do Araripe)

Superfamília PALAEMONOIDEA Rafinesque, 1815

Família PALAEMONIDAE? Rafinesque, 1815

Gênero *Kellnerius* Santana, Pinheiro, Silva e Saraiva, 2013

Diagnose de Santana *et al.*, (2013): rostro com 5 espinhos; escafocerito é grande e maior do que o rostro, sua margem lateral é ligeiramente arredondada; o terceiro somito pleonal possui um distinto sulco de aproximadamente um terço da primeira parte do tergito e não se estende até os pleuritos.

Kellnerius jamacaruensis Santana, Pinheiro, Silva e Saraiva, 2013

Diagnose de Santana *et al.*, (2013): o mesmo que para o gênero.

Holótipo: LPU 648A/648 B, depositado no museu de Paleontologia Plácido Cidade Nuvens em Santana do Cariri/CE.

Formação: Romualdo (Bacia do Araripe)

Subordem DENDROBRANCHIATA Bate, 1888

Superfamília SERGESTOIDEA Dana, 1852

Família SERGESTIDAE Dana, 1852

Gênero *Paleomattea* Maisey e Carvalho, 1995

Diagnose de Maisey e Carvalho, 1995: pequeno Sergestídeo com carapaça e somitos pleonais liso, sem sulcos e ranhuras; carapaça com rostro curto com três pequenos espinhos; pequenos espinhos supra orbitais e hepáticos presentes na carapaça; comprimento do sexto somito pleonal quase três vezes a sua largura; pereiópodos não são alongados.

Paleomattea deliciosa Maisey e Carvalho, 1995

Diagnose de Maisey e Carvalho, 1995: a carapaça e os somitos pleonais são lisos e comprimidos lateralmente, possui um pequeno espinho hepático na superfície lateral da carapaça, sem sulcos ou ranhuras. A carapaça é quase três vezes mais longa que sua

profundidade máxima. Sua margem dorsal é quase reta, rostró curto ligeiramente inclinado para cima. Em alguns espécimes, um pequeno espinho supra orbital foi observado próximo à margem anterior da carapaça lateral ao rostró e logo atrás do olho.

Holótipo: AMNH 44985, depositado no departamento de invertebrados do Museu Americano de História Natural.

Formação: Romualdo (Bacia do Araripe)

Diagnose emendada por Alencar *et al.*, (2020): pedúnculos oculares bem desenvolvidos, em altura e largura são iguais ao comprimento total do escafocerito. Rostro reduzido e curto, apresentando três pequenos dentes; carapaça desprovida de sulcos e quilhas. Sexto somito pleonal bem desenvolvido, aproximadamente três vezes mais comprido do que largo. Os três primeiros pares de pereópodes bem desenvolvido sem quelas ou pinças, quarto e quinto pereópodes reduzidos.

Material referido: LPU: 1300, 1303 A, 1317, 1323, 1336, 1363, 1399, 1268, 1245, 1278, 1295, depositados no laboratório de paleontologia da URCA e museu de paleontologia Plácido Cidade Nuvens.

Família LUCIFERIDAE De Haan, 1849

Gênero *Sume* Saraiva, Pinheiro e Santana, 2018

Diagnose de Saraiva *et al.*, (2018): pedúnculo ocular de comprimento moderado não atingindo ao fim do escafocerito, os somitos pleonais sobrepõem os protopoditos dos pleópodes. Os pleópodos formam uma projeção arredondada medialmente nos somitos dois ao quatro (2-4).

Sume marcosi Saraiva, Pinheiro e Santana, 2018

Holótipo: LPU 1250 A/ 1250B, depositados no museu de Paleontologia Plácido Cidade Nuvens em Santana do Cariri/CE.

Formação: Romualdo (Bacia do Araripe)

Diagnose de Saraiva *et al.*, (2018): o mesmo que para o gênero.

Superfamília PENAEOIDEA Rafinesque, 1815

Família *Incertae sedis*

Gênero *Araripenaeus* Pinheiro, Saraiva e Santana, 2014

Diagnose de Pinheiro *et al.*, (2020): abdome comprimido lateralmente com seis segmentos, todos os somitos sem espinho; os somitos do segundo ao quinto são aproximadamente do mesmo tamanho. O sexto somito é maior e com o dobro dos outros somitos, possuindo uma cicatriz sinuosa.

Diagnose emendada de Alencar *et al.*, (2020): sexto somito pleonal com cicatriz sinuosa aproximadamente do mesmo tamanho do somito, sexto somito é mais desenvolvido que os demais. Possui cinco pares de pereópodes com os três primeiros pares com quelípodes.

Material referido: LPU 1327 depositados no laboratório de paleontologia da Universidade Regional do Cariri.

Araripenaeus timidus Pinheiro, Saraiva e Santana, 2014

Diagnose de Pinheiro *et al.*, (2014): o mesmo que para o gênero

Holótipo: MCNHB 339, depositado no museu em Jardim/CE

Formação: Romualdo (Bacia do Araripe)

Família SOLENOCERIDAE Wood-Mason in Wood-Mason e Alcock, 1891

Gênero *Priorhyncha* Alencar, Pinheiro, Saraiva, Oliveira e Santana, 2018

Diagnose de Alencar *et al.*, (2018): carapaça com espinhos antenais de maneira suave. Rostro curto e serrilhado com 10 pequenos espinhos dorsais. Sem espinhos ventrais e ligeiramente mais longos que os olhos; sulco cervical da região gástrica é curto e bem marcado.

Priorhyncha feitosai Alencar, Pinheiro, Saraiva, Oliveira e Santana, 2018

Diagnose de Alencar *et al.*, (2018): o mesmo que para o gênero.

Holótipo: MPSC 2489, depositados no museu de Paleontologia Plácido Cidade Nuvens em Santana do Cariri/CE.

Formação: Romualdo (Bacia do Araripe)

Família Incertae sedis

Gênero *Cretainermis* Prado, Calado e Barreto, 2019

Diagnose de Prado *et al.*, (2019): carapaça alongada; rostró curto e espiniforme não possuindo dentes (espinhos), sulco cervical bem evidente. Do primeiro ao quinto somitos (S1-S5) são iguais em tamanho, sexto somito (S6) é maior que os anteriores.

Cretainermis pernambucensis Prado, Calado e Barreto, 2019

Diagnose de Prado *et al.*, (2019): o mesmo que para o gênero.

Holótipo: DGEO-CTG-UFPE-7746, depositados na coleção paleontológica do departamento de geologia da Universidade Federal do Pernambuco.

Formação: Romualdo (Bacia do Araripe)

2 OBJETIVOS

Objetivo geral:

Estudar a paleontologia dos camarões da Bacia do Araripe e suas características paleoambientais.

Objetivos específicos:

- Apresentar o estado da arte sobre os camarões fósseis em bacias brasileiras, realizando um levantamento das espécies descritas, correlacionando-as no espaço e tempo geológico.
- Relatar a primeira ocorrência de camarões fósseis para os níveis de folhelho da Formação Ipubi, ampliando o conhecimento taxonômico, tafonômico e paleoecológico dos espécimes nesta formação, bem como a utilização de técnicas de espectroscopia vibracional (infravermelho e Raman), difração de raios-X (DRX) e mapeamento de campo amplo por raios-X (EDS) para identificar e caracterizar os compostos que constituem os materiais prospectados nas Formações Ipubi e Romualdo.
- Divulgar novos dados sobre *Beurlenia araripensis* encontrados em calcário laminado da Formação Crato, Bacia do Araripe, questionando a provável plasticidade morfológica existente para este gênero.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Nesta seção serão abordados aspectos conceituais e teóricos para atingir os objetivos desta pesquisa. Primeiro serão mostrados os suportes teóricos sobre a Bacia do Araripe, ambientes de deposição do Grupo Santana e as mudanças climáticas ocorridas durante aquele período, por conseguinte, os procedimentos metodológicos de espectroscopia para a caracterização dos fósseis.

3.1 Localização da Bacia Sedimentar do Araripe

A Bacia Sedimentar do Araripe encontra-se situada entre os estados do Ceará, Pernambuco e Piauí, abrangendo uma área com cerca de 12.000 km². Ela é conhecida mundialmente pela diversidade, excelente estado de preservação e quantidade de seus fósseis. Está delimitada ao norte pelo lineamento de Patos e ao sul pelo lineamento Pernambuco (ASSINE, 2017), (Figura 22).

Do ponto de vista paleontológico, sua principal unidade litoestratigráfica é o Grupo Santana, com idade neoptiana, que registra o advento de estágio pós-rifte, composto de três formações que possuem fósseis: Crato, Ipubi e Romualdo (NEUMANN e CABRERA, 1999; ARAI e ASSINE, 2020) (Figura 22).

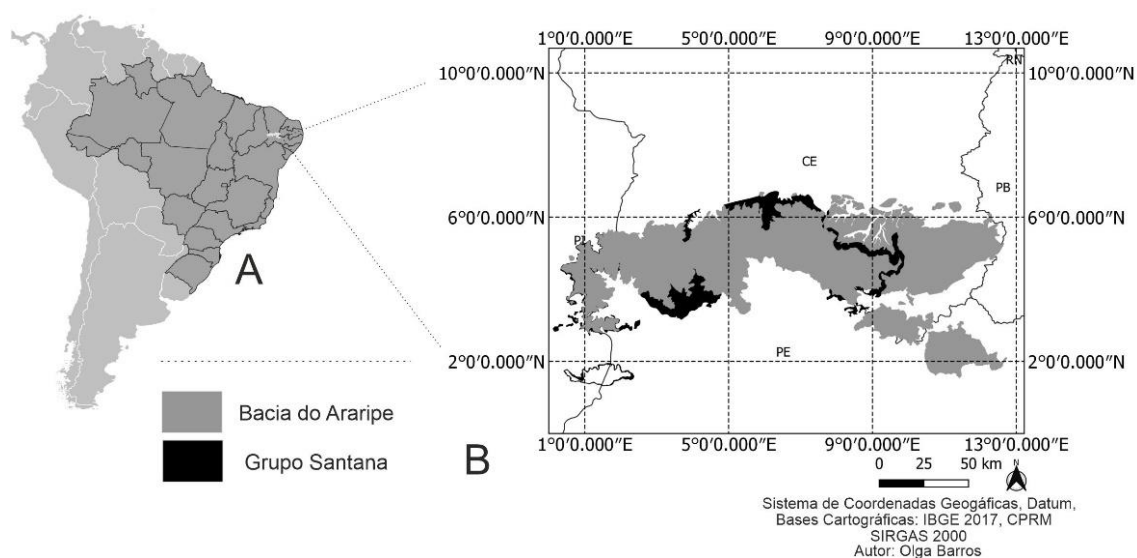


Figura 22. A) Mapa do Brasil com destaque na Bacia do Araripe, B) Mapa de localização da Bacia do Araripe em destaque o grupo Santana. Autor: Olga A. Barros.

A Formação Crato é constituída predominantemente por calcários laminados, com registro fossilífero de organismos não marinhos, sugerindo um ambiente de sedimentação lacustre (Aptiano), indicando condições de baixa energia no ambiente deposicional (NEUMANN, 1999).

Composto do topo para a base por folhelhos cinzas, castanhos escuros e negros, calcífero, laminados, calcários micríticos argilosos. Os folhelhos calcíferos de cor cinza-claro a creme possuem estratificação paralela horizontal e laminação milimétrica a centimétrica, que atinge até 50 m de espessura (PONTE e APPI, 1990). As mudanças climáticas ficaram registradas na litologia dos calcários laminados (estratificação plano-paralela e horizontalização das camadas), alternando em ambientes secos (cores claras, momento de retração das águas) e úmidos (cores escuras, momento de aumento no nível das águas) (NEUMANN, 1999).

Na fauna de invertebrados da Formação Crato, destacam-se os artrópodes, em particular, os insetos que predominam em diversidade taxonômica e em abundância. Ostracodes são abundantes, pertencentes às famílias Bairdicea, Cypridacea, Cytheracea e Darwinulacea (HESSEL *et al.*, 2006). Crustáceos decápodos e camarões são raros, assim como aracnídeos.

A Formação Ipubi foi descrita primeiramente por BEURLEN (1971) na categoria de Membro e redefinida por MABESOONE e TINOCO (1973). MARTILL *et al.* (1993) propôs sua elevação para categoria de formação, proposta corroborada por NEUMANN e CABRERA (1999). Ela é constituída predominantemente por evaporitos, intercalados por camadas de folhelhos pretos. Equivale ainda à parte superior da Formação Araripina proposta por SILVA (1983).

Composta predominantemente por sulfatos de cálcio na forma de intercalações de gipsita (evaporitos), anidrita, folhelhos fossilíferos e carbonatos, com camadas lenticulares lateralmente contíguas a folhelhos cinza-esverdeados. Os evaporitos representam o clímax de uma sequência sedimentar em um lago inferior, cujas águas se tornaram progressivamente salinas devido à crescente evaporação. Facilmente são encontrados nas camadas de folhelhos associados a gipsita, pequenos peixes do gênero *Dastilbe*, *Tharrhias* e *Vinctifer* (BARROS *et al.*, 2016)

Situada na porção superior do Grupo Santana, a Formação Romualdo é composta por arenitos finos, folhelhos escuros e margas de coloração cinza-esverdeada, com concreções carbonáticas muito fossilíferas que recobrem os depósitos de gipsita e anidrita da Formação Ipubi e é recoberta pelos siltitos avermelhados eo-albianos da Formação Arajara (NEUMANN

e CABRERA, 1999). Seus fósseis são prospectados principalmente em nódulos calcáreos, sendo também encontrados nos demais tipos litológicos.

É tida também como de idade Aptiano sendo constituída predominantemente por camadas pelíticas, com folhelhos escuros e arenitos calcíferos esbranquiçados, estes mais frequentes no topo (ARAI e ASSINE, 2020). Encaixadas nos folhelhos, ocorrem concreções calcárias, geralmente com macrofósseis tridimensionalmente preservados, o que é bastante raro no registro geológico mundial, com formatos diferentes, sendo elas esféricas, discoides e irregulares, como apresentado por SARAIVA *et al.* (2007).

Na Formação Romualdo, o ambiente deposicional é composto por um ciclo sedimentar lagunar, lagos rasos e efêmeros, exceto pela camada de margas e calcários, contendo gastrópodes bivalves e equinoides, que evidenciam sedimentação marinha, considerando a presença de uma ingressão marinha efêmera no topo de sua sedimentação (FARA *et al.*, 2005).

3.2 Espectroscopia

Espectroscopia é o ramo da física que estuda a interação da radiação eletromagnética com a matéria, sendo um dos meios mais poderosos de obtenção de informação a respeito da estrutura microscópica (BECKHOFF *et al.*, 2007).

Assim, a espectroscopia é um termo genérico para a interação da matéria com várias categorias de radiação eletromagnética ou por partículas. Métodos espectroscópicos baseados em espectroscopia molecular e atômica tratam da medida da intensidade da radiação com um transdutor (SOUSA FILHO *et al.*, 2011).

A caracterização espectroscópica de fósseis pode contribuir para uma compreensão dos vários mecanismos de fossilização e das condições e processos que propiciaram a preservação de restos de animais ou de vegetais (Tafonomia). As pesquisas científicas envolvendo os fósseis, apesar de relativamente intensas restringe-se basicamente à prospecção e identificação no contexto da paleontologia clássica. Tais estudos têm inclusive fornecido importantes contribuições à compreensão da evolução, extinção e diversidade biológica da região.

Entretanto, técnicas de espectroscopia, fluorescência de raios-X (FRX), difração de raio-X (DRX), infravermelho e Raman, além de mapeamento de campo amplo por raios-X (EDS) já compõem parte efetiva da rotina das pesquisas em fósseis na Bacia do Araripe (PAVIA *et al.*, 2010).

Tendo em vista sua constituição química geral, os fósseis podem ser adequadamente estudados por técnicas físicas, esse fato pode ser avaliado pelas recentes publicações que tratam da caracterização espectroscópica (SILVA *et al.*, 2004; LIMA *et al.*, 2007; OLIVEIRA *et al.*, 2015; OLIVEIRA *et al.*, 2018).

Na Bacia do Araripe os fósseis normalmente sofrem processos de permineralização ou de substituição. A permineralização ocorre principalmente nas concreções carbonáticas onde a biomineralização ficou parcialmente conservada e os interstícios dos restos orgânicos são preenchidos por carbonatos (VIANA e RICHTER, 1999). A substituição ocorre de diversas formas: piritização (pirita/FeS₂), limonitização (limonita/2(Fe₂O₃)3H₂O), calcificação (carbonatos), fosfatização (substituição por fosfatos, principalmente tratando-se de tecidos moles) e silificação (silicatos) (Lima *et al.*, 2007; VIANA e RICHTER, 1999).

A importância dessa investigação ressalta-se pelo fato de os camarões serem pouco estudados no meio científico, contribuindo não só com dados taxonômicos, inferindo aspectos relacionados aos processos de fossilização, diagênese e ao paleoambiente onde estes crustáceos viviam.

3.3 Procedimentos Metodológicos

A estrutura desta tese está dividida em duas partes: introdução e resultados (na forma de artigos científicos). A primeira parte engloba o histórico das pesquisas, características anatômicas e evolutivas, por conseguinte, a segunda foi dividida em quatro capítulos em formato de artigos, apresentados às revistas científicas nos formatos exigidos por elas.

Os procedimentos metodológicos foram divididos em quatro etapas. A primeira correspondeu às atividades de escritório que foi exposto no capítulo 1, submetido ao Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ e intitulado o estudo de camarões fósseis no Brasil (2021, no prelo), cujo intuito constituiu em apresentar o estado da arte sobre os camarões fósseis em bacias brasileiras, realizados através de um levantamento das espécies descritas e contextualizada no espaço e tempo geológico. A segunda etapa, compreendeu através dos trabalhos de campo e laboratório, apresentando a primeira ocorrência de camarões na Formação Ipubi (capítulo 2), no qual foi publicado na revista *Research, Society and Development*. O artigo intitulado *First occurrence of fossil shrimps (Crustacea, Decapoda) in the Ipubi*

Formation (Lower Cretaceous, Araripe Basin) aborda a primeira ocorrência de camarões para os níveis de folhelho da Formação Ipubi.

Na terceira etapa também foram elaborados estudos de campo e de laboratório, onde foi efetuado a caracterização espectroscópica dos fósseis. Publicado na revista PeerJ, o capítulo 3 intitulado Physicochemical investigation of shrimp fossils from the Romualdo and Ipubi formations (Araripe Basin), trata-se da caracterização de dois camarões prospectados em duas formações (Romualdo e Ipubi), onde foram feitas análises espectroscópicas para identificar e caracterizar os compostos que constituem o material fossilizado.

A quarta e última etapa consistiu na descrição de novas evidências morfológicas em *Beurlenia araripensis* adquiridos em instituições brasileiras (capítulo 4), submetido para PlosOne. O artigo intitulado New data on *Beurlenia araripensis* Martins-Neto & Mezzalira, 1991, a lacustrine shrimp from Crato Formation, Early Cretaceous of the Araripe Basin, northeastern Brazil, and its morphological variations based on the shape and the number of rostral spines (2021, no prelo), realça a apresentação de novos dados sobre *Beurlenia araripensis* encontrados no calcário laminado da Formação Crato, Bacia do Araripe, como, por exemplo, a provável plasticidade morfológica existente para este gênero com a presença de 5-14 espinhos rostrais com aparência serrilhada, como ocorrem em espécies atuais, por exemplo, *Macrobrachium* Bate, 1868 e *Palaemon* Weber, 1795.

3.4 Atividades de gabinete

A etapa de gabinete baseou-se no levantamento de dados bibliográficos pré-existentes, visando analisar os camarões fósseis descritos nas bacias sedimentares brasileiras. A pesquisa foi baseada nas publicações, fotos e desenhos esquemáticos, permitindo a visualização da distribuição em um caráter cronológico, sequencial aos artigos e inserindo o grupo em estudo na sequência cronoestratigráfica. Os desenhos esquemáticos das bacias sedimentares foram feitos pelo programa Qgis3, através do sistema de coordenadas geográficas Datum SIRGAS 2000 e o composto cartográfico foi importado pela base de dados do IBGE 2017 e CPRM.

3.5 Trabalhos de campo

Correspondeu aos trabalhos desenvolvidos em campo, onde foram observados e examinados os aspectos geológicos e paleontológicos. A primeira amostra foi obtida com ajuda de uma retroescavadeira para extração do folhelho que se localizava abaixo da camada de gipsita (Formação Ipubi). A segunda amostra foi coletada no Parque dos Pterossauros, em Santana do Cariri. Durante os trabalhos de campo foram utilizados diversos equipamentos fundamentais para a obtenção das informações, como GPS, câmera fotográfica digital, martelo geológico e cadernetas de campo fornecidos pela Universidade Regional do Cariri (URCA). O material encontrado foi depositado no Laboratório de Paleontologia da Universidade Regional do Cariri (URCA) e no Museu de Paleontologia Plácido Cidade Nuvens, em Santana do Cariri.

3.6 Trabalhos de laboratório

Em laboratório, foi realizada a preparação mecânica de algumas peças coletadas com ajuda de um microscópio estereoscópico, as imagens foram capturadas pelo programa infinity capture, realizado no laboratório de Paleontologia da Universidade Federal do Ceará (UFC), no laboratório de paleontologia da Universidade Regional do Cariri (LPU/URCA), e no acervo paleontológico da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). A identificação dos espécimes foi feita com base na literatura pertinente, levando em consideração os aspectos morfológicos (Figura 23). A mensuração foi feita com paquímetros digitais.

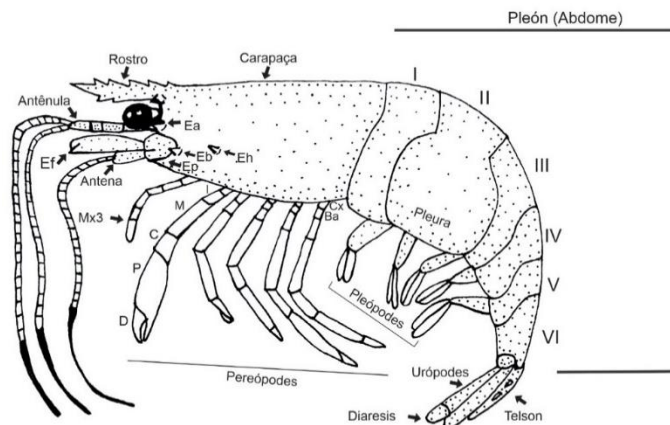


Figura 23. Desenho esquemático da anatomia de um Caridea. Ea: espinho antenal, Eb: espinho branquiostegal, Ef: escafoerito, Eh: espinho hepático, Ep: espinho pterigostômico, Mx3: 3º maxilípede, Cx: coxa, Ba: base, C: carpo, D: dactilo, I: ísquio, M: mero, P: própode. Desenho: Olga A. Barros.

As técnicas de espectroscopia vibracional (Raman e infravermelho), energia dispersiva de raio-X, microscopia eletrônica de varredura e difração de raio-X foram feitas no laboratório da Central Analítica da Universidade Federal do Ceará (UFC), departamento de física.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, D.R., OLIVEIRA, G.R., PINHEIRO, A.P., & SARAIVA, A.A.F., 2020. New findings on Dendrobranchiata fossils of the Romualdo Formation, Araripe Basin, Northeast of Brazil. **Zootaxa**, 4731(1), 63-74.

ALENCAR, D.R., PINHEIRO, A.P., SARAIVA, A.A.F., OLIVEIRA, G.R., & SANTANA, W., 2018. A new genus and species of Solenoceridae (Crustacea, Decapoda, Dendrobranchiata) from the Cretaceous (Aptian/Albian) of the Araripe Sedimentary Basin, Brazil. **Zootaxa**, 4527(4), 494-500.

ARAI M & ASSINE M.L. 2020. Chronostratigraphic constraints and paleoenvironmental interpretation of Romualdo Formation (Santan Group, Araripe Basin, Northeastern Brazil) based on palynology. *Cretaceous Research* 116 (2020) 104610, p. 1-13.

ARAI, M., COIMBRA, J.C., & TELLES JR, A.C.S., 2001. Síntese bioestratigráfica da Bacia do Araripe (nordeste do Brasil). In: BARROS, L.M., NUVENS, P.C., FILGUEIRA, J.B.M.(Ed.1), **Atas do II simpósio sobre a Bacia do Araripe e bacias interiores do nordeste**. Crato, Ceará Province, Brazil: Universidade Regional do Cariri (URCA), (1), 109–117.

ASSINE, M.L., 2017. Análise estratigráfica da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, (22), 3, 289-300.

ASSINE, M.L., 2007. Bacia do Araripe. **Boletim de Geociências da PETROBRAS**, 15(2), 371-389.

BARROS, O.A., PONTES, A.P., BATISTA, M.E.P., SILVA, J.H., SARAIVA, A.A.F., 2016., Aspectos Paleocológicos da Macrofauna dos Folhelhos Associados à Camada de Gipsita, Bacia do Araripe, **Estudos Geológicos**, (26).

BATE, C., 1868. On a new genus, with four new species of freshwater prawns. **Proceedings of the Zoological Society of London**, 363-368.

BAUER, R. T., NEWMAN, W.A., 2004. Protandric simultaneous hermaphroditism in the marine shrimp *Lysmata californica* (Caridea: Hippolytidae). **Journal of Crustacean Biology**, 24, (1),131-139.

BAUER, R.T., 2004. Remarkable shrimps: adaptations and natural history of the carideans. **University of Oklahoma Press**, (7).

BECKHOFF, B., KANNGIEßER, B., LANGHOFF, N., WEDELL, R., & WOLFF, H. (EDS.), 2007. Handbook of practical X-ray fluorescence analysis. **Springer Science & Business Media**.

BEURLLEN, K., 1950. Alguns restos de crustáceos decápodes d'água doce fósseis no Brasil. **Anais da Academia brasileira de ciências**, 22, (4), 453-459.

BEURLLEN, K., 1971. As condições ecológicas e faciológicas da Formação Santana na Chapada do Araripe (Nordeste do Brasil). **Anais da Academia brasileira de Ciências**, 43(Supplement), 411-415.

BUCKUP, L., BOND-BUCKUP, G., ARENZON, A., 1999. Os crustáceos do Rio Grande do Sul. Editora da Universidade, **Universidade Federal do Rio Grande do Sul**.

CARVALHO, I.S., 2000. Paleontologia. **Interciência Edition**.

CASSAB, R.D.C.T., 2010. Objetivos e princípios. **Paleontologia**, (3), 3-11

DA SILVA, J.H., FREIRE, P.T.C., ABAGARO, B.T.O., SILVA, J.A.F., SARAIVA, G.D., DE LIMA, F.J., & VIANA, B.C., 2013. Spectroscopic studies of wood fossils from the Crato Formation, Cretaceous Period. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, 115, 324-329.

DE GRAVE, S., CAI, Y., ANKER. A., 2008. Global diversity of shrimps (Crustacea: Decapoda: Caridea) in freshwater. In: (Ed.). **Freshwater Animal Diversity Assessment: Springer**,. 287-293. ISBN 1402082584.

DURA, M., 1985. El ciclo biológico de los camarones peneidos. **Técnica Pesquera**, 12-15.

FARA, E., SARAIVA, A.A.F, CAMPOS, D.A, MOREIRA, J.K.,CARVALHO S.D & KELLNER, A.W., 2005. Controlled excavations in the Romualdo Member of the Santana Formation (Early Cretaceous, Araripe Basin, northeastern Brazil): stratigraphic, palaeoenvironmental and palaeoecological implications. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, 218, (1-2), 145-160.

FARFANTE, I. P., 1988. Illustrated key to penaeoid shrimps of commerce in the Americas. **US Department of Commerce**, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Marine Fisheries Service.

FELDMANN, R. M., POLE, M., 1994. A new species of *Paranephrops* White, 1842: A fossil freshwater crayfish (Decapoda: Parastacidae) from the Manuherikia group (Miocene), central Otago, New Zealand. **New Zealand Journal of Geology and Geophysics**, 37(2), 163-167.

FELDMANN, R.M., 1981. Paleobiogeography of North American lobsters and shrimps (Crustacea, decapoda). **Géobios**, 14, (4), 449-468.

FERREIRA, R., 2009. Taxonomia e padrões distribucionais dos camarões marinhos e estuarinos da família Palaemonidae (Crustacea: Decapoda: Caridea) do Litoral brasileiro. **Dissertação de Mestrado**, Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Brasil

GARASSINO, A., YANBIN, S., SCHRAM, F. R., & TAYLOR, R. S., 2002. *Yongjicaris zhejiangensis* n. gen. n. sp. (Crustacea, Decapoda, Caridea) from the Lower Cretaceous of Zhejiang Province, China. **Bulletin of the Mizunami Fossil Museum**, 29, 73-80.

GLAESSNER, M. Decapoda., 1969. Treatise on invertebrate paleontology, Part R, **Arthropoda**, 4, (2), R399-R533.

GOMES-CORRÊA, M., 1977. Paleomonídeos do Brasil (Crustacea-Decapoda-Natantia). Rio de Janeiro. **Universidade Federal do Rio de Janeiro (Dissertação de Mestrado)**. 135p.

HESSEL, M. H., TOMÉ, M. E., & MOURA, C. R., 2006. Ostracodes mesozoicos das bacias do interior do Nordeste brasileiro: o estado da arte. **Revista de Geologia**, 19(2), 187-206.

HOLTHUS, L.B., 1951. A General Revision of the Palaemonidae (crustacea Decapoda Natantia) of the Americas: 1. The Subfamilies Euryrhynchinae and Pontoniinae.

HOUŠA, V., 1956. *Bechleja inopinata* ng, n. sp. ein neuer Krebs aus dem bohmischen Tertiar (Decapoda, Palaemonidae). **Ustred Ustavu Geologische**, 23, 365-377.

KENSLEY, B. F., 1972. Shrimps and prawns of southern Africa.

KINGSLEY, J., 1878. List of the North American Crustacea belonging to the sub-order Caridea.

LEACH, W. E., 1816. *Atya*. **Encyclopaedia Britannica**, supplement to the fourth, fifth, and sixth editions, Archibald Constable and Company, Edinburgh, 1(1), 421.

LIMA, C., R.J., FREIRE, P.D.T.C., SASAKI, J.M., SARAIVA, A.A.F, LANFREDI, S., & NOBRE, M.A.L., 2007. Study of coprolites from the Araripe Sedimentary Basin through FT-IR spectroscopy and X-ray diffraction. **Química Nova**, 30(8), 1956-1958.

LIMA, R.J.C., SARAIVA, A.A.F., LANFREDI, S., NOBRE, M.A.D.L., FREIRE, P.D.T.C., & SASAKI, J.M., 2007. Caracterização espectroscópica de peixe do período cretáceo (Bacia do Araripe). **Química Nova**, 30(1), 22-24.

MABESOONE, J.M., & TINOCO, I.M., 1973. Palaeoecology of the Aptian Santana Formation (northeastern Brazil). **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, 14(2), 97-118.

MAISEY, J.G., 1991. **Santana fossils: an illustrated atlas**. TFH Publications Incorporated, ISBN 0866225498.

MAISEY, J.G.; MARIA, D.G.; DE CARVALHO, P., 1995. First record of fossil sergestid decapods and fossil brachyuran crab larvae (Arthropoda, Crustacea), with remarks on some supposed palaemonid fossil. from the Santana Formation (Aptian-Albian, NE Brazil): **American Museum Novitates**, 3132.

MARTILL, D.M., WENZ, S., BRITO, P.M., & WILBY, P.P., 1993. Fossils of the Santana and Crato formations, Brazil. **Palaeontological Association Field Guide to Fossils**, 5.

MARTILL, D.M; BECHLY, G. & LOVERIDGE, R.F. 2007. The Crato Fossil Beds of Brazil: Window into an Ancient World. **Cambridge: Cambridge University Press**, 625 p.

MARTINS-NETO, R., MEZZALIRA, S., 1991a. Revisão dos Palemonídeos Terciários Brasileiros (Crustacea, Caridea) com descrição de novos taxa. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 63, (4), 361-367.

MARTINS-NETO, R., MEZZALIRA, S., 1991b. Descrição de novos crustáceos (Caridea) da Formação Santana, Cretáceo Inferior do nordeste do Brasil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 63, (2), 155-160.

MARTINS-NETO, R.G. 1998. Novos aportes ao conhecimento sobre a morfologia de *Bechleja robusta* Martins-Neto & Mezzalira 1991, crustáceo carídeo da Formação Tremembé, Oligoceno do Estado de São Paulo. **Revista Universidade Guarulhos**, São Paulo, 3(4): 14-17.

MOSSOLIN, E.C., BUENO, S.L., 2002. Reproductive biology of *Macrobrachium olfersi* (Decapoda, Palaemonidae) in São Sebastião, Brazil. **Journal of Crustacean Biology**, 22, (2), 367-376.

MURPHY, N.P., AUSTIN, C.M., 2003. Molecular taxonomy and phylogenetics of some species of Australian palaemonid shrimps. **Journal of Crustacean Biology**, 23, (1), 169-177.

NEUMANN, V. H., & CABRERA, L., 1999. Una Nueva Propuesta Estratigráfica para la tectonosecuencia post-rifte de la Cuenca de Araripe, Noreste de Brasil **In. 5º Simpósio sobre o cretáceo do Brasil e 1º simpósio sobre el cretácico de américa del sur, Serra Negra Atas do Simpósio**, (1999).

NEUMANN, V., 1999. Sistemas lacustres aptiensealbienses de la Cuenca de Araripe, NE, Brasil. Barcelona, Universidad de Barcelona. **Tese de Doutorado**, 250p.

OLIVEIRA, N.C., SILVA, J.H., BARROS, O.A., PINHEIRO, A.P., SANTANA, W., SARAIVA, A.A.F, & PAULA, A.J., 2015. Large-field electron imaging and X-ray elemental mapping unveil the morphology, structure, and fractal features of a cretaceous fossil at the centimeter scale. **Analytical chemistry**, 87(19), 10088-10095.

OLIVEIRA, P.V., VIANA, M.S.S., BARROS, O.A., FREIRE, P.T.C., BEZERRA, F.I., GUSMÃO, S.B.S., & SILVA, J.H., 2018. Spectroscopic Characterization of Eoholocene Bones Found in a Cave in Northeast Brazil. **Journal of Spectroscopy**.

PAVIA, D. L., LAMPMAN, G. M., KRIZ, G. S., & VYVYAN, J. R., 2010. Introdução à espectroscopia. **Cengage Learning**.

PINHEIRO, A. P., SARAIVA, A.A.F, SANTANA, W., 2014. Shrimps from the Santana Group (Cretaceous: Albian): new species (Crustacea: Decapoda: Dendrobranchiata) and new record (Crustacea: Decapoda: Caridea). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 86, (2), 663-670.

PINHEIRO, A.P, & SANTANA, W., 2013. A new fossil caridean shrimp (Crustacea: Decapoda) from the Cretaceous (Albian) of the Romualdo Formation, Araripe Basin, northeastern Brazil. **Zootaxa**, 3620, (2), 293-300.

PONTE, F.C., APPI, C.J., 1990. Proposta de revisão da coluna litoestratigráfica da Bacia do Araripe. **Congresso Brasileiro de Geologia**, 211-226.

PRADO, L.A.C., CALADO, T.C.S, & BARRETO, A.M.F., 2019. New records of shrimps from the Lower Cretaceous Romualdo Formation, Araripe Basin, northeastern Brazil, with new taxa of Penaeoidea (Crustacea: Decapoda: Dendrobranchiata). **Cretaceous Research**, 99, 96-103.

RAFINESQUE, C.S., 1815. Analyse de la nature, ou tableau de l'univers et des corps organisés. **aux dépens de l'auteur.**, 177.

RANDALL, J.W., 1840. Catalogue of the Crustacea brought by Thomas Nuttall and JK Townsend, from the west coast of North America and the Sandwich Islands, with description of such species as are apparently new, among which are included several species of different localities, previously existing in the collection of the Academy. **Journal of the Academy of natural Science of Philadelphia**, 106-147.

RUPPERT, E.E., FOX, R.S., BARNES, R.D., 2005. Zoologia dos invertebrados: uma abordagem funcional-evolutiva. In: (Ed.). **Zoologia dos invertebrados: uma abordagem funcional-evolutiva**: Roca.

SANTANA, W., PINHEIRO, A.P., SILVA, C.M.R.D., & SARAIVA, A.A.F., 2013. A new fossil caridean shrimp (Crustacea: Decapoda) from the Cretaceous (Albian) of the Romualdo Formation, Araripe Basin, northeastern Brazil. **Zootaxa**, 3620(2), 293-300.

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(1), 40-57.

SARAIVA, A.A.F., PINHEIRO, A.P., SANTANA, W., 2018. A remarkable new genus and species of the planktonic shrimp family Luciferidae (Crustacea, Decapoda) from the Cretaceous (Aptian/Albian) of the Araripe Sedimentary Basin, Brazil. **Journal of Paleontology**, 92, (3), 459-465.

SARAIVA, A.A.F., PRALON, B.G.N., GREGATI, R.A., 2009. Taxonomic remarks on Brazilian Cretaceous Decapoda from Araripe Basin, Brazil, and ecological inferences. **Gaea-Journal of Geoscience**, 5, (2), 70-74.

