

Universidade Federal de Pernambuco  
Centro de Tecnologia e Geociências  
Departamento de Oceanografia  
Programa de Pós-Graduação em Oceanografia

**CARACTERIZAÇÃO PALEOAMBIENTAL E PALEO-  
OCEANOGRÁFICA DA FORMAÇÃO ROMUALDO -  
BACIA SEDIMENTAR DO ARARIPE**

**Antônio Álamo Feitosa Saraiva**

Recife

2008

**Universidade Federal de Pernambuco**  
**Centro de Tecnologia e Geociências**  
**Departamento de Oceanografia**  
**Programa de Pós-Graduação em Oceanografia**

**CARACTERIZAÇÃO PALEOAMBIENTAL E PALEO-  
OCEANOGRÁFICA DA FORMAÇÃO ROMUALDO -  
BACIA SEDIMENTAR DO ARARIPE**

Tese apresentada à banca examinadora  
como parte do requisito para obter o título  
de Doutor em Ciência na área de  
oceanografia no Programa de Pós-  
Graduação em Oceanografia da UFPE.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Núbia Chaves Guerra

Co-orientador: Prof. Dr. José Zanon de Oliveira Passavante

Recife

2008

**S243c Saraiva, Antônio Álamo Feitosa.**

Caracterização paleoambiental e paleo-oceanográfico da formação Romualdo: bacia sedimentar do Araripe / Antônio Álamo Feitosa Saraiva. - Recife: O Autor, 2008.

96 folhas., il., gráfs., tabs.

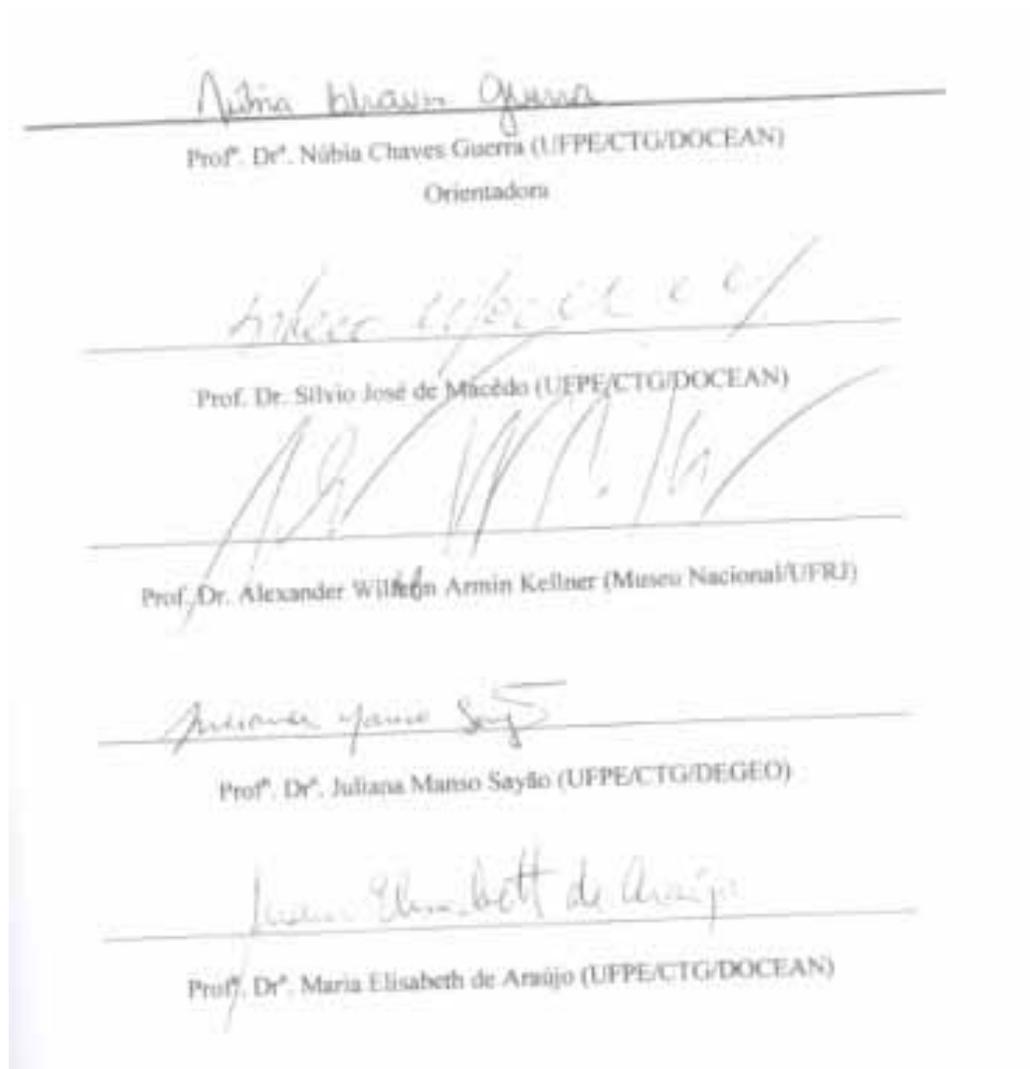
Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, 2008.

Inclui referências bibliográficas.

**CARACTERIZAÇÃO PALEOAMBIENTAL E PALEO-OCEANOGRÁFICA DO  
MEMBRO ROMUALDO – FORMAÇÃO SANTANA (BACIA SEDIMENTAR  
DO ARARIPE)**

**Antônio Álamo Feitosa Saraiva**

Tese aprovada pela banca examinadora em 23 de abril de 2008



Esse trabalho é dedicado a

Isabel, Tiago e Dion

## SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	
APRESENTAÇÃO	10
RESUMO	11
ABSTRACT	12
1º capítulo	
<b>CONCREÇÕES CALCÁRIAS DA FORMAÇÃO ROMUALDO - BACIA DO ARARIPE: DESCRIÇÃO E PROPOSTAS DE CLASSIFICAÇÃO.</b>	14
RESUMO	15
ABSTRACT	16
INTRODUÇÃO	17
Concreções e nódulos	18
Histórico do estudo das concreções calcárias da Formação Romualdo	19
JUSTIFICATIVA	22
OBJETIVOS	22
MATERIAL E MÉTODOS	23
RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
Número de espécimes	25
Posição do macrofóssil na matriz	26
Dimensionalidade do macrofóssil	26
Relação matriz/macrofóssil	27
Forma das concreções	28
Estrutura e textura sedimentares	29
CONSIDERAÇÕES FINAIS	31
CONCLUSÃO	32
Agradecimentos	33
Referências bibliográficas	33

2º capítulo

<b>CONCREÇÕES CALCÁRIAS DA FORMAÇÃO ROMUALDO LESTE DA BACIA DO ARARIPE: UMA VISÃO PALEOAMBIENTAL</b>	39
RESUMO	40
ABSTRACT	42
INTRODUÇÃO	43
JUSTIFICATIVA	44
OBJETIVOS	45
MATERIAL E MÉTODOS	45
DESCRIÇÃO DA SEQÜÊNCIA ESTRATIGRÁFICA	47
OS PERFIS EM “FINA ESCALA”	50
OCORRÊNCIA DAS CONCREÇÕES NAS ESCAVAÇÕES	53
Distribuição quanto à forma	54
Distribuição de concreções com cristais de calcita	55
Distribuição de concreções com fósseis tridimensionais	57
Distribuição de concreções com representantes fósseis completos	58
Orientação das concreções	59
Distribuição na ocorrência de peixes fósseis	60
Distribuição dos resultados de $\delta O^{18}$	61
ANÁLISES ESTATÍSTICAS	62
Análise de Componentes Principais	68
CONSIDERAÇÕES PALEOAMBIENTAIS	70
CONCLUSÃO	73
Agradecimentos	75
REFERÊNCIAS	75

