



**UNIVERSIDADE REGIONAL DO CARIRI - URCA**  
**CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS E DA SAÚDE – CCBS**  
**DEPARTAMENTO DE QUÍMICA BIOLÓGICA - DQA**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOPROSPECÇÃO MOLECULAR**

**OLGA ALCÂNTARA BARROS**

**CARACTERIZAÇÃO PALEOAMBIENTAL E ESPECTROSCÓPICA DE FÓSSEIS  
DA FORMAÇÃO IPUBI COLETADOS NOS ESTADOS DO CEARÁ E  
PERNAMBUCO.**

**Crato / CE**

**2013**

**OLGA ALCÂNTARA BARROS**

**CARACTERIZAÇÃO PALEOAMBIENTAL E ESPECTROSCÓPICA DE FÓSSEIS  
DA FORMAÇÃO IPUBI COLETADOS NOS ESTADOS DO CEARÁ E  
PERNAMBUCO.**

Dissertação apresentada à banca examinadora  
como parte do requisito para obter o título de mestre  
em biodiversidade, no programa de pós-graduação  
em Bioprospecção Molecular

Mestranda: Olga Alcântara Barros  
Orientador: Prof. Dr. Antônio Álamo Feitosa Saraiva  
Co-Orientador: Prof. Dr. João Hermínio da Silva

Crato / CE  
2013

Barros, Olga Alcântara.  
B277c Caracterização paleoambiental e espectroscópica de fósseis da Formação Ipubi coletados nos estados do Ceará e Pernambuco/ Olga Alcântara Barros – Crato-CE, 2013.  
77p.; Il.

Dissertação apresentada ao programa de pós-graduação em Bioprospecção Molecular da Universidade Regional do Cariri - URCA

Orientador: Prof. Dr. Antônio Álamo Feitosa Saraiva  
Co-Orientador: Prof. Dr. João Hermínio da Silva

1. Fósseis; 2. Formação Ipubi; I. Título.

CDD: 560.17

## **BANCA EXAMINADORA**

Dissertação apresentada como requisito parcial para a obtenção título de mestre em biodiversidade no programa de pós-graduação em Bioprospecção Molecular da Universidade Regional do Cariri – URCA

Aprovado em, ...../...../.....

Resultado: \_\_\_\_\_

---

**Prof. Dr. Antônio Álamo Feitosa Saraiva (Orientador)**

---

**Prof. Dr. João Hermínio da Silva (Co-Orientador)**

---

**Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Juliana Manso Sayão (Membro externo)**

---

**Prof. Dr. Allysson Pinheiro Pontes (Suplente)**

**“Não há nada que seja maior evidência de  
insanidade, do que fazer a mesma coisa  
dia após dia e esperar resultados  
diferentes”. Albert Einstein**

*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*

## SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS .....</b>	<b>8</b>
<b>APRESENTAÇÃO .....</b>	<b>10</b>
<b>INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>12</b>
<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>15</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>17</b>
<b>CAPÍTULO 1: .....</b>	<b>18</b>
<b>PALEOECOLOGIA DA MACROFAUNA DOS FOLHELHOS DA FORMAÇÃO IPUBI.....</b>	<b>18</b>
RESUMO.....	19
ABSTRACT .....	20
INTRODUÇÃO.....	21
LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO, CONTEXTO GEOLÓGICO E PALEONTOLÓGICO.....	22
MATERIAIS E MÉTODOS .....	23
RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	25
CONCLUSÃO .....	30
REFERÊNCIAS .....	31
<b>CAPÍTULO 2: .....</b>	<b>35</b>
<b>LEVANTAMENTO DE MACROFOSSEIS EM FOLHELHOS DA FORMAÇÃO IPUBI COLETADOS ABAIXO DA CAMADA DE GIPSITA, BACIA SEDIMENTAR DO ARARIPE. ....</b>	<b>35</b>
RESUMO.....	36
ABSTRACT .....	37
INTRODUÇÃO.....	38
LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO, CONTEXTO GEOLÓGICO E PALEONTOLÓGICO.....	40
MATERIAIS E MÉTODOS .....	42
RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	43
CONCLUSÃO .....	49
REFERÊNCIA.....	50
<b>CAPÍTULO 3: .....</b>	<b>54</b>
<b>CARACTERIZAÇÃO ESPECTROSCÓPICA EM FÓSSEIS DA FORMAÇÃO IPUBI COLETADOS NO ARARIPE PERNAMBUCANO, BACIA DO ARARIPE.....</b>	<b>54</b>

RESUMO.....	55
ABSTRACT .....	56
INTRODUÇÃO.....	57
LOCAL DE ESTUDO E COLETA DO MATERIAL .....	59
MATERIAIS E MÉTODOS .....	60
RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	62
CONCLUSÃO .....	66
REFERÊNCIA .....	67
CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	69



## AGRADECIMENTOS

Agradeço profundamente a todas as pessoas que entraram na minha vida e me inspiraram, iluminaram e incentivaram, direta ou indiretamente, em mais esta conquista.

Aos colegas de Laboratório, pela ajuda nas buscas de materiais e dados para as pesquisas paleontológicas, a Fran, Edilson, Jennifer, Nathanael, Naanderson, Thatianny, Carol, Aline Luna, Nathália, Maryana, Daniel e em especial ao José Lúcio por ajudar a medir e preparar as amostras fossilífera que foi de fundamental importância para realização desta pesquisa e a Ayslanne que foi meu braço direito e esquerdo dentro e fora do laboratório.

As amigas e companheiras do mestrado que conheceram a paleontologia de perto, e que ajudaram na primeira coleta em Araripina/PE, Andréia, Gesuína, Mariane, Marília, em especial a Fernanda por conseguir alojamento na casa de seus familiares (Dona Maria).

Ao meu orientador, Prof. Dr. Antônio Álamo Feitosa Saraiva, com seus ensinamentos, pela paciência e boa vontade, que me incentivou a não fraquejar diante das dificuldades e barreiras a percorrer e pelo apoio nas coletas em campo, que não foi nada fácil.

Ao meu Co-orientador prof. Dr. João Hermínio pela força, amizade e conselhos sobre a vida acadêmica e pessoal, pelos conhecimentos transmitidos, pela confiança e oportunidade para ingressar no curso de análise de minerais e minérios por técnicas de difração e fluorescência de raios-x na UFC, onde aprendi mais um pouco sobre essa técnica que foi de fundamental importância durante o mestrado.

Ao Laboratório de Raios-X do Departamento de Física da UFC pelas análises de espectroscopia como difração de raios-x, fluorescência de raios-x e ao Laboratório de Geologia da UFC em pessoa ao Joel Pedrosa pela paciência e boa vontade de auxiliar nas medidas espectroscópicas e nas análises com o microscópio eletrônico de varredura - MEV.

Ao Prof. Dr. Allyson Pinheiro pela ajuda nos dados estatísticos, e na identificação dos camarões fósseis.

Aos colegas de profissão Renan, Flaviana e Valdilênia, por ajudarem a tirar dúvidas importantes e fundamentais para essa pesquisa, aos três amigos Claudener, Deyvid Dennys, Samuel Viera por sempre me ouvir e dar conselhos, mesmo de longe os três sempre mandavam aquela força, as amigas Ivna Salmito, Laura Hévila, Manu Oliveira, que sempre transmitiram boas vibrações, a minha prima Dina Alcântara pela ajuda nos cálculos e nas medidas estatísticas, Camila Castelo pela revisão do inglês e a amiga e parceira Edenilce pela ajuda na descrição do vegetal *Frenelops*.

Ao Prof. Manuel Ayres da Universidade Federal do Pará, pela doação do software e do livro BioEstat 5.0, que foi a base para realização desta pesquisa, ao engenheiro de minas e gerente de operações Alex Levy pela paciência e boa vontade de acompanhar até a mina de extração de gesso em Araripina/PE, mostrando os locais que aflorava a formação Ipubi, local de coleta da presente pesquisa.

A CAPES, por garantir os recursos financeiros que possibilitaram que eu me dedicasse inteiramente ao mestrado.

A todos que, mesmo não sendo citados, contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho.

## APRESENTAÇÃO

Essa dissertação é composta por três capítulos escritos em forma de artigos relacionados à Formação Ipubi, o título da presente dissertação; Caracterização paleoambiental e espectroscópica de fósseis da formação Ipubi coletados nos estados do Ceará e Pernambuco, foi dividida em capítulos para um melhor entendimento e facilidade para leitura, com intuito de contribuir nas interpretações paleoambientais, realizando um levantamento da diversidade fóssilífera, (extraído abaixo e acima da camada de gipsita) e a utilização de técnicas de espectroscopia (Florescência de Raios-X (FRX) e difração de Raios-X (DRX)) como suporte e complemento das pesquisas realizadas com fósseis da Bacia do Araripe.

Também tem o intuito de contribuir na descoberta de novas espécies e novas ocorrências de fósseis na Formação Ipubi, sugerindo que esta camada do grupo Santana pode ser considerada um *Konservat-Lagerstätten*. Concomitante a isso, busca-se estabelecer uma relação entre as condições paleoambientais vigentes no Aptiano/Albiano e as condições que formaram a mortandade dos organismos naquela época.

Nos capítulos a seguir será usada a proposta estratigráfica e nomenclatura de Neumann e Cabrera (1999) que eleva o termo membro a categoria de Formação.

O primeiro capítulo intitulado; Paleocologia da Macrofauna dos Folhelhos da Formação Ipubi foi submetido à revista PALAEO - Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, estando em análise dos editores. O capítulo tem como objetivo realizar um levantamento estatístico dos macrofósseis encontrados nos folhelhos da Formação Ipubi, coletados na Mina Pedra Branca, localizado acima da camada de gipsita. Nesse trabalho foram utilizadas análises espectroscópicas (fluorescência de raios-X) para apoiar e complementar as pesquisas realizadas com os fósseis da Bacia do Araripe.

O segundo capítulo denominado; Levantamento de Macrofósseis em Folhelhos da Formação Ipubi Coletados Abaixo da Camada de Gipsita, Bacia Sedimentar do Araripe, têm como objetivo realização de um levantamento populacional de macrofósseis coletados nesta formação e apresentar a primeira ocorrência de camarões fósseis encontrados nos níveis de folhelhos pirobotuminosos.

O terceiro capítulo intitulado; Caracterização Espectroscópica em Fósseis da Formação Ipubi Coletados no Araripe Pernambucano, Bacia do Araripe, tem como objetivo a caracterização espectroscópica de um peixe fóssil, *Vinctifer comptoni* e de uma planta do

gênero *Frenelopsis*, apresentada como a primeira ocorrência deste gênero nesta formação, essas amostras foram coletadas na mineradora Ponta da Serra (atual Mina Campevi), em Araripina – PE.

## INTRODUÇÃO GERAL

Fósseis são vestígios ou restos de seres vivos que comumente se preservam em rochas, como por exemplo, ossos, conchas, dentes, folhas, lenho, esporos, etc. No entanto, vestígios dos hábitos animais e suas relações ecológicas são raros (Maisey, 1991; Martill, 1993). Os fósseis são instrumentos fundamentais para a compreensão do aparecimento e evolução da vida no nosso planeta durante sua longa história geológica, muitas vezes fornecendo informações acerca do ambiente no qual habitaram (Carvalho, 2000).

A Bacia do Araripe é um dos locais de pesquisa paleontológicas mais antigas do Brasil, muito provavelmente pela abundância e excelente preservação de seus fósseis, localizada na região do Cariri, situada ao sul do estado do Ceará, noroeste de Pernambuco e leste do Piauí. Com cerca de 12.000 km<sup>2</sup>, situada entre os meridianos 38<sup>0</sup>30' e 40<sup>0</sup>50' de longitude W de Greenwich e os paralelos 7<sup>0</sup>05' e 7<sup>0</sup>50' de latitude S. É considerada a maior Bacia Sedimentar do interior do nordeste brasileiro (Saraiva *et al.*, 2007).

Do ponto de vista paleontológico, sua principal unidade litoestratigráfica é o Grupo Santana (Neumann e Cabrera, 1999). Destacando-se principalmente os fósseis encontrados nas Formações Crato e Romualdo, que são extremamente bem preservados (Martill, 1988, 1989, 1990). Muitos vertebrados fósseis foram descritos a partir das formações, que compreendem parte deste grupo.

A Formação Ipubi, objeto de estudo da presente pesquisa, pouco se é explorada cientificamente por pesquisadores. Esta unidade estratigráfica é composta por sulfatos de cálcio, na forma de gipsitas (evaporitos), com lentes de folhelhos pirobetuminosos escuros e fossilíferos, com camadas lenticulares, lateralmente contíguas a folhelhos cinza-esverdeados.

Esses evaporitos representam o clímax de uma sequência sedimentar em um lago inferior, cujas águas se tornaram progressivamente salinas devido à crescente evaporação. Sendo interpretados como originados em ambientes costeiros (supramaré), sujeitos às variações relativas do nível do mar, em condições de clima árido a semi-árido (Assine, 1992).

As rochas desta Formação (predominantemente de gipsita e folhelhos, com, ocasionalmente, nódulos calcários), constitui a unidade intermediária do Grupo Santana, contendo restos de organismos, que já foi citada como uma unidade geológica que não constituía um depósito paleontológico expressivo. (Kellner *et al.*, 2002)

O termo alemão *fóssil Lagerstätte*, (em plural, *Lagerstätten*) emprega-se para definir em sentido amplo, altas concentrações de fósseis em estado bem conservado ou não. Adolf

Seilacher foi o primeiro a citar este termo, para descrever um corpo de rocha que é extraordinariamente rico em informações paleontológicas, os fósseis estão tão bem conservados ou são tão abundantes que justificam a exploração científica e a atenção de pesquisadores (Seilacher, 1970; Seilacher *et al.*, 1985).

Este termo é diferenciado em dois tipos. O primeiro, *Konservat-Lagerstätten* (*Lagerstätten* de conservação), apresenta um excelente grau de conservação, preservando inclusive partes moles em forma de impressões sobre o substrato, e em casos excepcionais até a textura e padrões de coloração da pele. Encontram-se também organismos completos compostos exclusivamente por partes moles (Selley *et al.*, 2005).

Esta melhor fossilização é produzido num soterramento rápido, onde há condições que impedem a decomposição da matéria orgânica depositada. Para ocorrer esses depósitos com fósseis extraordinários, bem preservados os decompositores não consomem as partes moles dos tecidos e estes vão sendo contornados através do processo de mineralização, como por exemplo, a substituição por apatita, pirita, argilas e sílica (Selley *et al.*, 2005).

O termo *Konservat Lagerstätten* é definido como qualquer depósito que contenha abundância de fósseis extraordinariamente preservados, alguns dos quais preservam animais de corpo mole com impressões de tecidos nas rochas. Estes fósseis encontrados neste ambiente são importantes, porque fornecem maiores detalhes sobre taxonomia animal, anatomia, habitat, bem como informações tafonômicas. No entanto, fósseis em *Lagerstätten* são muito raros, porque exige uma preservação química especial e condições físicas favoráveis (Selley *et al.*, 2005).

Entre os importantes *Konservat-Lagerstätten* do período cretáceo podemos citar alguns dos maiores depósitosossilíferos do mundo, encontrados na Espanha, formação Las Hoyas, na China, Formação Xiagou, no Brasil, nas formações Crato e Romualdo, onde seus fósseis são bem preservados e muitos exemplares estão em preservação tridimensional (Selley *et al.*, 2005).

A Formação Romualdo é considerada um *Konservat Lagerstätten*, devido aos extraordinários fósseis que fornecem uma riqueza de informações sobre a paleobiota daquele ambiente (Daw, 1992). Os primeiros estudos científicos sobre os fósseis da Formação Romualdo foram iniciadas no século XIX (Agassiz, 1841; Gardner, 1841; Woodward, 1887). Desde então, manteve-se intensa pesquisa nessa área, devido aos fósseis encontrados em concreções carbonáticas contendo três características marcantes: abundância, ocorrem continuamente ao longo da estrutura sedimentar, possuem exemplares fósseis

excepcionalmente preservados e são diversificados em preservação tridimensional. São exemplos, os fósseis de peixes distribuídos em pelo menos dezenove gêneros (Wenz e Brito, 1990; Maisey, 2000), além de tartarugas, pterossauros e várias espécies de plantas descritas. A característica mais espetacular é, certamente, a preservação de tecidos moles fosfatizadas, de invertebrados e vertebrados (Martill, 1993; De Oliveira e Kellner, 2005; Oliveira, 2007; Kellner *et al.*, 2013).

O segundo tipo, o *Konzentrat Lagerstätten* (*Lagerstätten* de concentração) faz referência a um depósito muito abundante de fósseis, mais especificamente, das partes duras, desarticuladas ou não, dos organismos que os produziram, é formado por acumulação de fósseis ao longo de um período significativo de tempo. Nestes depósitos há abundância de fósseis, embora muitas vezes, não muito bem preservados, sendo de vital importância para revelar como ocorreu a fossilização daquele ambiente. (Selley *et al.*, 2005). Por sua vez, o *Konzentrat Lagerstätten* é dividido em dois tipos; Concentração Estratiforme e Concentração por Armadilha.

Na Concentração Estratiforme os fósseis encontrados são abundantes e de forma densa em concentrações, como por exemplo, um aglomerado de coquinas. Elas são formadas refletindo uma série de processos, que foram formados a partir de um rápido soterramento, formando uma mortalidade em massa ou a partir da lenta acumulação de conchas durante muitos anos. Um exemplo para ilustrar este processos físicos são as coquinas diversificadas de pequenos amonites, encontrados na Costa da Normandia na França (Jurássico), que estão preservados acerca de 2 milhões de anos (Selley *et al.*, 2005). No topo da Formação Romualdo foi descrito um banco coquinóide com conchas de gastrópodes, bivalves e equinóides (Beurlen, 1963). Este tipo de concentração também pode se estender em forma de estrato, ou seja, formado a partir de um rápido soterramento, onde os sedimentos acumulados no ambiente formou uma série de camadas sobrepostas denominadas folhelhos (Selley *et al.*, 2005).

Outro tipo de depósito é a Concentração por Armadilha, que podem ocorrer em ambientes terrestres e marinhos, os fósseis podem ser encontrados em ambientes protegidos pela ação ambiental, como por exemplo, cavernas, onde os animais ficavam concentrados, usando as cavernas como habitat. Estas cavernas quando sofriam deslizamento, acabavam formando uma armadilha mortal, exemplo disso é a caverna encontrada em Montana nos EUA (Holoceno), onde foi encontrada uma grande concentração de registros de ossos de

Bisão (*Bison antiquus*, família Bovidae) que estavam desarticulados, e que foram fossilizados em rocha calcária (Selley *et al.*, 2005).

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 à sua natureza, têm mais chances de se fossilizarem. Sua composição pode ser de sílica (SiO<sub>2</sub>), bastante resistente às intempéries, como as espículas de algumas esponjas; de carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>) sob a forma de calcita, das quais são constituídas as placas esqueléticas de equinodermas, de quitina um polissacarídeo complexo, menos durável do que a maioria dos esqueletos minerais e que compõe o exoesqueleto dos insetos. Desta forma, mesmo nas rochas mais antigas, são encontradas partes duras que se conservaram sem alterações na sua composição química original (Cassab, 2004).

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, decompõe-se com tanta rapidez, devido à 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 dentro dos sedimentos, permitindo que partes moles, como pele, músculos e órgãos internos de vertebrados permaneçam intactos.

No Brasil, os fósseis do Grupo Santana, período Cretáceo da Bacia do Araripe, em específico as formações Crato e Romualdo apresentam uma numerosa e diversificada fauna de vertebrados, com dominância de peixes, além de vegetais, insetos e outros grupos encontrados em concreções calcárias contendo tecidos moles preservados (Cassab, 2004).



# OBJETIVOS

## OBJETIVO GERAL

Contribuir na melhoria das interpretações paleoambientais da Bacia do Araripe, em especial a Formação Ipubi, realizando dados estatísticos que comprovem um *Konservat Lagerstätten* nesta formação.

## OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Realizar um estudo dos Macrofósseis da Formação Ipubi, mostrando que os níveis de folhelho (acima e a baixo da camada de gipsita) podem ser definidos como o terceiro *Lagerstätten* da Bacia do Araripe.
2. Realização de uma análise estatística mostrando a diversidade biológica dos fósseis encontrados nesses níveis, realizando uma caracterização paleoambiental através de técnicas de espectroscopia molecular.
3. Caracterizar os fósseis da Formação de Ipubi por meio de difração de raios-X e fluorescência de raio-X, identificando as composições moleculares dos fósseis da Bacia do Araripe.