SCHWEITZER, C., FELDMANN, R., GARASSINO, A., KARASAWA, H., & SCHWEIGERT, G., 2010. **Systematic list of fossil decapod crustacean species**. Brill.

SCHWEITZER, C.E., SANTANA, W., PINHEIRO, A., & FELDMANN, R.M., 2019. Redescription and illustration of caridean shrimp from the Cretaceous (Aptian) of Brazil. **Journal of South American Earth Sciences**, 90, 70-75.

SILVA, M.A.M., 1983. The Araripe Basin, Northeastern Brazil: Regional Geology and Facies Analysis of a Lower Cretaceous Evaporitic Depositional Complex. **Tese de Doutorado**.

SILVA, R., NASCIMENTO FILHO, V., APPOLONI, C., 2004. Fluorescência de raios X por dispersão em energia. **LFNATEC-Publicação Técnica do Laboratório de Física Nuclear Aplicada**, 8, (1).

SOUSA, R.G.C., FLORENTINO, A.C., PIÑEYRO, J.I.G., 2014. Inovação de artefatos e caracterização da pesca do camarão *Macrobrachium amazonicum* (Heller, 1862) na comunidade São Sebastião da Brasília-Parintins/AM. **Biota Amazônia (Biote Amazonie, Biota Amazonia, Amazonian Biota)**, 4, (3), 83-87.

STORER, T., 2003. Classe Crustacea: Crustáceos. **Zoologia Geral, Cia Editora Nacional, São Paulo**, p. 484-503.

VERESHCHAKA, A.L., 2000. Revision of the genus *Sergia* (Decapoda: Dendrobranchiata: Sergestidae): taxonomy and distribution. **Galathea Report**, 18, 69-207.

VIANA M.S.S & RICHTER M. 1999. Original biomineralization observed in fishes of the Santana Formation (Lower Cretaceous of the Araripe Basin, NE-Brazil). **Acta Geológica Leopoldensia**, 21(46/47): 91-100.

WEBER, F., 1795. Nomenclator entomologicus secundum entomologiam systematicam. Fabricii, adjectis speciebus recens detectis et varietatibus.

4 RESULTADOS

4.1 Capítulo 1 - O estudo de camarões fósseis no Brasil

The Study of Fossil Shrimps in Brazil

*submetido para anuário do Instituto de Geociência da UFRJ (2021, no Prelo).

Olga Alcântara Barros¹, Maria Somália Sales Viana², João Hermínio da Silva³, Antônio Álamo Feitosa Saraiva⁴, Paulo Victor de Oliveira⁵

¹Universidade Federal do Ceará (UFC), Departamento de Geologia, Programa de Pós-graduação em Geologia, Fortaleza - CE, olga.a.barros@gmail.com. ²Universidade Estadual Vale do Acaraú (UVA) Laboratório de Paleontologia, Museu Dom José, Sobral-CE. somalia_viana@hotmail.com. ³ Universidade Federal do Cariri (UFCA), Campus de Juazeiro do Norte - CE, herminio.silva@ufca.edu.br. ⁴Universidade Regional do Cariri (URCA), Laboratório de Paleontologia, Campus do Pimenta, Crato-CE, alamocariri@yahoo.com.br. ⁵Universidade Federal do Piauí (UFPI), Laboratório de Paleontologia, Campus Senador Helvídio Nunes de Barros, Picos-PI.

Resumo

Este trabalho apresenta o estado da arte acerca do estudo com camarões fósseis encontrados em bacias sedimentares brasileiras, pontuando as ocorrências no espaço e no tempo geológico. O registro de camarões fósseis no Brasil restringe-se às bacias do Tucano (Formação Marizal - Aptiano), do Araripe (Formações Crato, Ipubi e Romualdo – Aptiano) e Taubaté (Formação Tremembé – Oligoceno). A lista dos táxons descritos totaliza doze espécies para o intervalo de tempo do Cretáceo Inferior ao Paleógeno oriundas de sistemas aquáticos com diferentes níveis de salinidade e estresse hídrico. Espera-se que este trabalho possa ser uma ferramenta de estímulo às pesquisas futuras, uma vez que sumariza informações preciosas sobre estes indivíduos fósseis.

Palavras-chave: Crustáceos; Paleógeno; Cretáceo

Abstract

This research presents the state of the art of the study with fossil shrimp found in Brazilian sedimentary basins, punctuating the occurrences in space and geological time. The registration of fossil shrimp in Brazil is restricted to the basins Tucano (Marizal Formation - Aptiano), Araripe (Crato, Ipubi, and Romualdo - Aptiano), and Taubaté (Tremembé - Oligocene Formation). The list of described taxon totals twelve species for the time interval of the Lower Cretaceous and Paleogene, originating from aquatic systems with different levels of salinity and water stress. It is hoped that this work can be a tool to stimulate future research since it summarizes precious information about these fossil individuals.

Keywords: Crustaceans; Paleogene; Cretaceous

Introdução

Os crustáceos são encontrados em todas as profundidades nos diversos ambientes marinhos, salobros e de água doce sobre a Terra. São organismos dominantes em ecossistemas subterrâneos aquáticos (Brusca & Brusca, 2011) e, dentre eles, destaca-se aqui o grupo dos camarões, objeto de estudo desta pesquisa.

Os camarões são divididos em duas Subordens: Dendrobranchiata (com as superfamílias Sergestoidea e Penaeoidea) e Pleocyemata (com as infraordens Stenopodidea e Caridea) (Farfante, 1988). No Brasil, os camarões fósseis estão representados pela infraordem Caridea, superfamília Penaeoidea e Sergestoidea (famílias Luciferidae e Sergestidae) (Figura 1).

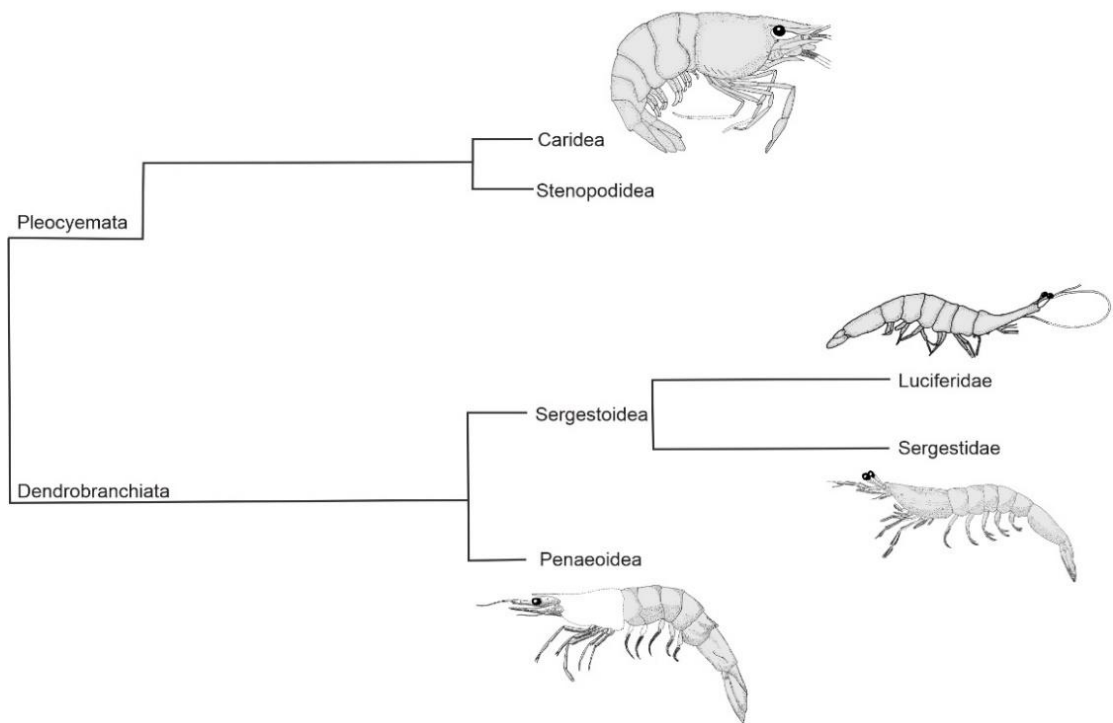


Figura 1 Subdivisões do grupo de Camarões. Desenhos evidenciando os quatro grupos que possuem representantes fósseis no Brasil.

A preservação de camarões é difícil de ocorrer no registro fossilífero, pois, decompõem-se rapidamente (Feldmann & Pole, 1994). Além disso, devido às condições diagenéticas, sua preservação é extremamente rara e, quando ocorre, detalhes anatômicos mais delicados normalmente são perdidos ou ficam mal preservados, dificultando a identificação dos táxons (Garassino & Teruzzi, 1996). Por isso, nos locais onde há registro fossilífero de camarões, condições muito raras e especiais de fossilização no momento da sedimentação, como anoxia e fosfato amorfo para substituir a matéria orgânica, podem acrescentar dados esclarecedores sobre a paleoecologia desses animais (Barros et al., 2019; Oliveira et al., 2015).

No Brasil, o estudo de camarões fósseis é pontual e relativamente escasso até meados dos anos 2000. As primeiras publicações datam dos anos de 1940 e 1950, e entre este último e o ano de 1990 inexistem trabalhos na literatura. O interesse pelos fósseis desses crustáceos tornou-se mais frequente a partir da primeira década do século XXI, com os trabalhos de Santana *et al.* (2013), Pinheiro *et al.* (2014); Saraiva *et al.* (2018), Alencar *et al.* (2018, 2020) e Prado *et al.* (2019). O que foi possível devido à realização de coletas sistemáticas nas

formações Crato e Romualdo, da Bacia do Araripe, evidenciando a potencialidade paleontológica desses invertebrados nos afloramentos cretácicos da região, em particular àqueles localizados no estado do Ceará. Ao longo dos anos, camarões fósseis também foram encontrados no Cretáceo e Oligoceno das Bacias do Tucano (Formação Marizal) e de Taubaté (Formação Tremembé), respectivamente.

Neste trabalho apresenta-se o estado da arte referente ao estudo dos camarões fósseis no Brasil, contendo informações detalhadas de todas as espécies formalmente descritas para o intervalo Cretáceo – Paleógeno.

2 Material & Métodos

A execução da pesquisa pautou-se em três etapas, a saber: levantamento bibliográfico dos artigos científicos, estudo e análise das publicações com tabulação dos dados e por último, a confecção de desenhos e mapa.

O levantamento bibliográfico baseou-se em trabalhos científicos publicados no decorrer de 80 anos, desde os primeiros achados no ano de 1940 até o ano de 2020, considerando-se nesta etapa, desenhos esquemáticos, fotos dos exemplares fósseis e imagens dos espécimes descritos. Para isto, foram consultadas bases de dados digitais de plataformas como *The World Geographic Reference System (GEOREF database)*, portal de periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (portal CAPES), *Google* acadêmico, Biblioteca Nacional Digital (Fundação Biblioteca Digital), além de consultas à repositórios acadêmicos como o da Universidade Federal do Ceará (UFC), e aos acervos bibliográficos particulares de alguns autores.

Durante a segunda etapa, os dados obtidos na etapa anterior foram listados e tabulados visando observar a distribuição temporal e espacial do grupo em estudo. Desta forma, foi possível reunir de forma cronológica os registros de cada unidade litoestratigráfica, apresentando respectivamente, os táxons, seus ambientes deposicionais e idades.

Na terceira etapa, os desenhos esquemáticos dos táxons listados foram confeccionados com auxílio de uma mesa digitalizadora de desenho (*Parblo A610, Graphic tablet*) a partir das informações constantes nas publicações, enquanto para a criação do mapa de localização das bacias sedimentares utilizou-se o *software Qgis3*, o sistema de coordenadas geográficas (Datum, SIRGAS 2000) e as bases cartográficas do Instituto Brasileiro de Geografia e

Estatística (IBGE) para o ano de 2017 e da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais do Serviço Geológico do Brasil (CPRM).

3 Resultados e Discussão

O registro de camarões fósseis no Brasil distribui-se em apenas três bacias sedimentares: Bacia do Tucano (Formação Marizal, Cretáceo Inferior); Bacia do Araripe (Formações Crato, Ipubi e Romualdo, Cretáceo Inferior); e Bacia de Taubaté (Formação Tremembé, Paleógeno). A localização geográfica das referidas bacias é ilustrada na figura 2.

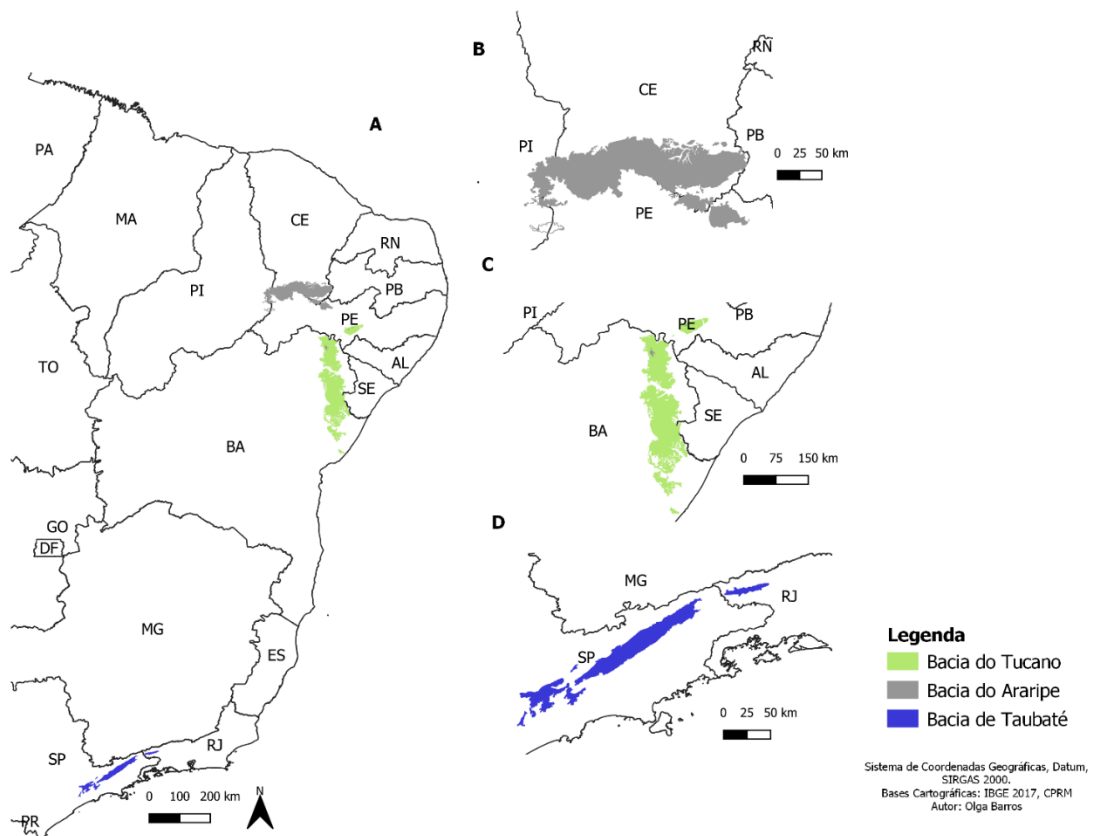


Figura 2 Mapa parcial do Brasil, com localização das bacias sedimentares brasileiras que possuem registro fóssilífero de camarão (A). Mapas com destaques para a Bacia do Araripe (B), Bacia do Tucano (C) e Bacia de Taubaté (D).

O primeiro achado de camarões fósseis no Brasil foi datado em 1940 por Mathias Gonçalves de Oliveira Roxo, primeiro paleontólogo brasileiro nato. O material fossilífero proveniente da Fazenda Quatis, Município de Bom Conselho, Estado da Bahia, foi o primeiro material de Caridea encontrado no Brasil e na América do Sul. Estes fósseis provavelmente eram representantes das famílias Atyidae e Palaemonidae, contudo, seriam imprescindíveis a realização de novas coletas para permitir um estudo detalhado a nível taxonômico (Roxo, 1940).

Este material foi posteriormente reestudado por Beurlen (1950) que o descreveu registrando as espécies *Atyoida roxoi* Beurlen, 1950 e *Palaemon bahiaensis* Beurlen, 1950, ambas oriundas de camadas amarelas, constituídas de argilas finas e de provável idade cretácea e origem lacustre. No entanto, ao contrário de Roxo (1940), Beurlen (1950) afirma que o material é oriundo da Fazenda Quatis, no município de Cícero Dantas, também na Bahia [Formação Marizal (Aptiano), Bacia do Tucano]. A mesma publicação traz ainda a descrição da espécie *Atyoida tremembeensis* Beurlen, 1950, encontrada em uma camada também de origem lacustre, mas procedente da Mina Nossa Senhora da Guia, no Município de Tremembé, Estado de São Paulo [Formação Tremembé (Paleógeno), Bacia de Taubaté]. Os espécimes fósseis descritos por Beurlen (1950) basearam-se em desenhos esquemáticos desprovidos tanto de escalas de medidas quanto de imagens do próprio fóssil no artigo. Tratam-se de descrições válidas, mas carentes de detalhes quanto a menção e mensuração de estruturas anatômicas importantes.

Infelizmente o estudo dos camarões fósseis brasileiros só foi retomado na década de 1990, quando Martins-Neto & Mezzalira (1991a), em trabalho de revisão taxonômica do material estudado por Beurlen, perceberam que as espécies não se enquadravam nos gêneros propostos, classificando-as como: *Pseudocaridinella tremembeensis* (Beurlen, 1950), *Pseudocaridinella roxoi* (Beurlen, 1950) e *Bechleja bahiaensis* (Beurlen, 1950) (Figura 3A). Ademais, acrescentaram a descrição de novas taxa para o topo da Formação Tremembé: *Bechleja robusta* Martins-Neto & Mezzalira, 1991 (ocorrente na fazenda Santa Fé, bairro de Padre Eterno, Tremembé, Estado de São Paulo) e *Propalaemon longispinata* Martins-Neto & Mezzalira, 1991 (ocorrente no marco 11 da estrada que une a Rodovia Presidente Dutra à cidade de Campos do Jordão, Estado de São Paulo) (Figuras 3 B e C). Posteriormente, Martins-Neto (1998) acrescentou novas considerações sobre a morfologia de *Bechleja robusta*.

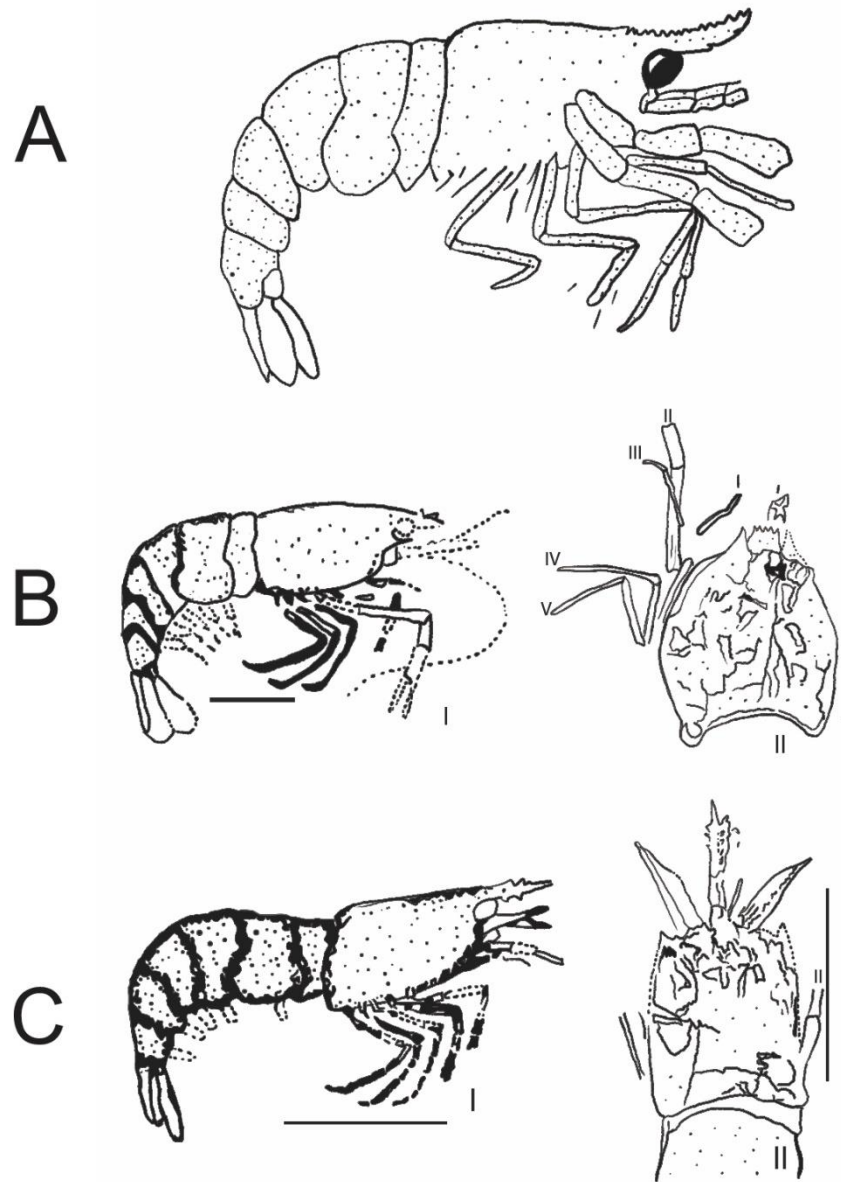


Figura 3 A) *Bechleja bahiaensis* (Beurlen, 1950); B) *Bechleja robusta*, vista lateral (I) e dorsal (II); C) *Propalaemon longispinata*, vista lateral (I) e dorsal (II). Modificado de Beurlen (1950) e Martins-Neto & Mezzalira (1991a). Escalas: (A) não possui no artigo original, (B) e (C) 5 mm.

Schweitzer *et al.* (2019) com base em novo material substituíram o gênero *Pseudocaridinella*, por *Bahiacaris*, colocando a espécie *Bahiacaris roxoi* (Beurlen, 1950) como um dos membros mais antigos da Família Palaemonidae Rafinesque (1815).

Para estes autores, a diferenciação original feita por Martins-Neto & Mezzalira, 1991a de *Pseudocaridinella tremembeensis* e de *Pseudocaridinella roxoi* baseou-se em características gerais, como, por exemplo em *Pseudocaridinella roxoi*, o segundo somito abdominal é mais

largo e o segundo pereiópode é mais delicado. Ademais, a diferença de idade de cerca de 90 milhões de anos, sugeria que essas duas espécies não eram congêneres (Figura 4).

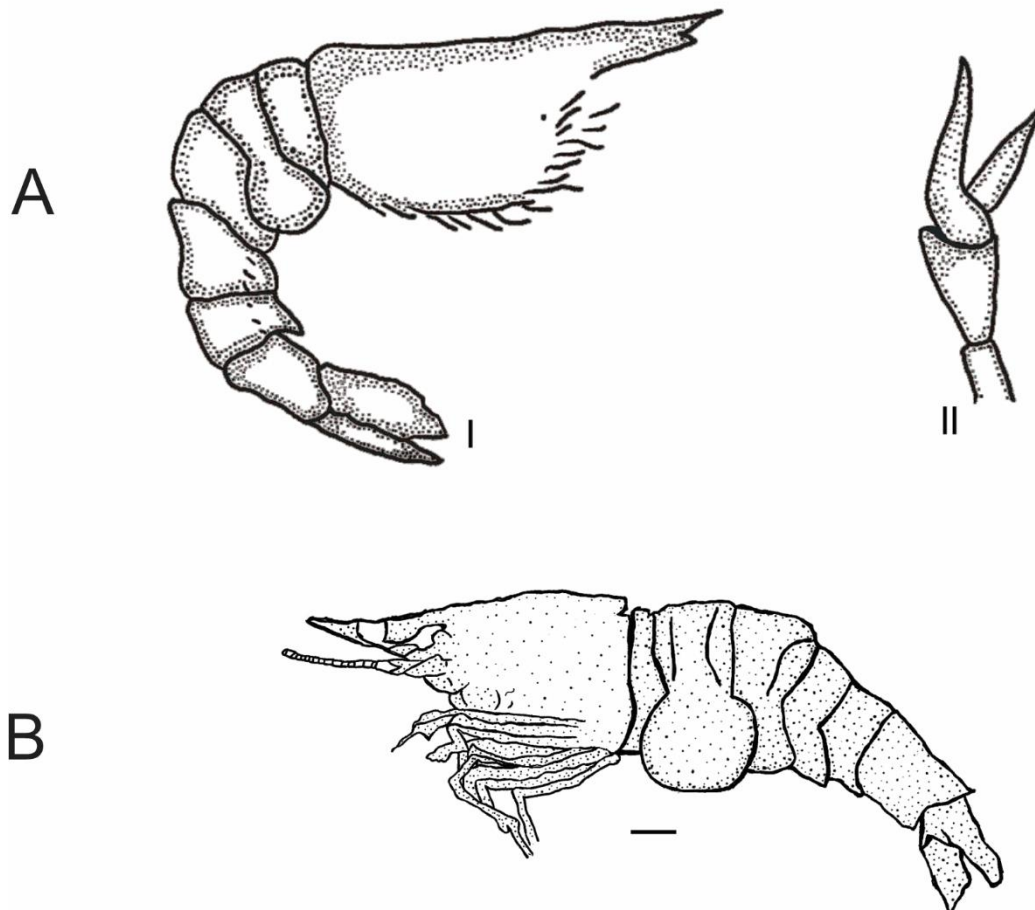


Figura 4 A) *Pseudocaridinella tremembeensis*, Holótipo (I) e Parátipo (II) de uma quela desta espécie; B) *Bahiacaris roxoi* (Beurlen, 1950). Modificado de Beurlen (1950) e Schweitzer *et al.* (2019). Escalas: A (I, II) não possuem no artigo original, (B) 1mm.

Os gêneros *Propalaemon* e *Pseudocaridinella* foram agrupados atualmente na família Palaemonidae (De Grave *et al.*, 2009), contudo, a história da espécie *Pseudocaridinella roxoi* é bastante complexa. Para Schweitzer *et al.*, 2019 seria improvável que Beurlen (1950) tenha estudado os espécimes originalmente encontrados por Roxo (1940), (estes exemplares estão depositados no Museu Nacional de História Natural dos Estados Unidos e para mais detalhes, ver Schweitzer *et al.*, 2019).

Segundo Schweitzer *et al.*, 2019, Beurlen (1950) provavelmente estudou outros exemplares que estavam depositados no Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil, e que

possivelmente eram da mesma espécie e formação do material encontrado por Roxo (1940). Segundo Schweitzer *et al.*, 2019, atualmente este material analisado por Beurlen (1950) encontra-se depositado no DNPM do Rio de Janeiro (Departamento Nacional de Produção Mineral) e foi estudado novamente por Martins-Neto e Mezzalira, 1991a.

Além do trabalho de Martins-Neto & Mezzalira (1991a), outros dois marcaram a década de 1990: Martins-Neto & Mezzalira (1991b) publicaram a descoberta de um material parcialmente completo oriundo das camadas lacustres da Formação Crato, classificado como *Beurlenia araripensis* Martins-Neto & Mezzalira, 1991, pertencente à família Palaemonidae; e Maisey & Carvalho (1995) reportaram novas características morfológicas para *Beurlenia araripensis*, mas questionaram sua colocação na família Palaemonidae. Além disso, descreveram *Paleomattea deliciosa* Maisey & Carvalho, 1995, espécie encontrada em concreções da Formação Romualdo. No mesmo ano, a presença da família Sergestidae, foi mencionada para os níveis de folhelhos da Formação Romualdo por Viana & Agostinho (1995).

Assim como Maisey & Carvalho (1995), Martill *et al.* (2007) após revisarem os materiais descritos até o momento como pertencentes à *Beurlenia araripensis*, também questionaram sua colocação na família Palaemonidae devido à falta de caracteres preservados, como por exemplo, a ausência de espinhos laterais na extremidade do telson.

A partir de novos materiais de *Beurlenia araripensis* e *Paleomattea deliciosa*, Saraiva *et al.* (2009) confirmaram a inclusão de *Beurlenia araripensis* em Palaemonidae com base em características morfológicas não descritas encontradas em *Paleomattea deliciosa*. Santana *et al.* (2013) descreveram *Kellnerius jamacaruensis* Santana, Pinheiro, Silva & Saraiva, 2013, preservado em uma concreção da Formação Romualdo (Figura 5).

Entre os anos de 2014 a 2019 surgiram espécimes inéditos oriundos das camadas da Formação Romualdo, culminando com a descrição de quatro novas espécies: *Araripenaeus timidus* Pinheiro, Saraiva & Santana, 2014, *Sume marcosi* Saraiva, Pinheiro & Santana, 2018, *Priorhyncha feitosai* Alencar, Pinheiro, Saraiva, Oliveira & Santana, 2018, e *Cretainermis pernambucensis* Prado, Calado, Barreto, 2019 (ver Pinheiro *et al.*, 2014; Saraiva *et al.*, 2018; Alencar *et al.*, 2018; Prado *et al.*, 2019). No ano seguinte, Alencar *et al.* (2020) encontraram novas características morfológicas em *Paleomattea deliciosa* e *Araripenaeus timidus*, também a partir de novos exemplares (Figura 5).

Barros *et al.* (2020) reportaram para os níveis de folhelhos escuros da Formação Ipubi a ocorrência de camarões carídeos prospectados abaixo do nível de gipsita, coletados em

Araripina, Estado de Pernambuco. Os espécimes encontrados estavam parcialmente completos e com acentuadas feições diagenéticas que dificultaram a identificação taxonômica. No entanto, a presença desses decápodos no nível estratigráfico supracitado mostra-se relevante, por ser a primeira ocorrência neste nível de folhelho (Figura 5).

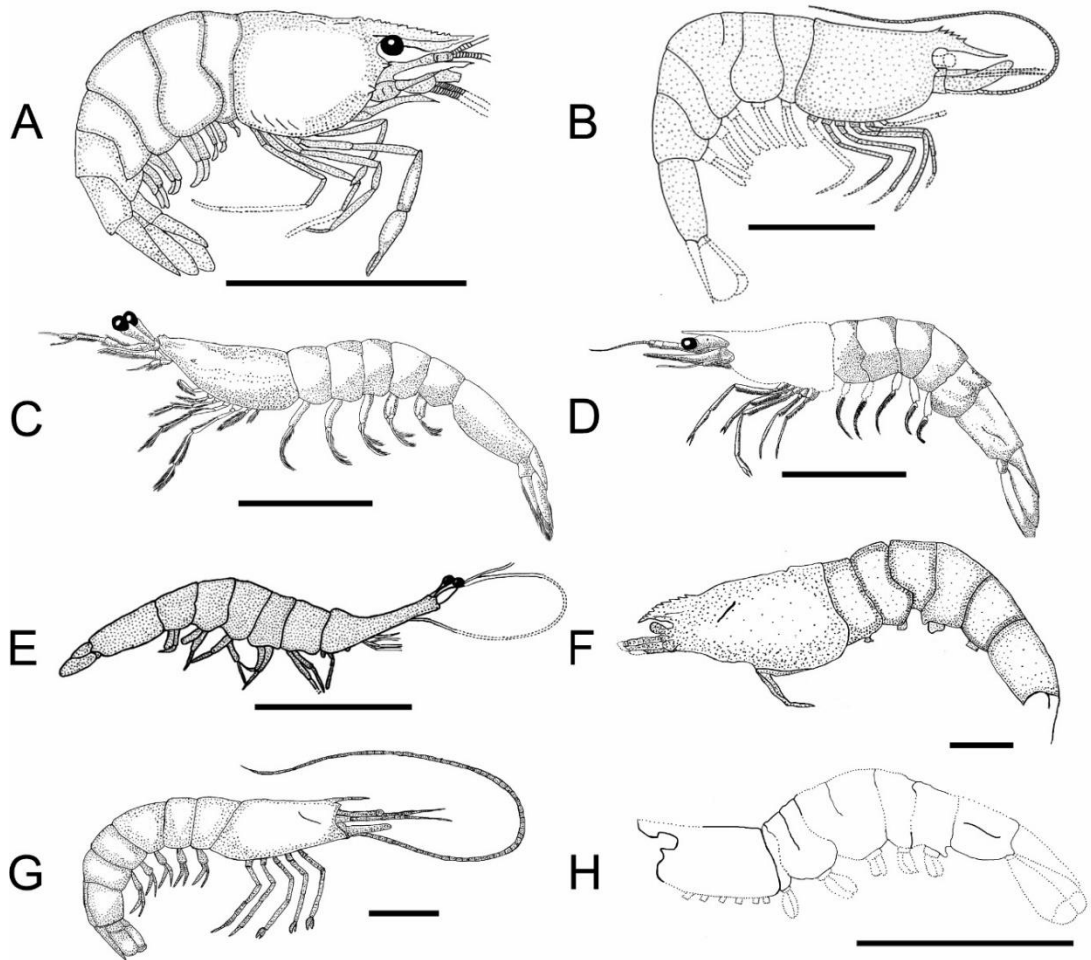


Figura 5 A) *Beurlenia araripensis*, B) *Kellnerius jamacaruensis*, C) *Paleomattea deliciosa*, D) *Araripenaeus timidus*, E) *Sume marcosi*, F) *Priorhyncha feitosai*, G) *Cretainermis pernambucensis*, H) *Caridea* LPU -0918A. Modificados de Santana *et al.* (2013), Saraiva *et al.* (2018, 2019), Alencar *et al.* (2018, 2020), Pinheiro *et al.* (2014), Prado *et al.* (2019) e Barros *et al.* (2020). Escalas: (A) 11 mm, (B) e (C) 5 mm, (D), (E) e (F) 5mm, (G) 1mm, (H) 10mm.

Barros *et al.* (2021, no prelo) com base em novos exemplares de *Beurlenia araripensis* estão reportando novas características preservadas no fóssil, e mostrarão a provável plasticidade

morfológica observada na variação da quantidade de espinhos rostrais como ocorrem nas espécies existentes de *Macrobrachium* Bate, 1868 e *Palaemon* Weber, 1795, bem como, a confirmação da inclusão em Palaemonidae, anteriormente questionada por Maisey & Carvalho (1995) e Martill *et al.* (2007) como consequência de novas observações preservadas que se enquadram para essa família.

Diante do exposto, os táxons encontrados nas referidas bacias são listados na tabela abaixo (Tabela 1).

Classe Malacostraca			
Ordem Decapoda			
Subordem	Infraordem	Família	Espécie
Pleocyemata	Caridea	Palaemonidae	<i>Bechleja bahiaensis</i> (Beurlen, 1950) Sin.: <i>Palaemon bahiaensis</i> Beurlen, 1950 <i>Bechleja robusta</i> Martins-Neto & Mezzalira, 1991 <i>Beurlenia araripensis</i> Martins-Neto & Mezzalira, 1991 <i>Bahiacaris roxoi</i> (Beurlen, 1950) Sin.: <i>Atyoida roxoi</i> Beurlen, 1950 e <i>Pseudocaridinella roxoi</i> Beurlen, 1950 <i>Pseudocaridinella tremembeensis</i> (Beurlen, 1950) Sin.: <i>Atyoida tremembeensis</i> Beurlen, 1950 <i>Propalaemon longispinata</i> Martins-Neto & Mezzalira, 1991
		Palaemonidae?	<i>Kellnerius jamacaruensis</i> Santana, Pinheiro, Silva & Saraiva, 2013
Dendrobranchiata		Luciferidae	<i>Sume marcosi</i> Saraiva, Pinheiro & Santana, 2018
		Solenoceridae	<i>Priorhyncha feitosai</i> Alencar, Pinheiro, Saraiva, Oliveira & Santana, 2018
		Sergestidae	<i>Paleomattea deliciosa</i> Maisey & Carvalho, 1995
		Incerta	<i>Araripenaeus timidus</i> Pinheiro, Saraiva & Santana, 2014 <i>Cretainermis pernambucensis</i> Prado, Calado & Barreto, 2019

Tabela 1 Listagem dos táxons de camarões fósseis no Brasil.

Na tabela 2, observa-se que a família Palaemonidae é a mais diversa no registro fossilífero, com três espécies no Cretáceo e três no Paleógeno, preservadas em diferentes níveis estratigráficos (folhelho escuro, siltitos e calcário laminado).

Família	Espécie	Bacia	Formação	Estratigrafia	Período	Amb. deposicional
Palaemonidae	<i>Bahiacaris roxoi</i>	Tucano	Marizal	Siltitos	Cretáceo	Lagunar
	<i>Bechleja robusta</i>	Taubaté	Tremembé	Folhelhos escuros	Paleógeno	Água doce
	<i>Beurlenia araripensis</i>	Araripe	Crato	Calcário laminado	Cretáceo	Não marinho
	<i>Bechleja bahiaensis</i>	Tucano	Marizal	Folhelhos escuros	Cretáceo	Água doce)
	<i>Propalaemon Longispinata</i>	Taubaté	Tremembé	Folhelhos escuros	Paleógeno	Água doce
	<i>Pseudocaridinella tremembeensis</i>	Taubaté	Tremembé	Folhelhos escuros	Paleógeno	Água doce
Palaemonidae?	<i>Kellnerius jamacaruensis</i>	Araripe	Romualdo	Concreção carbonática	Cretáceo	Lagunar
Sergestidae	<i>Paleomattea deliciosa</i>	Araripe	Romualdo	Concreção carbonática	Cretáceo	Lagunar
Solenoceridae	<i>Priorhyncha feitosa</i>	Araripe	Romualdo	Concreção Carbonática	Cretáceo	Lagunar
Luciferidae	<i>Sume marcosi</i>	Araripe	Romualdo	Folhelho carbonático	Cretáceo	Lagunar
Incerta	<i>Araripenaeus timidus</i>	Araripe	Romualdo	Concreção carbonática	Cretáceo	Lagunar
	<i>Cretainermis pernambucensis</i>	Araripe	Romualdo	Concreção Carbonática	Cretáceo	Lagunar

Tabela 2 Espécies de camarões fósseis descritas para o intervalo de tempo Cretáceo – Paleógeno no Brasil.