3º capítulo

<b>ANÁLISE DE RAIOS – X EM COPRÓLITO DE PEIXE DA FORMAÇÃO ROMUALDO (BACIA DO ARARIPE) E POSSÍVEIS RELAÇÕES TRÓFICAS</b>	80
RESUMO	81
ABSTRACT	82
INTRODUÇÃO	83
MATERIAL E MÉTODOS	84
ANÁLISES	86
CONSIDERAÇÕES	88
CONCLUSÃO	90
Agradecimentos	90
Referências bibliográficas	90
CONCLUSÃO	94
EPÍLOGO	96

## **AGRADECIMENTOS**

- A todos os professores do Departamento de Oceanografia que muito contribuíram para minha formação como profissional e como pessoa para que eu possa desenvolver melhor minha atividade como profissional do magistério.
- A minha orientadora Prof<sup>da</sup>. Dr<sup>a</sup>. Núbia Chaves Guerra da qual aprendi não apenas conhecimento de Oceanografia Abiótica, mas lições de ética, desprendimento e comportamento de vida acadêmica que levarei comigo por toda a vida.
- Ao meu co-orientador Prof. Dr. José Zanon de Oliveira Passavante que desde o curso de mestrado me presenteia com a sua sabedoria e a cada conversa me passa dicas importantes sobre a vida acadêmica e de pesquisador.
- Aos meus colegas de curso que nas horas de dificuldade estiveram sempre presentes para prestar auxílio e para incentivar a não fraquejar diante das dificuldades.
- Aos funcionários do Departamento de Oceanografia: Sr. Hermes, Zinaldo, Beto, Edinaldo, Sr. Mano, Joaquim, Paulo Pato, Tiba, Zacarias e Adeilton que além de auxiliarem nas tarefas mais difíceis foram também companheiros nas horas vagas.
- A secretária do Curso de Pós-Graduação em Oceanografia Mirna Lins que sempre esteve pronta a resolver qualquer problema.
- Ao Departamento de Geologia e, em especial, nas pessoas dos Prof<sup>es</sup>. Dr<sup>s</sup>. Virgínio Henrique Neumann, Juliana Manso Sayão, Gorki Mariano, Lúcia Mafra Valença, Mário Filho, Gelson Fanbrini e da técnica de nível superior Dr<sup>a</sup>. Sônia Agostinho.
- Ao NEG-LABISE (NÚCLEO DE ESTUDOS DO GRANITO - LABORATÓRIO DE ISÓTOPOS ESTÁVEIS) nas pessoas do Coordenador Prof. Dr. Alcides Nóbrega Sial, da Prof<sup>da</sup>. Valdevez Ferreira e da técnica de nível superior Gilza Santana.

- Ao Museu Nacional do Rio de Janeiro - UFRJ, na pessoa do Prof. Dr. Alexander W. A. Kellner e a Fundação Araripe, na pessoa do Dr. Pierre Maurice Gervaiseau, pelo apoio financeiro nos trabalhos de escavação.
- Aos alunos do Curso de Biologia da Universidade Regional do Cariri – URCA, em especial a Péricles Emmanoel Macedo e Silva (Jesus) e João Kerenski Moreira, nos trabalhos de escavação.
- Aos escavadores Zé Afonso, Sr. Bonifácio, Tico de Sula, Coquinha, Edval, Edgard, Moacir e Francisco Fernandes. Verdadeiros heróis da sobrevivência.
- Aos Prof<sup>os</sup>. Dr<sup>s</sup>. Plácido Cidade Nuvens e Alexander Kellner por me apresentarem e me levarem para o campo mágico e fascinante da paleontologia.
- Ao Prof. Dr. Mário Barlleta e ao químico Alex Moraes pelo auxílio prestimoso no tratamento dos dados estatísticos.
- Ao Prof. Dr. Waltécio de Oliveira Almeida pelo incentivo e amizade nas horas difíceis.
- Aos meus irmãos David e Leonardo e a Ceiça e Thijs Egerart pelo apoio nas horas de dificuldade.
- A Euda Teixeira e Wlanderico Teixeira da Silva pela acolhida sempre providencial no Cariri.
- Enfim, a todos que de forma direta ou indireta contribuíram para que esse trabalho fosse realizado, deixo o meu voto de gratidão.

## APRESENTAÇÃO

Essa tese é composta por três artigos relacionados à assembléia fossilífera encontrada nos folhelhos entre os arenitos da Formação Romualdo - Bacia Sedimentar do Araripe, CE. Nos artigos a seguir será usada a proposta estratigráfica e nomenclatura de Neumann (1999) que eleva o antigo Membro Romualdo a categoria de formação.

O primeiro trabalho (aceito para publicação na revista Estudos Geológicos da UFPE) versa sobre uma proposta de classificação das concreções, formulada basicamente com o intuito de historiar o estado da arte sobre as pesquisas realizadas nas estruturas fósseis, fornecer parâmetros para estudos de estatística e tecer uma relação entre as concreções e os níveis onde estas se encontram.

A partir da realização de duas escavações em localidades distintas (Parque dos Pterossauros e Sítio Romualdo) verificou-se ser praticamente impossível a aplicação de programas estatísticos com os parâmetros oferecidos pelas classificações propostas anteriormente, já que as mesmas estão basicamente relacionadas à intensa diversificação entre muitos tipos de formas e de estruturas contidas.

O segundo trabalho (submetido para publicação na revista a ser determinada com base nos critérios da CAPES) traz uma descrição detalhada da estratigrafia em “fina escala” e salienta a heterogeneidade da assembléia fossilífera. Evidencia as diferenças entre os níveis estratigráficos e determina as características das concreções nas áreas escavadas. Estabelecidos os parâmetros que serviram de base para o primeiro trabalho, foi possível utilizar alguns destes parâmetros para testes estatísticos, e a partir destes, fazer inferências sobre as características de cada nível em uma determinada localidade. Além do tratamento estatístico, foram identificados os fósseis e a relação destes com as concreções carbonáticas responsáveis pela sua preservação.

O terceiro trabalho (será submetido para publicação na revista Tropical Oceanography da UFPE) e trata das relações ecológicas entre os peixes do Paleolago Araripe.

Embora para se fazer considerações inerentes a relações tróficas entre animais, as evidências diretas sejam, por excelência, as mais apropriadas, nem sempre são encontradas, principalmente se tratando de paleoecologia, o que tornou este estudo ainda mais instigante. É fato que para tal terá que haver a participação e empenho de pesquisadores experientes, capazes de identificar e fazer a correlação com os seres que deixaram de alguma maneira, registros de sua passagem nesse ambiente.

## RESUMO

A Formação Romualdo é conhecida pela abundância, diversidade e excelente estado de preservação dos seus fósseis. Esses fósseis em geral, apresentam a forma tridimensional e preservam tecidos moles e são encontradas coleções desse material nos principais museus de paleontologia de todo mundo. É proposta aqui uma descrição e classificações para os diversos tipos de concreções calcárias ocorrentes na Formação Romualdo (Eocretáceo) da Bacia do Araripe, baseado em observações de áreas onde afloram as camadas de folhelhos na parte leste da Bacia do Araripe.

Utilizando os parâmetros aqui sugeridos feito um estudo estatístico das concreções calcárias coletadas nas quatro escavações. A seqüência sedimentar é composta por níveis de folhelhos intercalados por calcários e calcarenitos contendo concreções calcárias, geralmente fossilíferas, mostrando-se mais espessos na área sul e leste da área estudada. Nove diferentes gêneros de peixes Actinopterygii foram reconhecidos: *Brannerion*, *Calamopleurus*, *Cladocyclus* (com maior distribuição espacial e temporal), *Neoproscinetis* e *Araripichthys* (comum em áreas mais profundas), *Notelops*, *Rhacolepis* (ausentes no Sítio Cana Brava e Romualdo respectivamente e comuns nas outras áreas), *Tharrhias* (comum em áreas mais rasas) e *Vinctifer* (predominante por ocorrer em maior número quando relacionado à quantidade de exemplares coletados). O Actinistia *Mawsonia* foi encontrado apenas na Serra do Mãozinha. A paleoicnofauna encontrada mais a oeste, no Sítio Cana Brava, é bastante diferente das demais áreas, com predomínio de *Tharrhias* e maior número de fósseis nas camadas mais profundas. Os possíveis eventos de mortandade de peixes ocorridos durante a deposição da Formação Romualdo podem ter sido resultantes da brusca variação de salinidade associada a desoxigenação em águas turvas e conseqüente explosão de microorganismos.