## BIBLIOGRAFIA

AGASSIZ, 1841. On the fossil fishes found by Mr Gardner in the province of Ceará, in the north of Brazil. *Edinburgh New Philosophical Journal*, 82–84.

CARVALHO, I.d.S., 2000. *Paleontologia*. Rio de Janeiro, Ed. Interciência.

CASSAB, R., 2004. Objetivos e Princípios da Paleontologia. *Paleontologia* 1, 3-11.

DALL, W., Hill, B., Rothlisberg, P., Sharples, D., 1990. The biology of the Penaeidae. *Advances in marine biology* 27.

GARDNER, G., 1841. Geological notes made during a journey from the coast into the interior of the Province of Ceará, in the north of Brazil, embracing an account of a deposit of fossil fishes. *Edinburgh New Philosophical Journal* 30, 75-82.

MAISEY, J.G., 1991. *Santana fossils: an illustrated atlas*.

MAISEY, J.G., 2000. Continental break up and the distribution of fishes of Western Gondwana during the Early Cretaceous. *Cretaceous Research* 21, 281-314.

MARTILL, D.M., Wilby, P.J., 1993. Fossils of the Santana and Crato Formations, Brazil. *Palaeontol. Assoc. Field Guides Foss.* 5, 20– 50.

NEUMANN, V.H., Cabrera, L., 1999. Una nueva propuesta estratigráfica para la tectonosecuencia post-rifte de la cuenca de Araripe, noreste de Brasil. *Simpósio Sobre o Cretáceo do Brasil* 5, 279-285.

RICHARD., S.M., Tufs., S., 1973. Wood Opal-A Tridymite {ike Mineral. *American Mineralogist* 58, 717-720.

SELLEY, R. C.; COCKS, L. R. M.; PLIMER, I. *ENCYCLOPEDIA OF GEOLOGY* 2005.

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

SEILACHER, A.; REIF, W.-E.; WESTPHAL, F.; RIDING, R.; CLARKSON, E.; WHITTINGTON, H. Sedimentological, ecological and temporal patterns of fossil Lagerstätten [and Discussion]. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences**, v. 311, n. 1148, p. 5-24, 1985. ISSN 0962-8436.

WENZ, S., Brito, P., 1990. L'ichthyofaune des nodules fossilifères de la Chapada do Araripe. 337–349, Atas do simpósio sobre a Bacia do Araripe e Bacias Interiores do Nordeste, Crato, pp. 14-16.

WOODWARD, A.S., 1887. 4. On the Fossil Teleostean Genus *Rhacolepis*, Agass, *Proceedings of the Zoological Society of London*. Wiley Online Library, pp. 535-541.

**CAPÍTULO 1:**  
**PALEOECOLOGIA DA MACROFAUNA DOS FOLHELHOS DA**  
**FORMAÇÃO IPUBI**

# PALEOECOLOGIA DA MACROFAUNA DOS FOLHELHOS DA FORMAÇÃO IPUBI

## RESUMO

A Formação Ipubi está sobreposta à seção pelítico-carbonática de calcários laminados da Formação Crato e abaixo dos arenitos finos e folhelhos da Formação Romualdo, sendo composta principalmente por depósitos de gesso e anidrita. O objetivo desta pesquisa foi a realização de um levantamento estatístico dos macrofósseis encontrados nos folhelhos da Formação Ipubi, localizados acima da camada de gipsita e a utilização fluorescência de raio-X (FRX) como suporte e complemento das pesquisas realizadas com fósseis da Bacia do Araripe. O material foi coletado na Mina Pedra Branca, área de exploração de sulfato de cálcio no Município de Santana do Cariri, Estado do Ceará. De acordo com os resultados aqui obtidos, a camada fossilífera da Formação Ipubi foi formada em condições paleoambientais diferentes das demais camadas fossilíferas do Grupo Santana, mais se assemelha a Formação Romualdo devido à quantidade de espécimes encontrados em um nível de mortandade. Esta camada fossilífera estendeu-se em forma de estratos, contendo vestígios de tecido moles preservados. Essa condição em termos quantitativos mostra que esse nível pode ser considerado um *Konservat Lagerstätten*.

**Palavras Chaves:** Bacia do Araripe, Paleoecologia, Camadas de Gipsita, *Konservat Lagerstätten*.

# PALEOECOLOGY OF THE MACROFAUNA IN THE SHALES OF THE IPUBI FORMATION

## ABSTRACT

The Ipubi Formation overlaps the pelitic-carbonate section and calcareous laminates of the Crato Formation and is below the fine sandstones and shales of the Romualdo Formation, where it is composed mainly of deposits of gypsum and anhydrite. The objective of this study was to conduct a statistical survey of the macrofossils found in the shale of the Ipubi Formation, located above the gypsite layer, utilizing spectroscopic techniques (X-ray fluorescence) to support and complement the research conducted with fossils of the Araripe Basin. The material was collected in Mine Pedra Branca, area of calcium sulfate mining in the municipality of Santana do Cariri, State of Ceara. According to our findings, the fossiliferous layer of the Ipubi Formation was formed under paleoenvironmental conditions different from those of the other fossiliferous layers of the Santana Group, more resembles Romualdo Formation due to the amount of specimens found at a level of mortality possessing fossil laterally compressed containing traces of soft tissue preserved. This condition quantitatively shows that this level can be considered a *Konservat Lagerstätten*

### Keywords

Araripe Basin, paleoecology, gypsite bed, *Konservat Lagerstätten*.

## INTRODUÇÃO

A Formação Ipubi é a mais importante em termos econômicos para a região do Araripe, pois dela é extraído 96% do sulfato de cálcio consumido no Brasil (Saraiva *et al.*, 2007). Os fósseis dessa formação ocorrem na camada de folhelho pirobetuminosos, abaixo da camada de gipsita ou mais comumente sobre esse pacote de sulfato de cálcio.

A espectrometria de fluorescência de raios-X é uma técnica que permite identificar os elementos presentes em uma amostra (análise qualitativa) assim como estabelecer a proporção (concentração) em que cada elemento se encontra presente na amostra. Uma fonte de radiação de elevada energia (radiação gama ou radiação X) provoca a excitação dos átomos da substância que pretendemos analisar, quando um átomo no estado fundamental fica sob a ação de uma fonte externa de energia (e.g.: raios-X), ele absorve esta energia, promovendo elétrons a níveis mais energéticos. Neste estado o átomo estará em uma situação instável, chamada “Estado Excitado” (Silva, 2004). Na natureza tudo tende a buscar o estado de estabilidade, desta forma o átomo excitado tende naturalmente a retornar ao seu estado fundamental, ocorrendo uma emissão de energia. Esta energia envolvida na absorção é uma característica específica de cada elemento químico, permitindo a sua identificação e correspondente quantificação (Beckhoff *et al.*, 2006).

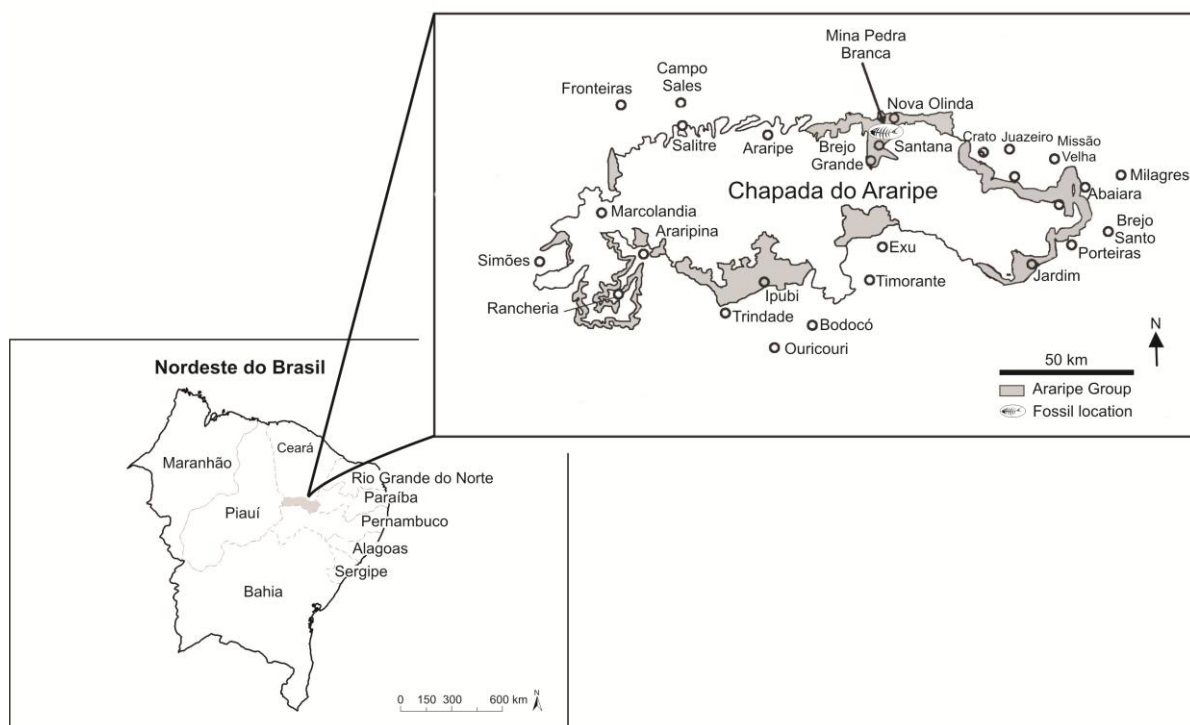
O objetivo desta pesquisa foi a realização de um levantamento estatístico dos macrofósseis encontrados no folhelho da Formação Ipubi, localizados acima do pacote de gipsita e a utilização de técnica de espectroscopia por fluorescência de raios-X (FRX) para auxiliar no entendimento dos processos de fossilização e tafonomia que ali atuaram, contribuindo na melhoria das interpretações paleoambientais.

## LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO, CONTEXTO GEOLÓGICO E PALEONTOLÓGICO.

A Bacia Sedimentar do Araripe está inserida na Região do Cariri, encontra-se situada entre os estados do Ceará, Pernambuco e Piauí, abrangendo uma área com cerca de 12.000 km<sup>2</sup>, (Fig.1). Ela é conhecida mundialmente pelo excelente estado de preservação, diversidade e quantidade de seus fósseis, em específico as Formações Crato e Romualdo. Sob a Chapada do Araripe pode ser encontrada a sequência completa das unidades geológicas que compõem a Bacia. Esta é delimitada ao norte pelo lineamento de Patos e ao sul pelo lineamento Pernambuco (Assine, 1992).

O contexto litoestratigráfico da área estudada ainda é palco de controvérsias. Muitas são as propostas estratigráficas e denominações para as unidades que compõem essa Bacia no cenário paleontológico (para detalhes ver Kellner *et al.* (2013). Contudo, nesse trabalho, será utilizada a proposta de Neumann e Cabrera (1999).

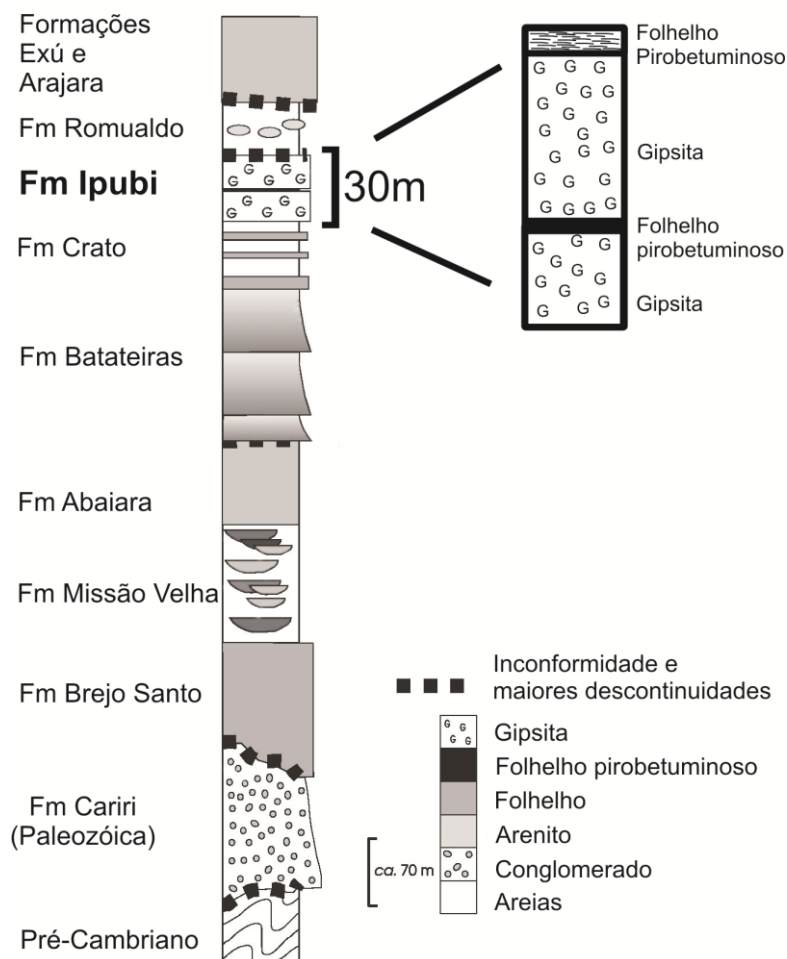
A Formação Ipubi foi descrita primeiramente por Beurlen (1971) na categoria de Membro, e redefinida por Mabesoone (1973) e Martill (1993), que propuseram sua elevação para categoria de formação, proposta corroborada por Neumann e Cabrera (1999). Ela é tida como de Idade Albiana (Arai, 2001), sendo constituída predominantemente por camadas de folhelhos pretos pirobotuminosos e evaporitos. Equivale ainda à parte superior da Formação Araripina, proposta por Silva (1983). Assine (2007) propôs a reclassificação da denominação para “Camadas Ipubi”, posicionadas estratigraficamente no topo do Membro Crato.



**Figura 1.** Mapa que localiza a Mina Pedra Branca, sul do estado do Ceará (modificado de Martill 2007).

A Formação Ipubi está sobreposta à seção pelítico-carbonática de calcários laminados da Formação Crato e abaixo dos arenitos finos e folhelhos da Formação Romualdo, sendo composta principalmente por depósitos de gesso e anidrita, intercalados por folhelhos escuros, que representa fácies evaporíticas do sistema lacustre Aptiano-Albiano da Bacia. Lima (1979) postula que estes evaporitos são corpos descontínuos, lenticulares, que cortam lateralmente folhelhos e estão distribuídos por toda a Bacia. (Fig.2)

Os evaporitos localmente apresentam camadas de gipsita de até 20 metros de espessura, de cores brancas a cinza, maciças e fibrosas (Ponte, 1990). Atualmente as melhores exposições encontram-se, na região do polo gessífero, nos estados de Pernambuco (municípios de Araripina, Trindade e Ipubi) e Ceará (em Nova Olinda e Santana do Cariri). Acima da camada de gipsita intercalam-se níveis de folhelhos betuminosos e fossilíferos.



**Figura 2.** Coluna estratigráfica da Bacia do Araripe com destaque para a Formação Ipubi (modificado de Martill 2007).



## MATERIAIS E MÉTODOS

As coletas foram realizadas nos períodos de janeiro a setembro de 2011, feitas pelo Laboratório de Paleontologia da URCA - LPU. As medidas de fluorescência de raios-X foram realizadas no Departamento de Física da Universidade Federal do Ceará (UFC). O equipamento utilizado foi o ZSX Mini II – Rigaku para quantificação de elementos do F ao U.

O material foi coletado na Mina Pedra Branca, área de exploração de sulfato de cálcio no Município de Santana do Cariri, Estado do Ceará. Sua área encontra-se a 1,5 km a nordeste da cidade de Santana do Cariri, com altitudes variando de 525 a 598m, a entrada situa-se na rodovia CE-166, que liga Santana do Cariri a Nova Olinda, sendo a principal via de acesso ao município (Lat. 07 0755,2S e Long. 39 43 02,6W). O material consta de uma lâmina de cor cinza escuro, descrita como folhelho pirobetuminoso, do nível logo acima dos bancos de gipsita (evaporitos). Nesse nível, são facilmente encontradas impressões fósseis de peixes e plantas como descrito por Saraiva *et al.* (2007).

Nas coletas foram tomadas medidas de coordenadas geográficas, posicionamento da amostra no perfil estratigráfico, medidas das placas de folhelhos coletados e a identificação de cada espécie encontrada, utilizando como base os trabalhos de Fara *et al.* (2005), Saraiva *et al.* (2007) e Vila Nova *et al.* (2011).

Para as análises espectroscópicas foram escolhidas duas espécies fósseis de peixes; *Vinctifer comptoni*, Jordan (1919) e *Cladocylus gardineri*, Agassiz (1841) sendo escolhidos por serem abundantes nas Formações Ipubi e Romualdo e por apresentarem bom estado de preservação. Os exemplares foram adequadamente fragmentados, macerados e armazenados em pequenos frascos com material suficiente para medidas de espectroscopia.

Foram utilizados índices de diversidade populacional para se quantificar e qualificar os principais tipos de macrofósseis encontrados na Formação Ipubi. Os cálculos foram feitos pelo programa Bio Estat 5.0 (Ayres, 2007) e R- edite 64 bits (Team, 2008).

Desta forma, foi realizada uma coleta de 42,23 m<sup>2</sup> (0,4223 m<sup>3</sup>) dos níveis de folhelho desta formação, para melhor estruturar as análises, as camadas dos folhelhos foram fragmentadas em pedaços, com as laminações de 1 cm de espessura, sendo medidas, identificadas e analisadas individualmente.

Para analisar as variáveis quantitativas referentes à caracterização dos fósseis provenientes das amostras retiradas desta formação, foi calculada a frequência, densidade populacional, os índices de diversidade foram determinados a partir do índice de Shannon

(H'), riqueza específica (D) e equitabilidade (J). Para determinação da riqueza específica, aplicou-se o índice de riqueza de Margalef (D), a equitabilidade (J) dos peixes foi conhecida pelo índice de Pielou, que foram calculadas pelos programas BioEstat 5.0 (Ayres, 2007) e o R Development Core 95 (Team, 2008).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram identificadas 12 espécies de fósseis da Formação Ipubi (Tab. 1). Entre as plantas encontradas, destacamos o primeiro registro de *Brachphyllum castilhoi*, (Duarte, 1985) piritizado e de fragmentos de uma pteridófita leptosporangiada nesta formação.

Entre os osteichthyes identificáveis, foram encontrados 9 espécies de peixes, *Dastilbe crandalli* (Jordan e Branner (1910)) foi a espécie que apresentou uma maior frequência (34,38%, n=109), porém essa espécie não é mencionada para as concreções fossilíferas da Formação Romualdo (Tab. 01), logo as espécies que ocorreram com maior frequência em ambas as formações foram *Vinctifer comptoni* Jordan (1919), *Tharrhias araripis* Jordan (1908), e *Cladocyclus gardneri* Agassiz (1841), assim como nos dados obtidos por Vila Nova *et al.* (2011).

Foram obtidos os seguintes índices de diversidade  $H' = 1.415225$ , riqueza  $D = 1.487017$  e a equitabilidade  $J = 0.6440967$ . Esses índices indicam baixa diversidade de espécies, porém a amostra mostrou-se bem distribuída, uma vez que J varia de 0 a 1, retirando da análise os indivíduos não identificados.

Fara *et al.* (2005) mostraram os resultados dos índices de diversidade obtidos na Formação Romualdo variaram de 0,5 a  $H = H = 1.2$ . Comparando-se os valores de diversidade encontrados no presente estudo com os resultados encontrados por Fara *et al.* (2005), pode ser visto que a Formação Ipubi aparentemente apresentam valores mais elevados.