A distribuição desta família nos demais períodos geológicos, em nível global, é dificultada pela escassez e descontinuidade do seu registro (Feldmann & Schweitzer, 2006). Carídeos fósseis ainda são mencionados no Cretáceo e Paleógeno ocupando a Europa, Ásia, América do Norte, América Central (Feldmann *et al.*, 1981; Garassino *et al.*, 2002, 2013; Garassino & Teruzzi, 1996). São poucas as localidades com fósseis de decápodes descritos no Hemisfério Sul, provavelmente devido à relativa escassez de estudos, principalmente se comparados aos do Hemisfério Norte (Feldmann & Schweitzer, 2006).

Ao analisar o levantamento das publicações brasileiras aqui apresentado, nota-se que à medida que novos exemplares com um melhor grau de preservação são encontrados, novas características morfológicas são discutidas, possibilitando revisões e melhor refinamento quanto a classificação taxonômica e sistemática, como por exemplo, nas revisões das descrições das espécies: *Beurlenia araripensis*, *Paleomattea deliciosa*, *Araripenaeus timidus* e *Bahiacaris roxoi*.

O trabalho de revisão dos táxons realizado por Martins-Neto & Mezzalira (1991) na década de 1990 baseou exclusivamente em descrições, desprovidos de imagens ou desenhos esquemáticos das espécies originalmente analisadas por Beurlen, 1950. Após o reexame do material descrito por Beurlen (1950), os autores efetuaram a revisão dos gêneros anteriormente propostos e incluíram a publicação de novas espécies. O estudo destes crustáceos fósseis toma novo impulso a partir da segunda década do século XXI, provavelmente devido ao aumento na frequência dos trabalhos de campo nos afloramentos cretácicos da Bacia do Araripe.

Considerando o estudo de camarões atuais, os carídeos apresentam grande diversidade tanto em relação ao seu habitat, quanto em relação a sua morfologia (Murphy & Austin, 2003). A família Palaemonidae, que atualmente encontra-se distribuída nos ambientes marinhos, estuarinos e de água doce (Murphy & Austin, 2003), em seu ciclo de vida e reprodução, apresenta algumas espécies que vivem como adultos em água doce, mas possuem um desenvolvimento larval dependente de águas com maior teor de salinidade, esta dependência fisiológica de águas salobras restringe a distribuição dessas espécies a rios que fluem diretamente para o oceano (Bueno & Mossolin, 2002).

Em relação aos camarões Dendrobranchiata, a grande maioria, pelo menos em alguma parte do seu ciclo de vida, vive na água do mar ou em estuários (águas salobras), com apenas algumas exceções de Sergestídeos que são encontrados exclusivamente em água doce (Holthuis *et al.*, 1998).

A presença dos dois tipos de camarões Dendrobranchiata e Caridea na Formação Romualdo pode ser explicada pelo ambiente transicional de deposição desta unidade com características lagunares e marinhas, conforme corroborado pela maioria dos autores como Santos & Valença (1968), Beurlen (1971), Assine (1992) e Arai (2001). Este fator atesta a hipótese de que a referida formação, nos níveis em que ocorrem os camarões, continha aporte de água suficiente e favorável a existência de um ambiente transicional [estuarino].

Carídeos são mencionados para os níveis de calcários laminados da Formação Crato, que corresponde a um ambiente deposicional de sequência lacustre rasa. Na Formação Ipubi, os carídeos são mencionados para os folhelhos escuros, localizados abaixo do nível de gipsita, esta camada corresponde a um ambiente de sequência lacustre com constantes evaporações, esta condição acarreta em um ambiente mais salino e por consequência promove um maior estresse hídrico para as espécies que ali viviam.

Em relação aos Caridea mencionados para a Formação Marizal, que corresponde a um ambiente fluvial entrelaçado de rio grande e associado a deltas (Silva, 2007; Freitas, 2014), atesta a hipótese que estes indivíduos viviam em sua fase de desenvolvimento dependente de águas com maior teor de salinidade, restringindo a sua distribuição em rios que fluem diretamente para o oceano (Bueno & Mossolin, 2002).

Carídeos ainda foram mencionados para a Formação Tremembé, que são camadas sedimentares interpretadas como de origem lacustre, indicando uma fase úmida e com rica precipitação pluvial que se alternam diversas vezes na coluna geológica e por consequência, interpretadas em fácies geológicas de clima semiárido (Paula Couto & Mezzalira, 1971; Riccomini *et al.*, 1987). Diante desta realidade, estes indivíduos viveram em ecossistemas com diferentes índices de salinidade e estresse hídrico, outrora com rica precipitação fluvial, adaptando-se aos níveis de tolerância à salinidade, observados pelos espécimes encontrados nos variados ambientes de deposição.

4 Conclusões

O estudo de camarões no Brasil desenvolveu-se notavelmente a partir da segunda década de 2000, devido às coletas realizadas principalmente na Bacia do Araripe.

A listagem realizada neste trabalho mostra-se relevante para sumarizar uma ferramenta de fácil estudo e consulta sobre os camarões fósseis publicados nas bacias brasileiras até a presente data. O conhecimento acerca dos fósseis de crustáceos no Brasil ainda é escasso tendo em vista a vasta quantidade de terrenos sedimentares onde este material fossilífero pode ser encontrado. Fósseis de camarões no Brasil ainda são elementos raros em comparação aos demais grupos de invertebrados fósseis. Ademais, a qualidade de conservação é muito precária devido a intensa ação dos processos diagenéticos que dificultam muitas vezes a identificação taxonômica dos espécimes.

As informações reunidas e aqui apresentadas acerca da paleontologia dos camarões no Brasil podem ser valiosas para uma melhor compreensão da taxonomia e da história evolutiva do grupo. Os dados obtidos mostram a família Palaemonidae como a mais diversa no registro fossilífero nas bacias sedimentares brasileiras, composta pelos gêneros *Beurlenia* e *Kellnerius* (Formações Crato e Romualdo - Bacia do Araripe) e o gênero *Bechleja* (Formação Marizal - Bacia do Tucano e Formação Tremembé - Bacia de Taubaté) e conclusivamente viveu no

Paleógeno e Cretáceo no Brasil em sistemas aquíferos com diferentes níveis de salinidade e estresse hídrico.

Em conclusão pode-se mencionar que, uma revisão taxonômica de algumas espécies publicadas seria necessária, como é o caso de *Pseudocaridinella tremembeensis*, uma vez que a descrição e revisão da espécie foi baseada em características gerais de identificação, bem como, a ausência de desenhos esquemáticos com referidas escalas, ou uma visualização fotográfica do fóssil original não foram inclusas no artigo. Neste contexto, este trabalho pode representar uma ferramenta para estimular novas pesquisas com este grupo fóssil, uma vez que pontua informações preciosas sobre a taxonomia e a paleoecologia deste grupo que viveu no passado e comumente enriquecerá a compreensão do seu modo de vida no futuro, através de estudos em carídeos atuais.

5 Referências

- Alencar, D.R.; Oliveira, G.R.; Pinheiro, A.P. & Saraiva, A.Á.F. 2020. New findings on Dendrobranchiata fossils of the Romualdo Formation, Araripe Basin, Northeast of Brazil. *Zootaxa*, 4731(1): 63-74.
- Alencar, D.R.; Pinheiro, A.P.; Saraiva, A.Á.F., Oliveira, G.R. & Santana, W. 2018. A new genus and species of Solenoceridae (Crustacea, Decapoda, Dendrobranchiata) from the Cretaceous (Aptian/Albian) of the Araripe Sedimentary Basin, Brazil. *Zootaxa*, 4527(4): 494.
- Arai, M.C. 2001. Análise paleoecológica do registro das primeiras ingressões marinhas na Formação Santana (Cretáceo Inferior da Chapada do Araripe). *In: I E II SIMPÓSIO SOBRE A BACIA DO ARARIPE E BACIAS INTERIORES DO NORDESTE*. Gráfica Editora Tipogresso, p. 248.
- Assine, M.L. 1992. Análise estratigráfica da Bacia do Araripe, nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, 22(3): 289-300.
- Barros, O.A.; Silva, J. H.; Saraiva, G. D.; Viana, B. C.; Paschoal, A. R.; Freire, P.T.C. & Viana, M.S. 2019. Physicochemical investigation of shrimp fossils from the Romualdo and Ipubi formations (Araripe Basin). *PeerJ*, 7, e6323.
- Barros, O.A.; Viana, M.S.S.; Saraiva, A.Á.F. & Silva, J.H. 2020. The first occurrence of fossil shrimps (Crustacea, Decapoda) in the Ipubi Formation (Lower Cretaceous, Araripe Basin).

Research, Society and Development, 9(8).

- Barros, O.A.; Viana, M.S.S.; Viana B.C.; Silva, J.H.; Paschoal, A.R.; Oliveira, P.V. 2021. (no prelo). New data on *Beurlenia araripensis* Martins-Neto & Mezzalira, 1991, a lacustrine shrimp from Crato Formation, Early Cretaceous of the Araripe Basin, northeastern Brazil, and its morphological variations based on the shape and the number of rostral spines. *PlosOne*.
- Beurlen, K. 1950. Alguns restos de crustáceos decápodes d'água doce fósseis no Brasil. *Anais da Academia Brasileira Ciências*, 22(4): 453-459.
- 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.
- Brito, I. 1979. *Bacias sedimentares e formações pós-paleozóicas do Brasil*, Rio de Janeiro, Interciência.
- Brusca, R. & Brusca, G. 2011. *Invertebrados*, Rio de Janeiro, Editora Guanabara-Koogan (org.) 2º ed, 1032p.
- Bueno, S.L.S. & Mossolin, E.C. 2002. Reproductive Biology of *Macrobrachium Olfersi* (Decapoda, Palaemonidae) in São Sebastião, Brazil. *Journal of Crustacean Biology*, 22(2): 367-376.
- De Grave, S.; Pentcheff, N.D.; Ahyong, S.T.; Chan, T.-Y.; Crandall, K.A.; Dworschak, P.C.; Felder, D.L.; Feldmann, R.M.; Fransen, C.H.J.M.; Goulding, L.Y.D.; Lemaitre, R.; Low, M.L.; Martin, J.W.; Ng, P.K.L.; Schweitzer, C.E.; Tan, S.H.; Tshudy, D.; Wetzer, R., 2009. A classification of Recent and fossil genera of decapod crustaceans. *The Raffles Bulletin of Zoology Supplement 21*: 1-109.
- Farfante, I. P.1988. Illustrated key to the penaeoid shrimps of commerce in the Americas. *NOAA/National Marine Fisheries Service*, 64: 32.
- Feldmann, R. & Schweitzer, C. E. 2006. Paleobiogeography of Southern Hemisphere Decapod Crustacea. *Journal of Paleontology*, 80(1), 83-103.
- Feldmann, R. M. & Pole, M. 1994. A new species of *Paranephrops* White, 1842: A fossil freshwater crayfish (Decapoda: Parastacidae) from the Manuherikia Group (Miocene), Central Otago, New Zealand. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 37(2): 163-167.
- Feldmann, R.M.; Grande, L.; Birkhimer, C.P.; Hannibal, J.T. & McCoy, D. L. 1981. Decapod fauna of the Green River formation (Eocene) of Wyoming. *Journal of Paleontology*, 55(4):

788-799.

- Freitas, B.T. 2014. *A Formação Marizal (Aptiano) na Bacia do Tucano (BA): contribuições à análise da arquitetura de depósitos fluviais e implicações paleobiogeográficas* (Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo).
- Garassino, A. & Teruzzi, G. 1996. The genera *Longitergite* nov. and *Bannikovia* nov. in the Lower Miocene of N Caucasus (Russia) (Crustacea, Decapoda). *Atti della Società Italiana di Scienze Naturali e del Museo Civico di Storia Naturale di Milano*, 136(1): 3-14.
- Garassino, A.; Vega, F. J.; Calvillo-Canadell, L.; Cevallos-Ferriz, S.R.S. & Coutiño, M.A. 2013. New decapod crustacean assemblage from the Upper Cretaceous (Cenomanian) of Chiapas, Mexico. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie - Abhandlungen*, 269(3): 261-270.
- Garassino, A.; Yanbin, S.; Schram, F.R. & Taylor, R.S. 2002. (Crustacea, Decapoda, Caridea) from the Lower Cretaceous of Zhejiang Province, China. *Bulletin of the Mizunami Fossil Museum*, 29(29): 73-80.
- Holthuis, L.B.; Farfante, I.P. & Kensley, B. 1998. Penaeoid and Sergestoid Shrimps and Prawns of the World. Keys and Diagnoses for the Families and Genera. *Journal of Crustacean Biology*, 18(3): 621.
- Maisey, J.G. & Carvalho, G.P. 1995. First records of fossil sergestid decapods and fossil brachyuran crab larvae (Arthropoda, Crustacea) with remarks on some supposed palaemonid fossils, from the Santana Formation (Aptian-Albian, NE Brazil). *American Museum Novitates*, 3132(3132): 1-20.
- Martill, D.M.; Bechly, G. & Loveridge, R.F. 2007. *The Crato Fossil Beds of Brazil: Window into an Ancient World*. Cambridge: Cambridge University Press, 625 p.
- Martins-Neto, R. & Mezzalira, S. 1991a. Revisão dos Palemonídeos Terciários Brasileiros (Crustacea, Caridea) com descrição de novos taxa. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*.
- Martins-Neto, R.G. & Mezzalira, S. 1991b. Descrição de novos crustáceos (Caridea) da Formação Santana Cretáceo Inferior do Nordeste do Brasil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 63(2): 155-160.
- Martins-Neto, R.G. 1998. Novos aportes ao conhecimento sobre a morfologia de *Bechleja robusta* Martins-Neto & Mezzalira 1991, crustáceo carídeo da Formação Tremembé, Oligoceno do Estado de São Paulo. *Revista Universidade Guarulhos, São Paulo*, 3(4): 14-

- 17.
- Martins-Neto, R.G., 2005. Estágio atual da paleoartropodologia Brasileira: hexápodes, miriápodes, crustáceos (Isopoda, Decapoda, Eucrustacea e Copepoda) e quelicerados, vol. 63. *Arquivos do Museu Nacional*, Rio de Janeiro: 471-494.
- Murphy, N.P. & Austin, C.M. 2003. Molecular taxonomy and phylogenetics of some species of Australian palaemonid shrimps. *Journal of Crustacean Biology*, 23(1): 169-177.
- Oliveira, N.C.; Silva, J. H.; Barros, O. A.; Pinheiro, A. P.; Santana, W.; Saraiva, A.A.F. & Paula, A.J. 2015. Large-field electron imaging and X-ray elemental mapping unveil the morphology, structure, and fractal features of a cretaceous fossil at the centimeter scale. *Analytical chemistry*, 87(19), 10088-10095.
- Paula Couto, C. & Mezzalira, S. 1971. Nova conceituação geocronológica de Tremembé, Estado de São Paulo, Brasil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 43 (suplemento): 473-488.
- Pinheiro, A.P.; Saraiva, A.Á.F. & Santana, W. 2014. Shrimps from the Santana Group (Cretaceous: Albian): new species (Crustacea: Decapoda: Dendrobranchiata) and new record (Crustacea: Decapoda: Caridea). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 86(2): 663-670.
- Prado, L.A.C.; Calado, T.C.S. & Barreto, A.M.F. 2019. New records of shrimps from the Lower Cretaceous Romualdo Formation, Araripe Basin, northeastern Brazil, with new taxa of Penaeoidea (Crustacea: Decapoda: Dendrobranchiata). *Cretaceous Research*, 99, 96-103.
- Riccomini, C. 1989. *O Rift Continental do Sudeste do Brasil*, Programa de Pós-graduação em Geologia Sedimentar, Universidade de São Paulo, Teses de Doutorado, 256 p.
- Riccomini, C.; Appi, C. J.; Freitas, E. D.; & Arai, M. 1987. Tectônica e sedimentação no sistema de rifts continentais da Serra do Mar (Bacias de Volta Redonda, Resende, Taubaté e São Paulo). *Simpósio de Geologia RJ-ES*, 1, 253-298.
- Sant'Anna, L. G. 1999. *Geologia, mineralogia e gênese das esmectitas dos depósitos paleogênicos do rift continental do sudeste do Brasil*, Programa de Pós-graduação em Mineralogia e Petrologia, Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado, 293 p.
- Santana, W.; Pinheiro, A.P.; Silva, C.M.R. & Saraiva, A.Á.F. 2013. A new fossil caridean shrimp (Crustacea: Decapoda) from the cretaceous (Albian) of the Romualdo Formation, Araripe Basin, northeastern Brazil. *Zootaxa*, 3620(2): 293-300.
- Santos, R.S. & Valença, J.G. 1968. A Formação Santana e sua paleoictiofauna. *Anais da*

Academia Brasileira de Ciências, 40: 339-360.

- Saraiva, A.Á.F.; Pinheiro, A.P. & Santana, W. 2018. A remarkable new genus and species of the planktonic shrimp family Luciferidae (Crustacea, Decapoda) from the Cretaceous (Aptian/Albian) of the Araripe Sedimentary Basin, Brazil. *Journal of Paleontology*, 92(3): 459-465.
- Saraiva, A.Á.F.; Pralon, B. & Gregati, R. 2009. Taxonomic remarks on Brazilian Cretaceous Decapoda from Araripe Basin, Brazil, and ecological inferences. *Gaea - Journal of Geoscience*, 5(2): 70-74.
- Schweitzer, C.E.; Feldmann, R.M.; Garassino, A.; Karasawa, H.; Schweigert, G., 2010. Systematic List of Fossil Decapod Crustacean Species, Crustaceana Monographs Brill, Leiden, 10, p. 222.
- Schweitzer, C.E.; Santana, W.; Pinheiro, A.P. & Feldmann, R. M. 2019. Redescription and illustration of caridean shrimp from the Cretaceous (Aptian) of Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 90: 70-75.
- Tsang, L. M.; Ma, K. Y.; Ahyong, S. T.; Chan, T.Y. & Chu, K. H. 2008. Phylogeny of Decapoda using two nuclear protein-coding genes: origin and evolution of the Reptantia. *Molecular phylogenetics and Evolution*, 48(1): 359-368.
- Viana, M.S.S. & Agostinho, S. 1995. Camarões do Membro Romualdo da Formação Santana (Cretáceo Inferior da Bacia do Araripe). In: BOLETIM DO 16^o SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE, 14(1), p. 239-243.

4.2 Capítulo 2 - First occurrence of fossil shrimps (crustacea, decapoda) in the Ipubi Formation (Lower Cretaceous, Araripe Basin)

*Artigo publicado na revista Research, Society and Development

Olga Alcântara Barros¹, Maria Somália Sales Viana², Antônio Álamo Feitosa Saraiva³, João Hermínio da Silva⁴
Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Ceará/UFC, ²Universidade Estadual Vale do Acaraú/UVA,
³Universidade Regional do Cariri/URCA, ⁴Universidade Federal do Cariri/UFCA

ABSTRACT

The Ipubi Formation of the Araripe Basin is an important gypsum reserve whose environment had resulted in the deposition of evaporites with narrow black shale lenses. The objective of the present work was to present the first occurrence of caridean for the dark shale levels of the Ipubi Formation. The specimen collected in the field and analyzed in the laboratory, although not achieving a detailed taxonomic determination, is a very important one because it is the first decapod crustacean found in this formation. We believe the specimen LPU-0918/A and B, is a caridean because of its second abdominal somite having a strongly rounded pleura in the base and it overlaps the first and the third. The knowledge about fossil shrimps is still sparse, and the information presented here can be valuable to the understanding of the evolutive history of the carideans.

Keywords: Crustacean; Caridea; Fossils; Santana Group; Gypsum layer.

INTRODUCTION

The Ipubi Formation, an intermediate unit of the Santana Group, composed of evaporites, interspersed by lenses of dark shales, deposited in a lacustrine environment with a semi-arid climate, and comprises lenses of evaporites (gypsum) and associated facies, forming a sedimentary section with a maximum thickness of 30m, interdigitated with grayish-green shales, carbonates, and fine sandstones. In the western portion of the basin, the unit is more developed, especially in the municipalities of Ipubi, Trindade, and Araripina (Assine et al., 2014). At levels of dark shales, fossil impressions of fish, plants, and ostracods are easily found (Barros et al., 2016).

Preservation of shrimps is difficult to occur in the fossil record, considering its susceptibility to decomposition (Feldmann & Pole, 1994).

Records of preserved shrimps in shales of the Santana Group were first reported by Viana & Agostinho (1995), positioned stratigraphically at the top of the Romualdo Formation, in the municipality of Santana do Cariri.

In the Santana Group (Romualdo and Crato Formations) it is possible to find these two units' several decapods: in the Crato Formation; *Beurlenia araripensis* is recorded in laminated limestones (Martins-Neto & Mezzalira, 1991); in the Romualdo Formation, six species of shrimps; *Paleomattea deliciosa*, *Kellnerius jamacaruensis*, *Araripenaeus timidus*, *Sumemarcosi*, *Priorhyncha feitosa*, *Cretainermis pernambucensis* (Maisey & Carvalho, 1995; Santana et al., 2013; Pinheiro et al., 2014; Saraiva et al., 2018; Alencar et al., 2018; Prado et al., 2019) and three crabs; *Araripecarcinus ferreirai*, *Exucarcinus gonzagai*, *Romualdocarcinus salesi* (Martins-Neto, 1987; Prado et al., 2018) were found in limestone concretions.

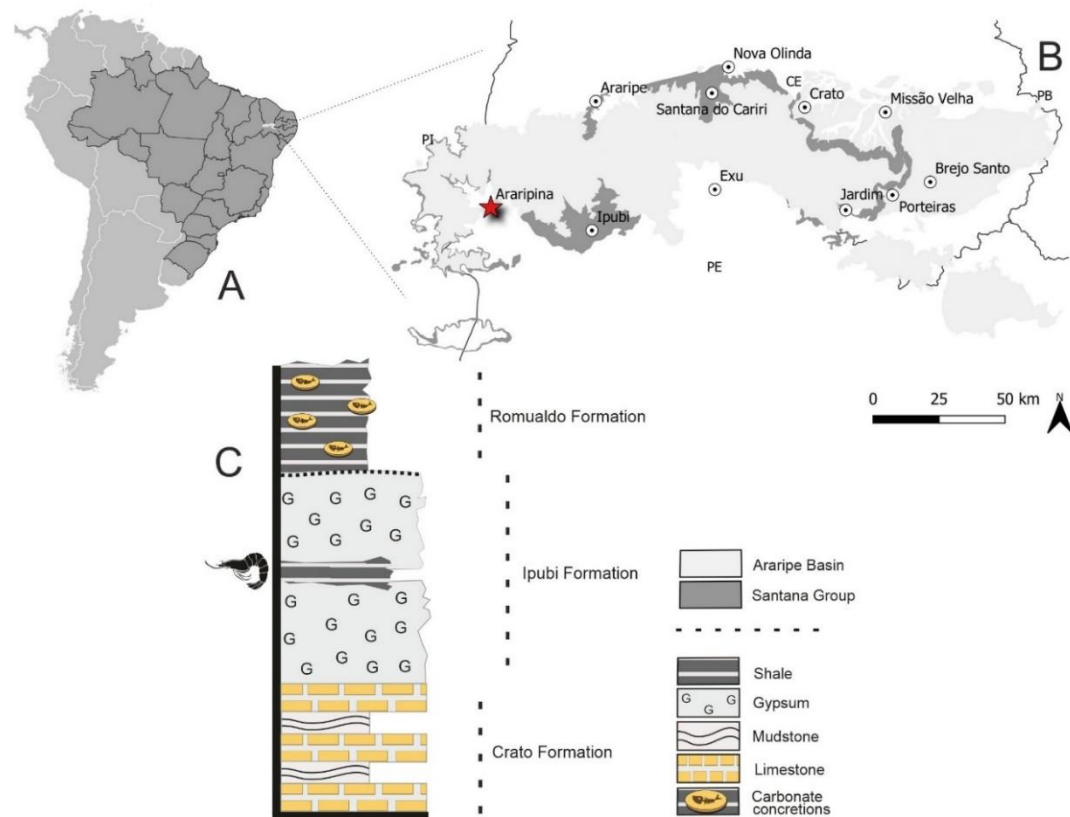
The Ipubi Formation crustaceans are known only by the group's conchostracan and ostracods (Coimbra et al., 2002; Hessel et al., 2006).

Little has been published on the paleontological layers of the Ipubi Formation. In this research the objective was to present the first occurrence of shrimps for the dark shale levels from the Ipubi Formation, incorporating a new taxonomic group for this stratigraphic level. This study began when it was found the first decapod crustaceans of the formation, a strong indication we will find new materials and, most likely, new species in this formation (see Oliveira et al., 2015; Barros et al., 2019).

MATERIAL AND METHODS

The material studied here was collected in a mining area of calcium sulfate (Rancharia mining), municipality of Araripina, Pernambuco State, 07°44'51.1" "S; 040°28'11.2" W, Ararape Basin of northeastern Brazil (Figure 1).

Figure 1. (A) Geographic location of the Araripe Basin, northeastern Brazil, (B) Featured in the Araripina city, locality of the collect the fossiliferous samples, (C) generalized lithological of the Santana Group with featured fossil shrimp in dark shales from Ipubi Formation.



Drawing: Olga A. Barros.

We collected the samples with the help of a backhoe for the extraction of a dark shale occurring below the gypsum layer.

It was deposited in the Laboratory of Paleontology (LPU) of the Universidade Regional do Cariri (URCA), the best-preserved shrimps with numbers LPU-0918/A, 0918/B, LPU-0303, LPU-0304, LPU-0306, and LPU-0307. We chose the sample 0918/A and 0918/B to carry out the description of the specimen because it has a better state of preservation when compared to the other specimens found at the same stratigraphic level.

In laboratory, mechanical preparations were made to the sample using a trinocular microscope, Olympus C011 and to capture the images the infinity capture program was used. The specimen was measured and illustrated using a stereomicroscope with a Camera Lucida and a drawing table, Parblo A610 – Graphic Tablet.

SYSTEMATIC PALAEOONTOLOGY

Subphylum CRUSTACEA Brünnich, 1772

Order DECAPODA Latreille, 1892

Suborder PLEOCYEMATA Burkenroad, 1963

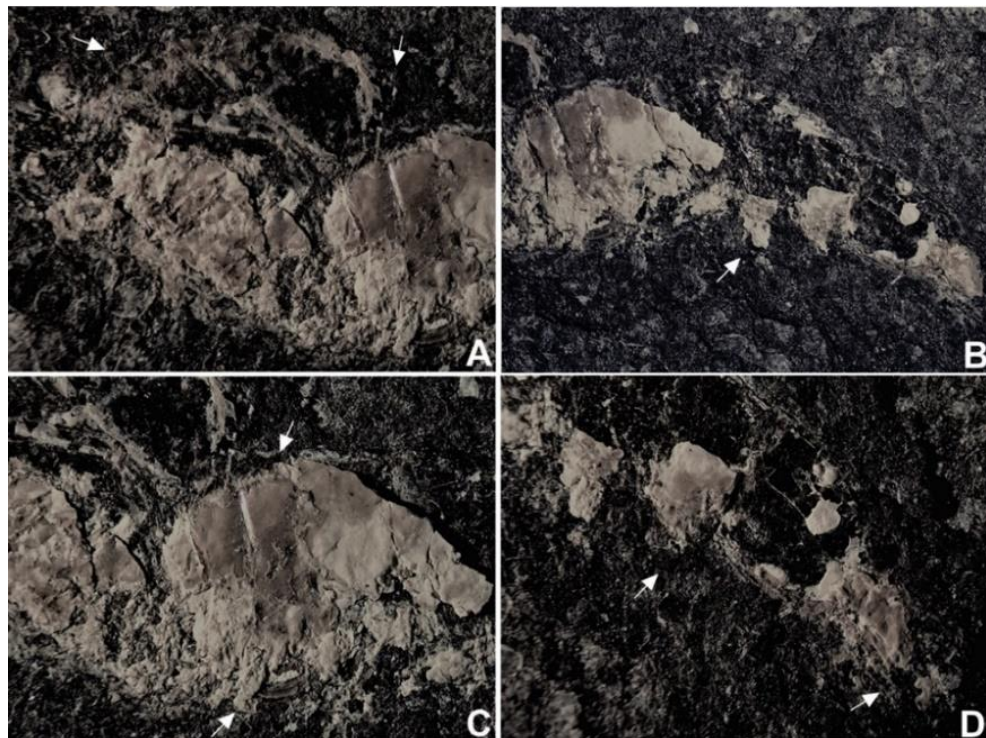
Infraorder CARIDEA Dana, 1852

LPU-0918/A and 0918/B (Figures 2-6)

Material: Shrimp LPU-0918/A and B

Description: Fossil preserved in lateral view. The total length of 22 mm. It's preserved carapace with strong diagenesis and high compaction. Ocular peducles were not preserved, but the structure observed in the cephalothorax resembled the ocular orbit (Figure 2).

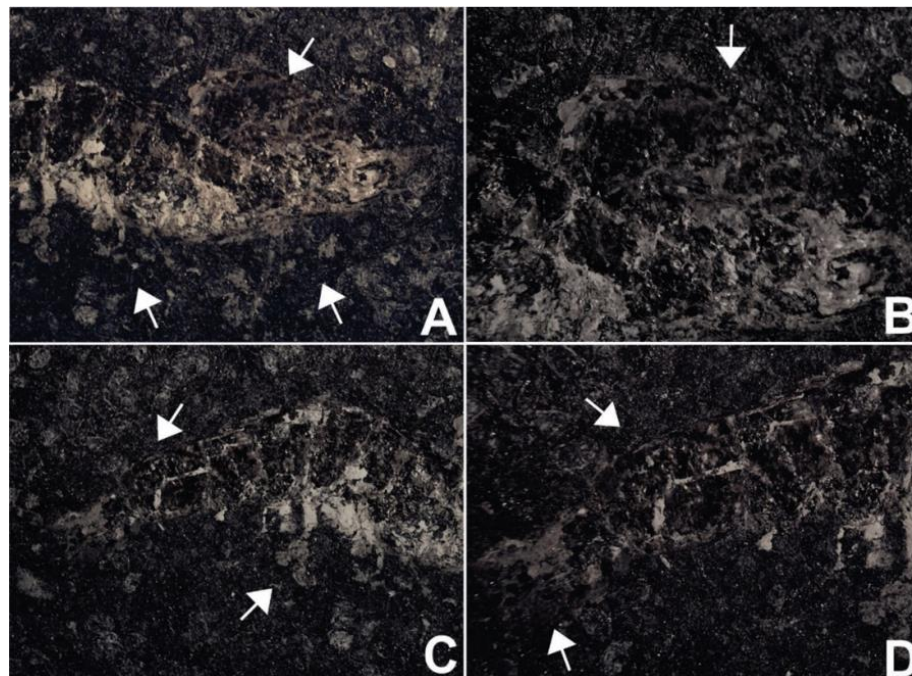
Figure 2. LPU 0918/A, A) with emphasis on ocular structure, antenna, and antennule, B) Emphasis on part of the pleopods preserved. C) Detail of the second abdominal somite with the strongly rounded base and has one expressive groove. D) Detail of the last abdominal somites is shorter with an emphasis in the small proximal fragment of uropods and telson faintly preserved.



Photos in grayscale by Olga A. Barros, disponible: <https://data.mendeley.com/datasets/mmnk9kws84/1>

LPU- 0918/B is possible to observe the detail of the cephalothorax part preserved above of the shrimp, for more detail see data base (Barros, 2020). Rostrum, spines of the carapace, and scaphocerite were not preserved. The antennas and antennules were preserved but had been curved above the carapace and fragmented. Pleon laterally compressed, six-segmented, all somites apparently without spines. The first pleonal somite also suffered strong diagenesis and high compaction. The second pleonal somite has one expressive groove, it is possible to observe that the base of this somite is strongly rounded as in the carideans, the pleura is well developed and the second pleura covering first and third (Figures 3 to 5).

Figure 3. Shrimp LPU - 0918/B, A) With an emphasis on partially preserved pleopods, pereopods, and carapace, B) The detail on the cephalothorax part that was preserved above of the shrimp, C) Shrimp with emphasis on the sixth abdominal somite and pereopods partially preserved, D) Arrow showing the last abdominal somite and structure partially preserved that is the possibility it is uropods.



Photos in grayscale by Olga A. Barros, disponible: <https://data.mendeley.com/datasets/mmnk9kws84/1>

The third pleonal somite was partially preserved and has a larger size. The fourth and fifth pleonal somites appear to be of the same size. At the base of the fourth and fifth somites, part of the pleopods is preserved, making it difficult to conclude where the somite ends and pleopods begin. In the sample, LPU-091/B it is easier to observe the termination of the somite, where the specimen's rounded base abdominal pleura can be seen (Figure 4).

Figure 4. (A) Lateral view of the Shrimp LPU – 0918/A, (B) Detail of the parts preserved, the antennas and antennules have been partially preserved but are curved above the carapace and fragmented, (C) Detail of the drawings and six abdominal somites showing the overlap of the seconds over first and third (note the groove on the second and third abdominal somites). The fourth and fifth somite the same size. At the base of the fourth and fifth somites, part of the pleopods is preserved, making it difficult to conclude where the somite ends and pleopods begin. The sixth abdominal somite is shorter than the others.

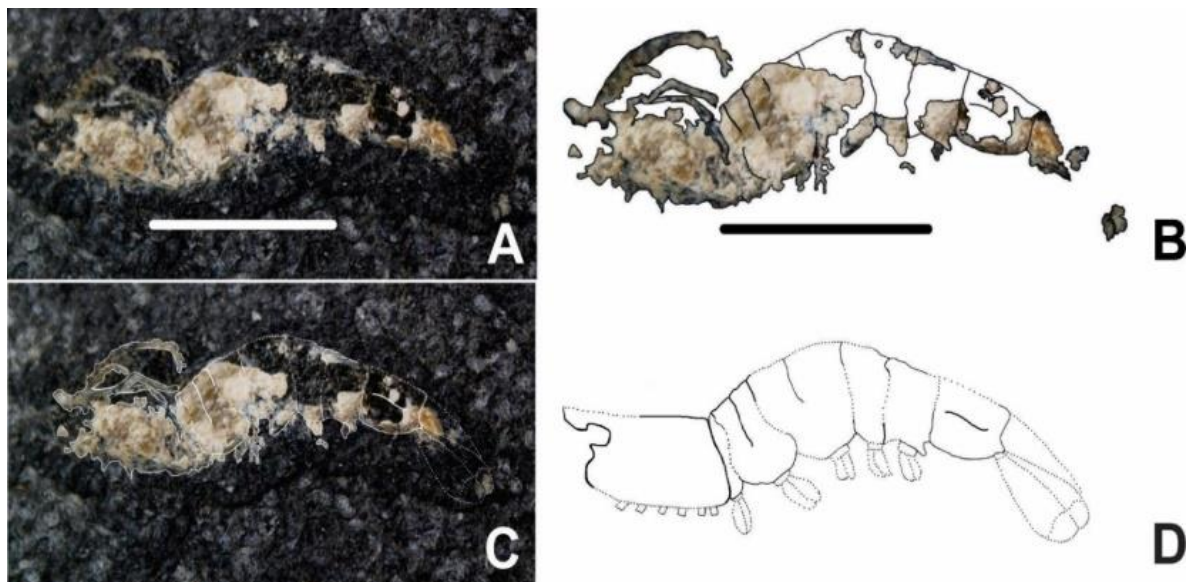


Photo and drawing by Olga A. Barros, bar: 10mm. Disponible: <https://data.mendeley.com/datasets/mmnk9kws84/1>

The sixth pleonal somite is shorter than the others and it preserved a fragment of the pereopods over the somite. Other appendages were not preserved, only a small proximal fragment of uropods and telson were faintly preserved (Figure 5).

Figure 5. (A) Lateral view of the Shrimp LPU-0918/B, (B) Detail of the parts preserved with drawing over the photo. Detail of the cephalothorax part that preserved over the shrimp, (C) Schematic drawing over photo emphasizing the interpretation of the fossil, detail of the carapace and six abdominal somites showing the overlap of the second over first and third (note the groove on the second and third abdominal somite). The sixth abdominal somite is shorter than the others and it preserves a fragment of the pereopods over the somite, (D) Reconstitution of fossil shrimp from Ipubi Formation.