Os coprólitos (grupo fóssil denominado de evidências indiretas) foram os fósseis mais numerosos em todas as áreas escavadas e uma análise a partir de difração com Raios-X foi feita para detecção ossos e partes vegetais nesses excrementos fósseis, e com isso, fazer inferências sobre as relações tróficas ou hábitos alimentares dos peixes que compõe a assembléia fossilífera da Formação Romualdo. Esses dados abrem uma nova perspectiva de fonte indireta de dados para acessar inter-relações ecológicas entre uma fauna pretérita difícil de reconstruir apenas por observação direta.

Palavras-chave: Ictiólito, Formação Santana, Concreções, Romualdo, Bacia do Araripe.

## ABSTRACT

The calcareous concretions of the Romualdo Formation have been known since 1800 by João da Silva Feijó (1800). Their study was recognized internationally by report of von Spix and von Martius (1823-1831), and denominated "ichthyoliths" by Silva Santos in 1950. This study is proposing a classification of the various types of calcareous concretions that occurred in the Romualdo Formation (Late Cretaceous, Araripe Basin).

The sedimentary sequence is composed by shale intercalated by limestone and calcarenite with fossiliferous calcareous concretions, thickness in the south and east of the studied area. The sub-spherical, ovoid, and septarian concretions composed by large matrix are more frequent in upper sequence, while the compressed ones are in the deepest strata. Concretions with calcite crystals in the septarian or in the cavity of fossilized fish are dominated in the Serra do Maozinha farm, being rare or uncommon in the other areas. The concretions with thicken and abundant matrix usually preserve three-dimensional fossils, and with scarce matrix, they show compressed fossils. Nine genera of Actinopterygii fishes were recognized: *Araripichthys*, *Brannerion*, *Calamopleurus*, *Cladocyclus* (with larger spatial and temporal distribution), *Neoproscinetis*, *Notelops*, *Rhacolepis* (common), *Tharrhias* (common), *Vinctifer* (abundant in all sites) and *Actinistia Mawsonia* (only reported in the Serra do Mäozinha site).

Frozen behaviour, close association, and functional interpretation of morphology, are some categories of fossil interpreted as direct evidence of animals' habits and behaviour. Others evidences named indirect may also be obtained when analyzing traces of fossilized faeces, or coprolites. Their contents are usually analyzed in search of remains, like bones, plant parts, and other organisms' parts from which might be inferred the animals' trophic relations or their feeding habits. The two mineralized coprolites collected were weighed, measured, and examined by X-ray diffraction. These characteristics and the relation of mean diameter of coprolites to the vertebrate fauna found in the excavation site, suggest that these coprolites result likely from large-bodied fish that lived during the Cretaceous period. This would make up a new indirect source of data through which the ecological interrelationships between pre-existent fauna members would be easier to assess than through the direct observation process.

**Key words:** Ictiolite, Santana Formation, Concretions, Romualdo, Araripe Basin.

## **I CAPÍTULO**

**CONCREÇÕES CALCÁRIAS DA FORMAÇÃO ROMUALDO - BACIA DO  
ARARIPE: DESCRIÇÃO E PROPOSTAS DE CLASSIFICAÇÃO.**

**CONCREÇÕES CALCÁRIAS DA FORMAÇÃO ROMUALDO - BACIA DO  
ARARIPE: DESCRIÇÃO E PROPOSTAS DE CLASSIFICAÇÃO.**

Antônio Álamo Feitosa Saraiva<sup>1</sup>

Núbia Chaves Guerra<sup>2</sup>

Maria Helena Hessel<sup>3</sup>

Emmanuel Fara<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ciências Biológicas, URCA, Crato, bolsista da FUNCAP,  
alamocariri@yahoo.com.br

<sup>2</sup> UFS, Aracaju, helenahessel@ufs.br

<sup>3</sup> Departamento de Oceanografia, UFPE, Recife, nschaves@ufpe.br

<sup>4</sup> Biogéosciences, Université de Bourgogne, Dijon, França, emmanuel.fara@u-  
bourgogne.fr

**RESUMO:** As concreções calcárias da Formação Romualdo são conhecidas desde 1800 pelo relato de João da Silva Feijó, divulgadas internacionalmente por von Spix e von Martius entre 1823 e 1831 e chamadas de ictiólitos por Silva Santos em 1950. No presente estudo é feita uma descrição e proposto classificações para os diversos tipos de concreções calcárias ocorrentes na Formação Romualdo (Eocretáceo) da Bacia do Araripe, tecendo algumas considerações sobre sua distribuição geográfica, e sugerindo uma uniformização terminológica para as descrições deste material, o que poderá auxiliar em futuros estudos estatísticos, geográficos, geoquímicos e tafonômicos que, integrados, podem fornecer novas visões sobre o cenário de sua deposição. Os critérios classificatórios são baseados no número de espécimes e posição do fóssil contido na concreção, dimensionalidade do macrofóssil, relação matriz/fóssil, forma, estrutura e textura sedimentares. Quanto ao número de exemplares encontrados nas concreções, pode-se classificá-las em afossilíferas, unifossilíferas ou multifossilíferas; em termos de disposição dos fósseis nas concreções, pode-se encontrá-los em posição superior, mediana, inferior, transversal, dispersa ou em planos paralelos. Quanto à dimensão espacial preservada do fóssil, ocorrem concreções com espécimes tridimensionais ou comprimidos; tratando-se do percentual da matriz em relação ao macrofóssil, as concreções podem ser classificadas como possuidoras de matriz abundante, regular, escassa ou curta. Quanto à forma, podem ser sub-esféricas, ovóides, oval-alongadas e irregulares. Quanto à estrutura sedimentar observada na matriz, pode-se classificá-las em laminadas ou pouco laminadas; e quanto à textura sedimentar, é possível encontrar concreções de matriz fina ou muito fina.

**Palavras-chave:** concreções carbonáticas, ictiólitos, Eocretáceo, macrofósseis tridimensionais, Formação Santana, Araripe

**ABSTRACT:** The calcareous concretions of the Romualdo Formation have been known since 1800 by João da Silva Feijó (1800). Their study was recognized internationally by report of von Spix and von Martius (1823-1831), and denominated "ichthyoliths" by Silva Santos in 1950. This study is proposing a classification of the various types of calcareous concretions that occurred in the Romualdo Formation (Late Cretaceous, Araripe Basin). Their importance includes geographic distribution and a terminological uniformization for the descriptions of that material. This, will be helpful to future statistical, geographical, geochemical and taphonomical studies that, altogether, will improve the knowledge of the Romualdo Formation. The classification criteria are: the number and position of the fossils in the concretions, the dimension of the macrofossils, the relationship matrix/fossil, the shape, structure and sedimentologic texture of the concretions. The contents in fossils were classified as afossiliferous, unifossiliferous and multifossiliferous; the relative position in relation of concretions in superior, medium, inferior, traverse, dispersed or parallel planes. The preservation type was characterized by "3-D" and "compressed"; the percentage of matrix versus macrofossil was expressed as abundant, regular, scarce and short. The form of the concretion in sub-spherical, ellipsoidal, oval-elongated and irregular; and finally, the sedimentological structure was classified as laminated and little laminated, while its texture is either a fine or very fine.