Na Formação Ipubi foram coletados um total de 550 fósseis em uma área de 42,33 m<sup>2</sup> (0,4223 m<sup>3</sup>) de folhelho, incluindo peixes, plantas e coprólitos, possuindo uma densidade estimada de 13 Ind./m<sup>2</sup> (1.302,39 m<sup>3</sup>). Vila Nova *et al.* (2011), coletaram na Formação Romualdo na localidade do “Sitio Romualdo” um total de 202 concreções, 173 continham material fossilífero, em uma área contendo 12,32 m<sup>3</sup>, apresentando assim um total de 14 Ind./m<sup>3</sup>. Fara *et al.* (2005) no “Parque dos Pterossauros” coletou um total de 233 fósseis em uma área de 53 m<sup>3</sup>, possuindo uma densidade de 4,4 Ind./m<sup>3</sup>. Essa variação na quantidade de fósseis encontrados na Formação Romualdo, foi observada pela primeira vez por Small

(1913) e pode ter ocorrido devido às condições ambientais serem diferentes nesses dois pontos do paleoambiente que distam cerca de 60 km uma da outra. Apesar da diferença quantitativa dos espécimes encontrados na Formação Romualdo, esse valores quando comparados com os resultados obtidos na formação Ipubi, observa-se que o maior índice obtido da Formação Romualdo é menor do que os resultados obtidos para a Formação Ipubi. Contudo, esses resultados numéricos não mostram a variação de espécies e espécimes ao longo da coluna estratigráfica do perfil em escala detalhada na assembleia fossilífera da Formação Romualdo, como observado por Saraiva *et al.* (2007), os fósseis em folhelhos encontrados na Formação Romualdo não foram contabilizados por Fara *et al.* (2005) ou Vila Nova *et al.* (2011) como observado por Saraiva *et al.* (2007) que ainda afirmam que apenas os fósseis contidos nas concreções calcárias foram analisados estatisticamente por esses autores.

Saraiva *et al.* (2007) mostram que as espécies dominantes, *Tharrhias araripis* e *Cladocyclus gardneri* são frequentes nos primeiros níveis de mortandades e *Vinctifer comptoni*, *Rhacolepis buccalis* nos níveis mais superiores. Em termos numéricos, *Vinctifer comptoni* é a espécie mais abundante, esses dados estatísticos e estratigráficos obtidos da Formação Romualdo, foram obtidos dentro de perfis com 250 cm em média, enquanto a assembleia fossilífera próxima ao banco de gipsita (Formação Ipubi) tem em média 80 cm de espessura, essa baixa espessura provavelmente é um fator limitante de variações na quantidade e diversidade de espécies e espécimes nos folhelhos pirobetuminosos.

Por outro lado, comparando o comprimento dos indivíduos completos (peixes, e plantas coprólitos) encontrados nas duas formações, a Formação Ipubi mostrou espécimes menores do que o encontrados por Fara *et al.* (2005) e Vila Nova *et al.* (2011). Foi observado que havia uma variação no tamanho de cada fóssil, por exemplo, na formação Romualdo *Cladocyclus gardneri* varia de cerca de 50 cm a 2 m de comprimento (Fara *et al.*, 2005), e na Formação Ipubi as mesmas espécies possuem cerca de 2 cm a 20 cm de comprimento, esta variação de tamanho pode ser associada com fatores restritivos como a espessura da camada da Formação Ipubi é menor em comparação com a Formação Romualdo. Fatores como salinidade, variações de temperatura e pH podem está associados a limitação do crescimento das espécies encontrados na Formação Ipubi. Estes fatores podem está associados a enorme quantidade de fósseis por m<sup>3</sup> encontrados na presente pesquisa.

No presente trabalho, *Vinctifer comptoni*, *Tharrhias araripis* e *Cladocyclus gardneri* foram as espécies que ocorreram com maior frequência, como nos achados de Vila Nova *et al.* (2011) e Fara *et al.* (2005). Essa situação reforça a hipótese de que *Vinctifer comptoni*,

*Tharrhias araripis* e *Cladocyclus gardneri* por serem comuns nas três Formações do Grupo Santana (Crato, Ipubi e Romualdo) eram diádromas, passam a vida adulta em ambiente mais salino e profundo e migram para áreas mais rasas, de baixa salinidade para reprodução (Mathieson *et al.*, 2000).

**Tabela 1. Amostragem quantitativa de espécimes fósseis da Formação Ipubi**

Os espécimes encontrados nos níveis de folhelho da formação Ipubi		Quantidade encontrada	Frequência relativa (%)
01	<i>Dastilbe crandalli</i>	109	19,81
02	<i>Tharrhias araripis</i>	53	9,63
03	<i>Vinctifer comptoni</i>	24	4,36
04	<i>Cladocyclus gardneri</i>	12	2,18
05	<i>Santanaclupea silvasantosi</i>	10	1,81
06	<i>Santanichthys diasi</i>	5	0,90
07	<i>Placidichthys bidorsalis</i>	1	0,18
08	<i>Rhacolepis buccalis</i>	1	0,18
09	<i>Paraelops cearensis</i>	2	0,36
10	Peixe Indeterminado	100	18,18
11	<i>Brachphyllum castilhoi</i>	1	0,18
12	Lenho	96	0,18
13	Coprólito	135	17,45
14	Pteridófita leptosporangiatae	1	24,54
Total		550	

Ao comparar o paleoambiente da Formação Ipubi com ambientes estuarinos atuais, segundo Barletta (2007), podemos observar que durante a estação chuvosa ou de seca, algumas espécies de peixes estuarinos migram de ambiente, devido à mudança de parâmetros como PH e salinidade da água. A quantidade de peixes fósseis encontrados na Formação Ipubi, sugere que essas espécies eram abundantes em número de indivíduos embora tivessem a capacidade de se adaptar às mudanças físico-químicas da água. Se essas mudanças fossem abruptas, essas populações estavam sujeitas a mortandades.

Os sedimentos ricos em matéria orgânica encontrados na Formação Ipubi indicam um ambiente de stress, essa quantidade de matéria orgânica poderia ocorrer com maior frequência nos períodos de chuva, onde a entrada de matéria orgânica é carregada pelas águas da chuva até a ponte de entrada de água do lago, elevando assim o grau de dureza da água, limitando o crescimento de espécies autóctones e reduzindo o tamanho da maioria dos espécimes encontrados.

As amostras analisadas por espectroscopia de fluorescência de raios-X na rocha matriz e no fóssil evidenciaram que, a amostra retirada da rocha matriz de *Vinctifer comptoni* mostrou em porcentagem Ca (52,27), S (18,66), Si (10,36), Fe (9,44), K (2,58) e P (1,72) como principais elementos e em *Vinctifer comptoni* Ca (79,34), P (17,29), S (2,00), Fe (0,55), Si (0,31) e K (0,10). Já a análise das medidas na rocha matriz de *Cladocyclus gardneri* evidenciou em porcentagem: Ca (78,01), P (0,86), S (6,02), Si (5,25), Fe (6,18), Al (1,85), e K (1,10), como principais elementos, e em *Cladocyclus gardneri*: Ca (81,15), Fe (1,09), S (2,41), Si (1,13) e P (12,91).

Essas altas concentrações Ca e P encontrados no fóssil e na rocha matriz de ambos os peixes, podem ser explicadas devido à amostra ser composta por fosfato de cálcio hidróxido (hidroxiapatita)  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$  no fóssil e carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) na forma cristalina (calcita) na rocha matriz (Lima, 2007; Lima, 2007b; Silva *et al.*, 2012).

Nas análises espectroscópicas feitas nos peixes *Cladocyclus gardneri* e *Vinctifer comptoni*, observou-se um aumento na intensidade de Fe e S, podendo ser explicada pela presença de sulfeto de ferro ( $\text{FeS}_2$ ) devido a um processo de piritização na rocha que o envolvia, sendo frequentes em depósitos de evaporitos provenientes de influencia marinha ou com salinidade moderada a alta, constatando-se que o conteúdo original foi substituído por pirita e calcita. Dessa forma, à medida que a matéria orgânica se decompôs, liberou sulfeto que reagiu com o ferro dissolvido naquele ambiente, formando o mineral pirita ( $\text{FeS}_2$ ) (Silva *et al.*, 2012).

Já a presença considerável de S, Si, Al, K na rocha matriz pode ser explicado como material proveniente de precipitação natural desses elementos que ocorriam em grande quantidade no corpo aquoso em torno do material fossilizado.

Até o momento, a presença faunística e florística da Formação Ipubi compreendem grupos de conchostráceos do gênero *Cyzicus* Viana e Cavalcanti (1990) e *Bairdestheria* Beurlen (1963) e ostracodes Hessel *et al.* (2006), pteridófita *Brachyphyllym castilhoi*, Sousa Filho *et al.* (2011), angiospermas; *Choffatia francheti* Duarte (1985), icnofósseis Dentzien-Dias *et al.* (2010), tetrápode Oliveira *et al.* (2011), dinossauro teropode Silva *et al.* (2012), 9 espécies de peixes chondrichthyes, no entanto a quantidade de espécies descritas desta formação é relativamente baixa, comparada com outros *Konservat Lagerstätten* do cretáceo inferior (Tab. 2).

**Tabela 2. Comparação com outros *Konservat Lagerstätten*, dados obtidos de (Zhou e Wang, 2010) e (Saraiva, 2010).**

	<b>Jehol</b>	<b>Crato</b>	<b>Romualdo</b>	<b>La huerguina</b>	<b>Messel</b>	<b>Ipubi</b>	<b>Solnhofen</b>
Aves	39	2	0	3	52	0	2
Dinossauros	43	0	4	7	0	1	2
Pterossauro	16	5	19	0	0	0	16
Crocodilo	0	1	3	9	7	0	8
Mamíferos	15	0	0	4	45	0	0
Peixes	13	8	24	21	8	5	107
Agnathas	1	0	0	0	0	0	0
Anfíbios	8	3	0	8	10	0	0
Tartarugas	2	1	6	3	5	1	8
Squamate	5	2	0	8	20	0	4
Vegetal	0	29	5	0	0	2	0
Ostracodes	0	4	3	0	0	3	0
Ichthyosaurs	0	0	0	0	0	0	2
Sphenodonts	0	0	0	0	0	0	6
<b>TOTAL</b>	<b>142</b>	<b>55</b>	<b>64</b>	<b>63</b>	<b>147</b>	<b>12</b>	<b>155</b>

Esta comparação, contudo, baseia-se no número de táxons publicados ou citados nestas formações sem considerar a história de coleta de cada camada fossilífera, portanto, pode não refletir completamente a real paleodiversidade da biota. Por exemplo, a história de coleta de fósseis nas Formações Crato e Romualdo, grupo Santana é bastante antiga possuindo uma fauna bastante longa, assemelhando-se à biota do grupo Jehol, quanto à preservação assemelha-se a Formação Solnhofen e Messel, já na quantidade de indivíduos descritos aproxima-se da Formação La Huerguina (Zhou e Wang, 2010). Até o presente momento, a camada de folhelho pirobotuminoso da Formação Ipubi nos últimos anos foi pouco explorada por pesquisadores, provavelmente devido às duas formações geológicas do Grupo Santana (Formações Crato e Romualdo) possuir um maior destaque. Essa situação é o principal motivo da baixa quantidade de espécies descrito ou relatado para essa unidade geológica até o momento.

## CONCLUSÃO

Os fatores responsáveis pelas variações da frequência populacional das espécies encontradas nos níveis de folhelho apontam para a ocorrência de mortandades, permitindo supor que o clima, aumento e variações de temperatura da água associada com a mudança do PH e salinidade, poderiam propiciar o aumento populacional de algumas espécies encontradas que são adaptadas a condições ambientais extremas.

Os folhelhos pirobotuminosos da Formação Ipubi quando comparados com as escavações realizadas por Fara *et al.* (2005) e Vila Nova *et al.* (2011) na Formação Romualdo apresentou uma biota pouco diversificada, porém com maior quantidade de espécimes. Essa condição aponta para um ambiente de stress, com grande quantidade de matéria orgânica no fundo do paleolago, essa condição tornava o ambiente, redutor e sulfuroso. Possivelmente o lago possuía a parte superficial aerada e fótica e a parte de fundo extremamente palustre. Eventualmente quando ocorria mistura de água (superficial com água de fundo) ocorriam mortandades resultando em um *Konservat Lagerstätten*, como em situações de grande incidência pluviométrica.

No entanto, a camada fossilífera da Formação Ipubi foi formada em condições paleoambientais diferentes das demais camadas fossilíferas do Grupo Santana, mais se assemelha a Formação Romualdo devido à quantidade de espécimes encontrados em um nível de mortandade, esta camada fossilífera estendeu-se em forma de estratos, possuindo fósseis comprimidos lateralmente, contendo vestígios de tecido moles preservados. Comprovando que esse nível pode ser considerado o terceiro *Konservat Lagerstätten* do Grupo Santana, Bacia do Araripe.

## REFERÊNCIAS

- AGASSIZ, 1841. On the fossil fishes found by Mr Gardner in the province of Ceará, in the north of Brazil. *Edinburgh New Philosophical Journal*, 82–84.
- ARAI, M., J. C. Coimbra, And A. C. Silva-Telles Jr., 2001. Síntese bioestratigráfica da Bacia do Araripe (nordeste do Brasil). In: In L. M. Barros, P.C.N., and J. B. M. Filgueira [eds.], (Ed.), *Atas do II simpósios sobre a Bacia do Araripe e bacias interiores do nordeste*. Universidade Regional do Cariri (URCA), Crato, Ceará Province, Brazil, pp. 122–124.
- ASSINE, M.L., 1992. Análise estratigráfica da bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências* 22, 289-300.
- AYRES, M. *BioEstat 5.0: aplicações estatísticas nas áreas das ciências biológicas e médicas*. Sociedade Civil Mamirauá, 2007.
- BARLETTA, M.B.S.J.M., 2007. Comparison of fish assemblages and guilds in tropical habitats of the embayment (indo-west pacific) and caeté (western atlantic) estuaries *Bulletin of Marine Science*, 647–680
- BECKHOFF, B., Kanngießer, B., Langhoff, N., Wedell, R., Wolff, H., 2006. *Handbook of*
- BEURLIN, K. As condições ecológicas e faunológicas da Formação Santana na Chapada do Araripe (Nordeste do Brasil). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, v. 43, p. 411-415, 1971.
- BEURLIN, K. *Geologia e estratigrafia da Chapada do Araripe*. Sudene, 1963.
- Brito, P.M., 2000. A new halecomorph with two dorsal fins, *Placidichthys bidorsalis* n.g. n.sp.. *Compte Rendus del'Academie des Sciences*, 749-754.
- DENTZIEN-DIAS, P.; FIGUEIREDO, A.; PINHEIRO, F.; SCHULTZ, C. Primeira evidência icnológica de um tetrápode natante no Membro Crato (Cretáceo Inferior), Formação Santana (Bacia do Araripe, nordeste do Brasil). *Revista Brasileira de Paleontologia*, v. 13, n. 3, p. 257-260, 2010.
- DUARTE, L., 1985. Vegetais fósseis da Chapada do Araripe, Brasil. *Coletânea de Trabalhos Paleontológicos* 27, 585-617.
- DUNKLE, D. H. *The Cranial Osteology of Notelops Brama (Agassiz): An Elopoid Fish from the Cretaceous of Brazil*. 1939. Harvard University
- FARA, E., Saraiva, A.Á., de Almeida Campos, D., Moreira, J.K., de Carvalho Siebra, 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, 145-160.



FILLEUL, A., Maisey, J.G., 2004. Redescription of *Santanichthys diasii* (Otophysi, Characiformes) from the Albian of the Santana Formation and comments on its implications for Otophysan relationships. *American Museum Novitates*, 1-21.

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

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

JORDAN, D.S., 1919. New genera of fossil fishes from Brazil. *Proc. Acad. Nat. Sci., Phila.*, 71, 208-210.

JORDAN, D.S.B., J.C, 1908. The Cretaceous fishes of Ceara, Brazil. *Smithsonian Miscellaneous Collection* 1, 1-29.

LIMA, M., 1979. Considerações sobre a subdivisão estratigráfica da Formação Santana, cretáceo do nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências* 9, 116-121.

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).

LIMA, R.J.C.F., P T C ; Sasaki, J M ; Saraiva, A A F ; Lanfredi, S ; Nobre, M A L, 2007b. Estudo de coprólitos da Bacia sedimentar do Araripe por meios de espectroscopia FT- IR e difração de raios-x. . *Química Nova* 30, 1956 – 1958.

MABESOONE, J.M.T., I.M, 1973. Paleogeology of the Aptian Santana Formation (Northeastern Brazil). . *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 14, 97-118.

MAISEY, J.G., 1993. A new clupeomorph fish from the Santana Formation (Albian) of NE Brazil. *American Museum of Natural History* 3076, 15.

MARTILL, D. M. The age of the Cretaceous Santana Formation fossil Konservat Lagerstätte of north-east Brazil: a historical review and an appraisal of the biochronostratigraphic utility of its palaeobiota. **Cretaceous Research**, v. 28, n. 6, p. 895-920, 2007. ISSN 0195-6671.

MARTILL, D.M., Wilby, P.J., 1993. Fossils of the Santana and Crato Formations, Brazil. *Palaeontol. Assoc. Field Guides Foss.* 5, 20– 50.

MATHIESON, S., Cattrijsse, A., Costa, M., Drake, P., Elliott, M., Gardner, J., Marchand, J., 2000. Fish assemblages of European tidal marshes: a comparison based on species, families and functional guilds. *Marine Ecology Progress Series* 204, 225-242.

NEUMANN, V.H., Cabrera, L., 1999. Una nueva propuesta estratigráfica para la tectonosecuencia post-rifte de la cuenca de Araripe, noreste de Brasil. *Simpósio Sobre o Cretáceo do Brasil* 5, 279-285.

PONTE, F.C., Appi, C.J, 1990. Proposta de revisão da coluna estratigráfica da Bacia do Araripe. *Congresso Brasileiro de Geologia*, Natal. *Química Nova* 30, 22-24.

RAYMOND, P. E. The genera of fossil Conchostraca-an order of bivalved Crustacea. Harvard College, 1946.

SARAIVA, A. A. F., BARROS, O.A., BANTIM,R.A.M, LIMA,F.J.L.,. **Guia para trabalhos de campo em paleontologia na Bacia do Araripe**. Crato: 2010. ISBN 9788591042708.

SARAIVA, A.Á.F., Hessel, M.H., Guerra, N.C., Fara, E., 2007. Concreções calcárias da formação Santana, bacia do Araripe: uma proposta de classificação. Estudos Geológicos 17, 40-57.

SILVA SANTOS, R.; CORREA, V. Contribuição ao conhecimento da paleoictiofauna do Cretáceo no Brasil. **Coletânea de Trabalhos Paleontológicos Série Geologia**, v. 27, n. 2, p. 169-174, 1985.

SILVA SANTOS, R.DA 1971. Nouveau Genre et espèce D'Elopidae du Bassin Sedimentaire de la Chapada do Araripe. Na.Acad.Brasil.Ciênc., 43(2):439-422

SILVA, J. H. D.; SOUSA FILHO, F. E. D.; SARAIVA, A. Á. F.; ANDRADE, N. A.; VIANA, B. C.; SAYÃO, J. M.; ABAGARO, B. T. D. O.; FREIRE, P. D. T. C.; SARAIVA, G. D. Spectroscopic Analysis of a Theropod Dinosaur (Reptilia, Archosauria) from the Ipubi Formation, Araripe Basin, Northeastern Brazil. Journal of Spectroscopy, v. 2013, 2012. ISSN 2314-4920.

SILVA, J.H., de Sousa Filho, F.E., Saraiva, A.Á.F., Andrade, N.A., Viana, B.C., Sayão, J.M., Abagaro, B.T.d.O., Freire, P.d.T.C., Saraiva, G.D., 2012. Spectroscopic Analysis of a Theropod Dinosaur (Reptilia, Archosauria) from the Ipubi Formation, Araripe Basin, Northeastern Brazil. Journal of Spectroscopy 2013.

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.M.C.N.F., V. F.; Appoloni, C. A., 2004. Fluorescência de raios X por dispersão em energia. Publicação Técnica, 19p.

SMALL, H., 1913. Geologia e suprimento d'água subterrânea no Ceará e parte do Piauí. Rio de Janeiro. Inspectoria Federal de Obras Contra as Seccas. Boletim.

SOUSA FILHO, F. E. D.; SILVA, J. H. D.; SARAIVA, A. Á. F.; BRITO, D. D. S.; VIANA, B. C.; DE OLIVEIRA ABAGARO, B. T.; FREIRE, P. D. T. C. 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. ISSN 0103-9733.