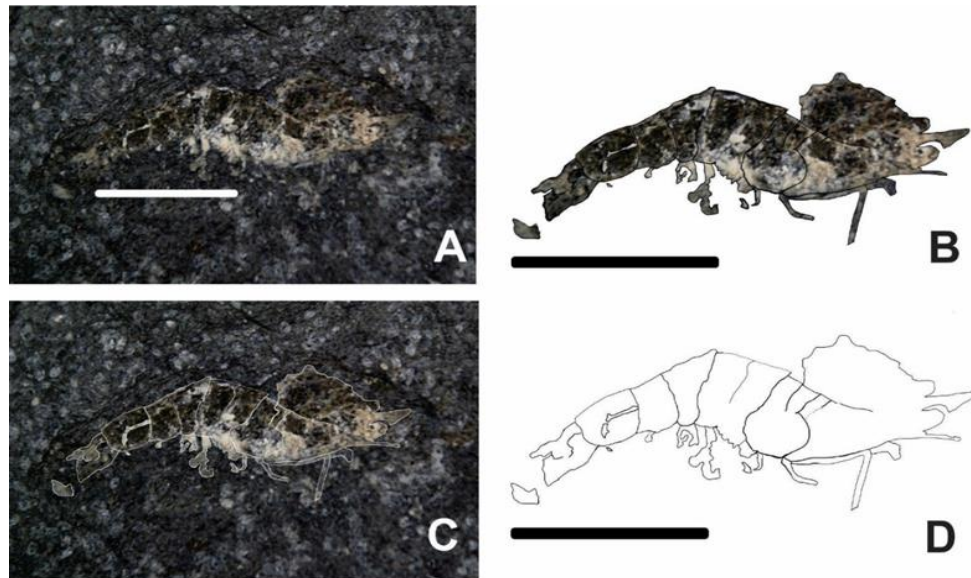


Photo and drawing by Olga A. Barros, bar: 10mm. Disponible: <https://data.mendeley.com/datasets/mmnk9kws84/1>

DISCUSSION

We can find several works about shrimp in the Santana Group (Martins-Neto & Mezzalira, 1991, Maisey & Carvalho, 1995; Saraiva et al., 2009; Santana et al., 2013; Pinheiro et al., 2014; Saraiva et al., 2018; Alencar et al., 2018; Prado et al., 2019, Alencar et al., 2020) but only two carideans *Beurlenia araripensis*, *Kellnerius jamacaruensis* (Martins-Neto & Mezzalira, 1991; Santana et al., 2013). We believe the specimen LPU-0918/A and B, is a caridean because of its second abdominal somite have a strongly rounded pleura on the base and apparently overlap, the first and the third. Although the antennae and chela of the first pereiopod are not discernible on the material, it is possible to suggest that this decapod is possibly a Palaemonidae.

In the specimen LPU-091/A and B, the third pleonal somite has a groove, not extending to the pleurite, and its size is twice as large as the other somites like *Kellnerius jamacaruensis*.

The pleonal somites IV and V appear to be relatively the same size, but it does not appear to have somites with strongly acute pleura like *Beurlenia araripensis*. The specimen LPU-918/A and B has a shorter sixth pleonal somite compared to the *Kellnerius jamacaruensis*. We believe it to be possible because of the angulation of the specimen preserved in the rock. Even LPU-091/A and B having a single groove clearly visible in the second somite, which distinguishes it from the other described carideans for the Araripe Basin, it is difficult to sustain and suggest a new species due to the fragmentary nature of the sample, but here we point out the occurrence of caridean from the Ipubi Formation, composing a new taxon for this formation.

Some specimens found were mostly fragmented and incomplete, containing only whitish imprints of the abdominal segments on the shale, without anatomical details that could facilitate the identification of the specimens described here, reflecting either their rarity or the difficulty in finding morphologically informative specimens. Also, we found on this level traces of fish, ostracods, coprolites, and vegetables. The samples LPU-0303, LPU-0304, LPU-0306, and LPU-0307 had partially preserved cephalic appendages, pleopods, and abdominal somites and were cited here for corroborating paleoenvironmental inferences for the Ipubi Formation. The other specimens, LPU-0918/A, and 0918/B (Figures 3 and 4) were described in detail here.

CONCLUSION AND SUGGESTIONS

Here we provide new data about fossil decapods from the Santana group. The recent fieldwork carried out in the Ipubi Formation enabled the discovery of new taxa for these shale levels, thus showing the fossiliferous potential that this layer presents. Even with a few anatomical characters preserved, we emphasize here the importance of discovering the taxon found in this formation. The knowledge about fossil shrimps is still sparse, and information presented on this fossil from the Ipubi Formation can be valuable to the understanding of how the evolutive history of the caridean correlate with space and time in the geological record.

So far, Carideans have been reported at two distinct levels in the Santana Group (Crato and Romualdo Formation) by two genera, *Beurlenia araripensis*, and *Kellnerius jamacaruensis*. With the new occurrence of caridean shrimp from the Ipubi Formation, we affirmed this fossil group lived in the three layers from Santana Group (Crato, Ipubi and Romualdo Formation) from Araripe Basin, with different water stresses, and they adapted to the change of salinity tolerance observed by the three layers of occurrence of caridean in the

geological and paleontological setting. It is worth mentioning that the Ipubi Formation requires special attention, the significant quantities of crustaceans collected in the area showed the importance of this fossil layer, and new collect is necessary for a more intense investigation of this fossil group.

ACKNOWLEDGMENTS

This study was partially financed by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brazil (CAPES) - Finance Code 001.

REFERENCES

- Alencar, D. R., Oliveira, G. R., Pinheiro, A. P., & Saraiva, A. Á. F. (2020). New findings on dendrobranchiata fossils of the Romualdo Formation, Araripe Basin, Northeast of Brazil. *Zootaxa*, 4731(1), 63–74. doi: <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4731.1.4>
- Alencar, D. R., Pinheiro, A. P., Saraiva, A. Á. F., Oliveira, G. R., & Santana, W. (2018). A new genus and species of *solenoceridae* (crustacea, decapoda, dendrobranchiata) from the cretaceous (aptian/albian) of the Araripe sedimentary Basin, Brazil. *Zootaxa*, 4527(4), 494–500. doi: <https://doi.org/10.11646/zootaxa.4527.4.2>
- Assine, M. L., Perinotto, J. A. de J., Custódio, M. A., Neumann, V. H., Varejão, F. G., & Mescolotti, P. C. (2014). Sequências deposicionais do Andar Alagoas da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. *Boletim de Geociencias Da Petrobras*, 22, 3–28.
- Barros, O. A., Pontes, A. P., Batista, M. E. P., Silva, J. H., & Saraiva, A. Á. F. (2016). Aspectos Paleocológicos da Macrofauna dos Folhelhos Associados à Camada de Gipsita, Bacia do Araripe. *Estudos Geológicos*, 26(2), 147–156. doi: <https://doi.org/10.18190/1980-8208/estudosgeologicos.v26n2p147-156>
- Barros, O. A. (2020). First occurrence of fossil shrimps (crustacea, decapoda) in the Ipubi Formation (Lower cretaceous, Araripe Basin). In: *Mendeley Data*. (Mendeley Data Base), Version 1. doi: 10.17632/MMNK9KWS84.1. Disponível em: <https://data.mendeley.com/datasets/mmnk9kws84/1>. Acesso em: 19 jun. 2020.
- Barros, O. A., Silva, J. H., Saraiva, G. D., Viana, B. C., Paschoal, A. R., Freire, P. T. C., Oliveira, N. C., Paula, A. J., & Viana, M.S.S. (2019). “Physicochemical Investigation of Shrimp Fossils from the Romualdo and Ipubi Formations (Araripe Basin).” *PeerJ*, 2019(2). doi: <https://doi.org/10.7717/peerj.6323>
- Coimbra, J. C., Arai, M., & Luisa Carreño, A. (2002). Biostratigraphy of Lower Cretaceous microfossils from the Araripe Basin, northeastern Brazil. *Geobios*, 35(6), 687–698. doi: [https://doi.org/10.1016/s0016-6995\(02\)00082-7](https://doi.org/10.1016/s0016-6995(02)00082-7)
- Feldmann, R. M., & Pole, M. (1994). A new species of paranephrops white, 1842: A fossil freshwater crayfish (decapoda: parastacidae) from the manuhirikia group (miocene), Central Otago, New Zealand. *New Zealand Journal of Geology and Geophysics*, 37(2), 163–167. doi: <https://doi.org/10.1080/00288306.1994.9514611>
- Hessel, M. H., Tomé, M. E. T. R., & Moura, C. R. (2006). Ostracodes mesozóicos das

bacias do interior do Nordeste brasileiro: o estado da arte. *Revista de Geologia*, 19(2), 66.

Maisey, J. G., & Carvalho, G. P. (1995). First records of fossil sergestid decapods and fossil brachyuran crab larvae (Arthropoda, Crustacea). with remarks on some supposed palaemonid fossils, from the Santana Formation (Aptian-Albian, NE Brazil). *American Museum Novitates*, 3132(3132), 1–20 Retrieved from <http://digitallibrary.amnh.org/bitstream/handle/2246/3664/N3132.pdf?sequence=1>

Martins-Neto, R. G. (1987). Primeiro registro de decápode na Formação Santana, Bacia do Araripe (Cretáceo Inferior), Brasil. *Ciência e Cultura*, 39(4), 406–410.

Martins-Neto, R. G., & Mezzalana, S. (1991). Descrição de novos crustáceos (Caridea) da Formação Santana Cretáceo Inferior do Nordeste do Brasil. *Anais Da Academia Brasileira de Ciências*, 63(2), 155–160.

Oliveira, N.C., Silva, J.H., Barros, O.A., Pinheiro, A. P., Santana, W., Saraiva, A.Á. F., Ferreira, O.P, Freire, P.T.C., & Paula, A.J. (2015). “Large-Field Electron Imaging and X-Ray Elemental Mapping Unveil the Morphology, Structure, and Fractal Features of a Cretaceous Fossil at the Centimeter Scale.” *Analytical Chemistry* 87(19), 10088–10095. doi: 10.1021/acs.analchem.5b02815

Pinheiro, A. P., Saraiva, A. Á. F., & Santana, W. (2014). Shrimps from the Santana Group (Cretaceous: Albian): New species (Crustacea: Decapoda: Dendrobranchiata) and new record (Crustacea: Decapoda: Caridea). *Anais Da Academia Brasileira de Ciências*. doi: <https://doi.org/10.1590/0001-3765201420130338>

Prado, L. A. C., Calado, T. C. S., & Barreto, A. M. F. (2019). New records of shrimps from the Lower Cretaceous Romualdo Formation, Araripe Basin, northeastern Brazil, with new taxa of Penaeoidea (Crustacea: Decapoda: Dendrobranchiata). *Cretaceous Research*, 99, 96–103. doi: <https://doi.org/10.1016/j.cretres.2019.02.023>

Prado, L. A. C., Luque, J., Barreto, A. M. F., & Palmer, A. (2018). New brachyuran crabs from the Aptian-Albian Romualdo Formation, Santana Group of Brazil: Evidence for a Tethyan connection to the Araripe Basin. *Acta Palaeontologica Polonica*, 63(4), 737–750. doi: <https://doi.org/10.4202/app.00480.2018>

Santana, W., Pinheiro, A. P., Da Silva, C. M. R., & Saraiva, A. Á. F. (2013). A new fossil caridean shrimp (Crustacea: Decapoda) from the cretaceous (Albian) of the Romualdo Formation, Araripe Basin, northeastern Brazil. *Zootaxa*, 3620(2), 293–300. doi: <https://doi.org/10.11646/zootaxa.3620.2.7>

Saraiva, A. Á. F., Pralon, B., & Gregati, R. (2009). Taxonomic remarks on Brazilian Cretaceous Decapoda from Araripe Basin, Brazil, and ecological inferences. *Gaea - Journal of Geoscience*, 5(2), 70–74. doi: <https://doi.org/10.4013/gaea.2009.52.03>

Saraiva, A. Á. F., Pinheiro, A. P., & Santana, W. (2018). A remarkable new genus and species of the planktonic shrimp family Luciferidae (Crustacea, Decapoda) from the Cretaceous (Aptian/Albian) of the Araripe Sedimentary Basin, Brazil. *Journal of Paleontology*, 92(3), 459–465. doi: <https://doi.org/10.1017/jpa.2018.5>

Viana, M. S. S., & Agostinho, S. (1995). Camarões do Membro Romualdo da Formação Santana (Cretáceo Inferior da Bacia do Araripe). In *Boletim do 16º Simpósio de Geologia do Nordeste Sociedade Brasileira Geologia* (Vol. 1, pp. 239–243).

4.3 Capítulo 3 - Physicochemical investigation of shrimp fossils from the Romualdo and Ipubi formations (Araripe Basin)

*Artigo publicado na revista PEERJ

Olga Alcântara Barros¹, João Hermínio da Silva², Gilberto Dantas Saraiva^{3*}, Bartolomeu Cruz Viana⁴, Alexandre R. Paschoal⁵, Paulo de Tarso C. Freire⁵, Nayara C. Oliveira⁵, Amaury Jardim de Paula⁵, Maria Somália Sales Viana⁶.

¹Departament of Geology, Universidade Federal do Ceará, 64049-550, Fortaleza – CE, Brazil. olga.a.barros@gmail.com, ²Campus de Juazeiro do Norte – Universidade Federal do Cariri, 63000-000, Juazeiro do Norte – CE, Brazil. herminio.silva@ufca.edu.br, ³Faculdade de Educação Ciências e Letras do Sertão Central, Universidade Estadual do Ceará, 60740-000, Quixadá, Ceará, Brazil. gilberto.saraiva@uece.br, ⁴Departament of Physics, Universidade Federal do Piauí, 64049-550, Teresina- PI, Brazil. bartolomeu@ufpi.edu.br, ⁵Departament of Physics, Universidade Federal do Ceará, 60455-970, Fortaleza/ CE, Brazil. paschoal@fisica.ufc.br, tarso@fisica.ufc.br, naiara@fisica.ufc.br, amaurijp@fisica.ufc.br, ⁶Laboratório de Paleontologia, Museu Dom José, Universidade Estadual Vale do Acaraú (UVA). Av. Dom José, 878, CEP 62010-290, Sobral-CE, Brazil. somalia_viana@hotmail.com

ABSTRACT

The Ipubi and Romualdo Formations are Cretaceous units of the Araripe Basin (Santana Group). The first, most ancient, was deposited in a lake environment and some fossils were preserved in shales deposited under blackish conditions. The second was deposited in a marine environment, preserving a rich paleontological content in calcareous concretions. Considering that these two environments preserved their fossils under different processes, in this work we investigated the chemical composition of two fossilized specimens, one from each of the studied stratigraphic units and compared them using vibrational spectroscopy techniques (Raman and IR), X-Ray Diffraction and large-field Energy-Dispersive X-Ray Spectroscopy (EDS) mappings. Calcite was observed as the dominant phase and carbon was observed in the fossils as a byproduct of the decomposition. It was observed in both fossils the preservation of hydroxide calcium phosphate ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$, hydroxyapatite). In addition, it was observed a smaller amount of pyrite (pyritization) in the Romualdo Formation sample than in the Ipubi one. Large-field EDS measurements showed the major presence of the chemical elements calcium, oxygen, iron, aluminum and fluoride in the Ipubi fossil, indicating a greater influence of inorganic processes in its fossilization. Our results also suggest that the Romualdo Formation fossilization process involved the substitution of the hydroxyl group by fluorine, providing durability to the fossils.

Key words: Araripe Basin, Fossil shrimp, Decapods, Crustaceans.

INTRODUCTION

Palaemonid crustaceans in Brazil are known from tertiary outcrops, with species occurring in the Tremembé Formation (Oligocene, from São Paulo state) and tertiary deposits in the Marizal Formation (Martins-Neto e Mezzalira, 1991b).

The preservation of crustacean fossils is difficult because of their propensity for decomposition (Feldmann e Pole, 1994), what may explain (in part) why only a few species of shrimps are described in Brazilian sedimentary basins. However, the fossils from the Araripe Basin are very well known for their excellent state of preservation and paleobiological diversity (Martill, 1988). On the other hand, the knowledge about fossil shrimp in the Araripe Basin is basically restricted to taxonomic works (Martins Neto, 1991; Maisey e Carvalho, 1995; Santana *et al.*, 2013; Saraiva *et al.*, 2018a).

The Romualdo and Crato Formations of the Araripe Basin have the following fossil shrimp species: the Crato Formation shows the Carideans *Beurlenia araripensis* (Martins-Neto e Mezzalira, 1991a); in the Romualdo Formation were described three species of shrimps, the Sergestoid *Paleomattea deliciosa* Maisey e Carvalho, 1995 the Penaeoid *Araripenaeus timidus* Pinheiro *et al.*, 2014 and the planktonic shrimp family Luciferidae, *Sume marcosi*.

The two stratigraphic sections of salty water in the Araripe Basin, namely Ipubi and Romualdo Formations, have different paleoenvironments (lagoon and marine, respectively) as well as distinct fossilization processes. The present work employs non-destructive analytic techniques to study two fossilized shrimps and their matrix rocks prospected in these two Cretaceous geological formations of the Araripe Basin. The results obtained allowed us to infer aspects related to the anatomy of the fossils and to the processes of fossilization, diagenesis, and paleoenvironment of crustaceans in the Ipubi and Romualdo Formations.

Geological setting

The Araripe Sedimentary Basin is one of the most important areas with fossils from the Cretaceous Period in the world, known for the excellent preservation state, diversity and quantity of fossils. This basin is in Northeastern Brazil and comprises part of the states of Ceará, Pernambuco, and Piauí, and it is considered the largest interior Sedimentary Basin of Brazil (Assine, 1992). The most spectacular fossil record is concentrated in the Santana Group, which is composed of the formations Ipubi, Crato, and Romualdo (Valença *et al.*, 2003).

The Ipubi Formation (Figure 1A) represents the evaporitic facies of the Aptian-Albian lagoon system of the basin. It is composed by carbonates with interdigitated shales separated from the Romualdo Formation by a regional unconformity (Cavalcanti e Viana, 1990). The fossils of this unit are found in layers of dark shales, e.g. one of the specimens here studied.

The Romualdo Formation (Figure 1B) is composed of interbedded shales, marls, and limestones with abundant concretions containing fossils (Valença *et al.*, 2003). The upper part of the Romualdo Formation consists of layers of calcareous banks with echinoids, bivalve mollusks, ostracods, gastropods and algae mats (Cavalcanti e Viana, 1990). The fossils in these concretions are usually found in large quantity and diversity, e.g. fishes, reptiles, mollusks, crustaceans, palynomorphs, and vegetables (Kellner e Schobbenhaus, 2002). The stratigraphic general scheme of the Romualdo Formation is discussed by Pinheiro *et al.*, 2014.



Image 1. Ipubi and Romualdo excavation sites. (A) Rancharia mining where the specimen from the Ipubi Formation with registered number LPU -918/A was found. (B) Romualdo Formation excavation photo showing the carbonaceous concretions level where was prospected the specimen with registered number LPU - 919. Photos by Olga A. Barros.

MATERIALS AND METHODS

Sample study characterization

The materials analyzed consist of two specimens of fossil shrimps (Figure 2). The first sample (approximately 22 mm of total length, Figure 2A), LPU - 918/A, prospected in the dark shales of the Ipubi Formation, was collected in Rancharia mining, (7°44'51.1" "S/40°28'11.2" W), gypsum exploration area, in the municipality of Araripina - state of Pernambuco/Brazil, in the west portion of the Araripe Basin. An excavation was conducted with the help of a backhoe to extract the dark shales located below the gypsum layer (evaporites).

The second sample (approximately 10 mm of total length, Figure 2B) collected in the Romualdo Formation, with registered number LPU - 919, consists of a carbonate concretion collected in an excavation at the "Parque dos Pterossauros" (Pterosaurs Park) (7°11'32.8"S/39°42'08.5"W) in the municipality of Santana do Cariri - state of Ceará/Brazil. The specimens described here were prepared mechanically and deposited at the Universidade Regional do Cariri (URCA, Brazil).

The fossils and the rock matrices were analyzed by means of vibrational spectroscopy techniques (Raman and Infrared), Energy-Dispersive X-Ray Spectroscopy and X-Ray Diffraction. It is worth mentioning that the present research group had previously studied the EDS/SEM analysis of the same Ipubi Formation shrimp studied here. For further details besides those regarded here, see Oliveira *et al.*, 2015.

Sample characterization

X-ray diffraction (XRD): The X-ray diffraction patterns were obtained using a Rigaku powder diffractometer with the Bragg–Brentano geometry. The Co–K α radiation was used and operated at 40 kV and 25 mA. The XRD measurements were taken in the 2θ range from 10° to 100° using step scan procedures (0.02°) in counting times of 5 s. To perform the XRD measurements, it was used 1 g of powder samples extracted from the areas of the fossils and their matrices, and for data treatment, X-pert High Plus score software with powder diffraction files (PDFs) included was used.

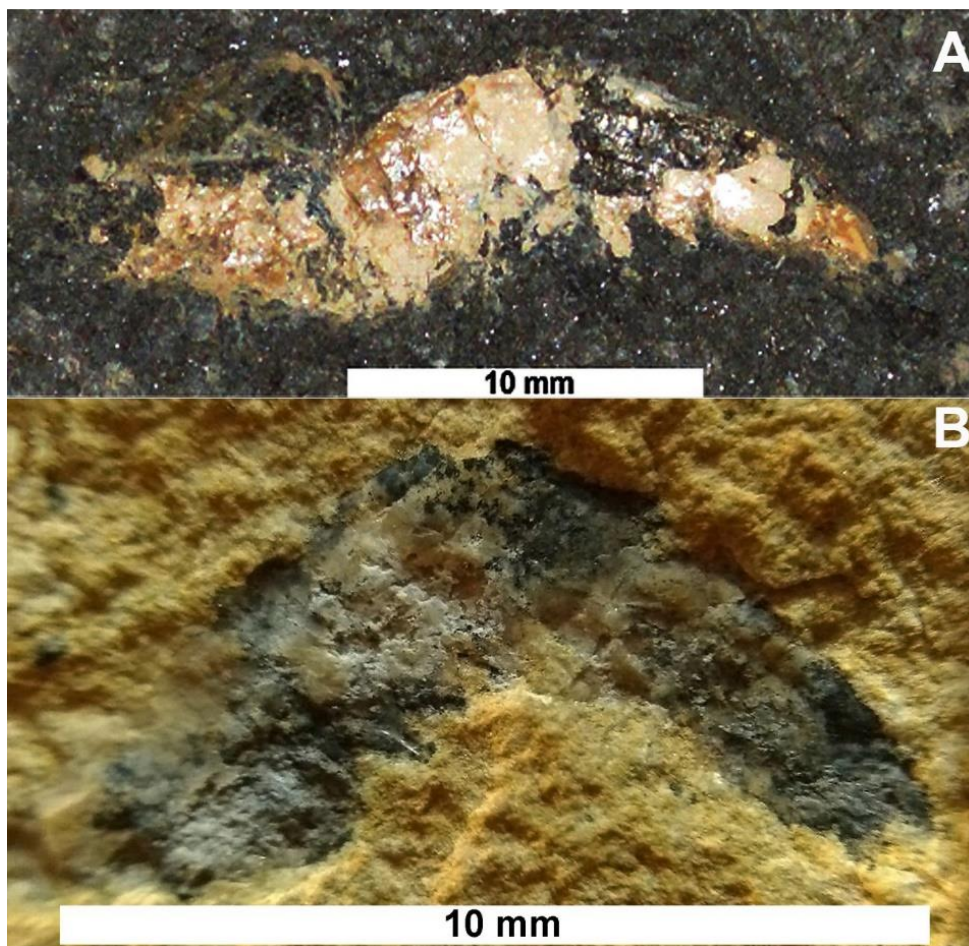


Image 2. Lateral view of the fossils studied. (A) Optical image of the Ipubi Formation fossil shrimp; (B) Optical image of the Romualdo fossil shrimp. Photos by Olga A. Barros.

Infrared spectroscopy: The infrared spectra were measured with powder samples mixed with KBr powder in the proportion 1:100 for each sample (at about 5–10 mg). The pellet thickness varied from 0.5 to 0.6 mm and the acquired spectra were taken in the region from 400 to 4000 cm^{-1} with a Vertex 70 equipment from Bruker.

Raman spectroscopy: The Raman spectra were obtained by a LabRAM HR (Horiba) spectrometer equipped with a liquid N_2 -cooled CCD detector, 600 l/mm grating using 785 nm laser radiation for excitation.

Large-field energy dispersive spectroscopy (EDS) and scanning electronic microscopy (SEM) analysis: Large-field scans were performed in an electron microscope Quanta-450 (FEI) equipped with a GAD (gaseous analytical detector) detector for backscattered electrons (BSE). In addition, an X-ray detector model 150 (Oxford) was used for X-ray energy

dispersive spectroscopy (EDS). After the specimens were inserted into the SEM without any preparation, the analyses were performed under low vacuum (approximately 100 Pa for water vapor), by capturing both BSE and X-ray for generating elemental maps. The specimens were scanned at a beam acceleration voltage of 20 kV, with a working distance of 15 mm.

RESULTS AND DISCUSSION

Description of the specimens under stereoscopic microscope:

The sample LPU-919 is a small-sized shrimp (Figure 2B) excavated in the Romualdo Formation with part of the exoskeleton preserved. Its total length is approximately 10 mm containing carbonaceous concretion from the Romualdo Formation.

The carapace is half preserved, eyes stalk and rostrum, antennae, and antennules are not preserved. The carapace and abdominal pleura are laterally compressed, but it is difficult to distinguish them because the specimen is fragmented.

The abdominal somites are smooth, without spines. It is difficult to observe the pleura of the second somite, however, the sample looks like a Caridea specimen because the pleura of the second somite is heavily rounded at the base. However, it is not clearly visible the overlapping of the first and the third pleura because of the specimen preservation state. Pleopods, uropods, and telson were not preserved.

The specimen LPU-918/A is a medium-sized shrimp (Figure 2A) excavated in the Ipubi Formation with a total length of approximately 22 mm. The antenna and antennule were preserved but is incomplete and curved above of the carapace. Dorsal margin of carapace straight without spines. The rostrum and scaphocerite are not discernible. The abdomen has six segments, however, the studied specimen looks like the Caridea because the pleura of the second somite is heavily rounded at the base. The same is also observed in the specimen LPU-919.

Characterization of the fossil

Initial characterization of the shrimp samples was performed by X-Ray diffraction measurements, providing structural information about them. The results are shown in Figure 3 for the fossils as well as for their matrix rocks.

It was possible to identify very significant XRD peaks in the Ipubi Formation fossil

shrimp (Figure 3a), indicating that the major phase is represented by the crystallographic planes belonging to calcite (CaCO_3). Additionally, other peaks were observed and associated with the crystalline phases of silicon dioxide (SiO_2 , quartz), pyrite (FeS_2) and hydroxyapatite $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$. Considering the shrimp sample from the Romualdo Formation, the phases of calcite and quartz seem to be more mixed. It stands out that the hydroxyapatite peak in the Romualdo Formation is less intense than in the Ipubi one, and it shows less phosphate material. For the Ipubi sample, it is also important to observe the presence of several peaks associated with pyrite. It is worth noting that a previous study performed on the Cretaceous specimen of the plant *Brachyphyllum castilhoi* from the Ipubi Formation showed the occurrence of pyrite in great quantity, indicating a fossilization mechanism involving FeS_2 (Sousa Filho *et al.*, 2011).

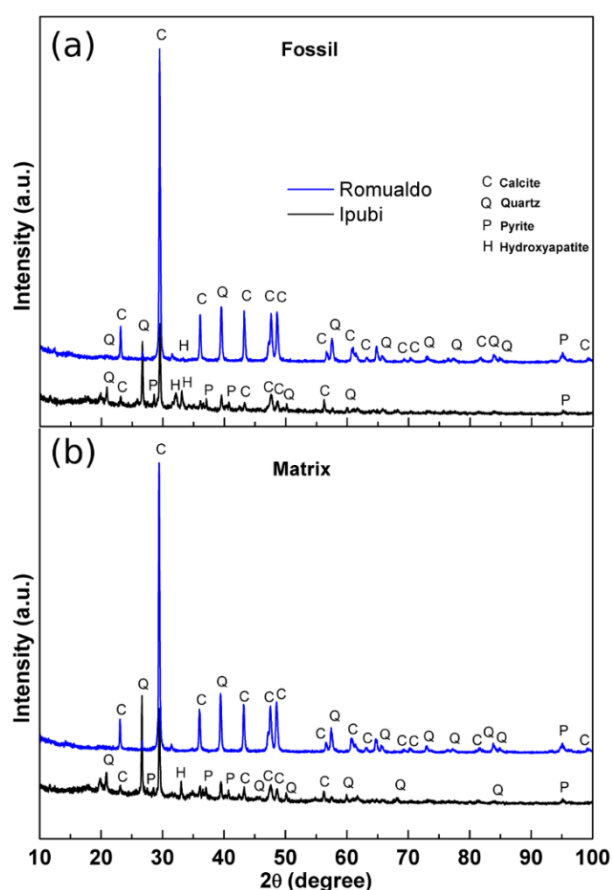


Image 3. X-ray diffractograms. (A) X-ray diffractograms of the shrimps, (B) X-ray diffractograms of the surrounding matrices. The main phases are indicated as follows: calcite (C), quartz (Q), pyrite (P) and hydroxyapatite (H).

Osés *et al.*, 2016 considered that the insects from the Crato Formation were pyritized in early diagenesis. Based on this, they proposed that the diffusion of water solutions to and

through the insect carcasses, together with their envelopment and infestation by bacteria, created microenvironmental geochemical conditions that led to the mineralization (mainly pyritization) of insect cuticles and internal soft tissues. These geobiological/taphonomic processes have yielded three-dimensional replicas of insects, keeping morphological details of delicate features (e.g., muscle fibers). This can shed light on taxonomy, systematics, and paleoecology.

In our results regarding the X-ray diffraction patterns of the matrices, it is clearly observed that they are quite like the diffraction patterns of the fossil samples. Thus, it can be stated that in the case of the Ipubi Formation matrix there is a calcite dominant phase with a pyrite secondary phase while in the Romualdo Formation the calcite and quartz matrix phases are mixed.

Figure 4 shows the infrared spectra of the shrimp fossils from both the Ipubi and Romualdo Formations and their respective matrix rocks. The spectra show a good signal-to-noise ratio and they are normalized according to the intensity of the peak at 1420 cm^{-1} . Observing the four IR spectra, the most remarkable peaks are found at 565, 603, 713, 873, 1030, 1410, 1457 and 1795 cm^{-1} , with small wavenumber variations depending on the fossil and the matrix (Figure 4 and Table 1). The spectra are very similar, in particular, the pair of spectra for the fossil and the matrix from the Romualdo Formation. However, the peaks at 565 and 603 cm^{-1} are only found in the spectra of the fossils. These peaks are assigned to phosphate vibrational modes of hydroxyapatite (Table 1). This fact indicates that hydroxyapatite from the fossils did not migrate to the matrices.

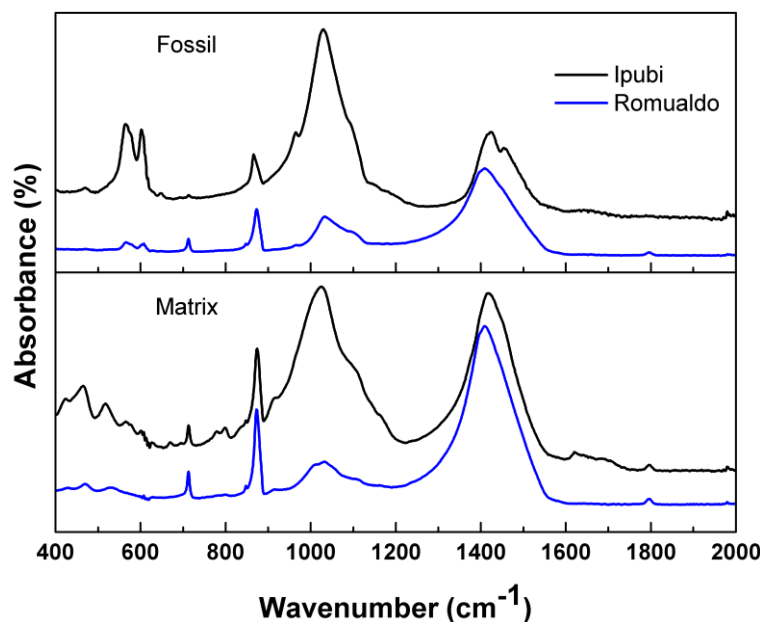


Image 4. Infrared spectra. Infrared spectra of the shrimps from the Ipubi and Romualdo Formations

The main differences in the IR spectra of the two fossils are observed in the relative intensities of the peaks around 1410 cm^{-1} ($\nu_3(\text{CO}_3)$) and 1030 cm^{-1} (Si-O stretching). Thus, the Romualdo Formation fossil showed a greater quantity of calcite than the Ipubi one. However, considering the results in a broader way, the IR spectra allow conjecturing that the Ipubi and Romualdo Formations processes have similar IR-active chemical structures.

The infrared spectra of the Ipubi Formation fossil shrimp presented vibrational bands associated to the phosphate group, the main constituent of hydroxyapatite ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$), in agreement with the EDS results of Oliveira *et al.*, 2015. These authors studied the same Ipubi sample considered here (LPU - 918/A) and, according to them, the major phase was formed by calcite with pyrite and traces of zinc sulfide in some specific points of the fossil. The XRD and IR results obtained in the present work agree with the results of Oliveira *et al.*, 2015.

Table 1. Wavenumbers of the IR spectra peaks of the fossils. Wavenumbers of the modes appearing in the IR spectra of shrimp fossils and their respective matrices from Ipubi and Romualdo formations. A tentative assignment of the modes is also furnished.

Sample	Ipubi shrimp	Ipubi shrimp matrix	Romualdo shrimp	Romualdo shrimp matrix	Assignment*
Wavenumber (cm ⁻¹)	----	464	----	469	$\nu_4(\text{PO}_4)$
	----	518	----	---	bending Si-O
	----	----	----	532	Si-O-Al bending
	565	----	563	---	$\nu_4(\text{PO}_4)$
	603	----	605	----	$\nu_4(\text{PO}_4)$
		713	713	713	$\nu_4(\text{CO}_3)$
	866				$\nu_2(\text{CO}_3)$
		873	873	873	$\nu_2(\text{CO}_3)$
	----	915	-----	----	Al-OH-Al bending
	----	1023	----	----	Si-O stretching
	1030	----	1035	1035	Si-O stretching
	-----	----	1410	1410	$\nu_3(\text{CO}_3)$
	1422	1420	-----	-----	$\nu_3(\text{CO}_3)$
	1457	-----	-----	-----	$\nu_3(\text{CO}_3)$
	-----	1795	-----	1795	$(\nu_1+\nu_4)(\text{CO}_3)$

*Refs. (Gunasekaran, Anbalagan e Pandi, 2006; Legodi e Waal, 2007; Silva *et al.*, 2013b, a; Alencar *et al.*, 2015; Sousa Filho *et al.*, 2016)

Further analysis was carried out with Raman Spectroscopy (Figure 5), which can furnish interesting insights about the vibrational properties of the material. Raman spectroscopy can corroborate the data obtained through IR Spectroscopy and, in some cases, can give complementary information (Oliveira *et al.*, 2015). Interestingly, the Raman spectra are very similar regardless of the geological formation. This might suggest that there is a common point in the fossilization processes. One possible interpretation might be related to the decomposition process involving original material common to both fossils, for example, cuticles.

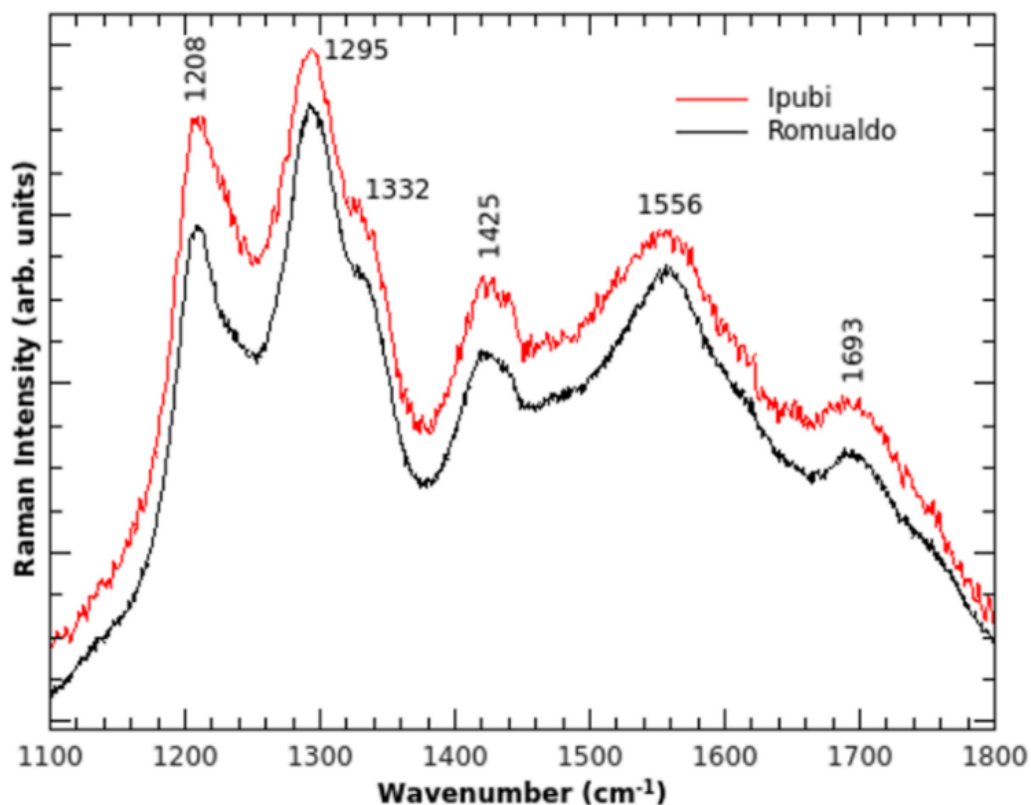


Image 5. Raman spectra. Raman spectra of the shrimp fossils from the Ipubi and Romualdo Formations.