**Key words:** carbonate concretions, ichthyolith, Late Cretaceous, macrofossils, Santana Formation, Araripe.

## INTRODUÇÃO

A Bacia do Araripe encontra-se inserida na região do Cariri, situada ao sul do estado do Ceará, noroeste de Pernambuco e leste do Piauí. Com cerca de 12.000km<sup>2</sup>, é considerada a maior bacia sedimentar do interior do nordeste brasileiro (Fig. 1). Sob a Chapada do Araripe pode ser encontrada a seqüência completa das unidades geológicas que compõem a bacia. É delimitada ao norte pelo lineamento de Patos e ao sul pelo lineamento Pernambuco (Assine, 1992). Sua seqüência cretácea foi depositada ao longo de quase 50 milhões de anos, na qual se encontram calcários laminados, bancos de gipsita, folhelhos e arenitos finos.

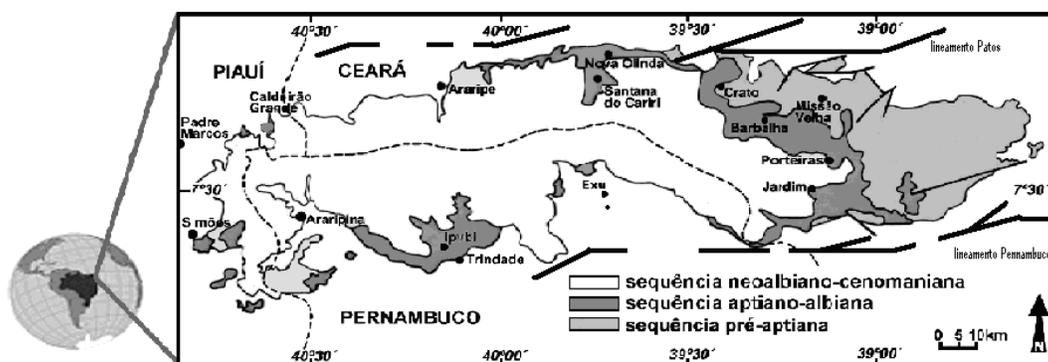


Figura 1: Localização da Bacia do Araripe com a área cretácea aflorante e localidades (em cinza escuro) com maior ocorrência de concreções (modificado de Bruno & Hessel 2006).

A Formação Romualdo está sobreposta aos arenitos e folhelhos escuros que recobrem os depósitos de gipsita e anidrita da Formação Ipubi e é recoberta pelos siltitos avermelhados eo-albianos da Formação Arajara (Neumann, 1999). É tida como de idade albiana (Arai *et al.* 2001), sendo constituída predominantemente por camadas pelíticas, com folhelhos escuros e arenitos calcíferos esbranquiçados, estes mais frequentes no topo (Menor *et al.* 1993). Encaixadas nos folhelhos, ocorrem concreções calcárias, geralmente com macrofósseis tridimensionalmente preservados, o que é bastante raro no registro geológico mundial.

Os fósseis ocorrentes nesta unidade são predominantemente peixes Actinopterygii, como dos gêneros *Araripelepidotes* Silva Santos, 1985, *Brannerion* Jordan, 1919, *Calamopleurus* Agassiz, 1841 e *Notelops* Woodward, 1901 citados como organismos eurialinos Maisey (1991). *Vinctifer* Jordan, 1919, *Tharrhias* Jordan &

Branner, 1908 e *Rhacolepis* Agassiz, 1841, como marinhos litorâneos (Bruno & Hessel 2006) e Actinistia dos gêneros *Axelrodichthys* Maisey, 1986 e *Mawsonia* Woodward, 1907 (Brito & Martill 1999), citados por Maisey (1991) como não marinhos. Nas concreções também ocorrem peixes condricíes dos gêneros *Rhinobatos* Link, 1790 e *Tribodus* Brito & Ferreira, 1989 (Brito & Séret 1996). Outros vertebrados, cujos fragmentos são encontrados nos estratos da Formação Romualdo, são os dinossauros terópoda (Kellner, 1996), pterossauros (*e.g.* Leonardi & Borgomanero, 1985; Campos & Kellner 1985), crocodilomorfos (Price, 1959) e quelônios (Price, 1973). Restos de invertebrados, como ostracodes, foraminíferos (Lima 1979), gastrópodos e bivalvíos (Beurlen 1963 e 1964), assim como de vegetais superiores (Duarte, 1986) e algas (Saraiva *et al.*, 2003) também ocorrem nesta unidade.

Praticamente no entorno de toda a Chapada do Araripe, na cota de aproximadamente 680m, é possível encontrar concreções calcárias da Formação Santana, tanto no sul do Estado do Ceará como no noroeste de Pernambuco e leste do Piauí. Entretanto, as que são mais abundantes, mais estudadas há mais longo tempo encontram-se nos municípios de Santana do Cariri, Crato, Jardim, Porteiras e Missão Velha (Ceará), desde que se efetue escavação de cerca de 6m de profundidade nos folhelhos. Geralmente estas concreções sofreram baixo grau de tectonismo e de intemperismo, o que favorece uma visão relativamente pouco perturbada do ambiente de deposição original.

Na porção oeste da Bacia do Araripe, as concreções podem ser encontradas nos arredores de Araripina, Ipubi e Trindade, em Pernambuco, assim como em Caldeirão Grande, Simões e Padre Marcos, estas no Estado do Piauí. Entretanto, por serem localidades mais distantes dos grandes centros urbanos, têm sido pouco investigadas, ainda que mostrem certas características particulares em sua morfologia, tafonomia e litologia, distintas das concreções observadas a leste da bacia, como acertadamente observou Beurlen (1963).

### **Concreções e nódulos**

Concreções e nódulos calcários são termos utilizados usualmente como sinônimos, ainda que alguns autores restrinjam o termo 'nódulo' para elementos menores ou para unidades irregulares (Pettijohn 1957; Berner 1968) desenvolvidas paralelamente à estratificação da rocha onde se encontram (Mabesoone 1983). Não sofrem transporte enquanto dentro da rocha hospedeira, refletindo as condições

ambientais *in situ* (Suguio 2003). Ambos são estruturas sedimentares de origem química, constituídas por agregados esferoidais, ovóides, discoidais ou de forma irregular com diferente composição da rocha na qual estão contidas. Formam-se em geral, por segregação de constituintes menores desta rocha. Sua estrutura indica a formação por precipitação de uma solução aquosa e o crescimento intra-rochoso, ocorridos durante a sedimentação (concreções singenéticas), imediatamente após ou nos primeiros estágios de compactação (concreções diagenéticas), ou depois dela (concreções epigenéticas), de acordo com Scoffin (1987).

As concreções singenéticas têm formas variadas e são geradas por precipitação concêntrica em torno de um núcleo recém depositado em fundo aquoso (Baird *et al.*, 1986), mostrando uma composição mineralógica em geral similar à da rocha hospedeira: sílica, calcita, fosfatos e óxidos de ferro (Mabesoone 1983). As concreções diagenéticas são muito freqüentes e formam-se ao redor de núcleos sólidos em ambiente lodoso rico em substâncias coloidais, mostrando em geral uma forma achatada (Weeks, 1957). Um tipo peculiar de concreção diagenética é a septária, caracterizada por gretas irregulares preenchidas por material secundário, sendo resultante do endurecimento externo e contração por desidratação interna durante a formação da concreção (Scoffin, 1987). As concreções epigenéticas, predominantemente sub-esféricas, desenvolvem-se apenas em rochas já consolidadas. Há ainda as chamadas concreções de intemperismo, que na verdade são pseudoconcreções, pois são formadas por precipitação de óxido de ferro, sendo as concreções lateríticas um bom exemplo (Mabesoone, 1983).

As concreções são geralmente formadas por argila carbonática (Schieber, 2002), mas há as constituídas por pirita, marcassita, barita, siderita, fosforita e gipsita, além de cinzas vulcânicas (Rogers *et al.* 2001). Concreções são normalmente mais resistentes ao intemperismo do que a rocha hospedeira, de modo que em geral, sobressaem em cortes geológicos naturais ou escavações (Mabesoone, 1983).