TEAM, R. D. C. R: A language and environment for statistical computing.: R Foundation for Statistical Computing 2008.

VILA NOVA, B.C., Saraiva, A.A.F., Moreira, J.K.R., Sayão, J.M., 2011. Controlled Excavations in the Romualdo Formation Lagerstätte (Araripe Basin, Brazil) and Pterosaur Diversity: Remarks Based on New Findings. *Palaios* 26.

ZHOU, Z.; WANG, Y. Vertebrate diversity of the Jehol Biota as compared with other lagerstätten. *Science China Earth Sciences*, v. 53, n. 12, p. 1894-1907, 2010. ISSN 1674-7313.

CAPÍTULO 2:

**LEVANTAMENTO DE MACROFOSSEIS EM FOLHELHOS DA  
FORMAÇÃO IPUBI COLETADOS ABAIXO DA CAMADA DE  
GIPSITA, BACIA SEDIMENTAR DO ARARIPE.**

# **LEVANTAMENTO DE MACROFOSSEIS EM FOLHELHOS DA FORMAÇÃO IPUBI COLETADOS ABAIXO DA CAMADA DE GIPSITA, BACIA SEDIMENTAR DO ARARIPE.**

## **RESUMO**

Os crustáceos são encontrados em todas as profundidades nos diversos ambientes marinhos, salobros e de água doce sobre a Terra. Os crustáceos são frequentemente os organismos dominantes em ecossistemas subterrâneos aquáticos. O objetivo deste capítulo foi apresentar a primeira ocorrência de mortandade de camarões fósseis de ambientes estuarinos e a realização de um levantamento de macrofósseis coletados na formação Ipubi, localizados abaixo do pacote de gipsita. A Formação Ipubi é amplamente reconhecida como de características paleoambientais de um ambiente salino, com periódicas ingressões marinhas, os grupos de crustáceos encontrados no presente estudo nessa formação corroboram tal informação.

### **Palavras-chave:**

Bacia do Araripe, Formação Ipubi, Crustáceos.

# **BUNCHED OF MACROFOSSILS IN THE SHALES OF IPUBI FORMATION COLLECTED UNDER GYPSUM BED, ARARIPE BASIN.**

## **ABSTRACT**

Crustaceans are found in all the depths in the several sea environment, brackish and of fresh water on the Earth. The crustaceans are frequently the dominant organisms in aquatic underground ecosystems. The objective of this chapter was to present the first occurrence of mortality of fossil shrimps of estuarine environments (Caridea) conducting a survey of macrofauna collected in the Ipubi formation, located below the gypsum bed. The Ipubi formation is broadly recognized of characteristics paleoenvironment of a saline environment, with periodics marine ingression, the groups of crustaceans found in the present study they corroborate such information.

### **Key words:**

Araripe Basin, Ipubi Formation, Shellfish.

## INTRODUÇÃO

A Formação Ipubi é constituída por lentes de evaporitos (gipsita) com espessura máxima de 30 m intercalados com um contato lateral com folhelhos cinza esverdeados, carbonatos e arenitos (Silva, 1983).

No Município de Araripina, parte oeste da bacia são encontrados muitos afloramentos de evaporitos constituídos por gipsita e anidrita estratificadas. Essas camadas são afetadas por uma deformação peculiar de caráter mais dúctil, formadas por dobramentos horizontais.

Os crustáceos são encontrados em todas as profundidades nos diversos ambientes marinhos, salobros e de água doce sobre a Terra. São os organismos dominantes em ecossistemas subterrâneos aquáticos, nas quais foi registrada a ocorrência de muitas espécies ainda não descritas (Brusca e Brusca, 2007). De acordo com Vieira e Neto (2006), os crustáceos são importantes na caracterização de ambientes saudáveis, pois funcionam como bioindicadores de qualidade ambiental, já que atuam no funcionamento da cadeia alimentar aquática, inclusive nas áreas periodicamente inundáveis.

A preservação de camarões é um fato difícil de ocorrer no registro fossilífero, tendo em vista a propensão para decomposição que esse grupo sofre (Feldmann e Pole, 1994). Poucos crustáceos decápodes têm sido descritos no período Cretáceo do Nordeste do Brasil, até o momento. Já foram descritos decápodes nas Formações Marizal (Bacia do Tucano), na Formação Gramame (Bacia da Paraíba), nas Formações Cotinguiba e Riachuelo (Bacia de Sergipe-Alagoas), Formação Codó (Bacia do Parnaíba). Já no Grupo Santana (Aptiano-Albiano) Bacia do Araripe, foram encontrados decápodes palemonídeos na Formação Crato *Beurlenia araripensis*; Martins-Neto e Mezzalira (1991b) e na Formação Romualdo, sergestídeos - *Paleomattea deliciosa*; Maisey e De Carvalho (1995), Carideo - *Kellnerius jamacaruensis*; Santana *et al.* (2013). Outro crustáceo descrito foi uma espécie de caranguejo Portunoidea - *Araripecarcinus ferreira*; Martins-Neto (1987).

Existem três grupos principais de camarões atuais: Dendrobranchiata (com duas superfamílias: Sergestoidea com cerca de 114 espécies e os Penaeoidea com cerca de 524 espécies), Stenopodidea com cerca de 71 espécies e Caridea com pelo menos 3310 espécies. Os Dendrobranchiata são caracterizados por apresentarem os três primeiros pares de pereiópodos quelados com forma e tamanhos similares, a pleura do segundo somito abdominal sobrepondo à terceira, mas não a primeira e as brânquias são do tipo dendrobranchiata (Farfante, 1988).

Os camarões da superfamília Penaeoidea se caracterizam por ter um ciclo de vida complexo determinado por movimentos migratórios de caráter trófico e reprodutivo (Dura, 1985). São preponderantemente oceânicos, realizando todo seu desenvolvimento em alto mar, porém com um maior grau de dependência de águas protegidas, a maioria dos representantes deste grupo é bentônica e marinha, podendo ser encontrados desde pequenas profundidades até 600 metros. (Silva, 1965; Dura, 1985)

Os Camarões Penaeoidea se distinguem dos caridea por possuir a pleuras dos somitos anteriores sobrepostos aos somitos posteriores (Schweitzer *et al.*, 2010).

O segundo grupo de camarões pertencem aos Stenopodidea. O formato das pleuras abdominais é 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.

Os Caridea são caracterizados por não apresentarem o terceiro par de pereiópodos quelados. A pleura do segundo somito abdominal sobrepõe o primeiro e o terceiro somitos e a brânquia são do tipo filobrânquia. (Farfante, 1988)

A subordem Caridea é composta de aproximadamente 2.500 espécies distribuídas em 31 famílias. Estes camarões ocorrem em todos os habitats aquáticos do planeta, incluindo o pelagial marinho, cavernas alcalinas e dulcícolas. Destes últimos, são conhecidas atualmente 655 espécies, os quais perfazem um quarto da subordem Caridea (De Grave *et al.*, 2008).

Os carideos 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 conhecidos como "camarões de água doce". (Buckup *et al.*, 1999)



**Figura 1.** Vista lateral do abdômen de um camarão Caridea, evidenciando a segunda pleura abdominal sobrepondo a primeira e a terceira, diferenciando do abdômen de um camarão penaeidae.

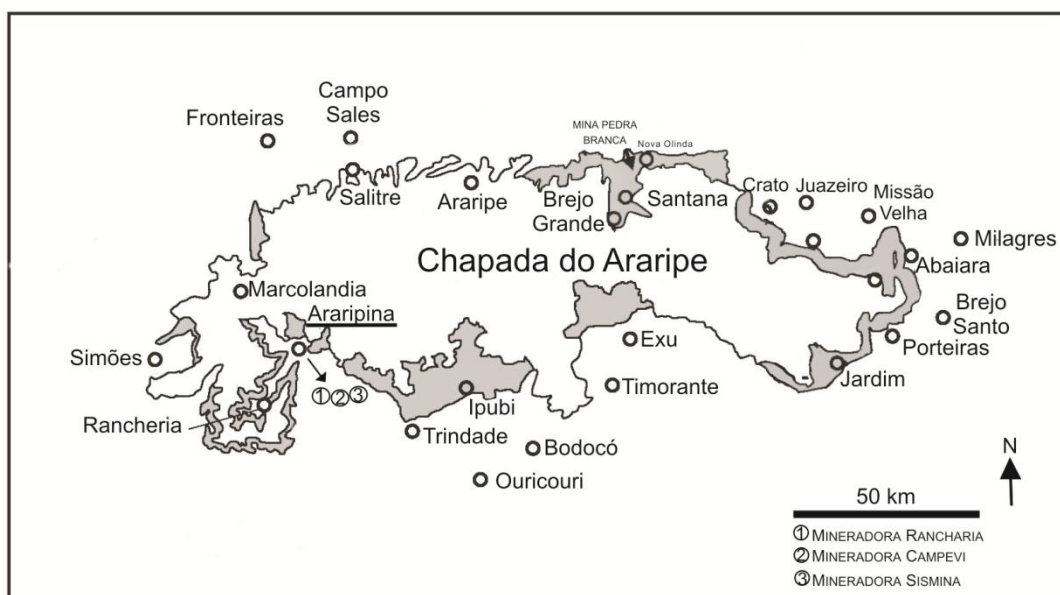
O Os macrofósseis encontrados nos folhelhos pertencentes à formação Ipubi, localizados abaixo do pacote de gipsita, com intuito de quantificar os espécimes encontrados, apresentando a primeira



ocorrência de mortandade de camarões de ambientes marinhos (peneídeos) e possíveis camarões de ambientes estuarinos (Caridea).

## LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO, CONTEXTO GEOLÓGICO E PALEONTOLÓGICO.

Araripina é um município brasileiro do estado de Pernambuco (Fig.2). Popularmente é conhecido como a capital do gesso e fica a 690 km de Recife, capital do estado. É a maior cidade do Pólo Gesseiro de Pernambuco, o mais importante do país, responsável por 95% do gesso consumido no Brasil.



**Figura 2.** Localização da cidade de Araripina/PE, local de coleta do material fossilífero. (modificado de Assine, 1990).

Nas proximidades do município de Araripina, parte oeste da Bacia, localizam-se três mineradoras de gesso (Fig. 3), (Mineradora Sismina, Mineradora Ponta da Serra, atual Mina Campevi e Mineradora Rancharia). Na primeira visita a Mineradora Sismina foi observado que a mesma não possuía nível de folhelho pirobetuminoso aflorando, desativada temporariamente devido a grande quantidade de água acumulada das chuvas, esta mineradora não foi escolhida para as coletas, nas duas mineradoras restantes foi feito uma coleta com base em 3 pontos localizados no mesmo nível estratigráfico da formação Ipupi. Na Mineradora Campevi (antiga mineradora Ponta da Serra) foi coletado o primeiro ponto e na mineradora Rancharia foram coletados os dois últimos pontos escavados.

Esses pontos se localizam no mesmo nível geológico e de mortandade, possuindo fácies evaporíticas diferentes, ambos localizados abaixo do pacote de gipsita. No primeiro ponto localizado na mineradora Campevi, (Lat. 07° 44' 52,6" e Long. 40° 27' 85,8") área de exploração de sulfato de cálcio (gipsita) no Município localizado a 24Km da cidade de Araripina, foi coletado um total de 9,46 m<sup>2</sup> de folhelhos desta formação, no segundo ponto localizado na mineradora Rancharia, (24M 7.7475175 e UTM 40.46979001) foi coletado um total de 81,03m<sup>2</sup> de folhelho, no terceiro ponto, também localizado na Mina Rancharia foi coletado um total de 50,34m<sup>2</sup> de folhelhos.

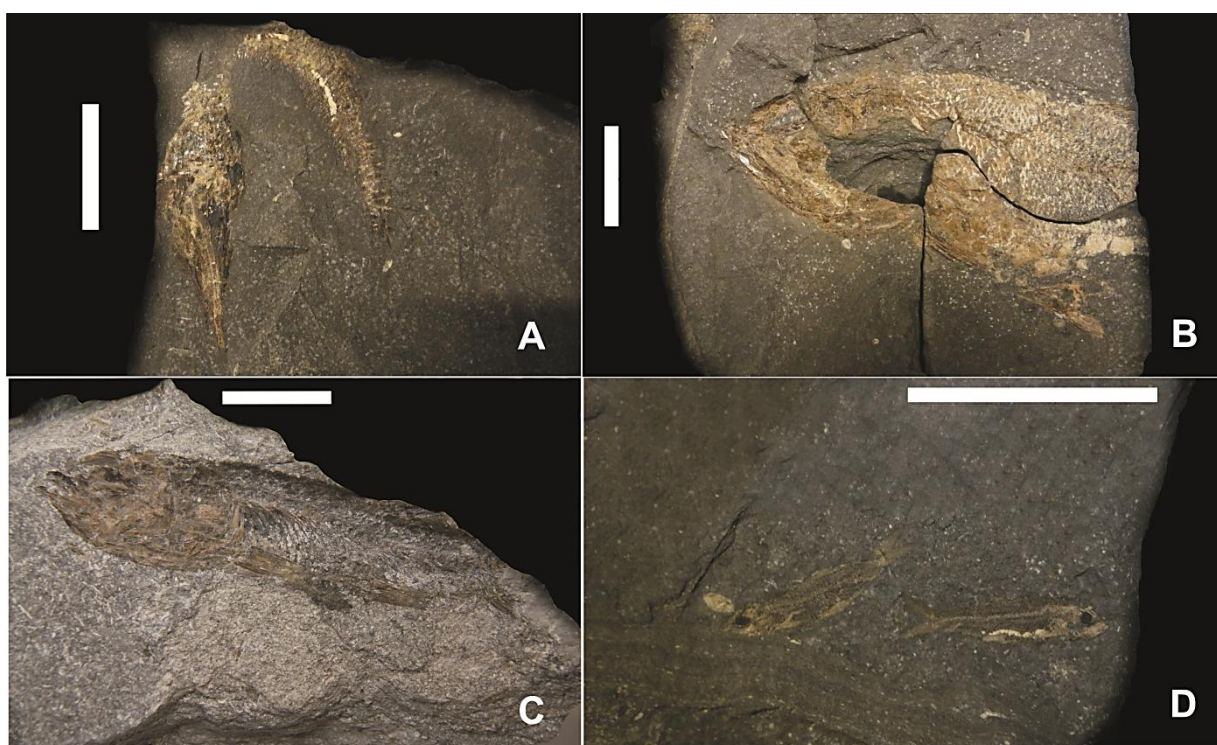


**Figura 3.** Mapa que localiza as três mineradoras em Araripina-PE A) Mineradora Rancharia, B) Mineradora Campevi (antiga mineradora Ponta da Serra), C) Mineradora Sismina, Fonte Google earth. Disponível em <https://maps.google.com/?ll=-7.74484,-40.46678&z=14&t=h>

## MATERIAIS E MÉTODOS

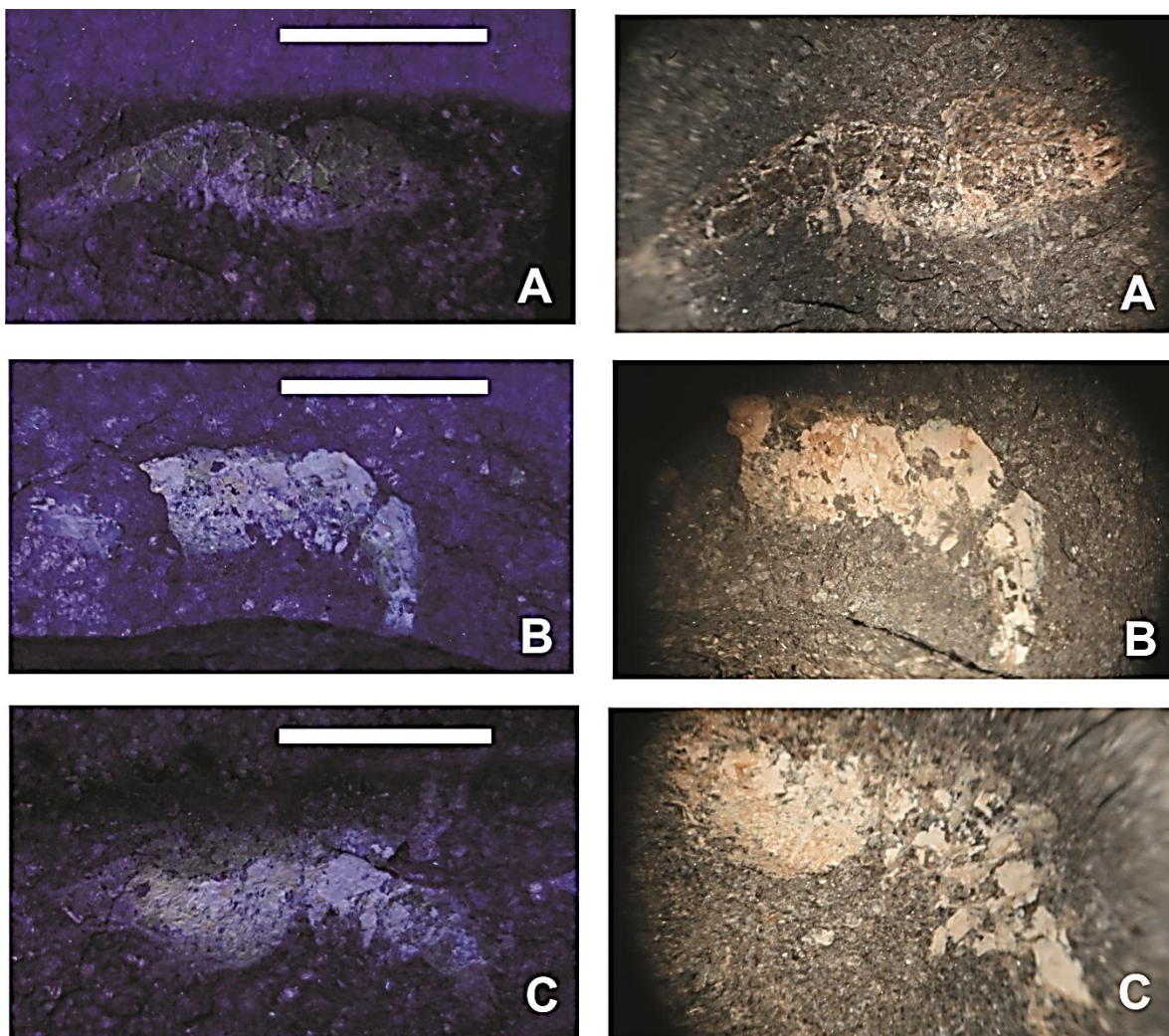
Nas pesquisas de campo foram feitas escavações com ajuda de uma retroescavadeira para extração do folhelho pirobetuminoso que localizava-se abaixo da camada de gipsita, para prospecção do material fossilífero. Em laboratório, foi realizada a preparação das peças coletadas, a contagem e sua identificação.

A contagem fóssil foi feita com base na procura de indivíduos (peixes, plantas, camarões e coprólitos) (Fig.4), extraídos das laminações dos folhelhos pirobetuminosos, fragmentando as laminações por volta de 1 cm de espessura. Os exemplares encontrados de decápodes (Fig.5) foram analisados com ajuda de um microscópio estereoscópio e a utilização de luz ultravioleta - UV, que permitiu identificar com maior precisão a presença de estruturas que são pouco visíveis à luz natural. A exposição do fóssil nessa luz provoca um brilho fluorescente na parte fosfatizada, revelando a preservação de tecido mole.



**Figura 4.** Mostrando a diversidade de peixe fóssil encontrada na Formação Ipubi. A) *Vinctifer comptoni*, B) *Santanichthys diasi* C) *Cladocycclus gardneri* D) *Tharrhias araripis*. Escala 4cm.





**Figura 5.** Diversidade de camarões fósseis. A) Penaeídeo B) Carídeo C) Penaeídeo em luz natural e em luz UV. Escala em 1 mm e ampliação de 30X.