Preservation of the soft tissues was mentioned in fish (Wilby e Martill, 1992), pterosaurs (Kellner, 1996), theropod (Kellner, 1996) and insects (Osés *et al.*, 2016) from the Araripe Basin. Delgado *et al.*, 2014 performed similar analyses in insects from the Crato Formation and observed that pyrite has replaced the soft tissues of microstructures of the internal cavities (cuticles). For Osés *et al.*, 2016, insects from the Crato Formation are the first record of these organisms in lacustrine laminated limestones preserved by pyrite without a volcanogenic sedimentary origin. However, for the Crato Formation, sulfate was likely provided by evaporites. Anyway, despite commonly preserved in continental setting limestones fossil insects are rarely pyritized given the scarcity of sulfate available in such depositional environments (Martínez-Delclòs *et al.*, 2004).

In our results it was still possible to identify that the samples of both formations had calcite in their majority phases, confirming the results here sampled by XRD, Infrared and Raman. A large amount of CaCO_3 found comes from its precipitation around the fossiliferous material.

For Martill (1988), despite there is a large amount of calcium carbonate (CaCO_3) precipitated around the fossiliferous material, only soft tissue preservation is related to phosphatization. This type of preservation by authigenic apatite or hydroxyapatite often allows preservation with high fidelity of morphological details (Martill, 1990; Wilby, 1993).

According to the results of Briggs e Kear (1994), in spite of the precipitation of calcium carbonate around the carapace of fossilized shrimps, only calcium phosphate replaced the preserved nonresistant tissues. This is similar to what happens to some fishes from the Araripe Basin. Briggs e Kear (1994) results pointed to a phosphatized diagenetic mineralization.

Mineralization of nonresistant tissues by calcium phosphate is very sensitive to external variables. Experiments in anoxic environments considering aerobic and anaerobic decomposition found that there was no difference between decomposition rates, but the anoxic condition of the medium was important, inhibiting the processes of necrophagy and bioturbation. Such a fact facilitates the preservation of hard and articulated parts, even when there is no preservation of non-resistant tissues (Allison e Briggs, 1991). Special conditions of temperature, pressure, and pH influences the phosphatization of these tissues (Allison e Briggs, 1991; Briggs e Kear, 1994).

According to Martill, 1988, vertebrate fossils of the Romualdo Formation consist predominantly of calcium carbonate (CaCO_3) together with minor amounts (at a lower concentration) of $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ (hydroxyapatite). This was subsequently confirmed by XRD analysis and infrared spectroscopy by Lima *et al.*, 2007 for a fish fossil. Additionally, Schultze (1989) discovered that fish muscle tissues were preserved by calcite (CaCO_3) in crystalline form, based on chemical analysis by X-Ray Diffraction (XRD) measurements performed in the tissue.

Considering the discussion above, the Raman modes can be assigned as follows. The peak observed at 1425 cm^{-1} corresponds to the $\nu_3(\text{CO}_3)$ vibrational mode and it is also found in the IR spectra. The Raman band at 1332 cm^{-1} is assigned to the D-band (Ferrari e Robertson, 2001), which is commonly found in carbon materials with sp^3 hybridization, and it is related to structural disorder in carbonaceous materials. The G-band of carbon can be assigned to the shoulder observed in 1621 cm^{-1} . The vibrational modes at 1208 , 1295 , 1556 and 1693 cm^{-1} , consequently, are tentatively assigned to the stretching vibration $\nu(\text{CC})$ from carbon structures. This strengthens the hypothesis that carbon is the result of the decomposition of the original organic matter because no Raman peak was identified in the matrices of both fossil samples.

The analysis of the fossil samples was also performed using Scanning Electron Microscopy and Energy-dispersive X-Ray Spectroscopy. The fossil material analyzed has a size of about 12 mm in length and 7 mm in width (Figure 6a and 6b). For the image acquisition of the whole fossilized area in high definition, a large-field scan was performed in which the microscope acquires thousands of images with a suitable magnification covering the sample area. Throughout the interaction of the electron beam with the sample, two signals were collected simultaneously: the backscattered electrons (BSE) and the emitted X-ray. The BSEs provide a contrast function on images related to the atomic number Z of the elements that constitute the sample (BSE Z , Figure 6b). This allows further elucidation of the morphology of specimens compared with the images from optical microscopy (Figure 6a).

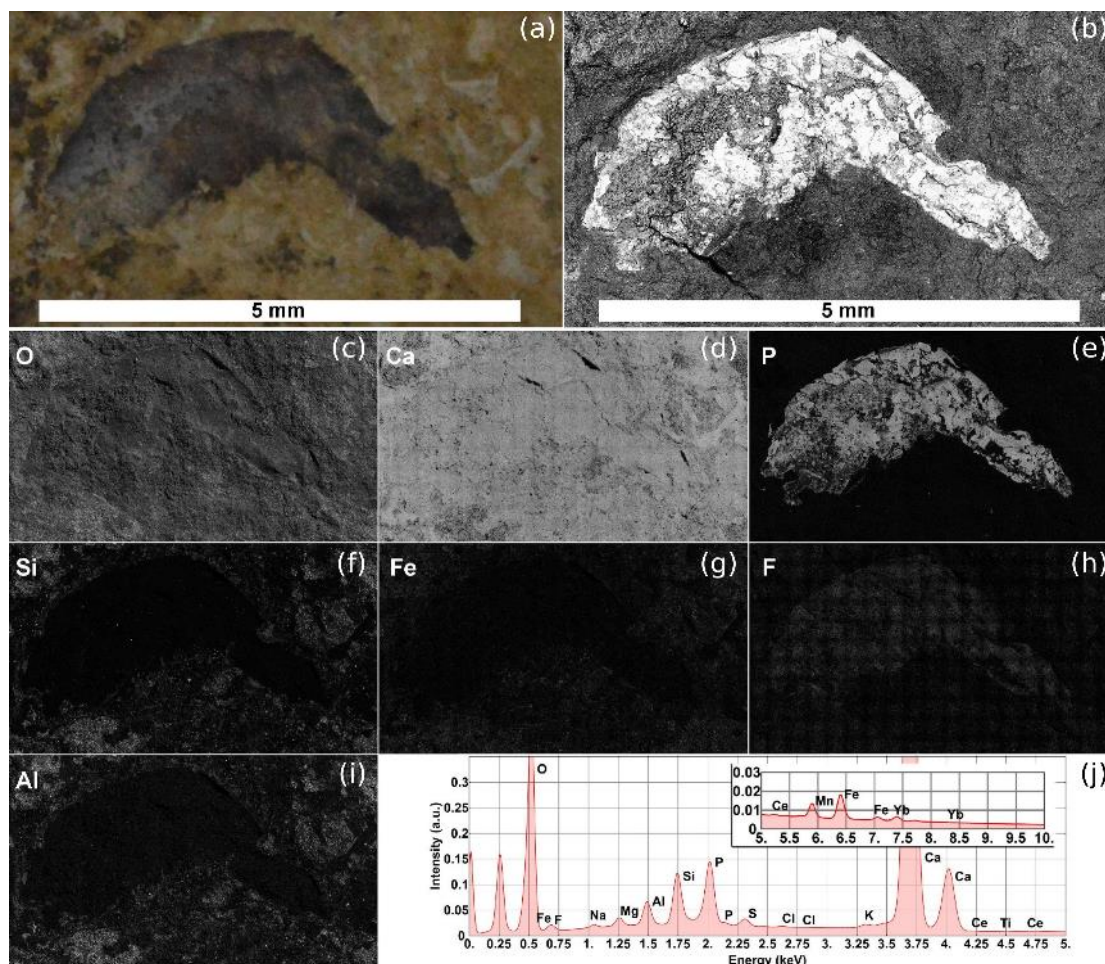


Image 6. SEM image and EDS elemental maps of the Romualdo Formation sample. (A) Optical image of the Romualdo Formation shrimp fossil. (B) Electron micrograph of backscattered electrons (BSES) of the Romualdo shrimp fossil. (C–I) EDS elemental maps shown from highest (C) to lowest (I) relative weight concentration (wt%) calculated in accordance with the spectrum obtained by the wide-field scan. (J) Full spectrum of the entire area of the fossil. Photos by Naiara C. Oliveira.

The X-rays emitted during the analysis provide information about the chemical composition of the samples. EDS is a spectroscopic technique of great value for samples with high heterogeneity in their compositions since it can detect the presence of major and minor chemical elements. Figure 6(c-i) shows only elemental maps of the Romualdo Formation sample with relative mass concentration (wt%) over 1.0%. Table 2 gives a relative quantification of the chemical elements detected in the Romualdo Formation shrimp fossil. Note the predominance of the elements calcium and oxygen the whole fossil material area, i.e. fossil and matrix, in accordance with the calcium carbonate composition. The large-field images were generated by assembly of about 1020 adjacent images obtained during the entire scan of

the sample at 1000x magnification. Figure 6j shows the total EDS spectrum of the Romualdo Formation shrimp fossil with the cumulative sum of all spectra (1020 fields) obtained during the whole analysis.

Table 2. Relative quantification of the chemical element present. Relative quantification of the chemical elements detected by wide field scan on the shrimp fossil from Romualdo Formation. The values correspond to relative values calculated from the software Aztec (standardless method) given the concentration of the chemical elements; the correlation and normalization is given by the intensity of the peaks corresponding to all chemical elements detected.

Elements	Atomic weight (g.mol ⁻¹)	Relative %-weight (wt%)
O	15.99	49.0
Ca	40.07	39.3
P	30.97	3.1
Si	28.08	2.2
Fe	55.84	1.5
F	18.99	1.5
Al	26.98	1.1
Mn	54.93	0.8
Mg	24.30	0.5
S	32.06	0.4

On the other hand, the total EDS spectrum (3600 fields) obtained through the large-field scan for the whole fossil shrimp area previously studied from the Ipubi Formation (Oliveira *et al.*, 2015) is represented in the top panel of Figure 7. Large-field images with compositional information of the specimen are represented in the bottom panels of the same figure. As shown in Figure 7, the correlation between elemental maps of the phosphorus and calcium mineralized in the fossil as hydroxyapatite ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$) makes it possible to identify its morphologic features such as pleopods, pereopods, antennae, antennules, and somites.

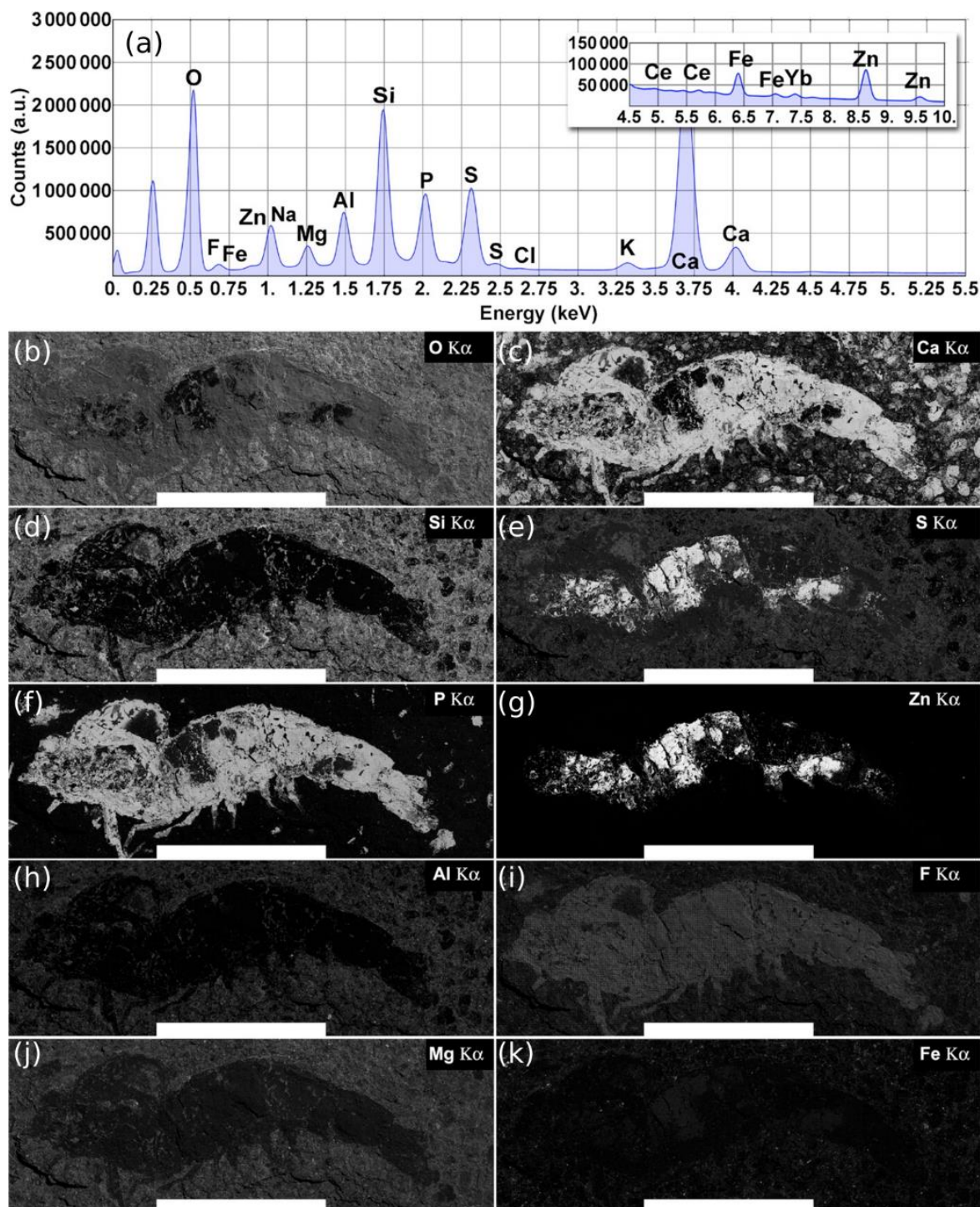


Image 7. Ipubi fossil shrimp EDS images. (A) Total EDS spectrum for the whole fossil area. (B–K) Elemental maps are represented from left to right, top to bottom, as a function of their relative concentrations (wt %) calculated from the total energy-dispersive X-ray spectrum. Elements with quantities larger than 1.0 wt % are shown. The white scale bar corresponds to 10 mm. Reprinted with permission from Oliveira *et al.*, 2015. Copyright (2015) American Chemical Society.

According to Oliveira *et al.*, 2015, it was observed that the Ipubi Formation fossil shrimp presented three regions with characteristic elemental composition: the matrix which contains mainly O, Si, Ca, S, Al, Mg, and Fe (region A), a phosphorus-rich region of the fossil constituted of O, Ca, P, F, S, and Na (region B), and finally a region in the fossil containing mostly S and Zn (region C), see Table 3. The correlation of large field elemental maps with EDS spectra of specific regions of the fossil allowed to identify crucial aspects of its fossilization processes. As reported by Oliveira *et al.*, 2015 along with the fossilization of the animal through the formation of hydroxyapatite ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$), zinc sulfide (ZnS) was also formed, interfacing with the hydroxyapatite. Furthermore, the presence of the element fluorine in the phosphorus-rich region indicates a possible formation of fluorapatite ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$).

Table 3. Ipubi fossil EDS. Relative quantification of the elements detected in the Ipubi Formation fossil shrimp. Adapted with permission from Oliveira *et al.*, 2015. Copyright (2015) American Chemical Society.

Element	Atomic mass (g mol^{-1})	Cumulative: LF scanning ^a wt% ^c	Scanning at specific regions ^b		
			A wt% ^c	B wt% ^c	C wt% ^c
O	15.99	42.9	48.9	40.3	6.5
F	18.99	2.3 ^d	^e	5.6	0.2 ^d
Na	22.99	0.6 ^d	^e	1.6 ^d	^e
Mg	24.30	1.6 ^d	2.1 ^d	0.4 ^d	0.3 ^d
Al	26.98	3.5 ^d	5.1	0.5 ^d	0.6 ^d
Si	28.08	9.4	14.8	1.3 ^d	1.2 ^d
P	30.97	5.2	0.2 ^d	11.7	0.8 ^d
S	32.06	5.9	6.2	3.2 ^d	28.0
Cl	35.45	0.1 ^d	^e	0.2 ^d	^e
K	39.09	0.7 ^d	1.2 ^d	0.1 ^d	0.4 ^d
Ca	40.07	21.5	18.6	33.6	3.1 ^d
Ti	47.86	0.1 ^d	0.3 ^d	^e	^e
Fe	55.84	1.3 ^d	2.6 ^d	0.2 ^d	0.5 ^d
Zn	65.38	4.5	^e	1.3 ^d	58.4
Ce	140.12	0.1 ^d	^e	^e	^e
Yb	173.05	0.3 ^d	^e	^e	^e

^a Values calculated from the total EDS spectrum for the whole fossil area. ^b Values calculated from the EDS spectra from specific regions of the fossil. ^c %-Weight values are relative values obtained after the calculation of the element concentration by the software (standardless method), and after the correlation and normalization of all peaks intensities. ^d %-Weight values for elements present in low concentrations could not be quantitatively interpreted due to the precision of the EDS method used, although they could be precisely detected. ^e Trace elements were detected through the cumulative spectrum generated along the large-field scan. These trace elements could not be detected in single spectra.

The amount of the element phosphorus found by EDS analysis in the Romualdo Formation fossil shrimp was quite sparse compared to the results found for the Ipubi fossil

(Oliveira *et al.*, 2015), confirming what was found by the other techniques employed in this work. The presence of fluorine and the observation that its EDS map overlaps with the one of phosphorous can provide additional information about the fossilization process (Figure 6e and 6h). There was possibly a partial replacement of the hydroxyl group of hydroxyapatite ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$) by fluorine. This substitution might favor the formation of fluorapatite ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$). The ionic radii of (OH) and F are similar, while F is easily found in pegmatitic/granitic rocks that are very abundant in the state of Ceará (Brazil). Fluorapatite is physically more stable and could provide greater durability to the fossil.

Figure 7 shows the EDS elemental map for the Ipubi sample. This figure is reprinted with permission from (Oliveira *et al.*, 2015) who worked with the same Ipubi sample. Copyright (2015) American Chemical Society. Compared with the Romualdo Formation fossil, it is observed that the Ipubi one has better preservation of fossilized materials and better visibility of anatomical details (abdominal somites, uropods, and telson). It was also observed that part of the Ipubi fossil material was further replaced in a minor phase of silicon, pyrite and zinc sulfide. Both samples had calcite formations in their major phases, in agreement with the Infrared and Raman results.

CONCLUSIONS

Complementary experimental techniques were employed to investigate fossils from the Romualdo and Ipubi Formations. We concluded that in both fossil samples, the fossilization process occurred mainly through substitution by calcium carbonate (majority phase). This is reinforced by the fact that the IR spectra of both fossils are similar. The same can be stated about the matrices. The similarities are also present in the XRD diffractograms. Ipubi shrimp, however, showed a greater number of pyrite peaks in the XRD diffractogram. For the Ipubi Formation sample, part of the fossil material was further replaced in a minor phase of silicon, pyrite and zinc sulfide, confirming previous results. After the death of the individual, there was loss of organic material in some specific points of the shrimp, suggesting that these regions might be more susceptible to the decomposition followed by material replacement. The Ipubi fossil is better preserved than the Romualdo one, possibly because the first has traces of pyrite and phosphate. The Romualdo Formation shrimp preserved in less detail presented a greater amount of calcium carbonate (CaCO_3) and a greater substitution of the original hydroxyapatite. Probably this specimen was submitted to greater environmental stress (carriage) between the place of death and the final deposition site, or it received the greater influence of the diagenesis, hindering the visualization of morphological details. Importantly, there was possibly a partial replacement of the hydroxyl group of hydroxyapatite ($\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{OH}$) by fluorine in the fossilization process of the Romualdo Formation fossil.

Environmental variations in pH, temperature, and pressure might have influenced the solubility of some compounds. The fossil from the Romualdo Formation was replaced predominantly by calcium carbonate (CaCO_3) originated from precipitation in the aqueous medium. It could have also occurred diagenetic recrystallization that prevented the preservation of morphological details such as the divisions of the abdominal somites, uropods, and telson. Structures of the pereopods and pleopods, antennas and antennules were not visualized in the sample, likely because they are anatomic structures more sensitive to decomposition. Finally, the involvement of these quantitative techniques contributes to obtaining a range of additional information that goes beyond the analysis of the fossil itself, it is possible, for example, to access the taphonomic history of organisms, providing a more reliable view of ancient life.

ACKNOWLEDGMENT

The authors also wish to thank Central Analítica – UFC/Brazil for providing MEV/EDS facilities and URCA for the support in the fieldwork.

REFERENCES

- ASSINE, M.L., 1992. Paleocorrentes na bacia do Araripe, Nordeste do Brasil, **2º simpósio sobre as bacias Cretácicas brasileiras**, 59-60.
- BRIGGS, D.E., & KEAR, A.J., 1994. Decay and mineralization of shrimps. **Palaios**, 9(5), 431-456.
- 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**, 193-202.
- DELGADO, A.D.O., BUCK, P.V., OSÉS, G. L., GHILARDI, R. P., RANGEL, E. C., & PACHECO, M.L.A.F., 2014. Paleometry: a brand new area in Brazilian science. **Materials Research**, 17(6), 1434-1441.
- FELDMANN, R.M.; POLE, M., 1994. A new species of Paranephrops White, 1842: A fossil freshwater crayfish (Decapoda: Parastacidae) from the Manuherikia group (Miocene), central Otago, New Zealand. **New Zealand Journal of Geology and Geophysics**, 37(2), 163-167.
- FERRARI, A. C., & ROBERTSON, J., 2001. Resonant Raman spectroscopy of disordered, amorphous, and diamondlike carbon. **Physical review B**, 64(7), 075414.
- KELLNER, A.W., 1996. Reinterpretation of a remarkably well preserved pterosaur soft tissue from the Early Cretaceous of Brazil. **Journal of vertebrate Paleontology**, 16(4), 718-722.
- KELLNER, A.W.A., SCHOBENHAUS, C., CAMPOS, D.A., QUEIROZ, E.T., WINGE, M., & BERBERT-BORN, M.L.C., 2002. Membro Romualdo da Formação Santana, Chapada do Araripe, CE. Um dos mais importantes depósitos fossilíferos do Cretáceo brasileiro. **Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil**, 1, 121-130.
- KIDWELL, S.M., BOSENCE, D.W.J., ALLISON, P.A., & BRIGGS, D.E.G., 1991. Taphonomy: releasing the data locked in the fossil record.
- LIMA, R. J.C, FREIRE, P.T.C., SASAKI, J. M., FEITOSA SARAIVA, A.A.F, LANFREDI, S., & LIMA NOBRE, M. A., 2007. Study of coprolites from the Araripe Sedimentary Basin through FT-IR spectroscopy and X-ray diffraction. **Química Nova**, 30(8), 1956-1958

MAISEY, J.G., CARVALHO, M.D.G.P.D., 1995. First records of fossil sergestid decapods and fossil brachyuran crab larvae (Arthropoda, Crustacea): with remarks on some supposed palaemonid fossils, from the Santana Formation (Aptian-Albian, NE Brazil). **American Museum novitates**; no. 3132.

MARTILL, D. M., 1990. Macromolecular resolution of fossilized muscle tissue from an elopomorph fish. **Nature**, 346(6280), 171.

MARTILL, D.M., 1988. Preservation of fish in the cretaceous santana formation of Brazil.

MARTÍNEZ-DELCLÒS, X., BRIGGS, D.E., PEÑALVER, E.J.P., 2004. Taphonomy of insects in carbonates and amber. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeocology** 203, (1-2), 19-64.

MARTINS-NETO, R.G, MEZZALIRA, S., 1991a. Descrição de novos crustáceos (Caridea) da Formação Santana, Cretaceo Inferior do nordeste do Brasil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 63(2),155-160.

MARTINS-NETO, R.G, MEZZALIRA, S., 1991b. Revisão dos Palemonídeos Terciários Brasileiros (Crustacea, Caridea) com descrição de novas taxa. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 63, (4), 361-367.

OLIVEIRA, N.C., SILVA, J.H., BARROS, O.A., PINHEIRO, A.P., SANTANA, W., SARAIVA, A.A.F, & PAULA, A.J., 2015. Large-field electron imaging and X-ray elemental mapping unveil the morphology, structure, and fractal features of a cretaceous fossil at the centimeter scale. **Analytical chemistry**, 87(19), 10088-10095.

OSÉS, G. L., PETRI, S., BECKER-KERBER, B., ROMERO, G.R., RIZZUTTO, M.A, RODRIGUES, F., & RIBEIRO, R.P., 2016. Deciphering the preservation of fossil insects: a case study from the Crato Member, Early Cretaceous of Brazil. **PeerJ**, 4, e2756.

PINHEIRO, A. P., SARAIVA, A. A.F, SANTANA, W., 2014. Shrimps from the Santana Group (Cretaceous: Albian): new species (Crustacea: Decapoda: Dendrobranchiata) and new record (Crustacea: Decapoda: Caridea). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 86, (2),663-670.

SANTANA, W., PINHEIRO, A.P., SILVA, C.M.R.D., & SARAIVA, A.A.F., 2013. A new fossil caridean shrimp (Crustacea: Decapoda) from the Cretaceous (Albian) of the Romualdo Formation, Araripe Basin, northeastern Brazil. **Zootaxa**, 3620(2), 293-300.

SARAIVA, A.A.F., PINHEIRO, A.P., SANTANA, W., 2018. A remarkable new genus and species of the planktonic shrimp family Luciferidae (Crustacea, Decapoda) from the Cretaceous (Aptian/Albian) of the Araripe Sedimentary Basin, Brazil. **Journal of Paleontology**, 92(3), 459-465.

SCHULTZE, H. P., 1989. Three-dimensional muscle preservation in Jurassic fishes of Chile. **Andean Geology**, 16(2), 183-215.

SOUSA FILHO, F.E., DA SILVA, J.H., SARAIVA, A.A.F., BRITO, D.D.S., VIANA, B. C., ABAGARO, B. T.O., & FREIRE, P.D.T. C., 2011. Combination of raman, infrared, and X-ray energy-dispersion spectroscopies and X-ray diffraction to study a fossilization process. **Brazilian Journal of Physics**, 41(4-6), 275-280.

VALENÇA, L.M.M., NEUMANN, V.H., & MABESOONE, J.M., 2003. An overview on Callovian-Cenomanian intracratonic basins of Northeast Brazil: Onshore stratigraphic record of the opening of the southern Atlantic. **Geologica Acta**, 1(3), 261.

WILBY, P.R., & MARTILL, D.M., 1992. Fossil fish stomachs: a microenvironment for exceptional preservation. **Historical biology**, 6(1), 25-36.

WILBY, P.R., 1993. The role of organic matrices in post-mortem phosphatization of soft-tissues. **Kaupia**, 2, 99-113.

4.4 Capítulo 4 - New data on *Beurlenia araripensis* Martins-Neto & Mezzalira, 1991, a lacustrine shrimp from Crato Formation, Early Cretaceous of the Araripe Basin, northeastern Brazil, and its morphological variations based on the shape and the number of rostral spines.

*Artigo submetido para PlosOne (2021, no Prelo)

Olga Alcântara Barros^{1,*}, Maria Somália Sales Viana², Bartolomeu Cruz Viana³, João Hermínio da Silva⁴, Alexandre Rocha Paschoal⁵, Paulo Victor de Oliveira⁶

¹Pós-graduação em Geologia, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Ceará, Campus do Pici, Fortaleza, Ceará, Brazil, ²Laboratório de Paleontologia, Museu Dom José, Universidade Estadual Vale do Acaraú, Sobral, Ceará, Brazil, ³Departamento de Física, Universidade Federal do Piauí, Teresina, Piauí, Brazil, ⁴Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal do Cariri, Juazeiro do Norte, Ceará, Brazil, ⁵Departamento de Física, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, Brazil. ⁶Laboratório de Paleontologia de Picos, Universidade Federal do Piauí, Campus Senador Helvídio Nunes de Barros, Picos, Piauí, Brazil * olga.a.barros@gmail.com

ABSTRACT

Fossil freshwater carideans are very rare worldwide. Here, we present new taxonomic remarks about *Beurlenia araripensis* from the Early Cretaceous laminated limestones of the Crato Formation, Araripe Basin, northeastern Brazil. We analyzed five fossil samples, testing the morphological variations such as, rostrum with 5 to 14 supra-rostral spines and 2 to 3 sub-rostral spines, which appears as serrate for Caridea. This variation demonstrates a morphologic plasticity also seen in extant species of the group, such as those of the genera *Macrobrachium* and *Palaemon*.

Key words: Crustacean; Caridean; Cretaceous; Crato Formation

INTRODUCTION

Among the crustacean fossil fauna worldwide, freshwater decapods are rare, especially in the Mesozoic [1]. In Brazil, Palaemonidae crustaceans are known from the Cenozoic outcrops, with records in the Tremembé Formation (Oligocene of southeast Brazil), and from the Early Cretaceous deposits of the Marizal Formation (northeast Brazil) [2].

The Romualdo and Crato formations of the Araripe Basin show the largest number of fossil shrimp species described for the Cretaceous, including carideans (*Beurlenia araripensis* Martins-Neto & Mezzalira, 1991, and *Kellnerius jamacaruensis* Santana, Pinheiro, Silva & Saraiva, 2013), sergestoids (*Paleomattea deliciosa* Maisey & Carvalho, 1995), luciferids (*Sume marcosi* Saraiva, Pinheiro & Santana, 2018), and penaeoids (*Araripenaeus timidus* Pinheiro, Saraiva & Santana, 2014, *Priorhyncha feitosa* Alencar, Pinheiro, Saraiva, Oliveira & Santana, 2018, and *Cretainermis pernambucensis* Prado, Calado & Barreto, 2019). For intermediate levels of the Santana Group, the presence of Caridea was also reported for the Ipubi Formation, but the specimens are poorly preserved laterally, hampering a more detailed classification [3].

Beurlenia araripensis was described for the first time as a caridean in the family Palaemonidae Rafinesque, 1815. Its description was made considering morphological characters found in a single, almost complete specimen [4]. Years later, with further specimens, additional features were described, especially in the rostral region [5], and the inclusion of *Beurlenia* in Palaemonidae was questioned because no evidence was found of articulated spines or setae on the telson of the new specimens. This, as well as the presence of biflagellate instead of triflagellate antennules and the absence of lateral spines at the tip of the telson further questioned the attribution of *Beurlenia* to palaemonids, thus some authors [5,6] transferred *B. araripensis* to a *incertae sedis* family within Caridea.

Through a new sample of *Beurlenia araripensis*, Saraiva *et al.* [7] reported new inferences about its taxonomy. For example, the carapace previously described as smooth [4] presented two evident spines that, together with articulated spines found in the posterior extremity of the telson, confirmed its inclusion in Palaemonidae. Besides, they also questioned the variation in the number of the rostrum spines (12-14 supra rostral spines) [7], indicating probable morphologic plasticity as occurs for extant species of *Macrobrachium* Bate, 1868 [7].

In this work, we present new taxonomic remarks regarding *Beurlenia araripensis* and observed morphological variations in the 5-14 rostral spines. These have a serrate appearance, confirming the inclusion of *Beurlenia araripensis* in Palaemonidae Rafinesque, 1815.

Geological setting

The Araripe Basin is one of the most important fossiliferous areas from the Cretaceous Period in the world. The area is known for the excellent preservation, diversity, and quantity of fossils, specifically in the Crato and Romualdo formations. This basin is located in inland northeastern Brazil in the states of Ceará, Pernambuco, and Piauí [8]. This basin is particularly rich in shrimp fossils, with several species preserved in excellent conditions (Fig 1).

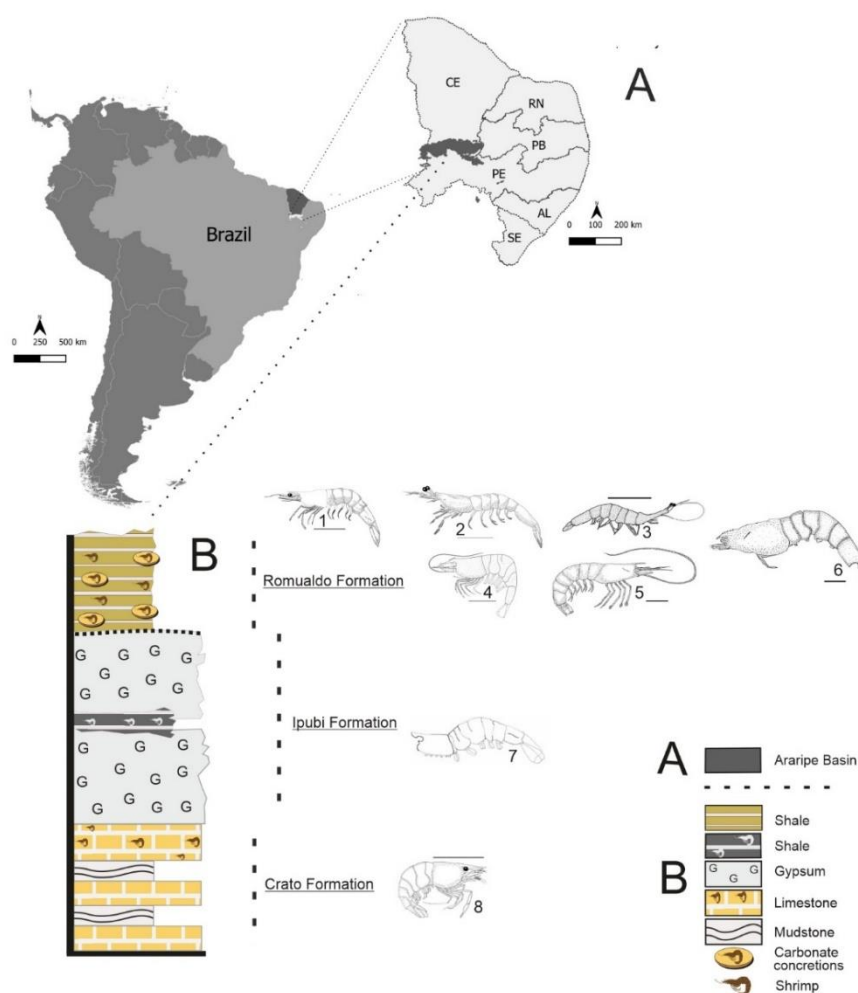


Fig 1. South America map with Brazil highlighted. (A) Northeastern Brazil with location of the Araripe Basin (south of the Ceará State). (B) Shrimps that are found in Santana Group: 1. *Araripenaeus timidus*, 2. *Paleomattea deliciosa*, 3. *Sume marcosi*, 4. *Kellnerius jamacaruensis*, 5. *Cretainermis pernambucensis*, 6. *Priorhyncha feitosa*, 7. indeterminate Caridea, 8. *Beurlenia araripensis*, drawn by Olga A. Barros with base in the descriptions: [3,7,9–13].

The Araripe Basin is subdivided stratigraphically into pre-rift and post-rift (I and II) sequences formed mainly by fluvial and lacustrine strata, including the rich fossiliferous deposit of the Santana Group [8], which comprises the Rio da Batateira, Crato, Ipubi, Romualdo, and Arajara Formations (Aptian-Albian in age) [9].

The three main units with fossils from the Santana Group are the Crato, Ipubi, and Romualdo formations (Fig 1). The Crato Formation is composed by a series of laminated limestones, silts, and silty clays; the fossils of which have been dated as Aptian in age. The Ipubi Formation is composed of evaporites with some intercalated shales, forming a sedimentary section with a maximum thickness of 30 m. The Romualdo Formation includes a heterogeneous sequence of bituminous shales, marls, sandstone and carbonate sediments [10].

The Crato Formation is a *Lagerstätte*, with exceptionally well preserved fossils. The gonorynchiform fish *Dastilbe crandalli* Jordan, 1910 is extremely common [11], but it is also possible to find frogs [12], lizards [13], turtles [14], pterosaurs [15], plants [16], insects [17], and crustaceans [4] in this formation.

MATERIAL AND METHODS

Paleontological ethics statements

The specimens are deposited in the Laboratory of Paleontology at Universidade Federal do Ceará (UFC, Brazil), in the Laboratory of Paleontology at Universidade Regional do Cariri (URCA, Brazil), in the paleontological collection of the Plácido Cidade Nuvens Museum (MPSC, Brazil), and in the collection of the Geological Department at Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ, Brazil). All the studied samples were taken from the above institutions with the necessary permits, complying with every applicable regulation. All the images analyzed in this work were obtained by the authors with proper permissions from the institutions listed above.