Os nódulos podem ser de diferentes composições mineralógicas, como, por exemplo, sílex (calcedônia microcristalina), fosfato e manganês, estes formados em regiões abissais, ou seja, em grandes profundidades marítimas (Suguio, 2003).

### **Histórico do estudo das concreções da Formação Romualdo**

Em 1800, João da Silva Feijó descreveu, em relatório ao governador da capitania do Ceará, a ocorrência de petrificações de peixes e anfíbios com tecidos moles preservados provenientes da fazenda Gameleira, próximo à vila de Bom Jardim

(atualmente município de Jardim), anexando ao relatório uma coleção de centenas de concreções (Nobre, 1978). Os cientistas alemães von Spix e von Martius, quando viajaram ao Brasil entre 1817-1823, estiveram em Fortaleza, capital da província do Ceará, e levaram parte desta coleção para o Museu de Munique (Maisey, 1991), comunicando este achado no primeiro volume de seu relatório encaminhado ao rei da Baviera Maximilian Joseph I (von Spix & von Martius, 1823). Neste relatório, porém em outro volume, editado pouco mais tarde, também se encontra a ilustração de uma concreção calcária contendo um peixe fóssil do Araripe (von Spix & von Martius, 1831), posteriormente identificado como *Rhacolepis* sp. (Maisey, 1991). A outra parte da coleção foi enviada ao Rio de Janeiro, de onde foi para Évora, Portugal (Pinheiro & Lopes 2002; Lopes & Silva 2003; Antunes *et al.*, 2005).

Dez anos depois da comunicação dos cientistas alemães, Agassiz (1841) descreveu o primeiro peixe fóssil das Américas, *Rhacolepis buccalis*, encontrado dentro de uma concreção coletada por Gardner (1841) também em Bom Jardim, quando este botânico escocês esteve no Brasil.

Silva-Santos (1950) foi quem primeiro utilizou o termo ‘ictiólito’ numa publicação brasileira para designar uma concreção calcária com restos fossilizados de peixes em seu interior, provavelmente baseando-se no termo ‘*ictioli*’ do trabalho de D’Erasmus (1938) sobre os peixes da Bacia do Araripe pertencentes ao acervo da Universidade de São Paulo. Weeks (1953) descreveu pela primeira vez ambientes onde o limo carbonático ambiental estivesse em contato com dióxido de carbono livre, facilitando a rápida precipitação de carbonato de cálcio em torno de um corpo que induzisse esta precipitação, formando posteriormente concreções calcárias. Camargo-Mendes (1960), tecendo considerações sobre as concreções calcárias elipsóides ocorrentes na porção cearense da Bacia do Araripe, teceu considerações sobre sua provável formação, baseando-se no trabalho de Weeks: “elas parecem ter-se formado durante a marcha da decomposição da matéria orgânica, tendo o carbonato de cálcio se concentrado na imediata vizinhança do fóssil, devido à alcalinidade gerada pela amônia despreendida”. Por isso esses ictiólitos têm a forma aproximadamente concordante com a do peixe que encerram”. Os ictiólitos da Bacia do Araripe são de origem singenética, ou seja depois de formadas as concreções, essas não sofreram alteração da composição mineralógica nem tão pouco, da forma geral que apresentavam quando foram formadas (Amaral, 1971).

Martill (1988), retomou o estudo da tafonomia das concreções da Bacia do Araripe, detalhando o modelo de formação dos ictiólitos, incluindo, como condição necessária, a existência de um ambiente hipersalino saturado por carbonatos e cálcio. Esse autor cunhou o termo 'efeito medusa' para designar esta preservação geologicamente instantânea (similarmente ao que ocorria com quem ousasse olhar diretamente nos olhos da Medusa, figura da mitologia grega que representa o irracional, rapidamente transformando-se em pedra), que considerou ter ocorrido nas concreções da Formação Romualdo. De sorte que este tipo de fossilização ocorre na Bacia do Araripe por uma feliz conjunção de fatores (Martill, 1989, 1990, 1994): abundância da fauna, mortandade, ambiente calmo, soterramento rápido e ausência de seres detritívoros e de pressão suficiente para achatar os cadáveres caídos no fundo sub-aquoso.

Utilizando o modelo de Martill (1988), Maisey (1988, 1991) também descreveu o processo de formação das concreções calcárias. Este autor acrescentou que o processo de formação da matriz calcária ocorre com mais rapidez do que a deposição da rocha hospedeira, impedindo a decomposição dos restos dos organismos e mantendo a forma tridimensional do corpo. No mesmo trabalho, esse autor expôs a relação existente entre o local de ocorrência das concreções e suas características morfológicas e litológicas, que pode ser assim sintetizada:

- na região de Santana do Cariri, verificou que as concreções são geralmente ovóides, em média com 25-30cm de comprimento e 16-18cm de largura, sendo alongadas no eixo maior do fóssil contido (cujas extremidades faltam), sem refletir a forma deste; a matriz é de cor creme, pouco laminada e de aparência granular, com ostracodes e/ou pequenos nódulos de argila ou de matéria orgânica;

- na área de Jardim, observou ictiólitos de maior porte do que em Santana, externamente avermelhados e de forma irregular, correspondendo ao contorno do fóssil contido, cujas extremidades são desgastadas, mostrando-o quase desenterrado da concreção e sem ossos comprimidos; os fósseis ocorrem em geral dispostos em posição transversal em relação à matriz bem laminada, que pode apresentar carapaças de ostracodes, fragmentos carbonizados de vegetais, pequenos cristais de pirita e de outros minerais de ferro, além de mostrar alto teor de argilas;

- na região de Missão Velha, constatou concreções também bastante grandes, arredondadas, com pirita junto aos fósseis, e matriz de laminação heterogênea, cinzenta, bastante densa, com restos de moluscos, crustáceos e dinoflagelados.

Viana (1998) analisou a composição de restos de peixes e concreções calcárias da Formação Romualdo, evidenciando que os restos de moluscos e ostracodes foram recristalizados como calcita rica em magnésio, manganês e ferro, mostrando uma composição química similar à da matriz. Medeiros (2004), sintetizou o conhecimento sobre as concreções calcárias da Bacia do Araripe, com base em alguns trabalhos anteriores. Mais recentemente, Fara *et al.* (2005) e Saraiva *et al.* (2005) investigaram a ocorrência de quase 500 concreções calcárias oriundas da Formação Romualdo nas regiões de Santana do Cariri e Crato, constatando feições características na distribuição, direção, forma e conteúdo das concreções encontradas em diferentes níveis da seqüência sedimentar estudada. Estes autores, de modo geral, observaram que as concreções de maior porte com orientação preferencial noroeste-sudeste, ocorrem nos níveis mais superiores da unidade, onde há maior abundância do peixe *Vinctifer comptoni*; e que nos níveis mais basais desta seqüência, os peixes mais freqüentes pertencem aos gêneros *Tharrhias* e *Cladocyclus*, ocorrendo em concreções de orientação norte-sul.

## **JUSTIFICATIVA**

As concreções calcárias da Bacia do Araripe são conhecidas mundialmente pela diversidade, abundância e excelência dos fósseis neles contidos. Dezenas de trabalhos têm sido publicados em diversos países sobre estas ocorrências, analisando seu conteúdo, interpretando o paleoambiente de deposição e sugerindo hipóteses relativas às diferentes formas de preservação. Entretanto, poucas investigações têm sido realizadas sobre as concreções propriamente ditas e com dados derivados diretamente de trabalhos de campo.

O conhecimento mais detalhado da imensa variedade destas concreções, tão abundantemente encontradas na superfície e nas escavações do entorno da Chapada do Araripe, poderá auxiliar no entendimento dos processos de fossilização e de diagênese ali atuantes.