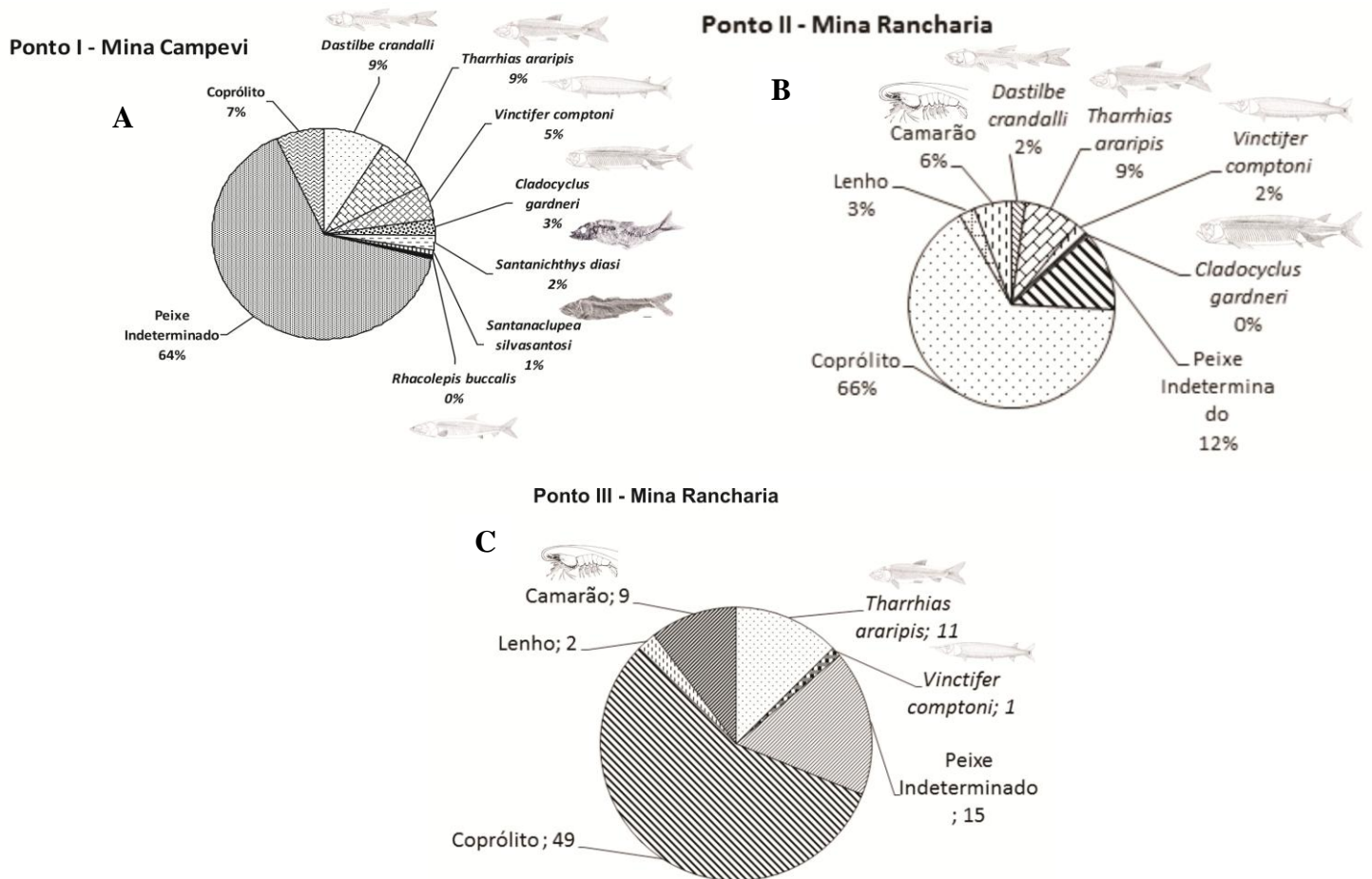
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com os indivíduos contabilizados nas três áreas prospectadas da Formação Ipubi, pode-se observar uma diferença quantitativa de indivíduos quando comparados os três pontos escavados (Fig.6). Também foi observado o primeiro registro de crustáceos fósseis de ambiente estuarino encontrados nesta formação em apenas uma das mineradoras analisadas (Tab.1). No entanto, estes decápodes não foram identificados taxonomicamente porque os indivíduos inteiros não assemelhavam-se a espécies já descritas na Bacia do Araripe, existindo a possibilidade de constituírem novos táxons. Estes espécimes estão em fase de preparação para entrarem em fase de estudo.

A falta de exemplares tridimensionais e de boa preservação impossibilitou a classificação taxonômica detalhada de alguns peixes aqui analisados, portanto, foram postos na categoria de peixes indeterminados.

**Tabela 01 – Frequência populacional de indivíduos prospectados nas três áreas da formação Ipubi/ Araripina/PE**

<b>Espécie</b>	<b>Mineradora Campevi ponto I</b>	<b>Mineradora Rancharia ponto II</b>	<b>Mineradora Rancharia Ponto III</b>
<i>Dastilbe crandalli</i>	8,78% (n=21)	2,18% (n=7)	-----
<i>Tharrhias araripis</i>	8,36% (n=20)	8,72% (n=28)	3,32% (n=11),
<i>Vinctifer comptoni</i>	5,02% (n=12)	2,18 % (n=7)	0,30% (n=1),
<i>Cladocyclus gardneri</i>	2,51% (n=6)	0,31% (n=1),	-----
<i>Santanichthys diasi</i>	2,09% (n=5)	-----	-----
<i>Santanacupea silvasantosi</i>	0,83% (n=2)	-----	-----
<i>Rhacolepis buccalis</i>	0,41% (n=1)	-----	-----
Peixe Indeterminado	63,76% (n=150)	12,46% (n=40)	4,53% (n=15)
Coprólito	6,69% (n=16)	66,04 % (n=212)	14,80% (n=49)
<i>Frenelopsis</i>	0,41% (n=1)	-----	-----
Lenho	2,09% (n=5)	2,49% (n=8)	0,60% (n=2)
Camarão	-----	5,91 % (n=19)	2,71% (n=9)
<b>Área prospectada</b>	9,46 m <sup>2</sup> de folhelho	81,03 m <sup>2</sup> de folhelho	50,34 m <sup>2</sup> de folhelho
<b>Densidade média</b>	25 Ind./m <sup>2</sup> .	3 Ind./m <sup>2</sup> ,	1 Ind./m <sup>2</sup> .
<b>Total de indivíduos</b>	239 fósseis	322 fósseis	87 fósseis



**Fig. 6.** Frequência populacional de peixes fósseis em porcentagem nas três mineradoras. A) Mineradora Campevi ponto I, B) Mineradora Rancharia ponto II, C) Mineradora Rancharia ponto III.

A preservação de crustáceos em uma determinada região é um fato difícil de ocorrer no registro fossilífero, tendo em vista a propensão para decomposição que esse grupo sofre. Os crustáceos da Formação Ipubi eram conhecidos apenas pelos grupos conchostráceos e ostracodes (*Darwinuláceos*, *Cipridáceos* e *Citeráceos*) como citados por Hessel *et al.* (2006).

Até o momento, nenhum registro fóssil de decápoda tinha sido referenciado para os folhelhos da Formação Ipubi. A grande quantidade e diversidade de espécimes fósseis encontrados nesta localidade são os fatores que demonstram a importância do potencial desta camada fossilífera da Bacia do Araripe.

O grupo Santana é datado como Aptiano/Albiano com base em palinomorfos (Pons, 1990; Carlos Coimbra *et al.*, 2002). Segundo Silva (1988), estas camadas evaporíticas representam o clímax de uma sequência sedimentar em um lago interior, cujas águas progressivamente se tornaram salinas devido a crescente evaporação. Assine (2007) sugere que este paleoambiente é formado por lagos costeiro hipersalinos, situados em regiões próximas ao litoral.

Para Cavalcanti e Viana (1990) a Formação Ipubi corresponde a uma sequência deposicional evaporítica de águas rasas, como visto essas camadas de evaporitos, estão associadas somente a carbonatos e folhelhos, indicando um ambiente lagunar com alimentação periódica de nível do mar, a presença de palinomorfos, *Ecozona Subtilisphaera spp.* bem como do gênero *Spiniferites*, evidenciam essas ingressões marinhas (Arai *et al.*, 1994). Esta hipótese reafirma devido à mortandade de camarões peneídeos encontrados nas fácies evaporíticas abaixo do bloco de gipsita, provavelmente quando o lago recebia periódicas ingressões marinhas estes decápodes eram carreados.

Alguns exemplares incompletos encontrados na Formação Ipubi lembravam camarões carídeos, devido à pleura do segundo somito abdominal aparentemente sobrepor o primeiro e o terceiro somitos. Nada se sabe ainda se pode ser um *Kellnerius jamacaruensis* devido a má preservação da lamina rostral e estes exemplares ainda não foram preparados por completo para que se tenha uma melhor visualização das características preservadas, para realização das classificações taxonômicas.

Entre os fósseis de camarões inteiros observados, podemos afirmar que a maioria dos exemplares encontrados são penaeídeos, devido à presença dos somitos anteriores que se sobrepõem aos somitos posteriores. Entretanto, estes exemplares não foram identificados devido a características únicas observadas, como por exemplo, há exemplares que possuem o sexto somito abdominal um pouco mais alongado que o *Paleomattea deliciosa*, mas com uma expressiva marca em formato de uma curva sinuosa, possuindo 10 espinhos rostrais, somente uma análise detalhada após uma preparação mecânica destes exemplares poderá afirmar se é uma nova espécie ou não.

A preservação de decápodes de água doce é extremamente rara, especialmente no Mesozóico (Feldmann e Pole, 1994). *Kellnerius jamacaruensis*, camarão Carídea, que também vivia em ambiente estuarino, foi relatado na Formação Romualdo com características que diferenciam dos demais camarões descritos nesta bacia. Podemos destacar o comprimento da carapaça que é cerca de duas vezes a sua altura lateralmente, a margem ventral é lisa já a margem dorsal da carapaça é reta. A lâmina rostral possui 5 espinhos comprimidos lateralmente. Apresentam 6 somitos abdominais segmentado, todos os somitos aparentemente não possuem ornamentação. A pleura do segundo somito abdominal sobrepõe o primeiro e o terceiro somitos (Santana *et al.*, 2013).

*Paleomattea deliciosa* é constituído por três ou quatro espinhos rostrais. As cinco primeiras pleuras abdominais são de tamanhos aproximadamente iguais. A largura das pleuras

é maior do que o seu comprimento, o terceiro somito é mais largo que os demais, já o sexto é mais alongado, com um comprimento aproximadamente três vezes a sua largura. Todas as pleuras tem uma ligeira sobreposição sobre a pleura anterior e não há sobreposição invertida do primeiro pelo segundo somito. (Maisey e De Carvalho, 1995)

As principais características de *Beurlenia araripensis* (Martins-Neto e Mezzalira, 1991a) são antenas e antênulas longas, possui rostrum em média com 14 espinhos rostrais pequenos e próximos uns dos outros com aparência serrilhada, o abdômen é suave sem espinhos, a pleura do primeiro e terceiro somito é ligeiramente arredondada, enquanto o segundo somito é fortemente arredondado, sobrepondo o primeiro e terceiro, o quarto e quinto somitos contendo uma pleura fortemente aguda. Os pleópodos são visíveis, multissegmentados, o telson com pelo menos um par de espinhas articulados na extremidade distal, e o uropode é ligeiramente maior do que o telson (Saraiva *et al.*, 2009).

Apesar de muitas espécies de peneídeos atuais habitarem os estuários quando juvenis, estes indivíduos são predominantemente marinhos, já os carídeos, de água doce não somente invadiram água salobra dos estuários, mas também as águas continentais (Bauer, 2004). Portanto, os estuários são ecossistemas utilizados tanto pelos camarões carídeos como pelos peneídeos.

Segundo Sorbe (1981) e Kuipers e Dapper (1981) ambientes estuarinos são altamente produtivos, fornece habitats permanentes para muitas espécies de camarões e para outras, desempenham um importante papel na alimentação e crescimento. Essa afirmação quando comparados com camarões fósseis, corrobora o fato de serem encontrados carídeos e peneídeos nas formações Crato e Romualdo.

Se comprovados a classificação de camarões carídeos encontrados na formação Ipubi, poderíamos sugerir que estes indivíduos podiam estar de passagem naquele ambiente, para facilitar a eclosão de seus ovos, ou estavam alí para alimentar-se, já que segundo Cavalcanti e Viana (1990) esta formação é descrita como de águas rasas, indicando um ambiente lagunar com transgressão periódica de nível do mar.

Peneídeos atuais geralmente preferem substratos lamosos e com maior teor de matéria orgânica, provavelmente para facilitar seu comportamento de se enterrar, essa característica é considerada ente as principais que afetam sua distribuição (Dall *et al.*, 1990).

Silva *et al.* (1981) através de um estudo sobre o enterramento de peneídeos atuais, observaram em laboratório que estes indivíduos se enterram a partir de 2,8mm de comprimento de carapaça, protegendo-se da ação de predadores. A percentagem observada



em indivíduos maiores por volta de 7 mm de carapaça foi de 100%. Os autores especularam que esses camarões, à medida que vão crescendo adquirem hábitos bentônicos, habitando o fundo do ecossistema aquático.

No ambiente marinho, os camarões são fortemente influenciados pela salinidade e temperatura da água, textura e matéria orgânica do sedimento, e como os camarões peneídeos passam a maior parte da vida em contato direto com o sedimento, as características do substrato são os mais importantes recursos para um estudo de abundância e distribuição espaço-temporal (Fransozo *et al.*, 2004; Castro *et al.*, 2005; Costa *et al.*, 2005; Costa *et al.*, 2007).

Essa particularidade, quando comparada com os exemplares encontrados no grupo Santana (Crato e Romualdo), sugere-se que provavelmente esse grupo fóssil tinha característica de se enterrar no fundo do ambiente.

Os indivíduos encontrados na Formação Ipubi, articulados e completos e em tamanho compatível com os camarões analisados por Silva *et al.* (1981) variando entre 0,40 a 1,36 cm de carapaça, poderiam estar se enterrando naquele paleoambiente em posição de vida devido à ação de um predador, peixe *Tharrhias araripis* por exemplo. Como o fundo do lago era palustre diferente dos demais ambientes do grupo Santana (Crato e Romualdo), sugere-se que a causa de sua morte foi devido a uma mudança brusca de oxigenação no fundo do lago ou aumento de temperatura enquanto estavam enterrados fugindo da ação de predadores.

Com a contagem fóssil nos folhelhos da Formação Ipubi, nota-se que nos 2 últimos pontos coletados (mineradora Rancharia) apresentou mais exemplares de peixes *Tharrhias araripis*. Este fato pode ter ocorrido devido a grande quantidade de camarões fósseis prospectados nesta mineradora. Este peixe é descrito na literatura, como um gonorynchiforme que se alimentava de plânctons e pequenos crustáceos, nutrindo-se de larvas, copépodes e pequenos camarões que ali habitavam (Jordan, 1908), a alta frequência populacional sugere que esteja associada ao tipo de alimentação disponível no ambiente.

Entre os peixes encontrados nas duas mineradoras (Campevi e Rancharia), notou-se que a maioria dos indivíduos completos não ultrapassava 10 cm de comprimento, sugerindo que não conseguiram obter um tamanho elevado em relação ao da formação Crato e Romualdo por causa do alto grau de stress que aquele ambiente possuía, devido esta formação ser rica em matéria orgânica e certamente continha um grau de dureza na água. Essa condição ambiental impedia que os peixes atingissem grande porte. Esse fato também justifica tamanhos reduzidos dos coprólitos encontrados, variando entre 0,40 a 3,5cm de comprimento

e camarões fósseis entre 1,25 a 3,31 cm de comprimento, levando em conta que Caridea e Peneídeos atuais variam de 2 a 35 cm de comprimento.

## **CONCLUSÃO**

A quantidade de folhelho coletados na mineradora Campevi ponto I (9,46 m<sup>2</sup>) foi bem menor do que o prospectado da Mineradora Rancharia (ponto II retirou 81,03 m<sup>2</sup> de folhelho e no ponto III retirou 50,34 m<sup>2</sup>), justificando a abundância de camarões encontrados em apenas uma das mineradoras, esse fato também pode estar relacionada aos aspectos bióticos, ecológicos e abióticos como salinidade e temperatura, que são os fatores ambientais que influenciam na dispersão espacial destas espécies em uma determinada região mais salobra.

A Formação Ipubi é amplamente reconhecida como de características paleoambientais de um ambiente salino, com periódicas ingressões marinhas, os grupos de crustáceos encontrados no presente estudo nessa formação corroboram tal informação.

## REFERÊNCIA

- AGUIRRE-URRETA, M., Buatois, L., Chernoglasov, G.C.B., Medina, F., 1990. First Polychelidae (Crustacea, Palinura) from the Jurassic of Antarctica. *Antarctic Science* 2, 157-162
- ARAI, M., Lana, C.C., Pedrão, E., 1994. Ecozona Subtilisphaera spp.: registro eocretáceo de um importante episódio ecológico do Oceano Atlântico primitivo. *Acta Geológica Leopoldensia* 17, 521-538.
- ASSINE, M., 2007. Bacia do Araripe. *Boletim de Geociências da Petrobras* 15, 371-387.
- BAUER, R.T., 2004. Remarkable shrimps: adaptations and natural history of the carideans. University of Oklahoma Press.
- BRUSCA, R., Brusca, G., 2007. Invertebrados. 2ª edição. Editora Guanabara.
- 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.
- CARLOS COIMBRA, J., Arai, M., Luisa Carreño, A., 2002. Biostratigraphy of Lower Cretaceous microfossils from the Araripe basin, northeastern Brazil. *Geobios* 35, 687-698.
- CASTRO, R.H., Costa, R.C., Fransozo, A., Mantelatto, F.L., 2005. Population structure of the seabob shrimp *Xiphopenaeus kroyeri* (Heller, 1862)(Crustacea: Penaeoidea) in the littoral of São Paulo, Brazil. *Scientia Marina* 69, 105-112.
- CAVALCANTI, V., Viana, M., 1990. Faciologica dos sedimentos não-lacustres da Formação Santana (Cretáceo Inferior da Bacia do Araripe, nordeste do Brasil). SIMPÓSIO SOBRE A BACIA DO ARARIPE E BACIAS INTERIORES DO NORDESTE 1, 193-207.
- CONLAN, K., 1994. Amphipod crustaceans and environmental disturbance: a review. *Journal of Natural History* 28, 519-554.
- COSTA, R.C., Fransozo, A., Castilho, A.L., Freire, F.A., 2005. Annual, seasonal and spatial variation of abundance of the shrimp *Artemesia longinaris* (Decapoda: Penaeoidea) in southeastern Brazil. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 85, 107-112.
- COSTA, R.C., Fransozo, A., Freire, F.A., Castilho, A.L., 2007. Abundance and ecological distribution of the " sete-barbas" shrimp *Xiphopenaeus kroyeri* (Heller, 1862)(Decapoda: Penaeoidea) in three bays of the Ubatuba Region, southeastern Brazil. *Gulf and Caribbean Research* 19, 33.
- DALL, W., Hill, B., Rothlisberg, P., Sharples, D., 1990. The biology of the Penaeidae. *Advances in marine biology* 27.