Analysis of the samples and sampling design

We analyzed the samples using a stereomicroscope. The images were taken on an Olympus C011 trinocular microscope, coupled with a CCD camera, and captured by the Infinity Capture software. The samples were drawn and measured under a stereomicroscope with a Camera Lucida and improved with a drawing table, Parblo A610 – Graphic Tablet. The geographical location of the Araripe Basin was produced using the software QGIS Geographic Information System (version 3.12 – QGIS.org) considering the coordinate system Datum - SIRGAS 2000 from Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, Brazil) and Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM, Brazil). The stratigraphy of the Santana group was drawn by the authors, based on Valença *et al.* [9].

Results

We analyzed thirteen samples, nine from UFRJ, two from UFC, and two from URCA, but only two samples from UFRJ (171/CR and 243/CR), two from URCA (1673/LPU and 2108/MPSC), and one from UFC (2466/CRT) contributed to the data shown in this work because the other specimens were mostly fragmented or incomplete, without relevant anatomical details.

Systematic Palaeontology

Crustacea Brünnich, 1772

Decapoda Latreille, 1802

Caridea Dana, 1852

Palaemonidae Rafinesque, 1815

Beurlenia Martins-Neto & Mezzalira, 1991

Beurlenia araripensis Martins-Neto & Mezzalira, 1991

Stratigraphic Unit: Crato Formation, Santana Group, Araripe Basin, Ceará, Brazil. Valença *et al.* [9].

Type Species: *Beurlenia araripensis* Martins-Neto & Mezzalira, 1991, by original designation.

Emended Diagnosis:

Palaemonid with antennae longer than the body; antennules with two flagellae. Rostrum short or medium-sized, with 5 to 14 supra-rostral spines, small and close together with serrate appearance; 2 to 3 sub-rostral spines; rostrum with laminar scaphocerite; third maxilliped with a brush of hair (bristles) and a calcified and hard protuberance that looks like a tubercle; antennal and branchiostegal spines present in the carapace; pleon is six-segmented and smooth without spines; pleurae of the first and third somites are somewhat rounded, while the second somite is strongly rounded, overlapping the first and third ones; fourth and fifth somites have a strongly acute pleura; first two pairs of pereopods represented by chelipeds (P1-P2), in which the second pereopod (P2) is enlarged and larger than the first (P1) and contains several tubercles; pereopods posterior to second pair (P3-P5) are long and narrow; one spine on the merus and several tubercles on the merus, carpus and propodus with elongate dactylus without chelae; multi-segmented pleopods; telson with at least one pair of articulated spines on distal extremity and one articulated spine in the posterior extremity of the telson; uropod (exopod) slightly longer than the telson; exopodite with diaeresis.

Description of the material 2466/CRT (UFC)

(Figs 2-4)

Description: Medium-sized caridean with a well-preserved exoskeleton, total length 46 mm, being one of the largest species found; 4 rostral spines visible, and the last fragmented part at the end of the rostral tip seems to have at 5 spines and 3 sub-rostral spines with serrated appearance; eyestalks not preserved; antennae and antennules very long and incompletely preserved, with unknown total length because of fragmentary nature of specimen; carapace and pleonal pleurae laterally compressed; antennal and branchiostegal spines clearly visible on the carapace; laminar scaphocerite present; pleon six-segmented, all somites smooth without spines, pleura of second somite somewhat rounded, overlapping first and third. Third and fourth somites have strongly acute pleura; pereopods well preserved, but it is difficult to understand their segmentation; first two pereopods chelate, but the second (P2) is larger than the first (P1); the subsequent pereopods (P3-P5) lack chelae and have one spine evident in P3 and P5; pleopods visible and multi-segmented; uropods and telson preserved; telson with at least one pair of articulated spines on distal extremity and one spine in the posterior extremity; uropod slightly longer than the telson; protopodite subrectangular in outline and supports the exopodite. Exopodite, with rounded diarsis, is crossed by a thin longitudinal carina, extending parallel to the outside lateral margin and ending with a small spine. Endopodite without ornamentation.

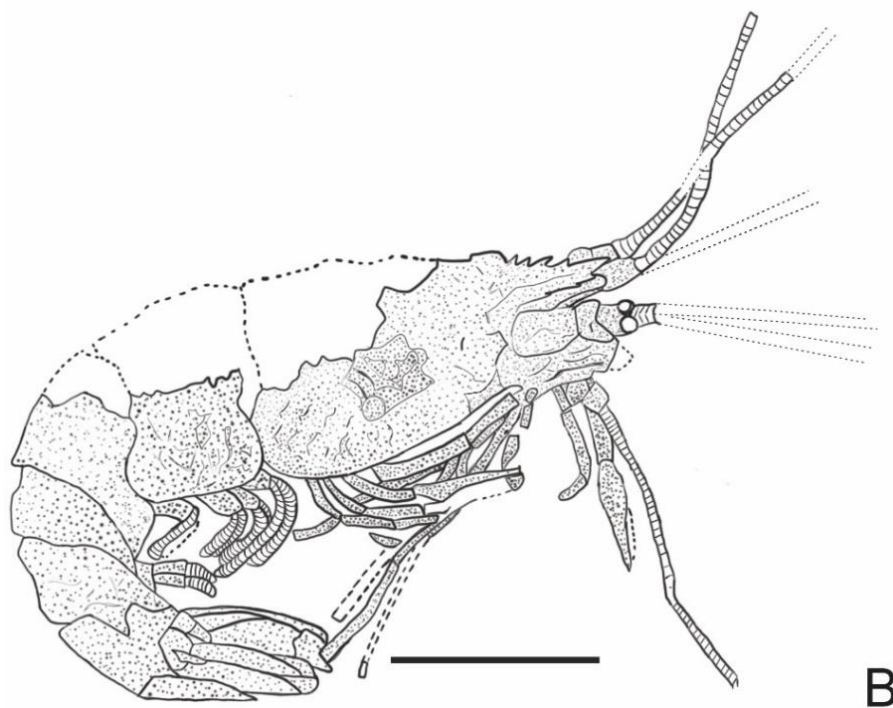


Fig 2. Lateral view of the Specimen 2466/CRT (UFC). (A) Detail of the chelae on the second pereopods. The other P3-P5 pereopods without chelae with elongate dactylus. Pleopods are visible and are multi-segmented. (B) Reconstitution, dotted lines represent appendages not preserved but with impressions on the matrix. Rs: rostrum; A: antenna; An: antennule; S: scaphocerite; Pl: pleopods; P1-P5: pereopods; I-VI: pleon; T: telson; U: uropods. Scale bar: 10 mm. Photo and drawing by Olga A. Barros

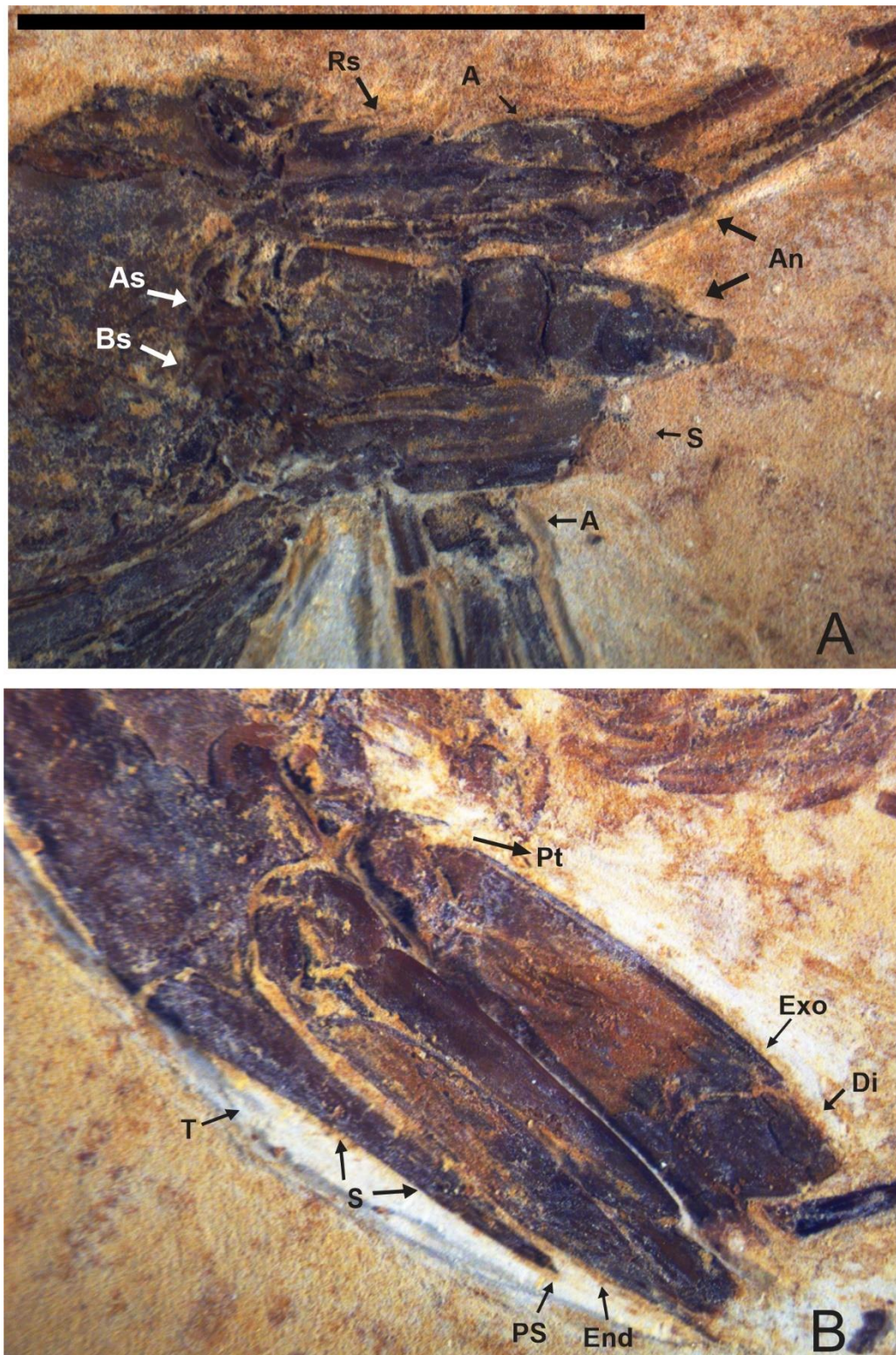


Fig 3. 2466/CRT (UFC). (A) Antennal and branchiostegal spines are visible. (B) Detail of the uropods and telson with posterior spines, exopod is slightly longer than the telson. Rs: rostrum; A: antenna; An: antennule; S: scaphocerite; T: telson; S: spines; Ps: posterior spines; End: endopodite; Exo: exopodite; Di: diapodite; Pt: protopodite. Scale bar: 10 mm. Photo: Olga A. Barros.



Fig 4. 2466/CRT (UFC). (A) Detail of the uropod. Exopodite with diaresis has crossed by a thin longitudinal carina running parallel to the outside lateral margin and ending with a small spine in highlighted. The endopodite without ornamentation. (B) Detail of the Pereiopods with spine.

Description of the material 1673/LPU (URCA)

(Figs 5-7)

Description: The sample has a 46.01 mm total length (rostrum to telson), being one of the largest specimens found, with a well-preserved exoskeleton; antennae and antennules not well preserved, but it is possible to see their impression on the matrix; rostrum with 12 supra-rostral spines with serrate appearance, two sub-rostral spines clearly visible; laminar scaphocerite present; third maxilliped with a brush of hairs (bristles) and a calcified and hard protuberance with a well evident tubercle; carapace laterally compressed, 10.65 mm in total length; antennal and branchiostegal spines clearly visible. Smooth pleon without spines; pleura of the second somite strongly rounded, overlapping the first and third, strongly acute fourth and fifth somites; first two pereopods chelate, but the second (P2) is larger than the first (P1). First pereopod (P1) preserved behind the other pereopods (P2-P4), but it is possible to see the dactylus. Second pair of pereopods (P2) has several tubercles; first propodus about 4.44 mm long and dactylus 4.26 mm long, second pereopod of P2 with 3.98 mm long propodus and 4.48 mm long dactylus, both with relatively large sizes when compared with other samples already described; subsequent pereopods (P3-P5) have one spine on merus and several tubercles on the merus and carpus with elongated dactylus without chelae; pleopods visible and multisegmented; telson and uropod (exopod and endopod) are faintly preserved.

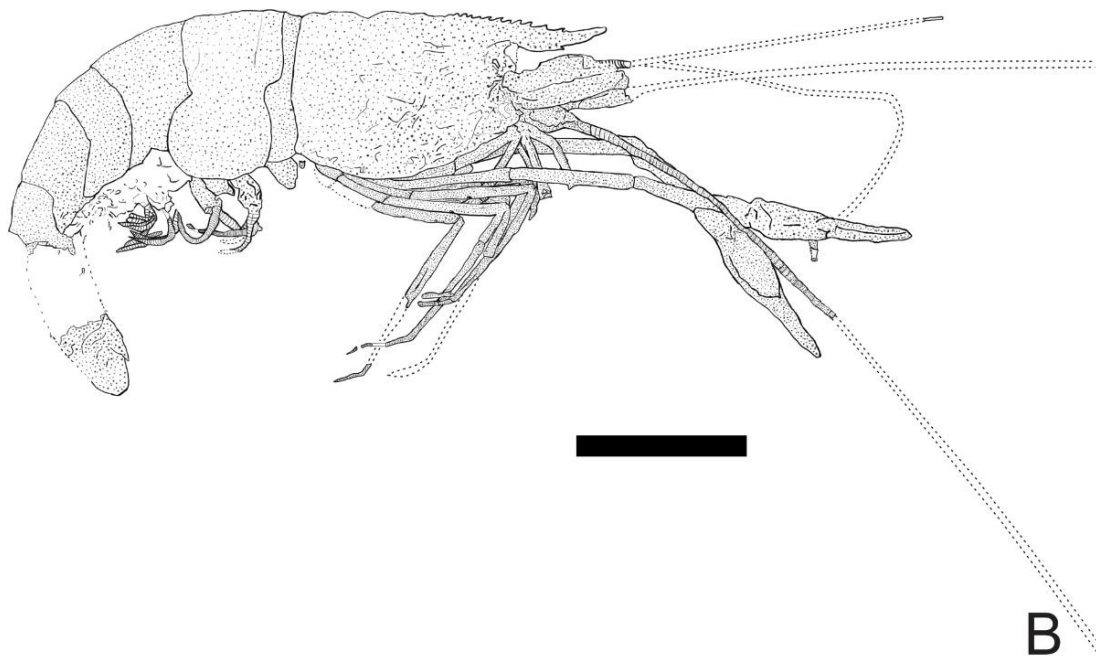
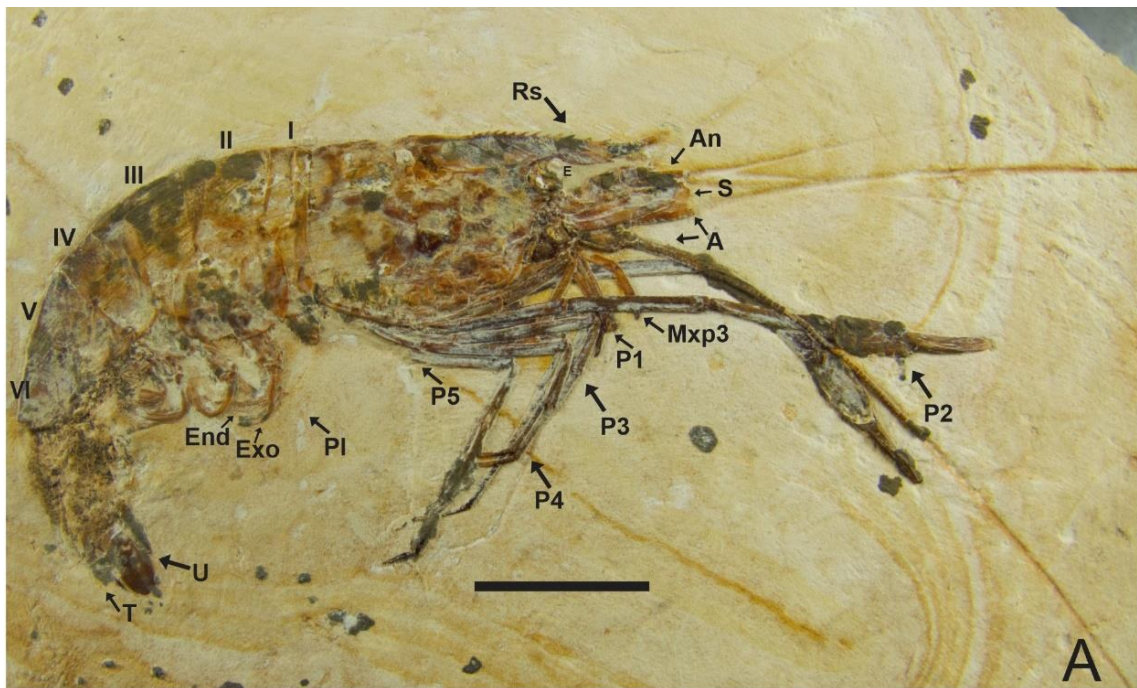


Fig 5. Lateral view of the Specimen 1673/LPU. (A) Detail of the second pereopod is represented by chelipeds. (B) Reconstitution, dotted lines represent appendages not preserved but with impressions on the matrix. Rs: rostrum; An: antennule; A: antenna; S: scaphocerite; Mxp3: third maxilliped; P1-P5: pereopods; Pl: pleopods; End: endopod; Exo: exopod; I-VI: pleon; T: telson; U: uropods. Scale bars: 10 mm. Photo and drawing by Olga A. Barros.

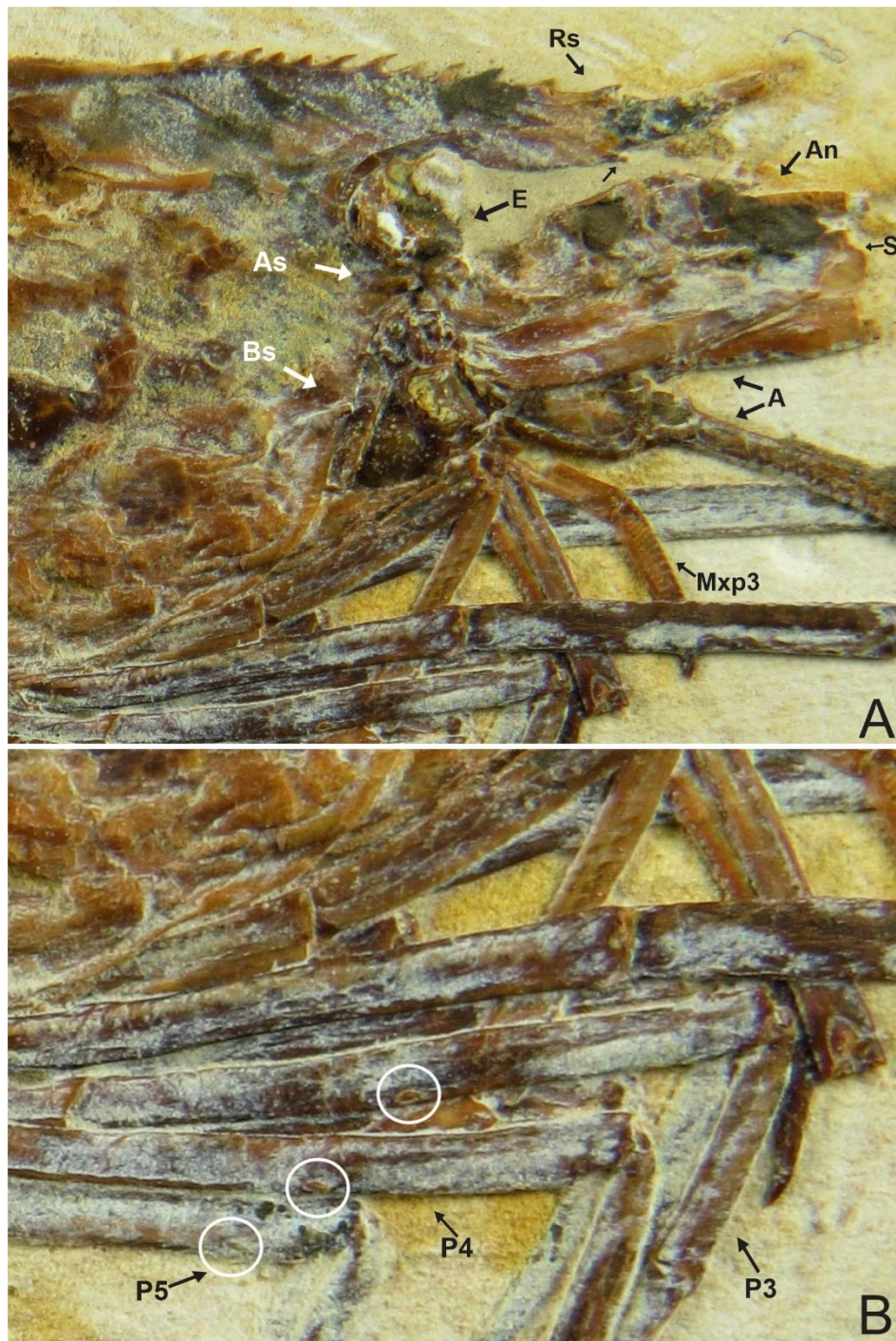


Fig 6. 1673/LPU. (A) The rostrum exhibits 12 supra-rostral spines with serrate appearance, two sub-rostral spines clear visible; brush's presence of hairs (bristles) and spines well evident in the third maxilliped. (B) Detail of the Pereiopods P3-P5 have one spine in the merus. E: eyes; Rs: rostrum; An: antennule; A: antenna; S: scaphocerite; As: antennal spines; Bs: branchiostegal spines; Mxp3: third maxilliped. Photo by Olga A. Barros.



Fig 7. 1673/LPU. (A) Detail of the pereiopods spines (black circle) and tubercles (white circle). (B) Detail of tubercles in existing caridean, when the tubercle is broken stay one hole in place of the tubercles (hole in detail of two black circles on the side by side). This hole can be filled by sediment during fossilization. (C) white circle is the detail of the tubercles in the second pereiopod (P2).

Description of the material 2108/MPSC (URCA)

(Figs 8 and 9)

Description. Specimen with well-preserved exoskeleton; carapace sub-rectangular in lateral view, with 11.5 mm overall length; long antennae and antennules, but total length is unknown because of the fragmentary nature of the specimen; rostrum with 14 supra-rostral spines, small and close together with serrate appearance, and three sub-rostral spines; laminar scaphocerite present; third maxilliped distinctly leg-like in appearance, endopodite with the first podomere represented by fused ischium and merus, second by the carpus, and third by fused propodus and dactylus. Exopodite is smaller than ischium and merus, slender, and unjointed; carapace with clearly visible antennal and branchiostegal spines; smooth pleon without spines, pleura of second somite strongly rounded, overlapping first and third. Fourth and fifth somites with a strongly acute pleura; first two pereopods chelate, with second pair (P2) larger than the first (P1); pereopods P3-P5 lacking chelae, long, and narrow, only third pereopod (P3) has a preserved spine on merus; pleopods multisegmented, telson with at least one pair of articulated spines on distal extremity and one spine in posterior extremity; uropod slightly longer than the telson; protopodite subrectangular in outline and supports the exopodite. The exopodite, with rounded diarsis, is crossed by a thin longitudinal carina, extending parallel to the outside lateral margin and ending with a small spine. Endopodite without ornamentation.

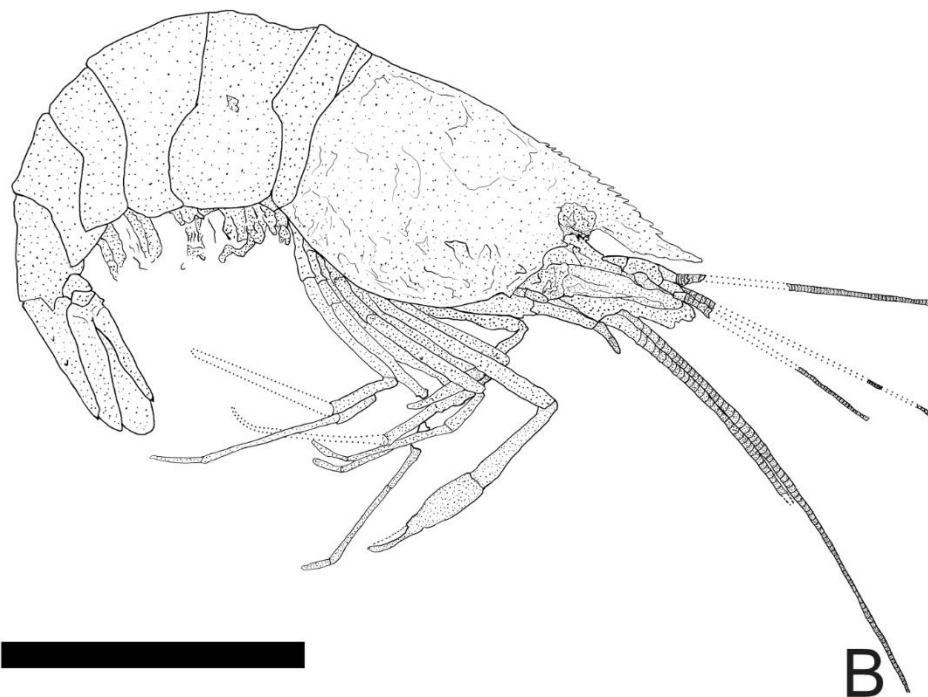
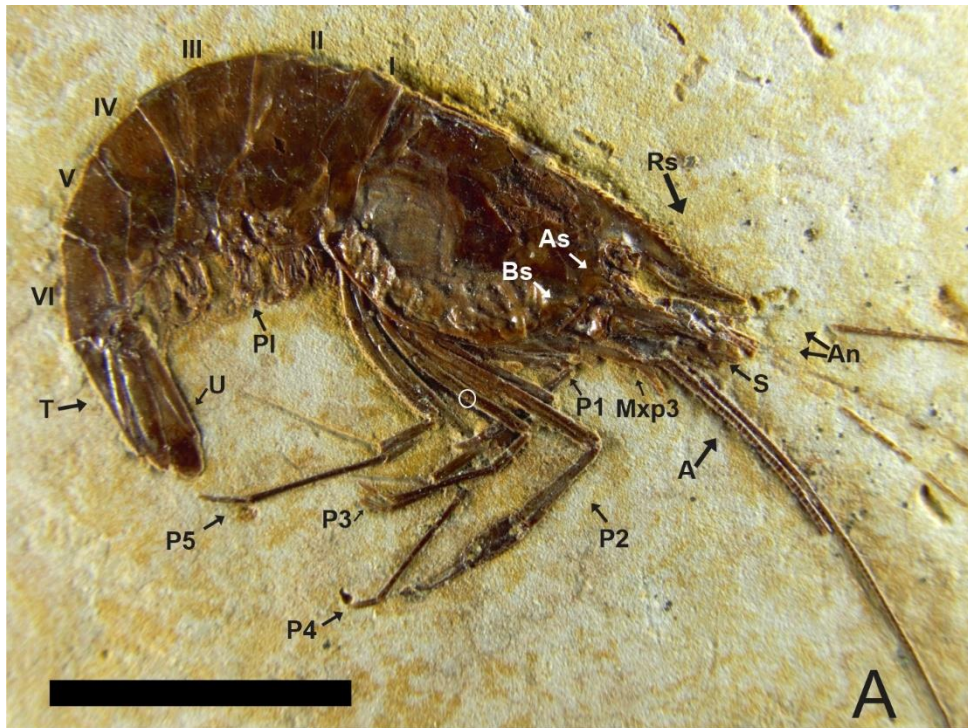


Fig 8. 2108/MPSC (URCA). (A) Lateral view of the 2108/MPSC (URCA). (B) Reconstitution, dotted lines represent appendages not preserved but with impressions on the matrix. Rs: rostrum; An: antennule; A: antenna; As: antennal spines; Bs: branchiostegal spines; S: scaphocerite; Mxp3: third maxilliped; P1-P5: pereopods; Pl: pleopods; I-VI: pleon; T: telson; U: uropods. Scale bars: 10 mm. Photo and drawing by Olga A. Barros.



Fig 9. 2108/MPSC (URCA). (A) Detail of the telson with one pair of spines. (B) Detail of the telson with the posterior spine (PS). (C) Detail of the uropod. Exopodite with diarsis has crossed by a thin longitudinal carina running parallel to the outside lateral margin and ending with a small spine in highlighted. (D) third pereopod (P3) with an evident spine.

Description of the material 171/CR (UFRJ)

(Figs 10-12)

Description. Medium-sized specimen with well-preserved exoskeleton; total length approximately 25 mm; antennae and antennule very long, but total length is unknown because of the fragmentary nature of specimen; laminar scaphocerite preserved; rostrum partially preserved, with 7 well evident supra-rostral spines, the fragmented end of the rostral tip seems to have 9 supra-rostral spines with serrate appearance, 2 sub-rostral spines clearly visible; laminar scaphocerite present; smooth pleon without spines, pleura of the second somite strongly rounded, overlapping the first and third. Fourth and fifth somites bear a strongly acute pleura; first pereopod (P1) is not discernible, second pereopod (P2) enlarged and chelate and faintly preserved; tubercles on merus, carpus, and propodus; pereopods (P3-P5) long and narrow; pleopods visible but poorly preserved; only small proximal fragments of telson and uropod are preserved.

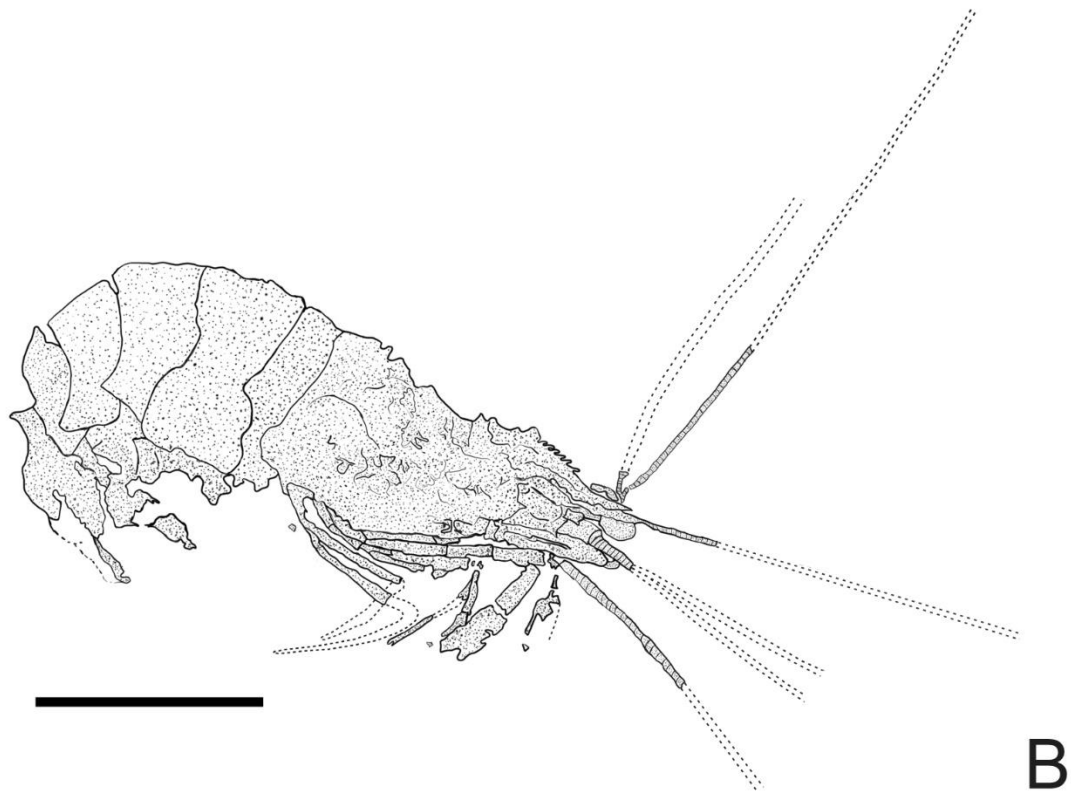
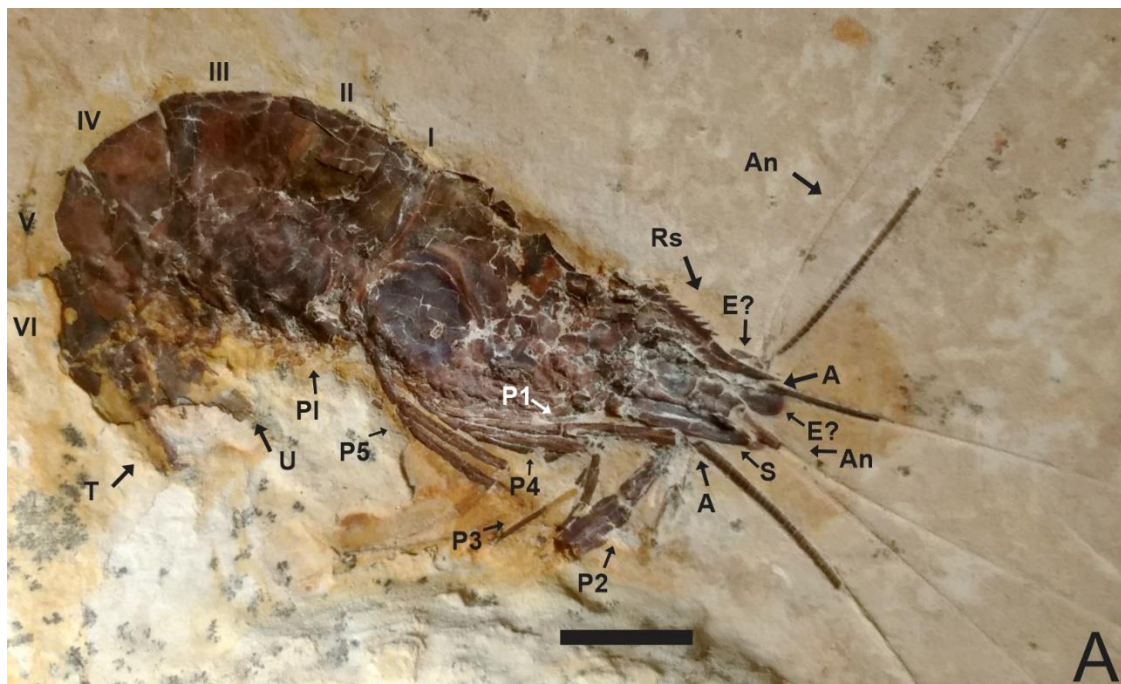


Fig 10. Lateral view of the UFRJ 171/CR. (A) second pereiopod are represented by cheliped. (B) Reconstitution, dotted lines represent appendages not preserved but with impressions on the matrix. Rs: rostrum; An: antennule; E: eyes; A: antenna; S: scaphocerite; P1-P5: pereiopods; P1: pleopods; I-VI: pleon; T: telson; U: uropods. Scale bars: 10 mm. Photo and drawing by Olga A. Barros.