## **OBJETIVOS**

O objetivo maior deste trabalho é apresentar classificações e descrições sobre os diversos tipos de concreções calcárias ocorrentes na Formação Romualdo e sua distribuição geográfica e estratigráfica que serão utilizadas em futuros estudos de estatística, geoquímica, tafonômicos, biogeográficos e interpretações paleoambientais a respeito da influência marinha nesta bacia.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho de sistematização foi realizado com base na observação direta de ravinas ocorrentes nos níveis de folhelho da Formação Romualdo e cinco escavações (Fig. 2) nesses níveis de onde foram coletadas 2304 concreções calcárias nos municípios de Santana do Cariri, Crato, Jardim, Porteiras e Missão Velha (Ceará), ao longo de seis anos (2001-2007). Esta observação sistemática, adaptada de Nobre & Carvalho (2004) teve os dados anotados em ficha de campo, como um número seqüencial para a peça coletada; o local de coleta com altitude e coordenadas geográficas; forma e dimensão da concreção; conteúdo, partes preservadas, tipo de preservação, dimensionalidade e posição do(s) fóssil(eis) na concreção; distância da concreção em relação ao topo da escavação, nível e mergulho da camada de ocorrência, e outras observações de interesse. Posteriormente, foi realizado um estudo estatístico para quantificar os principais tipos de estruturas calcárias encontradas e sistematização dos resultados encontrados, visando o estabelecimento de critérios de classificação e de uma terminologia adequada.

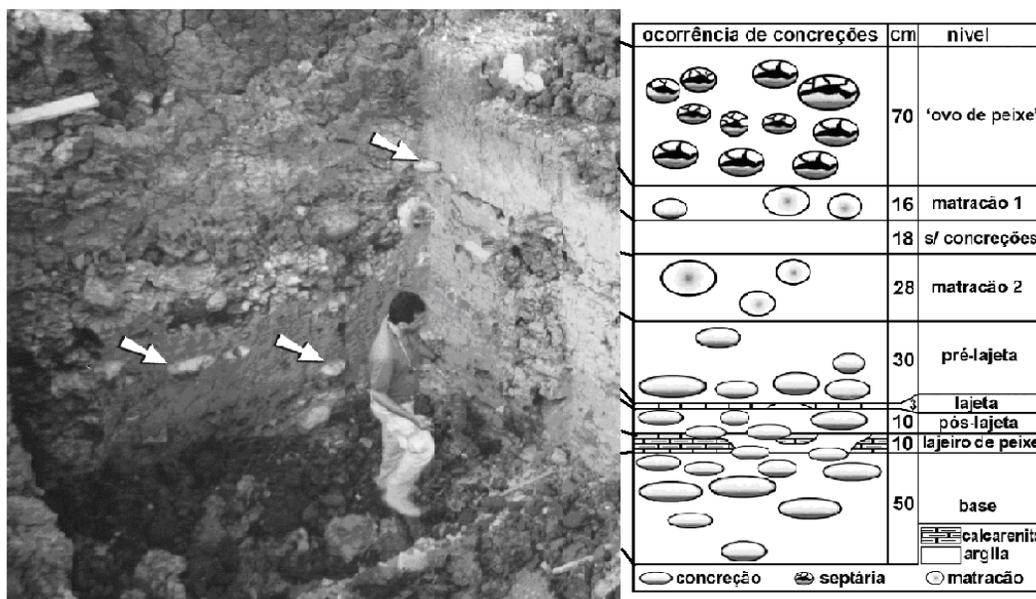


Figura 2: Escavação na Formação Romualdo (nível da camada superior de folhelhos) no município de Santana do Cariri, Ceará, com concreções calcárias sobressaindo ao corte (algumas delas indicadas por setas) e perfil esquemático correspondente.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das descrições e classificações das concreções calcárias encontram-se divididas nas seguintes categorias: número de espécimes por concreção, posição do macrofóssil na concreção, dimensionalidade do macrofóssil, relação matriz/macrofóssil, forma das concreções, estrutura e textura sedimentares.

Embora tenha sido observados na Formação Romualdo exemplares de peixes e de gimnospermas fora das concreções calcárias (mas pertencentes aos mesmos táxons ocorrentes nas concreções), estes espécimes foram aqui excluídos das classificações propostas a seguir, pois estas referem-se apenas a concreções. Ocorrem peixes fosfatizados em folhelhos (Fig. 3), como citou Viana (1998) e diversos organismos fósseis nos calcarenitos maciços, bem solidificados, de 10 a 20cm de espessura (Fig. 4), intercalados no folhelho, conhecidos vulgarmente como ‘matracão’ (Fara *et al.* 2005).



Figura 3: Restos de *Tharrhias sp.* preservados nos folhelhos da Formação Romualdo em Jardim (escala = 1cm).



Figura 4: Restos de *Brachyphyllum sp.* preservados em ‘matracão’ da Formação Romualdo provenientes da região do Crato (escala = 1cm).

Não foi possível estabelecer uma classificação por tamanho, considerando que, em todas as áreas observadas, as concreções variam de alguns centímetros a mais de um metro de comprimento, independente de nível sedimentar ou conteúdo fóssilífero. Entretanto, de um modo geral, as concreções de Santana do Cariri são as menores, as de Crato e Jardim são de porte intermediário, e as ocorrentes em Missão Velha (Ceará) e Canto Escuro (entre os municípios Jardim e Serrita, este em Pernambuco) são as maiores observadas até o momento em toda a Bacia do Araripe.

Em relação ao conteúdo fóssilífero encontrado nas concreções da Formação Romualdo, é preciso também considerar que na matriz que as compõem se encontram freqüentemente restos de ostracodes e, eventualmente, de pequenos gastrópodos e bivalvíos, foraminíferos e dinoflagelados, assim como fragmentos lenhosos e algálicos. Estes elementos ocorrem dispersos em qualquer tipo de concreção, independentemente do local de ocorrência.

#### Número de espécimes

Quanto ao número de macrofósseis presentes nas concreções calcárias, foram classificadas em três tipos (Fig. 5): (A) afossilíferas, que não mostram macrofósseis em seu interior; (B) unifossilíferas, com um espécime de macrofóssil em cada concreção (tipo mais comum); e (C) multifossilíferas, com dois ou mais espécimes de macrofóssil em cada concreção, sendo estas, mais freqüentes em Santana do Cariri e Nova Olinda. Nas escavações de Santana do Cariri foram retiradas 151 concreções, das quais 21 são multifossilíferas, comumente com representantes do gênero *Tharrhias*. Na escavação de Jardim, de 501 concreções encontradas, apenas duas são multifossilíferas, com *Rhacolepis* sp.

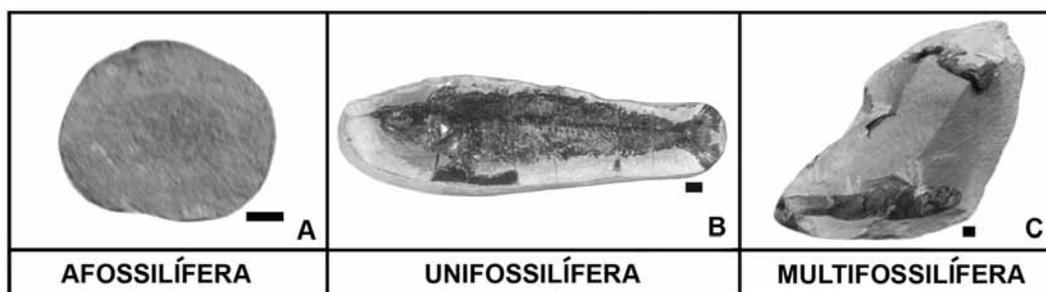


Figura 5: Tipos de concreções da Formação Romualdo quanto ao número de espécimes nelas encontrados: A = concreção afossilífera; B = concreção unifossilífera com *Notelops* sp.; C = concreção multifossilífera com *Rhacolepis* sp. (escala = 1cm).