- DE GRAVE, S., Cai, Y., Anker, A., 2008. Global diversity of shrimps (Crustacea: Decapoda: Caridea) in freshwater, *Freshwater Animal Diversity Assessment*. Springer, pp. 287-293. Departamento de Engenharia de Pesca (Dissertação de Graduação), 25 p.
- DURA, M.F.R., 1985. El ciclo biológico de los camarones peneidos. *Técnica Pesquera* 5, 12-15.
- FARFANTE, 1967 (Decapoda, Penaeidae) em condições de laboratório. Produção científica sobre cultivo de *Penaeus paulensis*, 60.
- 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, 163-167.
- FERREIRA, M.G.N., 1994. Avaliação e distribuição geográfica dos estoques de lagosta (Crustacea: Palinuridae) e sua capturabilidade nas regiões Norte e Nordeste do Brasil. UFC
- FRANSOZO, A., Rodrigues, F., Freire, F., Costa, R., 2004. Reproductive biology of the freshwater prawn *Macrobrachium iheringi* (Ortmann, 1897)(Decapoda: Caridea: Palaemonidae) in the Botucatu region, São Paulo, Brazil. *Nauplius* 12, 119-126.
- GIRI, F., Loy, A., 2008. Size And Shape Variation Of Two Freshwater Crabs In Argentinean P Atag Onia: The Influence Of Sexual Dimorphism, Habitat, And Species Interactions. *Journal of crustacean biology* 28, 37-45.
- HESSEL, M., Tomé, M.E., Moura, C.R., 2006. Ostracodes mesozoicos das bacias do interior do Nordeste brasileiro: o estado da arte. *Revista de Geologia* 19, 187-206.
- HOPKINS, M.J., Thurman, C.L., 2010. The geographic structure of morphological variation in eight species of fiddler crabs (Ocypodidae: genus *Uca*) from the eastern United States and Mexico. *Biological Journal of the Linnean Society* 100, 248-270.
- IVO, C.T.C., VASCONCELOS, E. M. S. & MAGALHÃES, J. A. D., 1996. Avaliação dos parâmetros biométricos das lagostas *Panulirus argus* (Latreille) e *Panulirus laevicauda* (Latreille) na plataforma Continental das regiões Nordeste/Sudeste do Brasil. *Boletim Técnico Científico do CEPENE*.
- JAZDŹEWSKI, K., Kupryjanowicz, J., 2010. One more fossil niphargid (Malacostraca: Amphipoda) from Baltic amber. *Journal of Crustacean Biology* 30, 413-416.
- KHANDKER, N.A., 1964. Sponge as a shelter for young spiny lobster. *Trans. Am. Fish. Soc., Lawrence* 93, 204.
- KUIPERS, B., Dapper, R., 1981. Production of *Crangon crangon* in the tidal zone of the Dutch Wadden Sea. *Netherlands Journal of Sea Research* 15, 33-53.

- MAISEY, J., de Carvalho, M., 1995. d. GP (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, 1-17.
- MARTINS-NETO, R., 1987. Primeiro registro de decápode na Formação Santana, bacia do Araripe (Cretáceo Inferior), Brasil. *Ciência e Cultura* 39, 406-410.
- MARTINS-NETO, R., Mezzalira, S., 1991a. Descrição de novos crustáceos (Caridea) da Formação Santana, Cretáceo Inferior do Nordeste do Brasil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 63, 155-160.
- MARTINS-NETO, R., Mezzalira, S., 1991b. Revisão dos Palemonídeos Terciários Brasileiros (Crustacea, Caridea) com descrição de novos taxa. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 63, 361-367.
- PONS, D., Berthou, P.Y., & campos, D.A, 1990. Quelques observations sur la palynologie de l' Aptien Supérieur et de l'Albien du bassin d' Araripe (N.E du Brésil). . *Simpósio sobre a Bacia do Araripe e Bacias Interiores do Nordeste I*, 241-252.
- REIS, M.A.F.d., Turbay, C.V.G., Cesero, P.D., 2005. Descrição de um novo Decapoda (Natantia, Malacostraca, Crustacea) da formação Riachuelo, Albiano da bacia de Sergipe. *Anuário do Instituto de Geociências* 28, 80-91.
- RIEDLECKER, E.I., Ashton, G.V., Ruiz, G.M., 2009. Geometric morphometric analysis discriminates native and non-native species of Caprellidae in western North America. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 89, 535-542.
- RUFINO, M.M., Abelló, P., Yule, A.B., 2006. Geographic and gender shape differences in the carapace of *Liocarcinus depurator* (Brachyura: Portunidae) using geometric morphometrics and the influence of a digitizing method. *Journal of Zoology* 269, 458-465.
- RUPPERT E.E., F.R.S., Barnes R.D., 2005. Crustacea, *Zoologia dos Invertebrados: uma abordagem funcional evolutiva*. Editora Roca, pp. p. 702-780.
- SANTANA, W., Pinheiro, A.P., Da Silva, C.M., Saraiva, A.A., 2013. A new fossil caridean shrimp (Crustacea: Decapoda) from the Cretaceous (Albian) of the Romualdo Formation, Araripe Basin, northeastern Brazil. *Zootaxa* 3620, 293-300.
- SARAIVA, A.Á., Pralon, B.G.N., Gregati, R.A., 2009. Observações taxonômicas sobre os Decápodos fósseis do Cretáceo da Chapada do Araripe, Brasil, e inferências ecológicas. *Gaea-Journal of Geoscience* 5, 70-74.
- SCHWEITZER, C.E., Feldmann, R.M., Garassino, A., Karasawa, H., Schweigert, G., 2010. Systematic list of fossil decapod crustacean species.
- SILVA, I.C., Mesquita, N., Paula, J., 2010. Genetic and morphological differentiation of the mangrove crab *Perisesarma guttatum* (Brachyura: Sesarmidae) along an East African latitudinal gradient. *Biological Journal of the Linnean Society* 99, 28-46.

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, M.d., 1988. Evaporitos do cretáceo da Bacia do Araripe: ambientes de deposição e história diagenética. Boletim de Geociências da PETROBRAS 2, 53-63.

SILVA, O., 1965. Alguns peneideos e palinurideos do Atlântico Sul. Superintendência de Desenvolvimento da Pesca (SUDEPE) Ministério da Agricultura, Brasil 1, 20.

SILVA, T., Cavalli, R., Montenegro, A., 1981. Enterramento de *Penaeus paulensis* Perez-

SORBE, J.-C., 1981. La macrofaune vagile de l'estuaire de la Gironde: Distribution et migration des espèces. Modes de reproduction, régimes alimentaires. Océanis (Paris) 6.

SWAIN, D.P., Foote, C.J., 1999. Stocks and chameleons: the use of phenotypic variation in stock identification. Fisheries Research 43, 113-128.

TAKEUCHI, I., Takahashi, S., Tanabe, S., 2004. Decline of butyltin levels in *Caprella* spp.(Crustacea: Amphipoda) inhabiting the Sargassum community in Otsuchi Bay, Japan from 1994 to 2001. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom 84, 911-918.

THOMAS, J.D., 1993b. Identification manual for marine amphipoda (Gammaridea): I. Common coral reef and rocky bottom amphipods of South Florida. Department of Environmental Protection, Division of Water Management, Bureau of Surface Water Management.

VIEIRA, I.M., Neto, M., 2006. Aspectos da socioeconomia dos pescadores de camarão da ilha do Pará (Pa) e Arquipélago do Bailique (Ap). Boletim do Laboratório de Hidrobiologia 19, 85-94.

WAKABARA, Y., Tararam, A., Takeda, A., 1983. Comparative study of the amphipod fauna living on Sargassum of two Itanhaém shores, Brazil. Journal of Crustacean Biology, 602-607.

WOODS, C., 2009. Caprellid amphipods: An overlooked marine finfish aquaculture resource? Aquaculture 289, 199-211.

YU, O.H., Suh, H.-L., Shirayama, Y., 2003. Feeding ecology of three amphipod species *Synchelidium lenorostralum*, *S. trioostegitum* and *Gitanopsis japonica* in the surf zone of a sandy shore. Marine Ecology Progress Series 258, 189-199.

**CAPÍTULO 3:**

**CARACTERIZAÇÃO ESPECTROSCÓPICA EM FÓSSEIS DA  
FORMAÇÃO IPUBI COLETADOS NO ARARIPE PERNAMBUCANO,  
BACIA DO ARARIPE.**

# CARACTERIZAÇÃO ESPECTROSCÓPICA EM FÓSSEIS DA FORMAÇÃO IPUBI COLETADOS NO ARARIPE PERNAMBUCANO, BACIA DO ARARIPE.

## RESUMO

As pesquisas científicas envolvendo os fósseis, apesar de relativamente intensas restringe-se basicamente à prospecção e identificação dos fósseis dentro do contexto da paleontologia clássica. Tais estudos têm inclusive, fornecido importantes contribuições à compreensão da evolução, extinção e diversidade biológica. Entretanto, técnicas espectroscópicas adequadas à caracterização de materiais, já compõem parte efetiva da rotina das pesquisas em fósseis na Bacia do Araripe. Portanto a presente pesquisa teve como proposta a caracterização espectroscópica por fluorescência de raios-X (FRX) e difração de raios-X (DRX) em fósseis de folhelhos retirados da Formação Ipubi, coletados no município de Araripina/ PE, em um peixe fóssil *Vinctifer comptoni* escolhido por ser abundante nesta formação e em um vegetal do gênero *Frenelopsis*, selecionado por ser a primeira ocorrência deste gênero nesta formação.

### **Palavras-chave:**

Bacia do Araripe, Formação Ipubi, Espectroscopia.



# **SPECTROSCOPIC CHARACTERIZATION IN FOSSILS COLLECTED IN THE IPUBI FORMATION IN ARARIPE PERNAMBUCANO, ARARIPE BASIN.**

## **ABSTRACT**

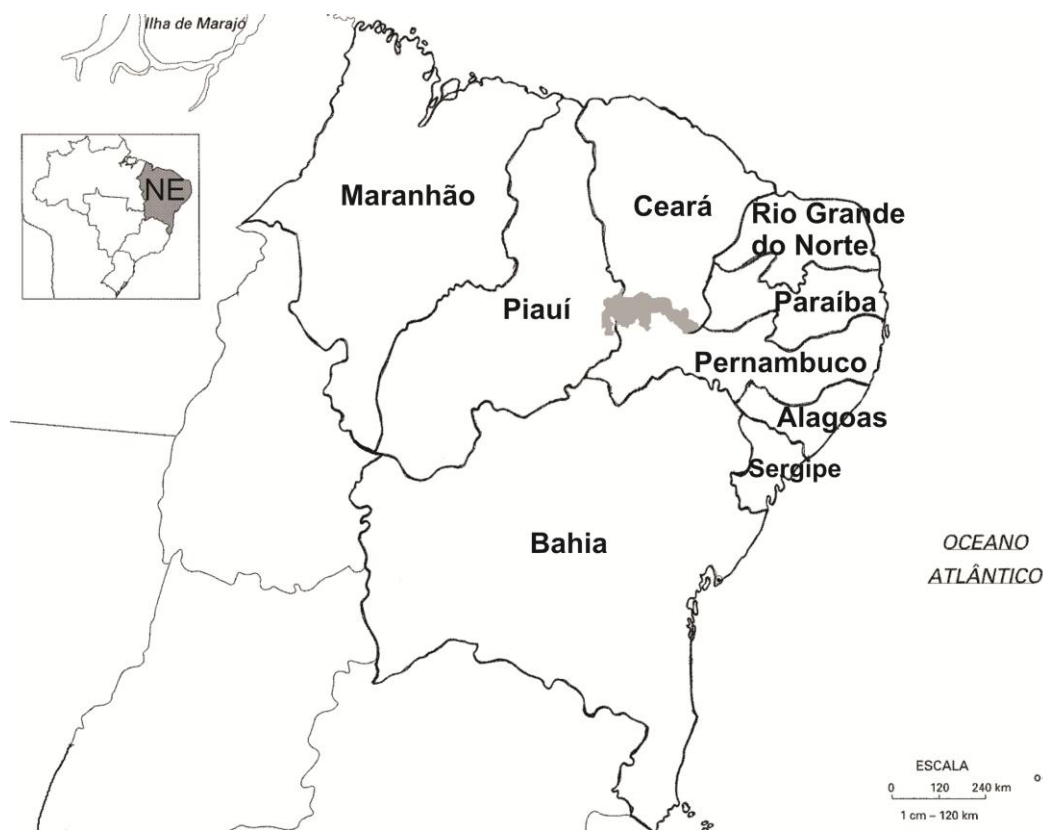
Scientific researches involving fossils, although fairly intense, are largely restricted to the exploration and identification of fossils within the context of classical paleontology. Such studies have even provided important contributions to the understanding of evolution, extinction and biodiversity of the region. However, spectroscopic techniques, propriete characterizing of materials, already comprise an effective part of routine research on fossils in Araripe Basin. Therefore the present study was proposed to spectroscopic characterization by X-ray florescence (XRF) and X-ray diffraction (XRD) in fossil shales in the Ipubi Formation, collected the municipal district in Araripina / PE, in fossil fish *Vinctifer comptoni* chosen because it is abundant in this formation and a plant of the genus *Frenelopsis*, selected to be the first occurrence of this genus in this formation.

### **Key words:**

Araripe Basin, Ipubi Formation, spectroscopy

## INTRODUÇÃO

A Bacia do Araripe encontra-se inserida na Região do Cariri, sul do Ceará estendendo-se até o noroeste de Pernambuco e leste do Piauí (Fig.1) é considerada a maior bacia sedimentar do interior do nordeste brasileiro. (Neumann e Cabrera, 1999)



**Figura. 1.** Mapa de localização da Bacia Sedimentar do Araripe (Sul do estado do Ceará)

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 da matéria. (Beckhoff *et al.*, 2006).

A espectrometria de fluorescência de raios-X (FRX ou XRF) é uma das técnicas analíticas mais utilizadas em geoquímica e seus princípios são bastante conhecidos por cientistas de diversas áreas. Esse método consiste na indução de transições eletrônicas entre os orbitais internos dos átomos por meio de radiação eletromagnética dependendo da energia, podendo ser raios-X ou radiação gama. Essas transições resultam na emissão de raios-X com energia própria do átomo envolvido na transição e na medida de sua abundância. A energia da

radiação identifica o elemento enquanto a intensidade identifica a concentração. (Sousa Filho *et al.*, 2011)

As pesquisas científicas envolvendo os fósseis, apesar de relativamente intensas restringe-se basicamente à prospecção e identificação dos fósseis dentro do 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 raio-X e difração de raio-X, já compõem parte efetiva da rotina das pesquisas em fósseis na Bacia do Araripe. (Pavia *et al.*, 2010).

Na Bacia Sedimentar do Araripe, os fósseis normalmente sofrem processos de piritização (substituição por pirita /  $\text{FeS}_2$ ) e limonitização (substituição por limonita /  $2(\text{Fe}_2\text{O}_3)3\text{H}_2\text{O}$ ), calcificação e silificação (Viana *et al.*, 2002). Compostos orgânicos e inorgânicos também podem ser encontrados em fósseis. Tendo em vista sua constituição química geral, os fósseis podem ser adequadamente estudados por técnicas físicas de caracterização de materiais, esse fato pode ser avaliado pelas recentes publicações que tratam da caracterização espectroscópica de fósseis mencionados por Silva (2004); Lima (2007); Lima (2007b); Sousa Filho *et al.* (2011); Silva *et al.* (2012); Silva *et al.* (2013).

Portanto a presente pesquisa teve como proposta a caracterização espectroscópica por fluorescência de raios-X (FRX) e difração de raios-X (DRX) em fósseis de folhelhos retirados da Formação Ipubi, coletados no município de Araripina/ PE, em um peixe fóssil *Vinctifer comptoni* escolhido por ser abundante nesta formação e em um vegetal do gênero *Frenelopsis*, selecionado por ser a primeira ocorrência deste gênero nesta formação.

## LOCAL DE ESTUDO E COLETA DO MATERIAL

A coleta do material foi feita na antiga Mineradora Ponta da Serra, atual Mina Campevi, área de exploração de sulfato de cálcio (gipsita) no Município localizado a 24 Km da cidade de Araripina no Estado do Pernambuco (Lat. 07 44 52,6 e Long. 40 27 85,8) o material coletado estava localizado abaixo da camada de gipsita na Formação Ipubi.(fig. 2)

O material consta de uma lâmina de cor cinza escuro, descrita como folhelho pirobetuminosos (Fig. 3). Nesse nível, são facilmente encontradas impressões fósseis, de peixes e plantas, como descritos por Saraiva *et al.* (2007).

Perfil - Mineradora Campevi/Araripina-PE

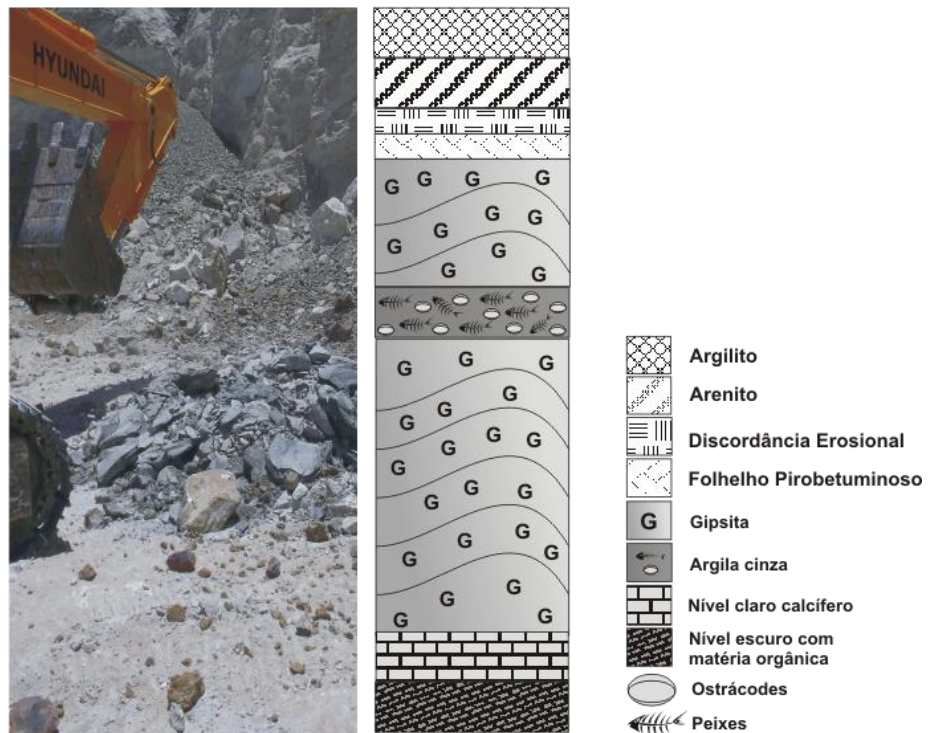


Figura 2. Perfil estratigráfico da mineradora Campevi Araripina-PE.



Figura 3. Mineradora Campevi, Araripina-PE, mostrando o material coletado abaixo do pacote de gipsita, que foi extraído com ajuda de uma retroescavadeira.

## MATERIAIS E MÉTODOS

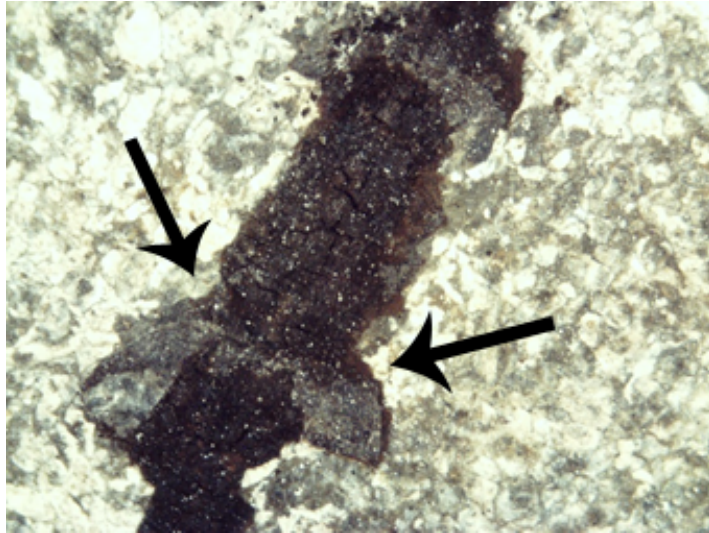
Após as coletas, as amostras foram fotografadas e os exemplares foram adequadamente fragmentados, macerados e armazenados em pequenos frascos com material suficiente para medidas de espectroscopia. O material extraído da mineradora Campevi em Araripina/PE consta de um exemplar de uma planta fóssil do gênero *Frenelopsis* (Fig. 4) e de um peixe fóssil *Vinctifer comptoni* (Fig.5).

As coletas foram realizadas nos períodos junho de 2012 a julho de 2013. As medidas de fluorescência de raios-X (FRX) foram realizadas no departamento de Física da Universidade Federal do Ceará (UFC). O equipamento utilizado para as medidas de FRX foi o ZSX Mini II – Rigaku para quantificação de elementos do F ao U.

Para as medidas de DRX utilizou-se um equipamento Rigaku, modelo DMAXB, usando ânodo de cobre, onde se efetuou varredura de  $2\theta$  variando de  $2^\circ$  a  $90^\circ$  com a geometria focalizante Bragg-Brentano. A radiação utilizada foi  $\text{Cu-K}\alpha$  e operado a 40 kV e 25 mA. Foi utilizado o passo de varredura de  $1^\circ$  por minuto para cada amostra. A interpretação do difratograma foi realizada qualitativamente, pelo processo chamado normalmente de identificação. Nessa etapa foi utilizado o programa *X'Pert HighScore Plus* (identificação de fases cristalinas da Philips) para identificar as possíveis fases cristalinas constituintes da amostra. As fases identificadas estão catalogadas no banco de dados da “*International Centre For Diffraction Data (ICDD)*”.