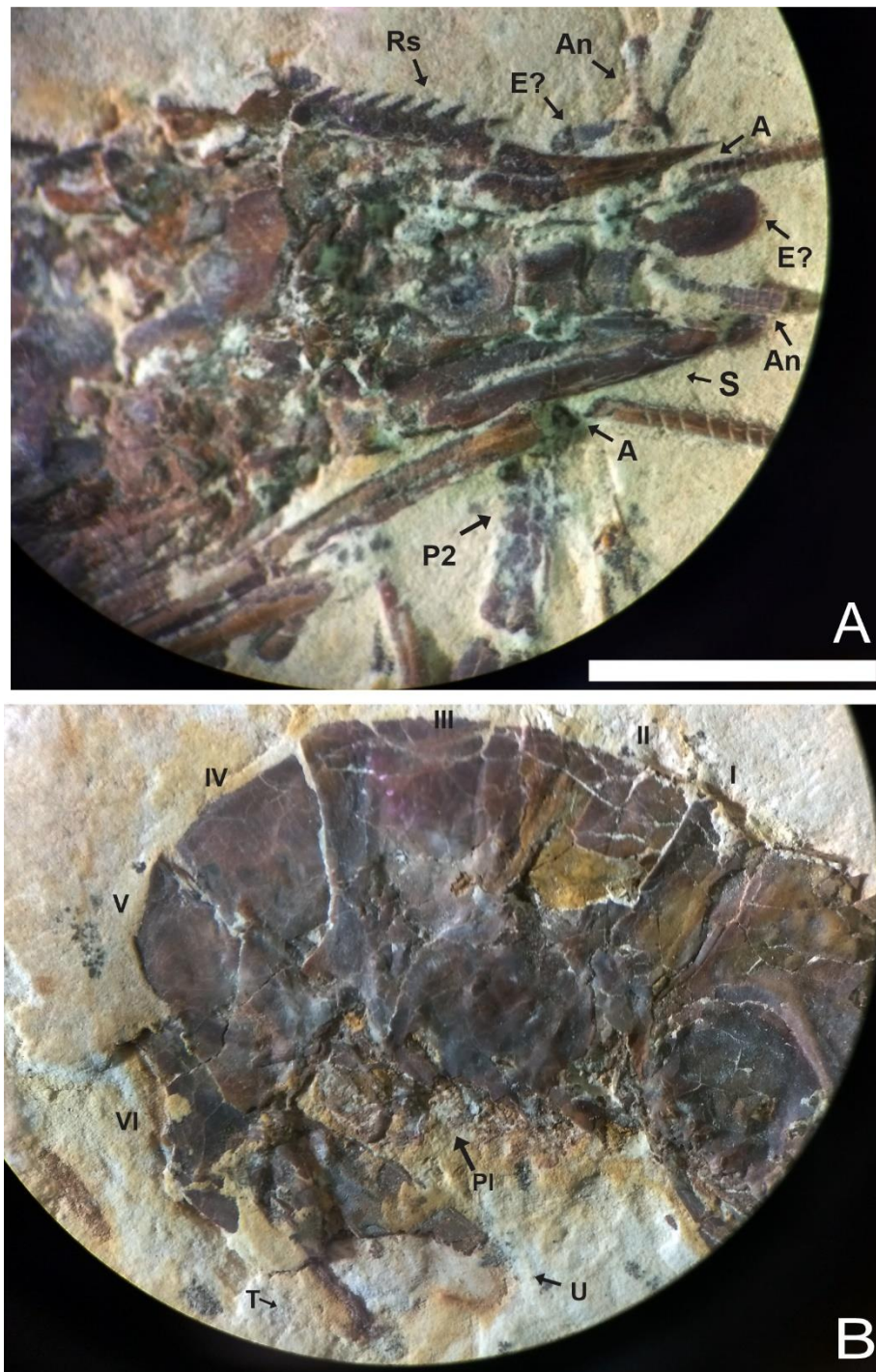


Fig 11. UFRJ 171/CR. A) The detail of the rostrum partially preserved show 9 supra-rostral spines with serrate appearance, and 2 sub-rostral spines clearly visible. B) Smooth pleon without spines, the pleura of the second somite is strongly rounded, overlapping the first and third. The fourth and fifth somites are with a strongly acute pleura, characteristic that typical of *Beurlenia araripensis*. Rs: rostrum; An: antennule; E: eyes; A: antenna; S: scaphocerite; P2: second pereopod; I-VI: pleon; Pl: pleopods; T: telson; U: uropods. Scale bar 5 mm. Photo: Olga A. Barros.



Fig 12. UFRJ 171/CR. Detail of the second pereiopods (P2) represented by chelipeds with several tubercles clearly in the merus and carpus. Photo by Olga A. Barros.

Description of the material 243/CR (UFRJ)

(Figs 13-16)

Description. This sample is approximately 28 mm long; antennae and antennules very long, but their total lengths are unknown because of the fragmentary nature of the specimen; rostrum partially preserved, with 9 well evident supra-rostral spines and the fragmented end of the rostral tip seems to have 11 rostral spines with serrate appearance; sub-rostral spine not discernible; laminar scaphocerite present; antennal and branchiostegal spines not discernible in carapace; smooth pleon without spines, pleura of second somite strongly rounded, overlapping first and third. Fourth and fifth somites with a strongly acute pleura. First perieopod (P1) incomplete, second pereopod (P2) enlarged and chelate with elongated propodus, three subsequent pairs of pereopods (P3-P5) have several tubercles on merus and carpus and are long and narrow; pleopods are partially visible; telson and uropod preserved, but posterior spines not discernible.

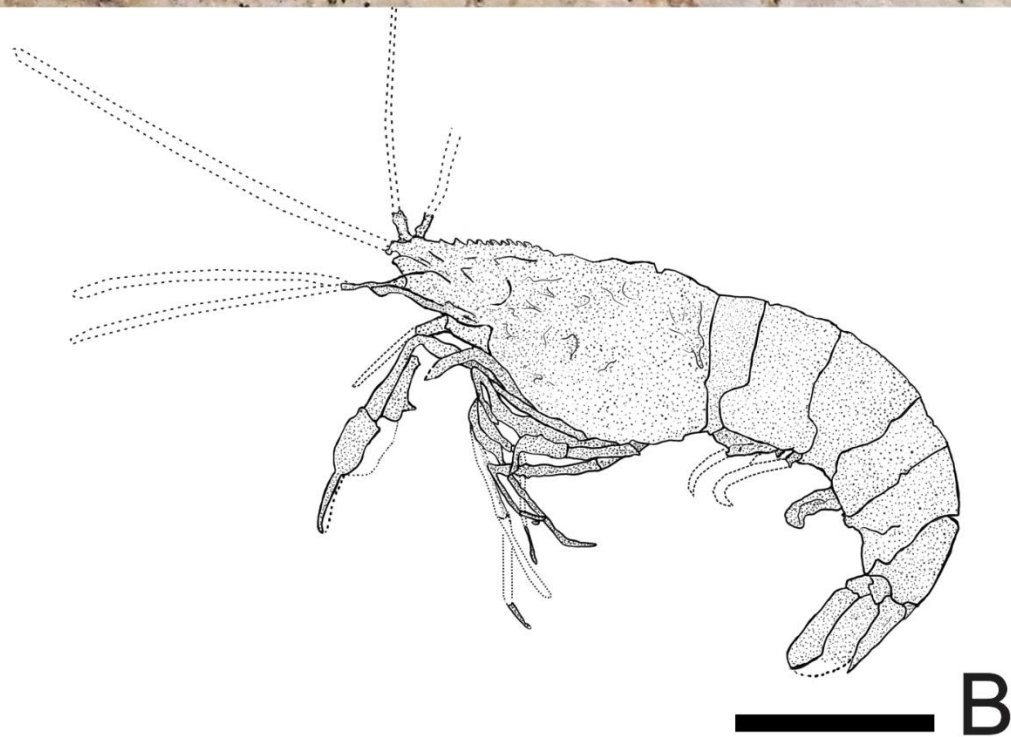


Fig 13. UFRJ 243/CR. (A) second pereopod are represented by cheliped. B) Reconstitution, dotted lines represent appendages not preserved but with impressions on the matrix. Rs: rostrum; A: antenna; An: antennule; S: scaphocerite; I-VI: pleon; P1-P5: pereopods; Pro: propodus; P1: pleopods; T: telson; U: uropods. Scale bars: 5 mm. Photo and drawing by Olga A. Barros.

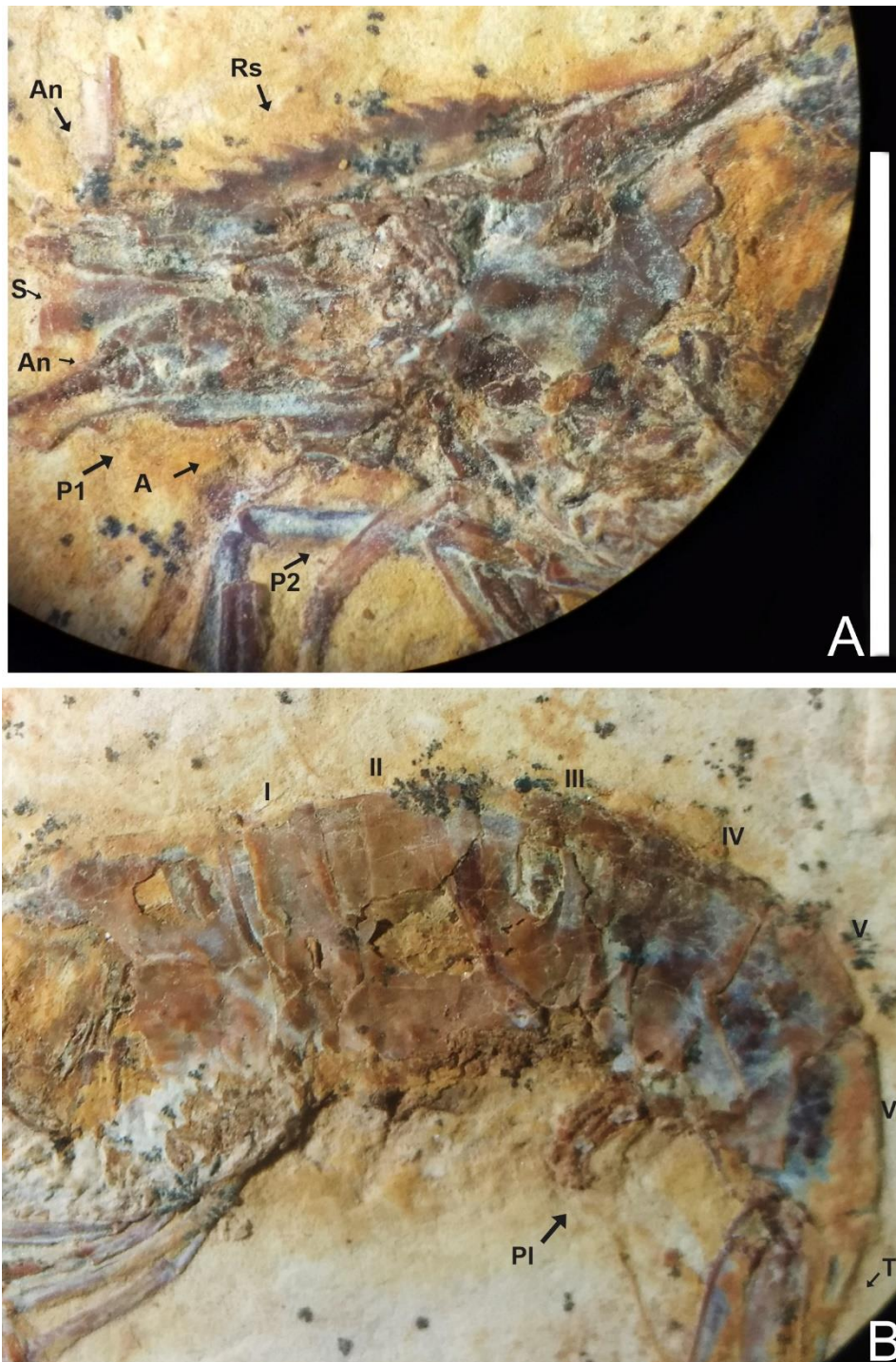


Fig 14. UFRJ 243/CR. A) Detail of the rostrum with exhibits 11 supra-rostral spines with serrate appearance, sub-rostral spines not discernible. Rs= rostrum, A= antenna, An= antennule, S= scaphocerite, P1, P2=pereiopods. B) The pleura of the second somite is strongly rounded, overlapping the first and third. The fourth and fifth somites are with a strongly acute pleura, characteristic that typical of *Beurlenia araripensis*. Rs: rostrum; A: antenna; An: antennule; S: scaphocerite; P1, P2: pereiopods; I-VI: pleon; P1: pleopods; T: telson. Scale bar: 10 mm. Photo by Olga A. Barros.



Fig 15. Lateral view of the UFRJ 243/CR. Rs: rostrum A: antenna; An: antennule; S: scaphocerite; P1-P5: pereopods; Pro: propodus. Photo by Olga A. Barros.

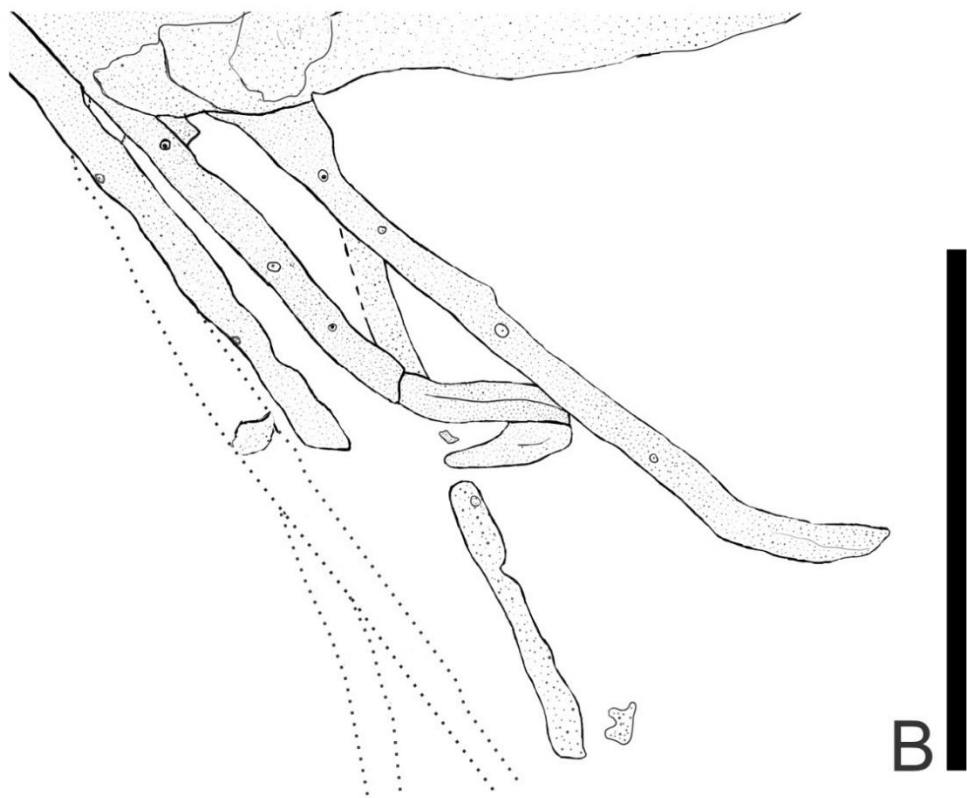


Fig 16. UFRJ 243/CR. A) Pereiopods 3-5 have several tubercles in the merus and carpus. B) Reconstitution, dotted lines represent appendages not preserved but with impressions on the matrix. Scale bars: 5 mm. Photo and drawing by Olga A. Barros.

DISCUSSION

The assignment of these samples to Caridea is clear. The second somite with sub-rounded pleura partly overlapping those of somites I and III and the second pereopod represented by chelipeds are diagnostic for the group.

We easily distinguish the samples analyzed herein from another Caridea found in the Santana group, *Kellnerius jamacaruensis*. Our samples have smooth pleon without spines or groove, whereas the third pleonal somite of *Kellnerius jamacaruensis* has a distinct groove in the first third of the tergite, not extending to the pleurite. The fourth and fifth somites have a strongly acute pleura, versus second and fourth somites about the same size, third and fifth larger (third is the largest), and sixth elongated, in *Kellnerius jamacaruensis*.

Caridean shrimps are very rare in the fossil record and their morphological features are not easy to recognize due to their often poor state of preservation [18]. Accordingly, Martins-Neto *et al.* [4] could not clearly observe the number of rostral spines in *B. araripensis*, but Maisey *et al.* [5] recognized 12 small supra-rostral spines in a single analyzed specimen with complete rostrum. Decades later, 14 supra-rostral spines and three sub-rostral spines were recognized [7]. This number of rostral spines is essential for the identification of caridean species [19], and this variation probably reveal morphologic plasticity [7] as occurs, for example, in living species of *Macrobrachium* Bate, 1868 [20,21] and *Palaemon* Weber, 1795 [22], within Palaemonidae Rafinesque, 1815.

The assignment of *B. araripensis* to Palaemonidae, as suggested by Martins-Neto *et al* [4], was confirmed in this work based on the antennal and branchiostegal spines observed on the carapace, at least one pair of articulated spines on the distal extremity of the telson and one articulated spine in the posterior extremity of telson [7]. Other Palaemonidae Rafinesque, 1815, traits of the samples analyzed in this work include: carapace with well-developed antennal and branchiostegal spines (2466/CRT, 1673/LPU, 2108/MPSC); exopodite in the third maxilliped with articulated endopodite (2108/MPSC); first two pairs of pereopods chelate, with chelae of the second generally larger than those of the first (all samples); last three pairs of pereopods with simple dactylus (all samples); spines on the distal extremity of the telson (2466/CRT, 2108/MPSC).

We observed in our samples variation in the number of rostral spines. 2466/CRT (UFC) has 5 supra-rostral spines and 3 sub-rostral spines with serrate appearance. 1673/LPU (URCA) has 12 supra-rostral spines with serrate appearance and 2 sub-rostral spines clearly visible. 2108/MPSC (URCA) has 14 supra-rostral and 3 sub-rostral spines. The partially preserved rostrum of 171/CR (UFRJ) has 9 supra-rostral spines with serrate appearance, and 2 sub-rostral spines clearly visible. 243/CR (UFRJ) has a partially preserved rostrum with 11 supra-rostral spines with a serrate appearance, the sub-rostral spines are not clear.

This variation in a five-specimens sample of *B. araripensis* reveals the probable morphologic plasticity of the species, as occurs in living carideans, as *Palaemon ivonicus* Holthus, 1950, *Palaemon carteri* Holthus, 1950, *Palaemon mercedae* Pereira, 1986, and *Palaemon yuna* Carvalho, Magalhães & Mantelatto, 2014. In fact, it is still unclear if the morphological variation found in these species represent only intraspecific variation and may encompass a larger alpha-diversity [23,24].

Palaemon ivonicus and *P. carteri* occurs sympatrically in the Amazon basin and are very similar morphologically. These two species have been distinguished primarily based on rostral characters (number of the rostral spines and rostral shape) and on the position of the branchiostegal spine. These characteristics are not enough to consistently differentiate *P. ivonicus* from *P. carteri* [19,23,25]. Therefore, the high interspecific similarity and intraspecific variability found in these species raised doubts whether they represent distinct biological entities [20,22–24]. Molecular data on shrimps, considering the genetic structures of *P. ivonicus* and *P. carteri*, may show the existence of cryptic species. Comparative studies are needed to assess if variations in other taxa of the group are inter- or intraspecific [23].

Observing the complexity in defining species of living shrimps, as opposed to intraspecific variation, one sees the higher complexity of analyzing fossils preserved in two-dimensions. The genus *Palaemon* was previously mentioned as fossils from the Profeti region, Italy, with two species. *Palaemon antonellae* Garassino & Bravi, 2016, exhibits subrectangular carapace; long rostrum with 11 suprarostal teeth protruding forward and six subrostral teeth; somite II with subround pleura partly overlapping those of somite I and III; pereopods I-II with strong, elongated chelae; telson with two pairs of spines on dorsal surface and one pair of spines on the distal extremity; exopodite with diaeresis [18]. *Palaemon vesolensis* Bravi, Coppa, Garassino & Patricelli, 1999, has a subrectangular carapace, long rostrum with 7 suprarostal teeth forwards protruded and 3 subrostral teeth, somite II with subround pleura partly

overlapping that of somite I and III, antennae three-flagellate, Pereiopods I-II chelate with elongate merus and carpus, telson with two pairs of spines on dorsal surface and one pair of spine to the distal extremity, exopodite with diaeresis [26]. As discussed above, the variation of rostrum spines in Palaemonidae is clear, and the differences between *P. antonellae* and *P. vesolensis* basically occurs in the shape and number of rostral spines. Thus, it should be better investigated if we are dealing here with two valid species or with intraspecific variation.

The determination of new species of the same genus is difficult because of the expressive plasticity occurring in Palaemonidae, mainly in the variation of the number of rostral spines. In the case of *Beurlenia araripensis*, preservation aspects brings additional difficulty to the problem. The absence of antennal and branchiostegal spines in the samples described by previous authors [4-5] may be related to the state of preservation of the carapace. In our study, it was not possible to identify the branchiostegal spines in two specimens due to the compaction of the carapace. These new features reported here for *B. araripensis* are important not only for taxonomic, but also for evolutionary and ecological studies.

We believe that the second pereopod (P2) of *B. araripensis* has several tubercles, but only P3, P4, and P5 have one evident spine. Distal parts of pereopods have several tubercles, but this structure is well preserved only in some specimens. The spines and tubercles of living caridean are very delicate, but when these structures are broken either by a diagenetic activity or in life, a small hole remains. Such a hole can be covered by the sediment during fossilization and is not clearly observed in some fossils. We believe that 2108/MPSC (URCA) has one spine in pereopods P3-P5, but this spine is clear only in the third element (P3). This specimen has a thicker layer of protective resin (Paraloid B72) that makes it difficult to identify the pereopod spines and tubercles. However, we believe that pereopods P3-P5 have spines and tubercles like those of 1673/LPU (URCA).

As for the comparative study of sexual dimorphism in extant carideans, Nogueira *et al.* [27] concluded that males of *Macrobrachium brasiliense* Heller, 1862, grow differently from females, and become the largest individuals in the population. The adult individuals invest more energy for the development of the second pair of chelipeds and the second abdominal pleura, indicating that the second pair of chelipeds is used by males in reproductive-related behaviors and the second abdominal pleura is an important part of the incubator chamber of females [28,29]. 1673 LPU (URCA) has chelate second pair of pereopod and its length is large when compared to that of others specimens of *B. araripensis*. This feature may suggest that 1673

LPU (URCA) is an adult male, but the masculine appendix is not preserved to reinforce this hypothesis.

CONCLUSION

Caridean fossils are rare, and their anatomical details are not well known due to a typically poor state of preservation. The information presented here may be valuable in understanding its classification. The number of rostral teeth is of great importance in the discrimination of different genera and species of Caridea, but other characters may also be significant for the identification of *B. araripensis*. For instance, the morphological plasticity with this species is meaningful to understand the evolutionary and environmental stages of these decapods.

ACKNOWLEDGMENTS

OAB is thankful to the Brazilian funding agency CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), <http://capes.gov.br>, for the financial support for this research. The funders had no role in study design, data collection and analysis, decision to publish, or preparation of the manuscript. The authors are also grateful to A.A.F. Saraiva and A.P. Pinheiro (URCA) for the support and for borrowing the material under their care, to W. Santana (USC) for suggestions about this research, and to M. Mendes for the access to the samples from the paleontology laboratory (UFC) and for the laboratory infrastructure. We are indebted to museologist F. Figueiredo and to I.S. Carvalho for access to the collection of the Geological Department (UFRJ).

All necessary permits were obtained for the described study, which complied with all relevant regulations. All relevant data are within the manuscript. No authors have competing interests. The studied fossil specimens are properly housed at the following public institutions: Laboratório de Paleontologia of Universidade Regional do Cariri, Crato, Brazil, Museu de Paleontologia Plácido Cidade Nuvens, Santana do Cariri, Brazil, Laboratório de Paleontologia da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, Brazil, and Departamento de Geologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil.

Author Contributions**Conceptualization:** OAB, MSSV, JHS**Investigation:** OAB, MSSV, PVO**Methodology:** OAB, BCV, PVO, ARP**Supervision:** OAB, MSSV, JHS, ARP**Visualization:** MSSV, PVO**Writing ± original draft:** OAB, MSSV**Writing ± review & editing:** OAB, BCV, ARP

REFERENCES

1. Feldmann RM, Pole M. A new species of *Paranephrops* White, 1842: A fossil freshwater crayfish (Decapoda: Parastacidae) from the Manuherikia Group (Miocene), Central Otago, New Zealand. *New Zeal J Geol Geophys.* 1994;37: 163–167. doi:10.1080/00288306.1994.9514611
2. Martins-Neto R, Mezzalira S. Revisão dos Palemonídeos Terciários Brasileiros (Crustacea, Caridea) com descrição de novos taxa. *An Acad Bras Cienc.* 1991.
3. Barros OA, Viana MSS, Saraiva AÁF, Silva JH. The first occurrence of fossil shrimps (Crustacea, Decapoda) in the Ipubi Formation (Lower Cretaceous, Araripe Basin). *Res Soc Dev.* 2020;9: e251985576. doi:10.33448/rsd-v9i8.5576
4. Martins-Neto RG, Mezzalira S. Descrição de novos crustáceos (Caridea) da Formação Santana Cretáceo Inferior do Nordeste do Brazil. *An da Acad Bras Ciencias.* 1991;63: 155–160.
5. Maisey JG, Carvalho GP. First records of fossil sergestid decapods and fossil brachyuran crab larvae (Arthropoda, Crustacea). with remarks on some supposed palaemonid fossils, from the Santana Formation (Aptian-Albian, NE Brazil). *Am Museum Novit.* 1995;3132: 1–20.
6. Martill DM, Bechly G, Loveridge RF. *The Crato Fossil Beds of Brazil: Window into an Ancient World.* Cambridge: Cambridge University Press; 2007. doi:10.1017/CBO9780511535512
7. Saraiva AÁF, Pralon B, Gregati R. Taxonomic remarks on Brazilian Cretaceous Decapoda from Araripe Basin, Brazil, and ecological inferences. *Gaea - J Geosci.*

- 2009;5: 70–74. doi:10.4013/gaea.2009.52.03
8. Assine ML. Análise estratigráfica da Bacia do Araripe, nordeste do Brasil. *Rev Bras Geociências*. 1992;22: 289–300. doi:10.25249/0375-7536.1992289300
 9. Valença LMM, Neumann VH, Mabesoone JM. An overview on Callovian-Cenomanian intracratonic basins of Northeast Brazil: Onshore stratigraphic record of the opening of the southern Atlantic. *Geol Acta*. 2003;1: 261–275. doi:10.1344/105.000001614
 10. Neumann VH, Cabrera L. Una nueva propuesta estratigráfica para la tectonosecuencia post-rifte de la Cuenca de Araripe, Noreste de Brasil. *Bol do 5º Simpósio sobre o Cretáceo do Bras*. 1999; 279–285.
 11. Davis SP, Martill DM. The gonorynchiform fish *Dastilbe* from the lower Cretaceous of Brazil. *Palaeontology*. 1999;42: 715–740. doi:10.1111/1475-4983.00094
 12. Báez AM, Moura GJB, Gómez RO. Anurans from the Lower Cretaceous Crato Formation of northeastern Brazil: implications for the early divergence of neobatrachians. *Cretac Res*. 2009;30: 829–846. doi:10.1016/j.cretres.2009.01.002
 13. Simões TR. Redescription of *Tijubina pontei*, an Early Cretaceous lizard (Reptilia; Squamata) from the Crato Formation of Brazil. *An Acad Bras Cienc*. 2012;84: 79–94. doi:10.1590/S0001-37652012000100008
 14. Romano PSR, Oliveira GR, Azevedo SAK, Kellner AWA, Campos DA. New Information about Pelomedusoides (Testudines: Pleurodira) from the Cretaceous of Brazil. *Vertebrate Paleobiology and Paleoanthropology*. Springer; 2013. p. 261–275. doi:10.1007/978-94-007-4309-0_16
 15. Campos DA, Kellner AWA. Short Note on the First Occurrence of *Tapejaridae* in the Crato Member (Aptian), Santana Formation, Araripe Basin, Northeast Brazil. *An Acad*

- Bras Cienc. 1997;69: 83–87.
16. Mohr BAR, Eklund H. *Araripia florifera*, a magnoliid angiosperm from the Lower Cretaceous Crato Formation (Brazil). *Rev Palaeobot Palynol.* 2003;126: 279–292. doi:10.1016/S0034-6667(03)00092-7
 17. Martins-Neto RG. Estágio atual da paleoarthropodologia brasileira: Hexápodes, Miriápodes, Crustáceos (Isopoda, Decapoda, Eucrustacea e Copepoda) e Quelicerados. *Arq do Mus Nac Rio Janeiro.* 2005;63: 471–494.
 18. Garassino A, Bravi S. *Palaemon antonellae* New Species (Crustacea, Decapoda, Caridea) From The Lower Cretaceous “Platydolomite” Of Profeti (Caserta, Italy). *J Paleontol.* 2003; 77: 589–592. doi:10.1666/0022-3360(2003)077<0589:PANSCD>2.0.CO;2
 19. Holthuis LB. A General Revision of the Palaemonid (Crustacea Decapoda Natantia) of the Americas. The Subfamilies Euryrhynchinae and Pontoniinae. University of South California, Los Angeles. 1951; 11: 332p.
 20. Côrrea MMG. Palemonídeos do Brasil (Crustacea-Decapoda-Natantia). Universidade Federal do Rio de Janeiro (Dissertação de mestrado). 1977. 135p.
 21. Magalhães, C., Georgina Bond-Buckup, Gustavo Augusto De Melo LB. Manual de identificação dos crustáceos decápodos de água doce do Brasil. Ordem decapoda. 2003. p. 125–133.
 22. García-Dávila CR, Magalhães C, Guerrero JCH. Morphometric variability in populations of *Palaemonetes* spp. (Crustacea, Decapoda, Palaemonidae) from the Peruvian and Brazilian Amazon Basin. *Iheringia Série Zool.* 2005;95: 327–334. doi:10.1590/s0073-47212005000300013

23. García-Dávila CR, Magalhães C. Revisão taxonômica dos camarões de água doce (Crustacea: Decapoda: Palaemonidae, Sergestidae) da Amazônia Peruana. *Acta Amaz.* 2003;33: 663–686. doi:10.1590/S0044-59672003000400013
24. Collart OO, Enriconi A. Estratégia reprodutiva e alguns aspectos demográficos do camarão *Palaemonetes carteri* Gordon, 1935 na Amazonia central, Rio Negro. *Acta Amaz.* 1993;23: 227–243. doi:10.1590/1809-43921993233243
25. Carvalho F, Magalhães C, Mantelatto F. Molecular and morphological differentiation between two Miocene-divergent lineages of Amazonian shrimps, with the description of a new species (Decapoda, Palaemonidae, Palaemon). *Zookeys.* 2014;457: 79–108. doi:10.3897/zookeys.457.6771
26. Bravi S, Coppa M, Garassino A, Patricelli R. *Palaemon vesolensis* n. sp Crustacea, Decapoda. from Plattenkalk Vesole Mt (Salerno, S Italy) *Atti Soc Sci Nat Mus Civ Stor Nat Milano.* 1999;140: 141–169.
27. Nogueira C dos S, de Oliveira MS, Jacobucci GB, Almeida AC de. Relative growth of freshwater prawn *Macrobrachium brasiliense* (Decapoda, Palaemonidae) and its implications for reproduction. *Iheringia - Ser Zool.* 2019;109. doi:10.1590/1678-4766e2019005
28. Mossolin EC, Bueno SLS. Relative growth of the second pereopod in *Macrobrachium olfersi* (Wiegmann, 1836) (Decapoda, Palaemonidae). *Crustaceana.* 2003;76: 363–376. doi:10.1163/156854003765911748
29. Mantelatto, F.L.M. & Barbosa LR. Population structure and relative growth of freshwater prawn *Macrobrachium brasiliense* (Decapoda, Palaemonidae) from São Paulo State, Brazil. *Acta Limnol Bras.* 2005;17: 245–255.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo de camarões fósseis no Brasil teve um grande salto na década de 2000, contudo, a distribuição geográfica deste grupo fóssil está inserida em apenas 3 bacias sedimentares: Tucano (Formação Marizal), Araripe (Formações Crato, Ipubi e Romualdo) e Taubaté (Formação Tremembé), este despertar ocorreu através de coletas sistemáticas voltadas principalmente para Formação Romualdo, que resultou em dados quantitativos abundantes quando comparados com as demais formações que foram encontrados estes decápodes, totalizando seis espécies descritas. Este acontecimento é resultado do principal interesse científico voltado principalmente para a Bacia do Araripe, provavelmente devido à facilidade de acesso aos fósseis e abundância de exemplares tridimensionais em comparação com as demais bacias sedimentares.

Diante deste questionamento, à medida que novos exemplares são descobertos, características vão sendo discutidas e novos dados publicados, como observados nas últimas revisões das espécies *Beurlenia araripensis*, *Paleomattea deliciosa*, *Araripenaeus timidus* para Bacia do Araripe e *Bahiacaris roxoi* para Bacia do Tucano, neste contexto, sugere-se uma revisão taxonômica das espécies mais antigas, datadas da década de 50 para as bacias do Tucano e Taubaté, no qual, basearam-se em características gerais de identificação, e as descrições foram feitas com enfoque apenas em desenhos esquemáticos, sem a visualização fotográfica da espécie.

Incentiva-se o despertar e interesse em pesquisas científicas com estes decápodes principalmente nas Bacias do Tucano e Taubaté, nos últimos anos, a sua maior abordagem em termos quantitativos foi voltada para a Bacia do Araripe, especificamente na Formação Romualdo. À medida que novas coletas sistemáticas são feitas em outras camadas fossilíferas, mostra-se a potencialidade para a obtenção de novos táxons, como, por exemplo, a primeira ocorrência de camarões para os níveis de folhelhos escuros da Formação Ipubi (Bacia do Araripe), que foram inseridos no contexto geológico e paleontológico daquela região. Nas últimas décadas, pesquisas científicas envolvendo camarões fósseis apesar de relativamente intensa, foram voltadas apenas para a prospecção e identificação taxonômica no contexto da paleontologia clássica e através das técnicas de caracterização de fósseis, permitimos obter respostas aos processos de fossilização, atribuir dados tafonômicos e paleoecológicos do grupo em questão, contribuindo para o cenário paleontológico destes decápodes.

REFERÊNCIAS

- ALENCAR, Damares Ribeiro *et al.* New findings on Dendrobranchiata fossils of the Romualdo Formation, Araripe Basin, Northeast of Brazil. **Zootaxa**, v. 4731, n. 1, p. 1-12, 2020.
- ARAI, Mitsuru; ASSINE, Mario Luis. Chronostratigraphic constraints and paleoenvironmental interpretation of the Romualdo Formation (Santana Group, Araripe Basin, Northeastern Brazil) based on palynology. **Cretaceous Research**, v. 116, p. 104-610, 2020.
- ARAI, Mitsuru.; COIMBRA, J. C.; TELLES JR, A. C. S. **Síntese bioestratigráfica da Bacia do Araripe (nordeste do Brasil)**. In: SIMPÓSIO SOBRE A BACIA DO ARARIPE E BACIAS INTERIORES DO NORDESTE, **Anais [...]**. v. 1, p. 109-117, 2001.
- ARAI, Mitsuru.; 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, **Anais [...]**. p. 225-240.
- ASSINE, Mario Luís. *et al.* Sequências deposicionais do andar Alagoas da Bacia do Araripe, nordeste do Brasil. **Boletim de Geociências da PETROBRAS**, v. 22, n. 1, p. 3-28, 2014.
- ASSINE, Mario Luís. Análise estratigráfica da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 22, n. 3, p. 289-300, 1992.
- ASSINE, Mario Luís. **Paleocorrentes na Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil**. In: 2º SIMPÓSIO SOBRE AS BACIAS CRETÁDICAS BRASILEIRAS, **Anais [...]**. p. 59-60, 1992.
- ASSINE, Mario Luís. Bacia do Araripe. **Boletim de Geociências da PETROBRAS**, v. 15, n. 2, p. 371-389, 2007.
- ASSINE, Mario Luís. Análise estratigráfica da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 22, n. 3, p. 289-300, 2017.
- BÁEZ, Ana Maria.; MOURA, Geraldo JB; GÓMEZ, Raúl O. Anurans from the Lower Cretaceous Crato Formation of northeastern Brazil: implications for the early divergence of neobatrachians. **Cretaceous Research**, v. 30, n. 4, p. 829-846, 2009.
- BARROS, Olga Alcântara. **The first occurrence of fossil shrimps (Crustacea, Decapoda) in the Ipubi Formation (Lower Cretaceous, Araripe Basin)**. In: MENDELEY DATA. (MENDELEY DATA BASE), Version 1. doi: 10.17632/MMNK9KWS84.1. Disponível em: <https://data.mendeley.com/datasets/mmnk9kws84/1>. Acesso em: 19 jun. 2020.
- BARROS, Olga Alcântara *et al.* Physicochemical investigation of shrimp fossils from the Romualdo and Ipubi formations (Araripe Basin). **PeerJ**, v. 7, p. e6323, 2019.

- BARROS, Olga Alcântara *et al.* Aspectos Paleoecológicos da Macrofauna Estudos Geológicos dos Folhelhos Associados à Camada de Gipsita, Bacia do Araripe. **Estudos Geológicos**, v. 26, 2016.
- BARROS, Olga Alcântara *et al.* The first occurrence of fossil shrimps (Crustacea, Decapoda) in the Ipubi Formation (Lower Cretaceous, Araripe Basin). **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, p. e251985576-e251985576, 2020.
- BARROS, Olga Alcântara *et al.* (no prelo). New data on *Beurlenia araripensis* Martins-Neto & Mezzalira, 1991, a lacustrine shrimp from Crato Formation, and its morphological variations based on the shape and the number of rostral spines. **PlosOne**, 2021.
- BATE, Charles Spence. **On a new genus, with four new species of freshwater prawns.** In: PROCEEDINGS OF THE ZOOLOGICAL SOCIETY OF LONDON. 1868. p. 363-368.
- BAUER, Raymond T.; NEWMAN, William A. Protandric simultaneous hermaphroditism in the marine shrimp *Lysmata californica* (Caridea: Hippolytidae). **Journal of Crustacean Biology**, v. 24, n. 1, p. 131-139, 2004.
- BAUER, Raymond T. Remarkable shrimps: adaptations and natural history of the carideans. **University of Oklahoma Press**, 2004.
- BECKHOFF, Burkhard *et al.* (Ed.). Handbook of practical X-ray fluorescence analysis. **Springer Science & Business Media**, 2007.
- BEURLLEN, Karl. Alguns restos de crustáceos decápodes d'água doce fósseis no Brasil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 22, n. 4, p. 453-459, 1950.
- BEURLLEN, Karl. As condições ecológicas e faciológicas da Formação Santana na Chapada do Araripe (Nordeste do Brasil). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 43(Supplement), p. 411-415, 1971.
- BRAVI, S. *et al.* *Palaemon vesolensis* n. sp. Crustacea, Decapoda) from the Plattenkalk of Vesole Mount (Salerno, S Italy). **Atti Societaitaliana Scienze naturali Museo civico Storia naturale Milano**, v. 140, n. 2, p. 141-169, 1999.
- BRIGGS, Derek EG; KEAR, Amanda J. Decay and mineralization of shrimps. **Palaios**, v. 9, n. 5, p. 431-456, 1994.
- BRITO, Ignacio Machado. **Bacias sedimentares e formações pós-paleozóicas do Brasil.** Rio de Janeiro, editora Interciência, 1979.
- BRUSCA, R.; BRUSCA, G. **Invertebrados.** Rio de Janeiro, Editora Guanabara-Koogan (org.) 2o ed, 1032p, 2011.
- BUCKUP, Ludwig; BOND-BUCKUP, Georgina. **Os crustáceos do Rio Grande do Sul.** Editora da Universidade, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1999.