### Posição do macrofóssil na concreção

Quanto à disposição dos exemplares fósseis nas concreções, é possível encontrá-los em um ou em diversos planos da laminação interna e também em relação à estratificação da rocha hospedeira.

Assim, observam-se macrofósseis nas seguintes posições (Fig. 6): (A) superiores, cujos espécimes ocorrem na parte de cima da concreção, respeitada a posição desta na rocha hospedeira; (B) medianos, com macrofósseis ocorrendo na região mediana da concreção; (C) inferiores, nas quais os espécimes se encontram na parte inferior da concreção em relação à rocha hospedeira; (D) transversais, quando os espécimes ocorrem em posição transversal à laminação interna da concreção; (E) paralelos, cujos exemplares (sempre mais de um) estão em diferentes planos paralelos entre si; e (F) dispersos, quando os macrofósseis (também sempre mais de um) estão em planos diferentes e aleatórios dentro da concreção.

Fósseis em planos paralelos são frequentes em Santana do Cariri, e concreções com organismos dispersos e em posição transversal são comuns em Jardim e Missão Velha.

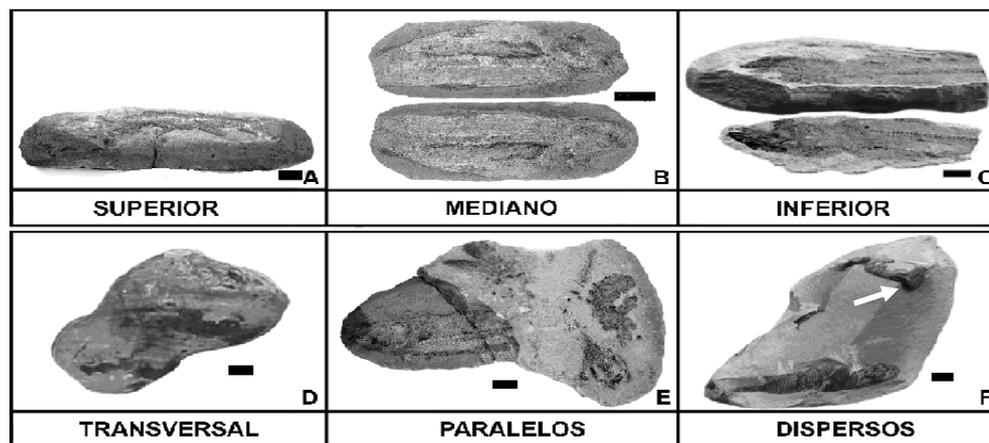


Figura 6: Tipos de concreções calcárias da Formação Romualdo quanto à posição dos macrofósseis na concreção (escala = 1cm).

### Dimensionalidade do macrofóssil

Independente de sua possível fragmentação, quanto à preservação da dimensão espacial do fóssil encontrado dentro das concreções calcárias da Formação Romualdo, pode-se ter macrofósseis (Fig. 7): (A) tridimensionais, quando preservados em forma bastante similar ao corpo do indivíduo durante sua vida; ou (B) comprimidos, com

espécimes achatados por pressão de depósitos sedimentares superiores e formação mais lenta da concreção (Suguio, 2003).

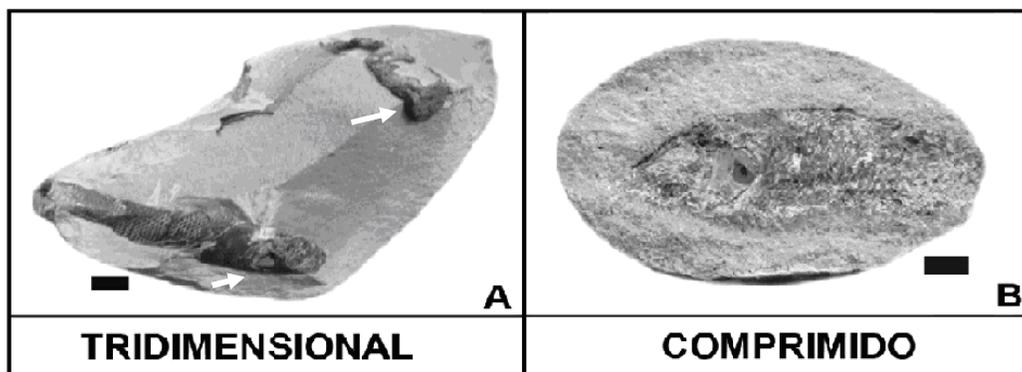


Figura 7: Classificação das concreções da Formação Romualdo quanto à dimensionalidade espacial de seus fósseis: A = fragmentos tridimensionais (*Rhacolepis sp.* indicado por setas); B = Comprimido (*Brannerion sp.*). (escala = 1cm).

De modo geral, os níveis mais superiores das escavações apresentam fósseis tridimensionais e os níveis mais inferiores, comprimidos. A espécie e o tipo da parte preservada também é fator determinante na preservação da dimensionalidade do fóssil. Esta característica pode estar associada à sobrecarga do pacote sedimentar sobreposto; assim as partes mais frágeis dos indivíduos são deformadas mais facilmente enquanto as partes duras se preservam melhor.

### **Relação matriz/macrofóssil**

As concreções calcárias da Formação Romualdo mostraram variações significativas no percentual entre a matriz calcária e o macrofóssil que contém, de modo que se pode classificá-las como (Fig. 8): (A) abundante, com a espessura da matriz equivalente à largura do espécime contido, envolvendo similarmente o fóssil em todas as direções (é freqüente na região de Missão Velha); (B) regular, quando a espessura da matriz é menor do que a largura do espécime contido, envolvendo similarmente o fóssil em todas as direções (são encontradas próximo ao Crato e Barbalha); (C) escassa, quando a espessura da matriz é igual à largura do espécime, acompanhando a silhueta deste (é característica na região de Jardim); e (D) curta, onde a matriz é abundante ou regular na largura e escassa no comprimento do espécime, de modo que as extremidades deste ficam aparentes (é comum em Santana do Cariri e Nova Olinda).

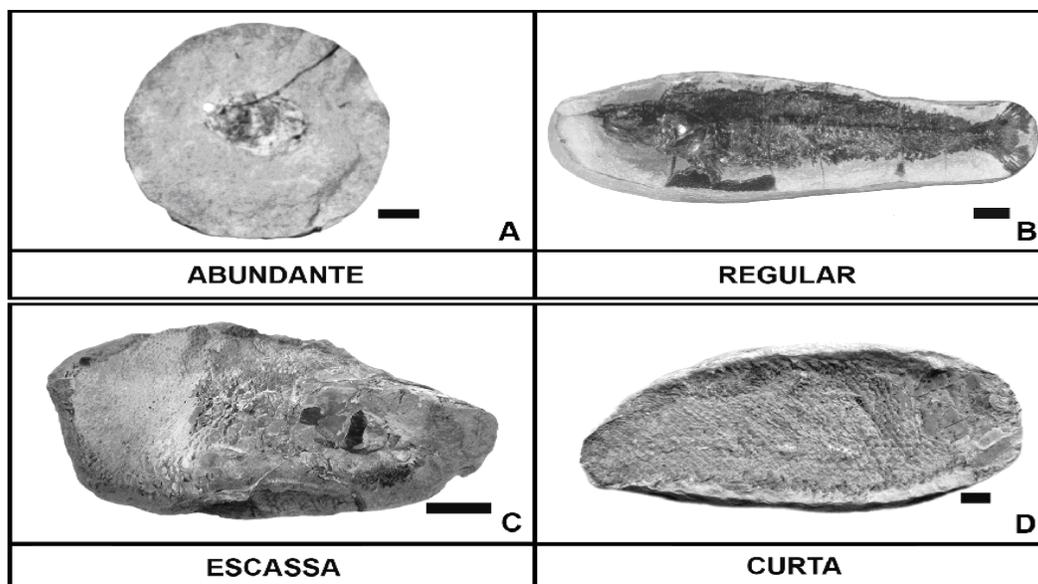


Figura 8: Tipos de concreções da Formação Romualdo quanto à quantidade de matriz: A = concreção com matriz abundante ao redor de um coprólito; B = concreção com matriz regular; C = concreção com matriz escassa em torno de um fragmento de peixe; D = concreção com matriz curta (escala = 1cm).