O vegetal do gênero *Frenelopsis* (Fig.4) foi identificado devido à utilização de um microscópio estereoscópio e de microscopia eletrônica de varredura (MEV) para detecção de microestruturas, que foram feitas no Departamento de Geologia da Universidade Federal do Ceará – UFC. Esta técnica é bastante adequada para análise de pequenas estruturas no material fossilífero, pois permite alcançar aumentos muito superiores ao de instrumentos ópticos como lupas ou microscopia ótica, com intuito de identificar microestruturas que identifiquem o material fossilífero, contribuindo nas pesquisas paleoambientais desta formação, extraído abaixo do bloco de gipsita.

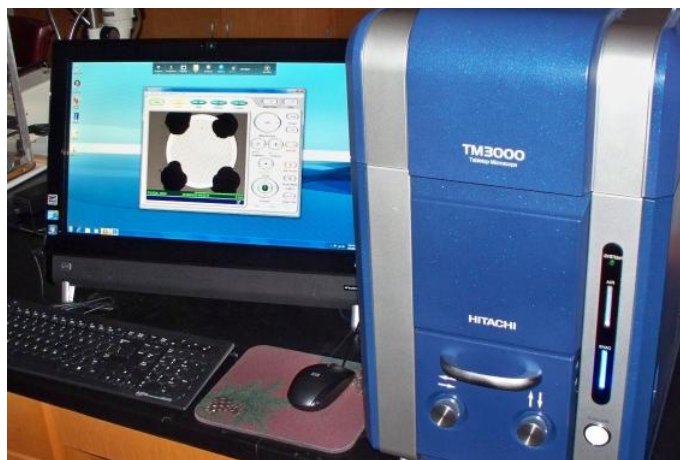
A amostra foi fragmentada em torno de 5cm, para ser acoplada no porta amostra do equipamento HITACHI TM3000 (Fig. 6).



**Figura 4.** Planta fóssil do gênero *Frenelopsis*, mostrando em termos morfológicos a presença de duas folhas por nó.



**Figura 5.** Peixe *Vinctifer comptoni* no qual foi extraído o material para as medidas espectroscópicas da formação Ipubi. Escala 3 cm.



**Figura 6.** Equipamento no qual foi feito as medidas de MEV - HITACHI TM3000

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1, a seguir, mostra a análise elementar em percentagem realizada através de medidas de fluorescência de raios-X no fóssil de *Vinctifer comptoni* e sua respectiva matriz coletado na mineradora Campevi.

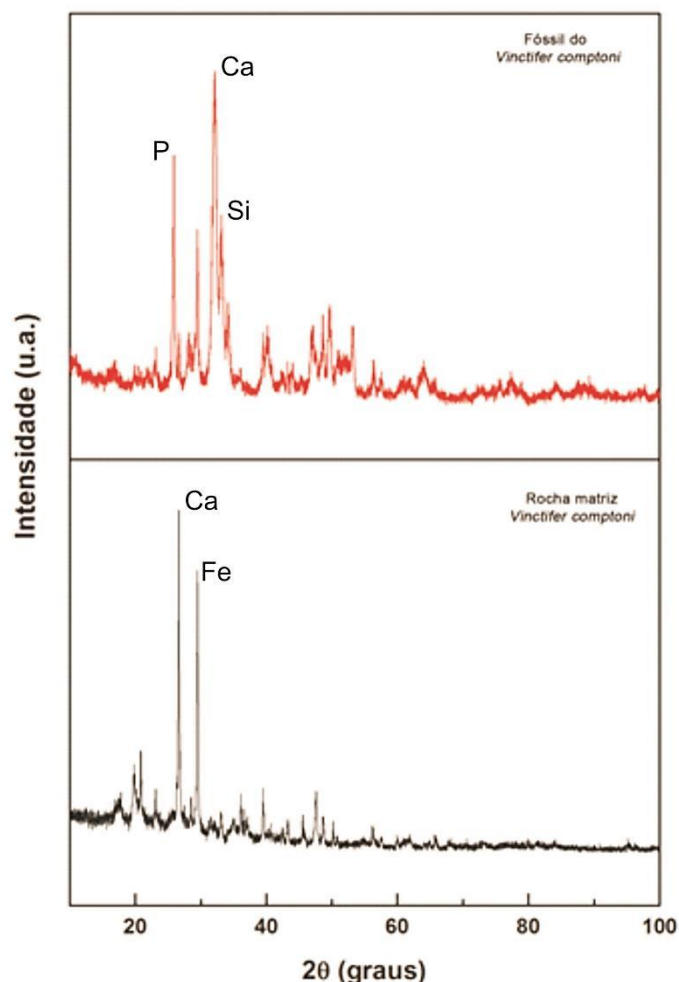
**Tabela 1.** Medidas de FRX no peixe fóssil da formação Ipubi.

Elementos	Fóssil de <i>Vinctifer comptoni</i>	Rocha matriz do <i>Vinctifer comptoni</i>
<b>Ca</b>	73,62	41,81
<b>P</b>	15,61	3,56
<b>S</b>	2,73	6,69
<b>Sr</b>	2,21	0,52
<b>Si</b>	1,82	19,78
<b>Zn</b>	1,78	1,54
<b>Fe</b>	1,17	18,07
<b>Al</b>	0,65	4,76
<b>K</b>	0,22	3,22
<b>Y</b>	0,15	----

De acordo com a Tabela 1, podemos observar que os elementos predominantes contidos no peixe fóssil *Vinctifer comptoni* foram o cálcio e o fósforo. Esses elementos indicam que a amostra é formada por fosfato de cálcio, hidroxiapatita em sua constituição. O Aumento considerável de cálcio (Ca), silício (Si) e ferro (Fe) podem sugerir a formação de calcita, pirita e traços de quartzo presentes na amostra, à alta quantidade de enxofre (S), silício (Si) e ferro (Fe) em torno da rocha matriz, é indicativo de ambiente anóxico no ambiente de deposição onde a amostra foi coletada.

Esses dados podem ser confirmados pelos difratogramas de raios-X (DRX) feitos no fóssil e na rocha matriz do *Vinctifer comptoni* (Fig.7). No difratograma do fóssil verifica-se que as fases predominantes são hidroxiapatita ( $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$ ) e dióxido de silício ( $\text{SiO}_2$ ) (picos maiores).





**Figura 7.** Difratoograma de raios-X do peixe fóssil *Vincitifer comptoni*

No difratograma da rocha matriz as fases predominantes são calcita, dióxido de silício (picos maiores) com pequenos traços de pirita e aluminossilicatos.

Comparando os resultados de FRX e DRX feito no *Vincitifer comptoni* da presente pesquisa com os resultados obtidos por Freire (2013) observa-se que a preservação do *Vincitifer comptoni* ocorreu por carbonato de cálcio  $\text{CaCO}_3$ , devido a grande quantidade de Ca presente na rocha matriz, mais com pequenos traços de pirita devido predominância de Fe e S no fóssil e na rocha matriz. Confirmados pelas medidas de difração de Raios-X. Ao contrário do proposto por Freire (2013) que evidenciaram que a fase predominante do fóssil de *Tharrhias araripis* foi pelo mineral pirita, devido à alta quantidade de Fe e S, atestando a preservação somente por piritização, confirmando o que já foi descrito na literatura.

Observou-se também que houve uma grande diferença quantitativa nos padrões de S, Al, K Si, em maior quantidade no fóssil prospectado na Mina Pedra Branca - CE do que os elementos encontrados na Mineradora prospectada em Araripina - PE. Sugere-se, então, que foi devido ao material coletado acima do bloco de gipsita seja proveniente de precipitação de um ambiente mais palustre do que o coletado abaixo do bloco de gipsita. Esta hipótese corrobora a quantidade de fósseis de decápodes encontrados abaixo do bloco de gipsita



mencionados no capítulo anterior. Sabe-se que atualmente estes indivíduos sob o ponto de vista ecológico, são indicadores de mudanças ambientais causadas por perturbações naturais, quanto menos indivíduo encontrado, maior foi à alteração ambiental ocorrida naquela localidade, impedindo o desenvolvimento do mesmo. (Thomas, 1993; Conlan, 1994).

As medidas de FRX feitas na planta de gênero *Frenelopsis* obtiveram os seguintes elementos em percentagem, exposto na tabela abaixo (Tab. 2).

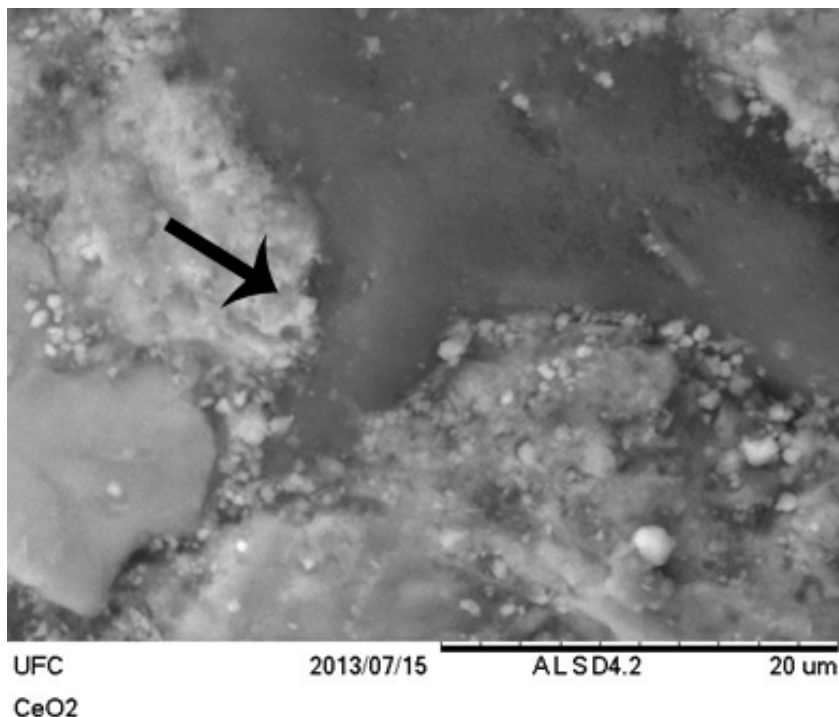
**Tabela 2.** Medidas de FRX na planta Fóssil do gênero *Frenelopsis* da Formação Ipubi.

Elementos	Fóssil do gênero <i>Frenelopsis</i>	Rocha matriz do <i>Frenelopsis</i>
<b>Ca</b>	82.2	42.97
<b>P</b>	0.24	----
<b>S</b>	1.29	31.83
<b>Sr</b>	0.56	0.13
<b>Si</b>	7.38	5.71
<b>Zn</b>	----	0.96
<b>Fe</b>	4.86	4.59
<b>Al</b>	1.15	1.53
<b>K</b>	0.63	1.13
<b>Mn</b>	1.01	0.50
<b>Ti</b>	0.56	4.48
<b>Mg</b>	---	1.86

Há uma grande quantidade de Ca na rocha matriz indicando que houve substituição por carbonato de cálcio  $\text{CaCO}_3$  na amostra fossilizada com traços de pirita devido as quantidades significantes de Fe e S na rocha matriz, comparando esses dados com Sousa Filho *et al.* (2011) que caracterizou *Brachyphylum castilhoi*; Seilacher *et al.* (1985) coletado na Formação Ipubi, Mina Pedra Banca, ao contrário dos resultados obtidos na planta do gênero *Frenelopsis* os autores apontaram que o vegetal possuía alta quantidade de pirita em sua composição, concluindo que a preservação deste material ocorreu somente por piritização, o mesmo processo envolvido em alguns peixes encontrados que foram citados nos folhelhos da Formação Ipubi.

O estudo prévio com MEV no vegetal fóssil do gênero *Frenelops* consistiu na verificação de estruturas dos nós das folhas, dentre as características observadas a principal,

em termos morfológicos foi a presença de duas folhas por nó, suas folhas são reduzidas e apresentam bases largas, oriundas da região dos nós, formando entrenós suavemente cilíndricos e curtos, sem suturas, mostrando uma aparência segmentada dos fragmentos. No espécime em estudo as partes que estão com uma melhor preservação são a estrutura lenhosa do galho e algumas folhas, que são opostas e em número de duas por nó, característica que o diferencia da maioria das espécies, a classificando como do gênero *Frenelopsis* (Schenk, 1871).



**Fig. 6.** MEV feito na planta fóssil do gênero *Frenelopsis* com enfoque em uma das folhas pareadas por nó.

Como descrito por Watson (1977) este gênero pertence ao grupo *Frenelopsids*, da extinta família Cheirolepidiaceae que se divide em *Frenelopsis* e *Pseudofrenelopsis*. Dentre as características que os diferenciam, a principal, em termos morfológicos é a presença de três ou, raramente, duas folhas por nó em *Frenelopsis* e de apenas uma em *Pseudofrenelopsis*. Suas folhas são reduzidas e apresentam bases largas, oriundas da região dos nós, formando entrenós suavemente cilíndricos e curtos, sem suturas, mostrando uma aparência segmentada dos fragmentos. Comparando o espécime encontrado na formação Ipubi com o apresentado por Watson (1977), este espécime é pertencente ao gênero *Frenelopsis* devido à presença de duas folhas por nó apresentando aqui a primeira ocorrência nesta formação.

## CONCLUSÃO

De acordo com as medidas de FRX feito no *Vinctifer comptoni* pode-se concluir que houve substituição de carbonato de cálcio  $\text{CaCO}_3$  na amostra, devido a grande quantidade de Ca encontrada na rocha matriz, também foi observado que esta amostra possuía traços de Pirita em sua constituição,  $\text{FeS}_2$ . Podendo ocorrer estes dois tipos de preservação nesta formação. A grande quantidade de Ca e P no fóssil conclui-se que a amostra é formada por fosfato de cálcio cristalino (Hidroxiapatita).

De acordo com as medidas feitas no vegetal do gênero *Frenelopsis* podemos concluir que uma das características desse grupo é a disposição incerta das folhas nos ramos, podendo ser espiraladas ou opostas. A ocorrência deste gênero já foi descrita para a Bacia do Araripe na Formação Romualdo e Crato, sendo este o primeiro registro para a Formação Ipubi. *Frenelopsis* pertence a um grupo de fácil adaptação ambiental, pois é citado como formador de florestas em torno de ambientes marítimos e dulcícolas, como rios e lagos, solos pobres, arenosos, pantanosos e área de várzea. Este fato explica a ocorrência desse gênero nas três formações do Grupo Santana, em ambiente mais dulcícola, Formação Crato, em ambiente mais salino, Formação Ipubi, e ambiente estuarino/marinho na Formação Romualdo.

## REFERÊNCIA

BECKHOFF, B., Kanngießer, B., Langhoff, N., Wedell, R., Wolff, H., 2006. Handbook of Practical Xray Fluorescence Analysis. Springer.

CONLAN, K., 1994. Amphipod crustaceans and environmental disturbance: a review. *Journal of Natural History* 28, 519-554.

DA SILVA, J., Freire, P., Abagaro, B., Silva, J., Saraiva, G., de Lima, F., Barros, O., Bantim, R., Saraiva, A., Viana, B., 2013. Spectroscopic studies of wood fossils from the Crato Formation, Cretaceous Period. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*.

DA SILVA, J.H., de Sousa Filho, F.E., Saraiva, A.Á.F., Andrade, N.A., Viana, B.C., Sayão, J.M., Abagaro, B.T.d.O., Freire, P.d.T.C., Saraiva, G.D., 2012. Spectroscopic Analysis of a Theropod Dinosaur (Reptilia, Archosauria) from the Ipubi Formation, Araripe Basin, Northeastern Brazil. *Journal of Spectroscopy* 2013

DE SOUSA FILHO, F.E., da Silva, J.H., Saraiva, A.Á.F., Brito, D.D.S., Viana, B.C., de Oliveira Abagaro, B.T., 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, 275-280.

DUARTE, L., 1985. Vegetais fósseis da Chapada do Araripe, Brasil. *Coletânea de Trabalhos Paleontológicos* 27, 585-617.

FREIRE, P.T.C., Abagaro, B. T. O, Sousa Filho, F. E, da Silva, J. H., Saraiva, A. A. F., Brito D. D. S. and Viana, B. C., 2013. PYRITIZATION OF FOSSILS FROM THE LANGERSTÄTTE ARARIPE BASIN, NORTHEAST BRAZIL, FROM THE CRETACEOUS PERIOD, In: Vinsen, N.W.a.P.T. (Ed.), *Pyrite: Synthesis, Characterization and Uses*, Nova Science Publishers, Inc. ed.

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, 22-24.

LIMA, R.J.C.F., P T C ; Sasaki, J M ; Saraiva, A A F ; Lanfredi, S ; Nobre, M A L, 2007b. Estudo de coprólitos da Bacia sedimentar do Araripe por meios de espectroscopia FT- IR e difração de raios-x. . *Química Nova* 30, 1956 – 1958.

NEUMANN, V.H., Cabrera, L., 1999. Una nueva propuesta estratigráfica para la tectonosecuencia post-rifte de la cuenca de Araripe, noreste de Brasil. *Simpósio Sobre o Cretáceo do Brasil* 5, 279-285.

PAVIA, D.L., Lampman, G., Kriz, G., Vyvyan, J., 2010. Introdução a espectroscopia. Editora Cengage Learning, -Tradução da Quarta Edição Americana.

SARAIVA, A.Á.F., Hessel, M.H., Guerra, N.C., Fara, E., 2007. Concreções calcárias da formação Santana, bacia do Araripe: uma proposta de classificação. *Estudos Geológicos* 17, 40-57.

SCHENK, A., 1871. Beiträge zur Flora der Vorwelt (IV. Die Flora der nordwestdeutschen Wealdenformation). *Palaeontographica* (1846-1933) 19, 227-250.

SILVA, R.M.C.N.F., V. F.; Appoloni, C. A., 2004. Fluorescência de raios X por dispersão em energia. *Publicação Técnica*, 19p.

THOMAS, J., 1993a. Biological monitoring and tropical biodiversity in marine environments: a critique with recommendations, and comments on the use of amphipods as bioindicators. *Journal of Natural History* 27, 795-806.

VIANA, M.S.S., Neumann, V.H.L., SCHOBENHAUS, C., CAMPOS, D., QUEIROZ, E., WINGE, M., 2002. Membro Crato da Formação Santana, Chapada do Araripe, CE. Riquíssimo registro de fauna e flora do Cretáceo. SIGEP, Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos. *Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil*. Brasília, 113-120.

WATSON, J., 1977. Some Lower Cretaceous conifers of the Cheirolepidiaceae from the USA and England. *Palaeontology* 20, 715-749.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Formação Ipubi já foi descrita como uma importante camada do polo gessoso para o país, devido à extração de gipsita. Nela haviam poucos exemplares fósseis, alguns peixes, ostracodes e conchostráceos, à medida que novos trabalhos são realizados, mais se tem a certeza de que esta camada fossilífera do grupo Santana é importante, não só em termos econômicos para o país (Região do Araripe) e de Pernambuco (Ipubi e Araripina) que são os maiores produtores de gesso. Essa camada fossilífera também é importante para a ciência e a mesma, é pouco explorada cientificamente devido às outras duas formações do grupo Santana, Crato e Romualdo terem maiores condições para acesso aos seus fósseis. Quanto ao estado de preservação dos fósseis, como a tridimensionalidade, descritas como grandes depósitos fossilíferos, estes dois *Lagerstätten* do grupo Santana são conhecidos mundialmente.

Pouco se tem explorado cientificamente a Formação Ipubi nos últimos anos, Sousa Filho *et al.* (2011), Silva *et al.* (2012), Oliveira *et al.* (2011). O fato de ter encontrado uma boa diversidade fossilífera na presente pesquisa, como peixes de várias espécies, plantas (do gênero *Frenelops*, *Brachphyllum castilhoi*, pteridófita leptosporangiatae, lenhos) coprólitos, camarões e a maioria dos exemplares encontrados possuem tecido mole preservado, concluiu-se que são estes os fatores para o reconhecimento a cerca da diversidade populacional da Formação Ipubi, elevando a sua categoria a um grande depósito fossilífero, especificamente um *Konservat Lagerstätten*.