BUENO, Sérgio LS.; MOSSOLIN, Emerson C. Reproductive biology of *Macrobrachium olfersi* (Decapoda, Palaemonidae) in São Sebastião, Brazil. **Journal of Crustacean Biology**, v. 22, n. 2, p. 367-376, 2002.

CAMPOS, Diógenes de Almeida.; KELLNER, Alexander, W. A. Short note on the first occurrence of Tapejaridae in the Crato Member (Aptian), Santana formation, Araripe Basin, northeast Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 69, p. 83-88, 1997.

CARVALHO, Fabrício Lopes; MAGALHÃES, Célio; MANTELATTO, Fernando Luís. Molecular and morphological differentiation between two Miocene-divergent lineages of Amazonian shrimps, with the description of a new species (Decapoda, Palaemonidae, Palaemon). **ZooKeys**, n. 457, p. 79, 2014.

CARVALHO, Ismar de Souza. **Paleontologia**. Interciência Edition, 2000.

CASSAB, Rita de Cássia Tardin. Objetivos e princípios. **Paleontologia**, v. 3, p. 3-11, 2010.

CAVALCANTI, Vanessa Maria Mamede; VIANA, Maria Somália Sales. **Faciologia dos sedimentos não lacustres da Formação Santana (Cretáceo inferior da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil)**. In: SIMPÓSIO SOBRE A BACIA DO ARARIPE E BACIAS INTERIORES DO NORDESTE. **Anais [...]**. p. 193-207.

COIMBRA, João Carlos; ARAI, Mitsuru; CARREÑO, Ana Luisa. Biostratigraphy of Lower Cretaceous microfossils from the Araripe basin, northeastern Brazil. **Geobios**, v. 35, n. 6, p. 687-698, 2002.

COLLART, Olga O.; ENRICONI, Adriana. Estratégia reprodutiva e alguns aspectos demográficos do camarão *Palaemonetes carteri* Gordon, 1935 na Amazônia Central, Rio Negro. **Acta Amazonica**, v. 23, n. 2-3, p. 227-243, 1993.

CORRÊA, Maria Margarida Gomes. **Palaemonídeos do Brasil (Crustacea-Decapoda-Natantia)**. Universidade Federal do Rio de Janeiro (Dissertação de mestrado), 135p, 1977.

DA SILVA, João Hermínio *et al.* Spectroscopic studies of wood fossils from the Crato Formation, Cretaceous Period. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, v. 115, p. 324-329, 2013.

DAVIS, Samuel P.; MARTILL, David M. The gonorynchiform fish *Dastilbe* from the Lower Cretaceous of Brazil. **Palaentology**, v. 42, n. 4, p. 715-740, 1999.

DE GRAVE, Sammy.; CAI, Y.; ANKER, Arthur. **Global diversity of shrimps (Crustacea: Decapoda: Caridea) in freshwater**. In: FRESHWATER ANIMAL DIVERSITY ASSESSMENT. **Anais [...]**. Springer, Dordrecht, 2007. p. 287-293.

DELGADO, Adriana de Oliveira *et al.* Paleometry: a brand new area in Brazilian science. **Materials Research**, v. 17, n. 6, p. 1434-1441, 2014.

- DURA, M. El ciclo biológico de los camarones peneidos. **Técnica Pesquera**, p. 12-15, 1985.
- FARA, Emmanuel *et al.* Controlled excavations in the Romualdo Member of the Santana Formation (Early Cretaceous, Araripe Basin, northeastern Brazil): stratigraphic, palaeoenvironmental and palaeoecological implications. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 218, n. 1-2, p. 145-160, 2005.
- FARFANTE, Isabel Perez. Illustrated key to penaeoid shrimps of commerce in the Americas. **US Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, National Marine Fisheries Service**, 1988.
- FELDMANN, Rodney M.; SCHWEITZER, Carrie E. Paleobiogeography of southern hemisphere decapod Crustacea. **Journal of Paleontology**, v. 80, n. 1, p. 83-103, 2006.
- FELDMANN, Rodney M.; POLE, Mike. A new species of *Paranephrops* White, 1842: a fossil freshwater crayfish (Decapoda: Parastacidae) from the Manuhirikia group (Miocene), central Otago, New Zealand. **New Zealand Journal of Geology and Geophysics**, v. 37, n. 2, p. 163-167, 1994.
- FELDMANN, Rodney M. Paleobiogeography of North American lobsters and shrimps (Crustacea, decapoda). **Géobios**, v. 14, n. 4, p. 449-468, 1981.
- FELDMANN, Rodney M. *et al.* Decapod fauna of the Green River formation (Eocene) of Wyoming. **Journal of Paleontology**, p. 788-799, 1981.
- FERRARI, Andrea C.; ROBERTSON, John. Resonant Raman spectroscopy of disordered, amorphous, and diamondlike carbon. **Physical review B**, v. 64, n. 7, 2001.
- FERREIRA, Rodrigo Simões. **Taxonomia e padrões distribucionais dos camarões marinhos e estuarinos da família Palaemonidae (Crustacea: Decapoda: Caridea) do Litoral brasileiro**. Dissertação de Mestrado, Fundação Universidade Federal do Rio Grande, Brasil, 2009.
- GARASSINO, Alessandro; BRAVI, Sergio. *Palaemon antonellae* new species (Crustacea, Decapoda, Caridea) from the Lower Cretaceous "Platydolomite" of Profeti (Caserta, Italy). **Journal of Paleontology**, v. 77, n. 3, p. 589-592, 2003.
- GARASSINO, Alessandro; TERUZZI, Giorgio. The genera *Longitergite* nov. and *Bannikovia* nov. in the Lower Miocene of N Caucasus (Russia)(Crustacea, Decapoda). **Atti Società italiana Scienze naturali Museo civico Storia naturale Milano**, v. 136, n. 1, p. 3-14, 1996.
- GARASSINO, Alessandro *et al.* *Yongjicaris zhejiangensis* n. gen. n. sp. (Crustacea, Decapoda, Caridea) from the Lower Cretaceous of Zhejiang Province, China. **Bulletin of the Mizunami Fossil Museum**, v. 29, p. 73-80, 2002.
- GARASSINO, Alessandro *et al.* New decapod crustacean assemblage from the Upper Cretaceous (Cenomanian) of Chiapas, Mexico. **Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen**, v. 268, p. 261-270, 2013.

GARCÍA-DÁVILA, Carmen Rosa; MAGALHÃES, Célio; GUERRERO, José Camilo Hurtado. Morphometric variability in populations of Palaemonetes spp. (Crustacea, Decapoda, Palaemonidae) from the Peruvian and Brazilian Amazon Basin. **Iheringia**. Série Zoologia, v. 95, n. 3, p. 327-334, 2005.

GARCÍA-DÁVILA Carmen Rosa, MAGALHÃES Célio. Revisão taxonômica dos camarões de água doce (Crustacea: Decapoda: Palaemonidae, Sergestidae) da Amazônia Peruana. **Acta Amazônica**, v. 33, p. 663-686, 2003.

GLAESSNER, Martin F. Decapoda. **Treatise on invertebrate paleontology, Part R**, Arthropoda, v. 4, n. 2, p. 400-533, 1969.

GOMES-CORRÊA, Maria Margarida. **Palaemonídeos do Brasil (Crustacea-Decapoda-Natantia)**. Rio de Janeiro. Universidade Federal do Rio de Janeiro (Dissertação de Mestrado), 135p, 1977.

HESSEL, Maria Helena; TOMÉ, Maria Emília; MOURA, Cleide Regina. Ostracodes mesozoicos das bacias do interior do Nordeste brasileiro: o estado da arte. **Revista de Geologia**, v. 19, n. 2, p. 66, 2006.

HOLTHUIS, Lipke Bijdeley. A General Revision of the Palaemonidae (Crustacea Decapoda Natantia) of the Americas: I. The Sub-families Euryrhynchinae and Pontoniinae. **University of Southern California Press**, v.11, p. 332, 1951.

HOLTHUIS, Lipke Bijdeley; FARFANTE, Isabel Perez; KENSLEY, Brian F. Penaeoid and Sergestoid Shrimps and Prawns of the World. Keys and Diagnoses for the Families and Genera. **Journal of Crustacean Biology**, v. 18, n. 3, p. 621, 1998.

HOUŠA, V. *Bechleja inopinata* ng, n. sp. ein neuer Krebs aus dem bohmischen Tertiär (Decapoda, Palaemonidae). **Ustred Ustavu Geologické**, v. 23, p. 365-377, 1956.

KELLNER, Alexander Wilhelm Armin. Reinterpretation of a remarkably well preserved pterosaur soft tissue from the Early Cretaceous of Brazil. **Journal of vertebrate Paleontology**, v. 16, n. 4, p. 718-722, 1996.

KELLNER, Alexander Wilhelm Armin *et al.* Membro Romualdo da Formação Santana, Chapada do Araripe, CE. Um dos mais importantes depósitos fossilíferos do Cretáceo brasileiro. **Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil**, v. 1, p. 121-130, 2002.

KENSLEY, Brian F. **Shrimps and prawns of southern Africa**. 1972.

KIDWELL, Susan *et al.* **Taphonomy: releasing the data locked in the fossil record**, 1991.

KINGSLEY, J. **List of the North American Crustacea belonging to the sub-order Caridea**, 1878.

- LIMA, Ricardo Jorge Cruz *et al.* Study of coprolites from the Araripe Sedimentary Basin through FT-IR spectroscopy and X-ray diffraction. **Química Nova**, v. 30, n. 8, p. 1956-1958, 2007.
- LIMA, Ricardo Jorge Cruz *et al.* Caracterização espectroscópica de peixe do período cretáceo (Bacia do Araripe). **Química Nova**, v. 30, n. 1, p. 22-24, 2007.
- MABESOONE, Jannes M; TINOCO, Ivan de Medeiros. Palaeoecology of the Aptian Santana Formation (northeastern Brazil). **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 14, n. 2, p. 97-118, 1973.
- MAGALHÃES, C.; BOND-BUCKUP Georgina; MELO Gustavo Augusto de. **Manual de identificação dos crustáceos decápodos de água doce do Brasil**. Ordem Decápoda, edições Loyola, p. 125-133, 2003.
- MAISEY, John G. **Santana fossils: an illustrated atlas**. TFH Publications Incorporated, 1991.
- MAISEY, John G.; CARVALHO, Maria da Glória Pires de. First records of fossil sergestid decapods and fossil brachyuran crab larvae (Arthropoda, Crustacea): with remarks on some supposed palaemonid fossils, from the Santana Formation (Aptian-Albian, NE Brazil). **American Museum novitates**; no. 3132. 1995.
- MANTELATTO, Fernando.L.M. & BARBOSA L.R. Population structure and relative growth of freshwater prawn *Macrobrachium brasiliense* (Decapoda, Palaemonidae) from São Paulo State, Brazil. **Acta Limnologica Brasiliensia**, n.17, p. 245-255, 2005.
- MARTILL, David M. Macromolecular resolution of fossilized muscle tissue from an elopomorph fish. **Nature**, v. 346, n. 6280, p. 171-172, 1990.
- MARTILL, David M. **Preservation of fish in the cretaceous Santana Formation of Brazil**, 1988.
- MARTILL, David M. Fossils of the Santana and Crato formations, Brazil. **Palaeontological Association Field Guide to Fossils**, v. 5, 1993.
- MARTILL, David M.; BECHLY, Günter; LOVERIDGE, Robert F. The Crato fossil beds of Brazil: window into an ancient world. **Cambridge University Press**, p. 625, 2007.
- MARTÍNEZ-DELCLÒS, Xavier; BRIGGS, Derek EG; PEÑALVER, Enrique. Taphonomy of insects in carbonates and amber. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 203, n. 1-2, p. 19-64, 2004.
- MARTINS-NETO, Rafael Gioia; MEZZALIRA Sérgio. Descrição de novos crustáceos (Caridea) da Formação Santana, Cretáceo Inferior do nordeste do Brasil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 63, n. 2, p. 155-160, 1991.

MARTINS-NETO, Rafael Gioia. Estágio atual da paleoarthropodologia brasileira: Hexápodes, Miriápodes, Crustáceos (Isopoda, Decapoda, Eucrustacea e Copepoda) e Quelicerados. **Arquivo do Museu Nacional**, Rio Janeiro, v. 63, p. 471-494, 2005.

MARTINS-NETO, Rafael Gioia. Primeiro registro de decápode na Formação Santana, Bacia do Araripe (Cretáceo Inferior). **Ciência e Cultura**, v. 39, n. 4, p. 406-410, 1987.

MARTINS-NETO, Rafael Gioia; MEZZALIRA, Sérgio. Revisão dos Paleomonídeos Terciários Brasileiros (Crustacea, Caridea) com descrição de novos taxa. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 63, n. 4, p. 361-367, 1991a.

MARTINS-NETO, Rafael Gioia; MEZZALIRA, Sérgio. Descrição de novos crustáceos (Caridea) da Formação Santana, Cretáceo Inferior do nordeste do Brasil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 63, n. 2, p.155-160, 1991b.

MARTINS-NETO, Rafael Gioia. Novos aportes ao conhecimento sobre a morfologia de *Bechleja robusta* Martins-Neto & Mezzalira 1991, crustáceo carídeo da Formação Tremembé, Oligoceno do Estado de São Paulo. **Revista Universidade Guarulhos**, São Paulo, v. 3, n. 4, p. 14-17, 1998.

MOHR, Barbara A.R; EKLUND, Helena. *Araripia florifera*, a magnoliid angiosperm from the Lower Cretaceous Crato Formation (Brazil). **Review of Palaeobotany and Palynology**, v. 126, n. 3-4, p. 279-292, 2003.

MOSSOLIN, Emerson; BUENO, Sérgio. Relative growth of the second pereopod in *Macrobrachium olfersi* (Wiegmann, 1836)(Decapoda, Palaemonidae). **Crustaceana**, v. 76, n. 3, p. 363-376, 2003.

MOSSOLIN, Emerson; BUENO, Sérgio. Reproductive biology of *Macrobrachium olfersi* (Decapoda, Palaemonidae) in São Sebastião, Brazil. **Journal of Crustacean Biology**, v. 22, n. 2, p. 367-376, 2002.

MOURA-JÚNIOR, Dionizio Angelo; SCHEFFLER, Sandro Marcelo; FERNANDES, Antônio Carlos Sequeira. The Brazilian Fossil Insects: Current Scenario. **Anuário do Instituto de Geociência - UFRJ**, v. 41, n. 1, p.142-166, 2018.

MURPHY, Nicholas P.; AUSTIN, Christopher M. Molecular taxonomy and phylogenetics of some species of Australian palaemonid shrimps. **Journal of Crustacean Biology**, v. 23, n. 1, p. 169-177, 2003.

NEUMANN, Virgínio; CABRERA, Luís. **Una Nueva Propuesta Estratigráfica para la tectonosecuencia post-rifte de la Cuenca de Araripe, Noreste de Brasil**. In: 5º SIMPÓSIO SOBRE O CRETÁCEO DO BRASIL E 1º SIMPÓSIO SOBRE EL CRETÁCICO DE AMÉRICA DEL SUR, Serra Negra, **Anais** [...]. Atas do Simpósio, 1999.

NEUMANN, Virgínio. **Sistemas lacustres aptiensealbienses de la Cuenca de Araripe, NE, Brasil**. Barcelona, Universidad de Barcelona. Tese de Doutorado, p. 250, 1999.

NOGUEIRA, Caio dos Santos *et al.* Relative growth of freshwater prawn *Macrobrachium brasiliense* (Decapoda, Palaemonidae) and its implications for reproduction. **Iheringia**. Série Zoologia, v. 109, 2019.

OLIVEIRA, Naiara C. *et al.* Large-field electron imaging and X-ray elemental mapping unveil the morphology, structure, and fractal features of a cretaceous fossil at the centimeter scale. **Analytical chemistry**, v. 87, n. 19, p. 10088-10095, 2015.

OLIVEIRA, Paulo Victor *et al.* Spectroscopic characterization of eoholocene bones found in a cave in Northeast Brazil. **Journal of Spectroscopy**, v. 2018, 2018.

OSÉS, Gabriel Ladeira *et al.* Deciphering the preservation of fossil insects: a case study from the Crato Member, Early Cretaceous of Brazil. **PeerJ**, v. 4, p. e2756, 2016.

PAVIA, Donald L. *et al.* Introdução à espectroscopia. **Cengage Learning**, 2010.

PINHEIRO, Allysson Pontes; SARAIVA, Antônio Álamo F; SANTANA, William. Shrimps from the Santana Group (Cretaceous: Albian): new species (Crustacea: Decapoda: Dendrobranchiata) and new record (Crustacea: Decapoda: Caridea). **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 86, n. 2, p. 663-670, 2014.

PINHEIRO, Allyson Pontes; SANTANA, William. A new fossil caridean shrimp (Crustacea: Decapoda) from the Cretaceous (Albian) of the Romualdo Formation, Araripe Basin, northeastern Brazil. **Zootaxa**, v. 3620, n. 2, p. 293-300, 2013.

PONTE, Francisco Celso; APPI, Ciro Jorge. **Proposta de revisão da coluna litoestratigráfica da Bacia do Araripe**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA. 1990. **Anais [...]**. p. 211-226.

PRADO, Ludmila Alves Cadeira *et al.* New brachyuran crabs from the Aptian-Albian Romualdo Formation, Santana Group of Brazil: Evidence for a Tethyan connection to the Araripe Basin. **Acta Palaeontologica Polonica**, v. 63, n. 4, 2018.

PRADO, Ludmila Alves Cadeira; DOS SANTOS CALADO, Tereza Cristina; BARRETO, Alcina Magnólia Franca. New records of shrimps from the Lower Cretaceous Romualdo Formation, Araripe Basin, northeastern Brazil, with new taxa of Penaeoidea (Crustacea: Decapoda: Dendrobranchiata). **Cretaceous Research**, v. 99, p. 96-103, 2019.

RAFINESQUE, Constantine Samuel. Analyse de la nature, ou tableau de l'univers et des corps organisés. **Aux dépens de l'auteur**, 1815.

RANDALL, John Witt. Catalogue of the Crustacea brought by Thomas Nuttall and JK Townsend, from the west coast of North America and the Sandwich Islands, with description of such species as are apparently new, among which are included several species of different localities, previously existing in the collection of the Academy. **Journal of the Academy of natural Science of Philadelphia**, v. 1839, p. 106-147, 1840.

RICCOMINI, Cláudio. **O Rift Continental do Sudeste do Brasil**. Programa de Pós-graduação em Geologia Sedimentar, Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado, 256 p, 1989.

ROMANO, Pedro S.R. *et al.* **New information about Pelomedusoides (Testudines: Pleurodira) from the Cretaceous of Brazil**. In: MORPHOLOGY AND EVOLUTION OF TURTLES. *Anais [...]*. Springer, Dordrecht, 2013. p. 261-275.

RUPPERT, Edward E.; FOX, Richard S.; BARNES, Robert D. **Zoologia dos invertebrados: uma abordagem funcional-evolutiva**, 2005. p. 1045-1045.

SANT'ANNA, Lucy Gomes. **Geologia, mineralogia e gênese das esmectitas dos depósitos paleogênicos do Rift Continental do Sudeste do Brasil**. Programa de Pós-graduação em Mineralogia e Petrologia, Universidade de São Paulo, Tese de Doutorado, 293 p. 1999.

SANTANA, William *et al.* A new fossil caridean shrimp (Crustacea: Decapoda) from the Cretaceous (Albian) of the Romualdo Formation, Araripe Basin, northeastern Brazil. *Zootaxa*, v. 3620, n. 2, p. 293-300, 2013.

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

SARAIVA, Antônio Álamo Feitosa *et al.* Concreções calcárias da Formação Santana, Bacia do Araripe: uma proposta de classificação. *Estudos Geológicos*, v. 17, n. 1, p. 40-57, 2007.

SARAIVA, Antônio Álamo Feitosa; PINHEIRO, Allysson Pontes; SANTANA, William. A remarkable new genus and species of the planktonic shrimp family Luciferidae (Crustacea, Decapoda) from the Cretaceous (Aptian/Albian) of the Araripe Sedimentary Basin, Brazil. *Journal of Paleontology*, v. 92, n. 3, p. 459-465, 2018.

SARAIVA, Antônio Álamo Feitosa; PRALON, Bruno Gabriel Nunes; GREGATI, Rafael Augusto. Taxonomic remarks on Brazilian Cretaceous Decapoda from Araripe Basin, Brazil, and ecological inferences. *Gaea: Journal of Geoscience*, v. 5, n. 2, p. 70, 2009.

SCHULTZE, Hans-Peter. Three-dimensional muscle preservation in Jurassic fishes of Chile. *Andean Geology*, v. 16, n. 2, p. 183-215, 1989.

SCHWEITZER, Carrie E. *et al.* Systematic list of fossil decapod crustacean species. *Brill*, 2010.

SCHWEITZER, Carrie E. *et al.* Redescription and illustration of caridean shrimp from the Cretaceous (Aptian) of Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 90, p. 70-75, 2019.

SILVA, Mamd. **The Araripe Basin, Northeastern Brazil: Regional Geology and Facies Analysis of a Lower Cretaceous Evaporitic Depositional Complex**. Tese de Doutorado, 1983

SILVA, Richard M. da Cunha, NASCIMENTO FILHO, Virgílio Franco do, APPOLONI, Carlos R. Fluorescência de raios X por dispersão em energia. LFNATEC-**Publicação Técnica do Laboratório de Física Nuclear Aplicada**, v. 8, n. 1, 2004.

SIMÕES, Thiago Rodrigues. Redescription of *Tijubina pontei*, an Early Cretaceous lizard (Reptilia; Squamata) from the Crato Formation of Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 84, p. 79-94, 2012.

DE SOUSA FILHO, Francisco Eduardo *et al.* Combination of raman, infrared, and X-ray energy-dispersion spectroscopies and X-ray diffraction to study a fossilization process. **Brazilian Journal of Physics**, v. 41, n. 4-6, p. 275-280, 2011.

SOUSA, Raniere Garcez Costa; FLORENTINO, Alexandro Cezar; PIÑEYRO, Jairo Ildelfonso Guimarães. Inovação de artefatos e caracterização da pesca do camarão *Macrobrachium amazonicum* (Heller, 1862) na comunidade São Sebastião da Brasília-Parintins/AM. **Biota Amazônia (Biote Amazonie, Biota Amazonia, Amazonian Biota)**, v. 4, n. 3, p. 83-87, 2014.

STORER, T. Classe Crustacea: Crustáceos. Zoologia Geral, **Cia Editora Nacional**, São Paulo, p. 484-503, 2003.

VALENÇA, Lúcia Maria Mafra; NEUMANN, Virginio H.; MABESOONE, Jannes Markus. An overview on Callovian-Cenomanian intracratonic basins of Northeast Brazil: Onshore stratigraphic record of the opening of the southern Atlantic. **Geologica Acta**, v. 1, n. 3, p. 261-276, 2003.

VERESHCHAKA, Alexander L. Revision of the genus *Sergia* (Decapoda: Dendrobranchiata: Sergestidae): taxonomy and distribution. **Galathea Report**, v. 18, p. 69-207, 2000.

VIANA, Maria Somália Sales & RICHTER M. Original biomineralization observed in fishes of the Santana Formation (Lower Cretaceous of the Araripe Basin, NE-Brazil). **Acta Geológica Leopoldensia**, v. 21, n. 46, p. 91-100, 1999.

VIANA, Maria Somália Sales; AGOSTINHO, Sônia. **Camarões do Membro Romualdo da Formação Santana (Cretáceo Inferior da Bacia do Araripe)**. In: BOLETIM DO 160 SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DO NORDESTE. **Anais [...]**. v. 14, n. 1, p. 239-243, 1995.

WILBY, Philip R.; MARTILL, David M. Fossil fish stomachs: a microenvironment for exceptional preservation. **Historical biology**, v. 6, n. 1, p. 25-36, 1992.

WILBY, Philip.R. The role of organic matrices in post-mortem phosphatization of soft-tissues. **Kaupia**, v. 2, p. 99-113, 1993.

ANEXO A - ARTIGO ACEITO EM PUBLICAÇÃO 1



Physicochemical investigation of shrimp fossils from the Romualdo and Ipubi formations (Araripe Basin)

Olga Alcântara Barros¹, João Hermínio Silva², Gilberto Dantas Saraiva³, Bartolomeu Cruz Viana⁴, Alexandre Rocha Paschoal⁵, Paulo Tarso Cavalcante Freire⁵, Naiara Cipriano Oliveira⁵, Amauri Jardim Paula⁵ and Maria Somália Viana⁶

¹ Department of Geology, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, Brazil

² Campus Juazeiro do Norte, Universidade Federal do Cariri, Juazeiro do Norte, Ceará, Brazil

³ Faculdade de Educação, Ciências e Letras do Sertão Central, Universidade Estadual do Ceará, Quixadá, Ceará, Brazil

⁴ Department of Physics, Universidade Federal do Piauí, Teresina, Piauí, Brazil

⁵ Department of Physics, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, Ceará, Brazil

⁶ Laboratório de Paleontologia, Museu Dom José, Universidade Estadual do Vale do Acaraú, Sobral, Ceará, Brazil

ABSTRACT

The Ipubi and Romualdo Formations are Cretaceous units of the Araripe Basin (Santana Group). The first and most ancient was deposited in a lake environment, and some fossils were preserved in shales deposited under blackish conditions. The second was deposited in a marine environment, preserving a rich paleontological content in calcareous concretions. Considering that these two environments preserved their fossils under different processes, in this work we investigated the chemical composition of two fossilized specimens, one from each of the studied stratigraphic units, and compared them using vibrational spectroscopy techniques (Raman and IR), X-ray diffraction and large-field energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS) mappings. Calcite was observed as the dominant phase and carbon was observed in the fossils as a byproduct of the decomposition. The preservation of hydroxide calcium phosphate ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$, hydroxyapatite) was observed in both fossils. In addition, it was observed that there was a smaller amount of pyrite (pyritization) in the Romualdo Formation sample than in the Ipubi one. Large-field EDS measurements showed the major presence of the chemical elements calcium, oxygen, iron, aluminum and fluoride in the Ipubi fossil, indicating a greater influence of inorganic processes in its fossilization. Our results also suggest that the Romualdo Formation fossilization process involved the substitution of the hydroxyl group by fluorine, providing durability to the fossils.

Subjects Paleontology, Soil Science, Aquatic and Marine Chemistry

Keywords Shrimp fossil, Energy-Dispersive X-Ray Spectroscopy, Vibrational spectroscopy

INTRODUCTION

Palaemonid crustaceans in Brazil are known from tertiary outcrops, with species occurring in the Tremembé Formation (Oligocene, from São Paulo state) and tertiary deposits in the Marizal Formation (*Martins-Neto & Mezzalana, 1991a; Martins-Neto & Mezzalana, 1991b*).

Submitted 29 January 2018
Accepted 20 December 2018
Published 14 February 2019

Corresponding authors
João Hermínio Silva,
herminio.silva@ufca.edu.br
Alexandre Rocha Paschoal,
paschoal@fisica.ufc.br

Academic editor
Graciela Piteiro

Additional Information and
Declarations can be found on
page 16

DOI 10.7717/peerj.6323

© Copyright
2019 Barros et al.

Distributed under
Creative Commons CC-BY 4.0

OPEN ACCESS

How to cite this article Barros OA, Silva JH, Saraiva GD, Viana BC, Paschoal AR, Freire PTC, Oliveira NC, Paula AJ, Viana MS. 2019. Physicochemical investigation of shrimp fossils from the Romualdo and Ipubi formations (Araripe Basin). *PeerJ* 7:e6323 <http://doi.org/10.7717/peerj.6323>

ANEXO B - ARTIGO ACEITO EM PUBLICAÇÃO 2

Research, Society and Development, v. 9, n. 8, e251985576, 2020
(CC BY 4.0) | ISSN 2525-3409 | DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v9i8.5576>

**Primeira ocorrência de camarões fósseis (crustácea, Decápoda) na Formação Ipubi
(Cretáceo inferior, Bacia do Araripe)**

**The first occurrence of fossil shrimps (Crustacea, Decapoda) in the Ipubi
Formation (Lower Cretaceous, Araripe Basin)**

**La primera aparición de camarones fósiles (Crustacea, Decapoda) en la Formación
Ipubi (Cretácico Inferior, Cuenca de Araripe)**

Recebido: 12/06/2020 | Revisado: 13/06/2020 | Aceito: 22/06/2020 | Publicado: 04/07/2020

Olga Alcântara Barros

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2671-4568>

Universidade Federal do Ceará, Brasil

E-mail: olga.a.barros@gmail.com

Maria Somália Sales Viana

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5961-2667>

Universidade Estadual Vale do Acaraú, Brasil

E-mail: somalia_viana@hotmail.com

Antônio Álamo Feitosa Saraiva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0127-8912>

Universidade Regional do Cariri, Brasil

E-mail: alamocariri@yahoo.com.br

João Hermínio da Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9518-3206>

Universidade Federal do Cariri, Brasil

E-mail: herminio.silva@ufca.edu.br

Resumo

A Formação Ipubi da Bacia do Araripe é uma importante reserva de gipsita cujo ambiente resultou na deposição de evaporitos com estreitas lentes de folhelho escuro. O objetivo do presente trabalho foi apresentar a primeira ocorrência de camarões carideos para os níveis de folhelho escuro da Formação Ipubi. O espécime coletado em campo e analisado em laboratório embora não tenha alcançado uma determinação taxonômica detalhada, torna-se

ANEXO C - ARTIGO PARALELO À TESE

ASPECTOS PALEOECOLÓGICOS DA MACROFAUNA DOS FOLHELHOS ASSOCIADOS À CAMADA DE GIPSITA, BACIA DO ARARIPE

Olga Alcântara Barros¹
 Allysson Pinheiro Pontes²
 Maria Edenilce Peixoto Batista³
 João Hermínio da Silva⁴
 Antônio Álamo Feitosa Saraiva⁵

DOI: 10.18190/1980-8208/estudosgeologicos.v26n2p147-156

¹Programa de Pós-Graduação em Geologia (PPGG), Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará (UFC). *olga.a.barros@gmail.com*

²Laboratório de Crustáceos do Semiárido, URCA, Crato, Ceará, Brasil.

allysson.pinheiro@urca.br

³Programa de Pós-Graduação em Ecologia e Recursos Naturais da Universidade Federal do Ceará (UFC). *edenilcebio@hotmail.com*

⁴Engenharias de Materiais, UFCA, Juazeiro do Norte, Ceará, Brasil.

herminio.silva@ufca.edu.br

⁵Laboratório de Paleontologia, URCA, Crato, Ceará, Brasil. *alamocariri@yahoo.com.br*

RESUMO

Este trabalho consiste na descrição dos aspectos paleoecológicos da assembleia fossilífera presente nos folhelhos escuros localizados acima da camada de gipsita do Grupo Santana, como suporte e complemento para as pesquisas realizadas com fósseis da Bacia do Araripe. O material coletado contém fragmentos de vegetais carbonificados, peixes e coprólitos. Para uma melhor interpretação e maior robustez dos resultados, testes estatísticos foram aplicados. As variáveis quantitativas referentes à caracterização dos fósseis foram calculadas a partir da frequência absoluta e da densidade populacional. O índice de diversidade, a riqueza específica e a equitabilidade foram determinados aplicando-se o índice de Shannon (H'), índice de riqueza de Margalef (D) e índice de Pielou (J), respectivamente. Foram demonstrados por gráfico Box-Plot as medianas e quartis do tamanho relativo dos peixes com cinco ou mais exemplares fósseis encontrados. Os resultados apontaram para uma biota pouco diversificada, porém com maior quantidade de espécimes, quando comparados a um nível de mortandade que continham concreções fossilíferas na Formação Romualdo. Estas informações, ainda pouco reportadas na literatura científica, são investigadas mais detalhadamente pela primeira vez neste trabalho e são os primeiros passos para uma investigação mais intensa da paleoecologia e da paleobiota das camadas associadas à gipsita da Bacia do Araripe.

Palavras chave: Fósseis, Bacia do Araripe, paleoecologia, estatística, folhelho escuro.

ABSTRACT

This work consists in the description of paleoecological aspects of the fossil assemblage from the dark shales above the gypsum layer of the Santana Group of the Araripe Basin, as a support and complement to paleontological researches on that sedimentary deposit. The collected material comprises carbonized plant and fish remains and coprolites. For a better interpretation and greater robustness of the results, statistical tests were applied.

ANEXO D - COLABORAÇÃO EM ARTIGOS

Hindawi
Journal of Spectroscopy
Volume 2018, Article ID 5039198, 7 pages
<https://doi.org/10.1155/2018/5039198>



Research Article

Spectroscopic Characterization of Eoholocene Bones Found in a Cave in Northeast Brazil

P. V. Oliveira,¹ M. S. S. Viana,² O. A. Barros,³ P. T. C. Freire,⁴ F. I. Bezerra,³ S. B. S. Gusmão,⁵ B. C. Viana⁶ and J. H. Silva⁷

¹Universidade Federal do Piauí, Campus Senador Helvécio Nunes de Barros, 64607-670 Picos, PI, Brazil

²Universidade Estadual Vale do Acaraú (UVA), 62010-290 Sobral, CE, Brazil

³Pós-Graduação em Geologia (PPGG), Universidade Federal do Ceará (UFC), 60455-760 Fortaleza, CE, Brazil

⁴Departamento de Física, Universidade Federal do Ceará, 60455-970 Fortaleza, CE, Brazil

⁵Pós Graduação em Ciências e Engenharia dos Materiais (LIMAV), Universidade Federal do Piauí, 64049-550 Teresina, PI, Brazil

⁶Departamento de Física, Universidade Federal do Piauí, 64049-550 Teresina, PI, Brazil

⁷Centro de Ciências e Tecnologia-CCT, Universidade Federal do Cariri, 63048-080 Juazeiro do Norte, CE, Brazil

Correspondence should be addressed to B. C. Viana; bartolomeu@ufpi.edu.br and J. H. Silva; herminio@fisica.ufc.br

Received 21 May 2018; Revised 21 August 2018; Accepted 28 August 2018; Published 3 October 2018

Academic Editor: Vincenza Crupi

Copyright © 2018 P. V. Oliveira et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

The preservation of fossils depends on several interactions of organic and inorganic chemical processes. The hard parts, which are more suitable for fossilization, might record valuable information of biogenic processes, while the taphonomic characteristics supply information on postmortem chemical transformation. Here, X-ray fluorescence, X-ray diffraction, and infrared spectroscopy analyses were carried out in Early Eoholocene fragments of bones collected from the subsurface at Gruta do Urso Fóssil, Ubajara National Park, northeast of Ceará State in Brazil. It is suggested a lower degree of decomposition, a preservation of the original mineral composition, along with some incidence of encrustation, and the occurrence of different animal species are analyzed. These preliminary data serve as a basis for future studies involving fossil biota from the deposits of Gruta do Urso Fóssil using spectroscopic techniques.

1. Introduction

The hard parts (skeletons) which usually undergo fossilization keep valuable information of biogenic processes, and the taphonomic characteristics supply data on the post-mortem changes [1]. Geochemical investigations and physical characterizations were performed to determine the composition of a fossil provide both taphonomic and ecologic data. Mineralogical composition of fossils can be adequately studied using physicochemical and mineralogical techniques such as X-ray fluorescence, X-ray diffraction, and infrared spectroscopy [2–4].

In northeastern Brazil, there are very important cenozoic continental deposits (especially caves) showing remains of organisms, valuable in the reconstruction of the

paleoenvironment. The Ubajara National Park, in northeast Ceará State (Figure 1), is a karstic region where rocks suffered corrosion processes, subsequently creating caves and valleys. This region is part of a Spelean province composed by Neoproterozoic carbonatic rocks known as Serra da Ibiapaba, originating in the Upper Neogene-Quaternary according to Auler et al. [5, 6].

Of the 14 caves of the park, the most important is the Gruta do Urso Fóssil (GUF) which lies at 03°49'58"S/40°53'34,4"W. The GUF was discovered in 1978 in Morro do Pendurado, and a fossilized skull of *Arctotherium wingei* was found [7]. At GUF, several Early Eoholocene fragments of bones and teeth from small fauna, as well as gastropod shells, have been collected and reported in the specialized literature by Hsiou et al. [8], Oliveira et al. [9–11], and Viana [1].