Essa formação requer uma atenção especial, os resultados de fósseis bem preservados, como os peixes e crustáceos encontrados com tecido mole preservado são os primeiros passos para uma investigação mais intensa da paleoecologia e da paleobiota desta Formação.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

AGASSIZ. On the fossil fishes found by Mr Gardner in the province of Ceará, in the north of Brazil. **Edinburgh New Philosophical Journal**, p. 82–84., 1841.

ARAI, M., J. C. COIMBRA, AND A. C. SILVA-TELLES JR. Síntese bioestratigráfica da Bacia do Araripe (nordeste do Brasil). In: In L. M. Barros, P. C. N., And J. B. M. Filgueira [Eds.], (Ed.). **Atas do II simpósio sobre a Bacia do Araripe e bacias interiores do nordeste**. Crato, Ceará Province, Brazil: Universidade Regional do Cariri (URCA), v.1, 2001. p.122–124.

ARAI, M.; LANA, C. C.; PEDRÃO, E. Ecozona Subtilisphaera spp.: registro eocretáceo de um importante episódio ecológico do Oceano Atlântico primitivo. **Acta Geológica Leopoldensia**, v. 17, n. 39/2, p. 521-538, 1994.

ASSINE, M. Bacia do Araripe. **Boletim de Geociências da Petrobras**, v. 15, n. 2, p. 371-387, 2007.

ASSINE, M. L. Análise estratigráfica da bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 22, n. 3, p. 289-300, 1992.

AYRES, M. **BioEstat 5.0: aplicações estatísticas nas áreas das ciências biológicas e médicas**. Sociedade Civil Mamirauá, 2007.

BARLETTA, M. B. S. J. M. Comparison of fish assemblages and guilds in tropical habitats of the embayment (indo-west pacific) and caeté (westernatlantic) estuaries **Bulletin of Marine Science**, p. 647–680 2007.

BAUER, R. T. **Remarkable shrimps: adaptations and natural history of the carideans**. University of Oklahoma Press, 2004. ISBN 0806135557.

BECKHOFF, B.; KANNGIEßER, B.; LANGHOFF, N.; WEDELL, R.; WOLFF, H. **Handbook of Practical Xray Fluorescence Analysis**. Springer, 2006. ISBN 3540367225.

BEURLIN, K. **Geologia e estratigrafia da Chapada do Araripe**. Sudene, 1963.

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

BRUSCA, R.; BRUSCA, G. Invertebrados. 2ª edição. **Editora Guanabara**, 2007.

BUCKUP, L.; BOND-BUCKUP, G.; ARENZON, A. **Os crustáceos do Rio Grande do Sul**. Editora da Universidade, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1999. ISBN 8570255020.

CARLOS COIMBRA, J.; ARAI, M.; LUISA CARREÑO, A. Biostratigraphy of Lower Cretaceous microfossils from the Araripe basin, northeastern Brazil. **Geobios**, v. 35, n. 6, p. 687-698, 2002. ISSN 0016-6995.

CARVALHO, I. D. S. Paleontologia. Rio de Janeiro, Ed. **Interciência**, 2000.

CASSAB, R. Objetivos e Princípios da Paleontologia. **Paleontologia**, v. 1, p. 3-11, 2004.

CASTRO, R. H.; COSTA, R. C.; FRANSOZO, A.; MANTELATTO, F. L. Population structure of the seabob shrimp *Xiphopenaeus kroyeri* (Heller, 1862)(Crustacea: Penaeoidea) in the littoral of São Paulo, Brazil. **Scientia Marina**, v. 69, n. 1, p. 105-112, 2005. ISSN 1886-8134.

CAVALCANTI, V.; VIANA, M. Faciologica 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**, v. 1, p. 193-207, 1990.

CONLAN, K. Amphipod crustaceans and environmental disturbance: a review. **Journal of Natural History**, v. 28, n. 3, p. 519-554, 1994. ISSN 0022-2933.

COSTA, R. C.; FRANSOZO, A.; CASTILHO, A. L.; FREIRE, F. A. Annual, seasonal and spatial variation of abundance of the shrimp *Artemesia longinaris* (Decapoda: Penaeoidea) in south-eastern Brazil. **Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom**, v. 85, n. 01, p. 107-112, 2005. ISSN 1469-7769.

COSTA, R. C.; FRANSOZO, A.; FREIRE, F. A.; CASTILHO, A. L. Abundance and ecological distribution of the " sete-barbas" shrimp *Xiphopenaeus kroyeri* (Heller, 1862)(Decapoda: Penaeoidea) in three bays of the Ubatuba Region, southeastern Brazil. **Gulf and Caribbean Research**, v. 19, p. 33, 2007. ISSN 1528-0470.

DALL, W.; HILL, B.; ROTH LISBERG, P.; SHARPLES, D. The biology of the Penaeidae. **Advances in marine biology**, v. 27, 1990.

DAW, P. G. Geological miracles. **Nature**, v. 355, p. 218, 1992. ISSN 0028-0836.

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

DE OLIVEIRA, G. R.; KELLNER, A. W. A. Note on a plastron (Testudines, Pleurodira) from the lower Cretaceous crato member, Santana Formation, Brazil. **Arquivos do Museu Nacional**, v. 63, n. 3, p. 523-528, 2005.

DENTZIEN-DIAS, P.; FIGUEIREDO, A.; PINHEIRO, F.; SCHULTZ, C. Primeira evidência icnológica de um tetrápode natante no Membro Crato (Cretáceo Inferior), Formação Santana (Bacia do Araripe, nordeste do Brasil). **Revista Brasileira de Paleontologia**, v. 13, n. 3, p. 257-260, 2010.



DUARTE, L. Vegetais fósseis da Chapada do Araripe, Brasil. **Coletânea de Trabalhos Paleontológicos**, Brasília, v. 27, p. 585-617, 1985.

DURA, M. F. R. El ciclo biológico de los camarones peneidos. **Técnica Pesquera**, v. 5, p. 12-15, 1985.

FARA, E.; SARAIVA, A. Á.; DE ALMEIDA CAMPOS, D.; MOREIRA, J. K.; DE CARVALHO SIEBRA, D.; KELLNER, A. W. 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, p. 145-160, 2005. ISSN 0031-0182.

FARFANTE, I. P. **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, R. M.; 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 Zealand Journal of Geology and Geophysics**, v. 37, n. 2, p. 163-167, 1994. ISSN 0028-8306.

FRANSOZO, A.; RODRIGUES, F.; FREIRE, F.; COSTA, R. Reproductive biology of the freshwater prawn *Macrobrachium iheringi* (Ortmann, 1897)(Decapoda: Caridea: Palaemonidae) in the Botucatu region, São Paulo, Brazil. **Nauplius**, v. 12, n. 2, p. 119-126, 2004.

FREIRE, P. T. C., ABAGARO, B. T. O, SOUSA FILHO, F. E, DA SILVA, J. H., SARAIVA, A. A. F., BRITO D. D. S. AND VIANA, B. C. PYRITIZATION OF FOSSILS FROM THE LANGERSTÄTTE ARARIPE BASIN, NORTHEAST BRAZIL, FROM THE CRETACEOUS PERIOD. In: Vinsen, N. W. a. P. T. (Ed.). **Pyrite: Synthesis, Characterization and Uses**. Nova Science Publishers, Inc., 2013. cap. 5, ISBN 978-1-62257-851-1

GARDNER, G. Geological notes made during a journey from the coast into the interior of the Province of Ceará, in the north of Brazil, embracing an account of a deposit of fossil fishes. **Edinburgh New Philosophical Journal**, v. 30, p. 75-82, 1841.

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

JORDAN, D. S. New genera of fossil fishes from Brazil. **Proc. Acad. Nat. Sci., Phila.,** v. 71, p. 208-210, 1919.

JORDAN, D. S.; BRANNER, J. C. **The Cretaceous fishes of Ceara, Brazil**. Smithsonian Institution, 1910.

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

KELLNER, A. W.; CAMPOS, D. A.; SAYÃO, J. M.; SARAIVA, A. A.; RODRIGUES, T.; OLIVEIRA, G.; CRUZ, L. A.; COSTA, F. R.; SILVA, H. P.; FERREIRA, J. S. The largest flying reptile from Gondwana: a new specimen of *Tropeognathus* cf. *T. mesembrinus* Wellnhofer, 1987 (Pterodactyloidea, Anhangueridae) and other large pterosaurs from the Romualdo Formation, Lower Cretaceous, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 85, n. 1, p. 113-135, 2013. ISSN 0001-3765.

KELLNER, A. W. A.; SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D.; QUEIROZ, E.; WINGE, M.; BERBERT-BORN, M. Membro Romualdo da Formação Santana, Chapada do Araripe, CE. Um dos mais importantes depósitos fossilíferos do Cretáceo brasileiro. **SIGEP, Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos. Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil. Brasília**, p. 121-130, 2002.

KUIPERS, B.; DAPPER, R. Production of *Crangon crangon* in the tidal zone of the Dutch Wadden Sea. **Netherlands Journal of Sea Research**, v. 15, n. 1, p. 33-53, 1981. ISSN 0077-7579.

LIMA, M. Considerações sobre a subdivisão estratigráfica da Formação Santana, cretáceo do nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 9, n. 2, p. 116-121, 1979. ISSN 2177-4382.

LIMA, R. J. C. F., P T C ; SASAKI, J M ; SARAIVA, A A F ; LANFREDI, S ; NOBRE, M A L. Estudo de coprólitos da Bacia sedimentar do Araripe por meios de espectroscopia FT- IR e difração de raios-x. **Química Nova**, v. 30, p. 1956 – 1958, 2007b.

LIMA, R. J. C. S., A A F ; LAMFRED, S ; NOBRE, M A L ; FREIRE, P T C ; SASAKI, J M Caracterização espectroscópica de peixe do período cretáceo (Bacia Do Araripe). **Química Nova**, v. 30, p. 22 – 24, 2007.

MABESOONE, J. M. T., I.M. Paleogeography of the Aptian Santana Formation (Northeastern Brazil). **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, v. 14, p. 97-118, 1973.

MAISEY, J.; DE CARVALHO, M. d. GP (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**, v. 3132, p. 1-17, 1995.

MAISEY, J. G. **Santana fossils: an illustrated atlas**. Tfh Pubns Inc, 1991. ISBN 0866225498.

\_\_\_\_\_. Continental break up and the distribution of fishes of Western Gondwana during the Early Cretaceous. **Cretaceous Research**, v. 21, n. 2, p. 281-314, 2000. ISSN 0195-6671.

MARTILL, D. M. Preservation of fish in the Cretaceous Santana Formation of Brazil. **Palaeontology**, v. 31, n. 1, p. 1-18, 1988.

\_\_\_\_\_. The Medusa effect: instantaneous fossilization. **Geology Today**, v. 5, n. 6, p. 201-205, 1989. ISSN 1365-2451.

\_\_\_\_\_. Macromolecular resolution of fossilized muscle tissue from an elopomorph fish. 1990.

MARTILL, D. M., WILBY, P.J. Fossils of the Santana and Crato Formations, Brazil. **Palaeontol. Assoc. Field Guides Foss.**, v. 5, p. 20– 50, 1993.

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

MARTINS-NETO, R.; MEZZALIRA, S. 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, 1991a.

\_\_\_\_\_. 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, 1991b.

MATHIESON, S.; CATTRIJSSE, A.; COSTA, M.; DRAKE, P.; ELLIOTT, M.; GARDNER, J.; MARCHAND, J. Fish assemblages of European tidal marshes: a comparison based on species, families and functional guilds. **Marine Ecology Progress Series**, v. 204, p. 225-242, 2000. ISSN 0171-8630.

NEUMANN, V. H.; CABRERA, L. Una nueva propuesta estratigráfica para la tectonosecuencia post-rifte de la cuenca de Araripe, noreste de Brasil. **Simpósio Sobre o Cretáceo do Brasil**, v. 5, p. 279-285, 1999.

OLIVEIRA, G. R.; SARAIVA, A. Á. F.; SILVA, H. D. P.; DE ANDRADE, J. A. F. G.; KELLNER, A. W. A. FIRST TURTLE FROM THE IPUBI FORMATION (EARLY CRETACEOUS), SANTANA GROUP, ARARIPE BASIN, BRAZIL. **Revista Brasileira de Paleontologia**, v. 14, n. 1, p. 61-66, 2011.

OLIVEIRA, G. R. D. Aspectos tafonômicos de Testudines da formação Santana (Cretáceo Inferior), Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 30, n. 1, p. 83-93, 2007. ISSN 0101-9759.

PAVIA, D. L.; LAMPMAN, G.; KRIZ, G.; VYVYAN, J. Introdução a espectroscopia. **Editora Cengage Learning,-Tradução da Quarta Edição Americana**, 2010.

PONS, D., BERTHOU, P.Y., & CAMPOS, D.A. Quelques observations sur la palynologie de l' Aptien Supérieur et de l'Albien du bassin d' Araripe (N.E du Brésil). . **Simpósio sobre a Bacia do Araripe e Bacias Interiores do Nordeste**, v. I, p. 241-252, 1990.

PONTE, F. C., APPI, C.J. **Proposta de revisão da coluna estratigráfica da Bacia do Araripe**. Natal: Congresso Brasileiro de Geologia. 36 1990.

SANTANA, W.; PINHEIRO, A. P.; DA SILVA, C. M.; SARAIVA, A. A. 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. ISSN 1175-5334.

SARAIVA, A. Á.; PRALON, B. G. N.; GREGATI, R. A. Observações taxonômicas sobre os Decápodos fósseis do Cretáceo da Chapada do Araripe, Brasil, e inferências ecológicas. **Gaea-Journal of Geoscience**, v. 5, n. 2, p. 70-74, 2009. ISSN 1983-3628.

SARAIVA, A. A. F., BARROS, O.A., BANTIM, R.A.M, LIMA, F.J.L.,. **Guia para trabalhos de campo em paleontologia na Bacia do Araripe**. Crato: 2010. ISBN 9788591042708.

SARAIVA, A. Á. F.; HESSEL, M. H.; GUERRA, N. C.; FARA, E. Concreções calcárias da formação Santana, bacia do Araripe: uma proposta de classificação. **Estudos Geológicos**, v. 17, n. 1, p. 40-57, 2007.

SCHENK, A. Beiträge zur Flora der Vorwelt (IV. Die Flora der nordwestdeutschen Wealdenformation). **Palaeontographica (1846-1933)**, v. 19, n. 6, p. 227-250, 1871.

SCHWEITZER, C. E.; FELDMANN, R. M.; GARASSINO, A.; KARASAWA, H.; SCHWEIGERT, G. **Systematic list of fossil decapod crustacean species**. 2010. ISBN 9004178910.

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

SEILACHER, A.; REIF, W.-E.; WESTPHAL, F.; RIDING, R.; CLARKSON, E.; WHITTINGTON, H. Sedimentological, ecological and temporal patterns of fossil Lagerstätten [and Discussion]. **Philosophical Transactions of the Royal Society of London. B, Biological Sciences**, v. 311, n. 1148, p. 5-24, 1985. ISSN 0962-8436.

SELLEY, R. C.; COCKS, L. R. M.; PLIMER, I. **ENCYCLOPEDIA OF GEOLOGY** 2005.

SILVA, J.; FREIRE, P.; ABAGARO, B.; SILVA, J.; SARAIVA, G.; DE LIMA, F.; BARROS, O.; BANTIM, R.; SARAIVA, A.; VIANA, B. Spectroscopic studies of wood fossils from the Crato Formation, Cretaceous Period. **Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy**, 2013. ISSN 1386-1425.

SILVA, J. H. D.; SOUSA FILHO, F. E. D.; SARAIVA, A. Á. F.; ANDRADE, N. A.; VIANA, B. C.; SAYÃO, J. M.; ABAGARO, B. T. D. O.; FREIRE, P. D. T. C.; SARAIVA, G. D. Spectroscopic Analysis of a Theropod Dinosaur (Reptilia, Archosauria) from the Ipubi Formation, Araripe Basin, Northeastern Brazil. **Journal of Spectroscopy**, v. 2013, 2012. ISSN 2314-4920.

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

SILVA, M. D. Evaporitos do cretáceo da Bacia do Araripe: ambientes de deposição e história diagenética. **Boletim de Geociências da PETROBRAS**, v. 2, n. 1, p. 53-63, 1988.

SILVA, O. Alguns peneideos e palinurideos do Atlântico Sul. Superintendência de Desenvolvimento da Pesca (SUDEPE) **Ministério da Agricultura, Brasil**, v. 1, p. 20, 1965.

SILVA, R. M. C. N. F., V. F.; APPOLONI, C. A. Fluorescência de raios X por dispersão em energia. **Publicação Técnica**, p. 19p, 2004.

SILVA, T.; CAVALLI, R.; MONTENEGRO, A. Enterramento de *Penaeus paulensis* Perez-Farfante, 1967 (Decapoda, Penaeidae) em condições de laboratório. **Produção científica sobre cultivo de *Penaeus paulensis***, p. 60, 1981.

SMALL, H. Geologia e suprimento d'água subterrânea no Ceará e parte do Piauí. Rio de Janeiro. Inspectoria Federal de Obras Contra as Seccas. **Boletim**, n. 25, 1913.

SORBE, J.-C. La macrofaune vagile de l'estuaire de la Gironde: Distribution et migration des espèces. Modes de reproduction, régimes alimentaires. **Océanis (Paris)**, v. 6, n. 6, 1981.

SOUSA FILHO, F. E. D.; SILVA, J. H. D.; SARAIVA, A. Á. F.; BRITO, D. D. S.; VIANA, B. C.; DE OLIVEIRA ABAGARO, B. T.; FREIRE, P. D. T. C. 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. ISSN 0103-9733.

TEAM, R. D. C. **R: A language and environment for statistical computing**.: R Foundation for Statistical Computing 2008.

THOMAS, J. Biological monitoring and tropical biodiversity in marine environments: a critique with recommendations, and comments on the use of amphipods as bioindicators. **Journal of Natural History**, v. 27, n. 4, p. 795-806, 1993. ISSN 0022-2933.

VIANA, M.; CAVALCANTI, V. Localidades e conteúdo fossilífero da Bacia do Araripe, nordeste do Brasil. 36. Congresso Brasileiro De Geologia, Natal, 1990. p.476-489.

VIANA, M. S. S.; NEUMANN, V. H. L.; SCHOBENHAUS, C.; CAMPOS, D.; QUEIROZ, E.; WINGE, M. Membro Crato da Formação Santana, Chapada do Araripe, CE. Riquíssimo registro de fauna e flora do Cretáceo. **SIGEP, Comissão Brasileira de Sítios Geológicos e Paleobiológicos. Sítios Geológicos e Paleontológicos do Brasil. Brasília**, p. 113-120, 2002.

VIEIRA, I. M.; NETO, M. Aspectos da socioeconomia dos pescadores de camarão da ilha do Pará (Pa) e Arquipélago do Bailique (Ap). **Boletim do Laboratório de Hidrobiologia**, v. 19, p. 85-94, 2006.

VILA NOVA, B. C.; SARAIVA, A. A. F.; MOREIRA, J. K. R.; SAYÃO, J. M. Controlled Excavations in the Romualdo Formation Lagerstätte (Araripe Basin, Brazil) and Pterosaur Diversity: Remarks Based on New Findings. **Palaios**, v. 26, 2011.

WATSON, J. Some Lower Cretaceous conifers of the Cheirolepidiaceae from the USA and England. **Palaeontology**, v. 20, n. 4, p. 715-749, 1977.

WENZ, S.; BRITO, P. L'ichthyofaune des nodules fossilifères de la Chapada do Araripe. 337-349. Atas do simpósio sobre a Bacia do Araripe e Bacias Interiores do Nordeste, Crato, 1990. p.14-16.

WOODWARD, A. S. 4. On the Fossil Teleostean Genus Rhacolepis, Agass. Proceedings of the Zoological Society of London, 1887. Wiley Online Library. p.535-541.

ZHOU, Z.; WANG, Y. Vertebrate diversity of the Jehol Biota as compared with other lagerstätten. **Science China Earth Sciences**, v. 53, n. 12, p. 1894-1907, 2010. ISSN 1674-7313.