### Forma das concreções

De modo geral, concreções calcárias em folhelhos e margas são sub-esféricas ou achatadas, dispostas paralelamente ao acamamento da rocha hospedeira (Scoffin, 1987). Segundo este autor, a forma das concreções é influenciada pela permeabilidade direcional do sedimento original, o que explica porque os arenitos têm concreções mais arredondadas do que os folhelhos, onde elas são discóides.

Quanto à forma geral das concreções encontradas na Formação Romualdo, é possível classificá-las em quatro tipos (Fig. 9): (A) sub-esféricas, quando apresentam uma relação comprimento x largura (plano horizontal) x altura (plano vertical) bastante similar; (B) ovóides, com o comprimento maior do que a largura e a altura; (C) oval-alongadas, as que possuem o comprimento de três a seis vezes maior do que a largura, que em geral é maior do que a altura, sendo portanto uma concreção bastante achatada (é tipo mais comum nos níveis inferiores dos folhelhos da Formação Romualdo); e (D) irregulares, com forma variada conforme o seu conteúdoossilífero.

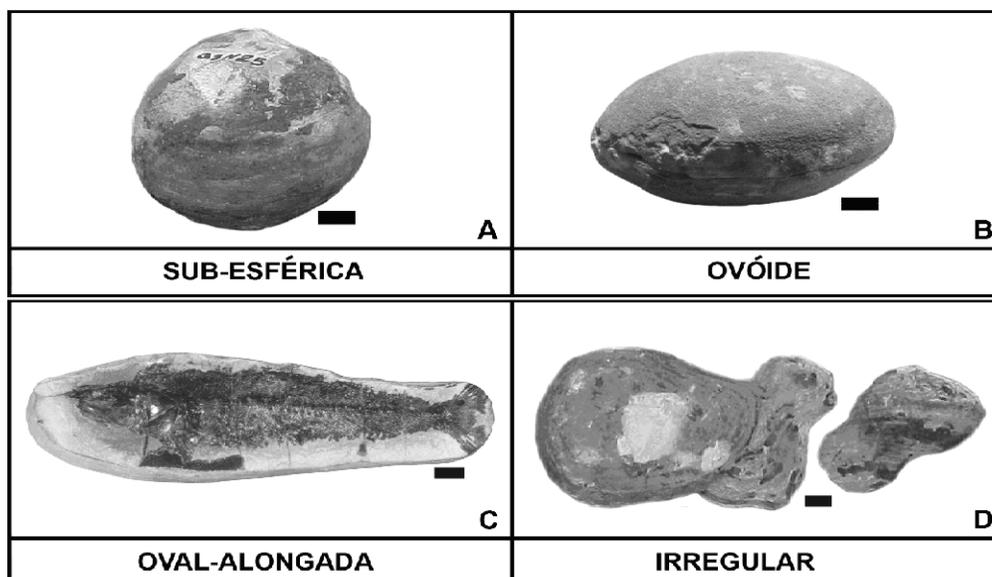


Figura 9: Classificação das concreções da Formação Santana quanto a sua forma geral: A = sub-esférica; B = ovóide; C = oval-alongada com *Notelops sp.*; D = irregulares (escala = 1cm).

### Estrutura e textura sedimentares

Segundo as estruturas de caráter sedimentar observadas na matriz calcária formadora das concreções da Formação Romualdo, estas podem ser classificadas em dois tipos (Fig. 10): (A) laminadas, mostrando uma laminação bem definida em toda a extensão da matriz da concreção, até junto ao macrofóssil; e (B) pouco laminadas, com a parte mais externa exibindo fraca laminação e a porção mais interna com aparência microcristalina.

O primeiro tipo é encontrado nas cores cinza ou creme com a superfície externa avermelhada pela presença de minerais de ferro, sendo comuns na região de Jardim e nos níveis superiores dos folhelhos aflorantes em Missão Velha. E as concreções pouco laminadas são geralmente de cor creme com pequenos nódulos de argila, de matéria orgânica ou ostracodes, sendo características na região de Santana do Cariri e Crato.

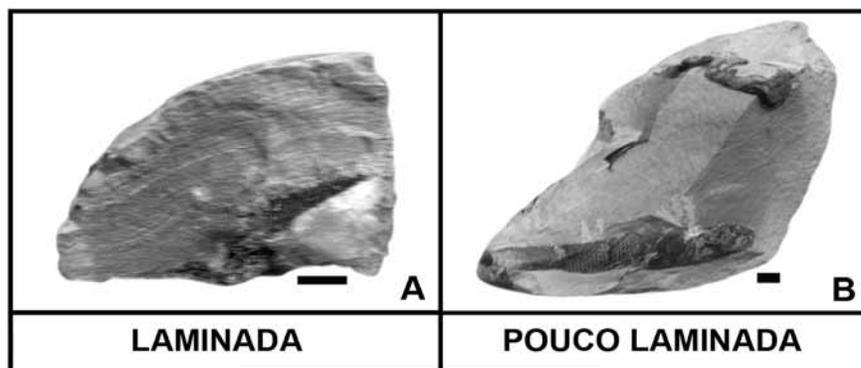


Figura 10: Tipos de concreções da Formação Romualdo quanto à laminação e textura internas da matriz: A = fragmento de concreção laminada; B = fragmento de concreção pouco laminada (escala = 1cm).

A porção mais interna da matriz calcária das concreções mostra também diferentes texturas sedimentares, de modo que as concreções podem ser classificadas em dois tipos conforme a textura: fina, com diminutos cristais minerais visíveis a olho nu (freqüentemente encontrada em Santana do Cariri e Crato); e muito fina, quando cristais minerais não são individualizados a olho nu, parecendo ser muito densa e mostrando em geral uma cor cinzento-esverdeada (freqüente em Missão Velha e Jardim).

Também se encontram nos folhelhos da Formação Romualdo um tipo peculiar de concreções, chamadas septárias, com gretas irregulares preenchidas por material secundário. São em geral sub-esféricas ou ovóides, ocorrendo na área de Jardim, com fósseis incompletos ou coprólitos (Maisey, 1991), e na região do Crato, Barbalha e Santana do Cariri, sendo estas freqüentemente multifossilíferas (Fig.11 A,B e C).

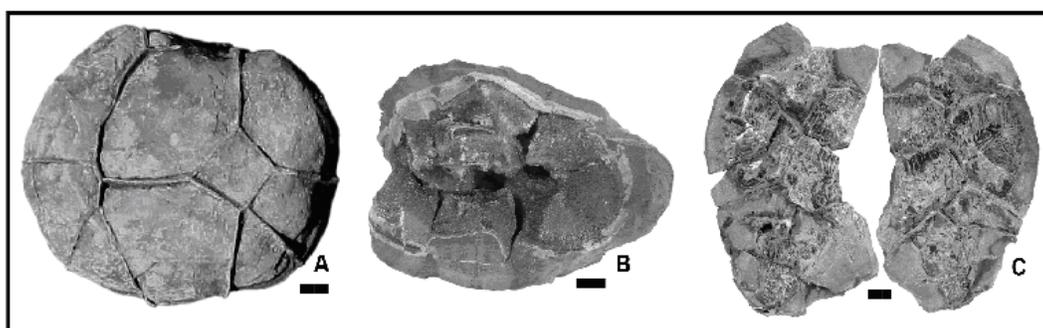


Figura 11: Concreções septárias da Bacia do Araripe da região do Crato, Ceará: A = aspecto externo; B = aspecto interno sem macrofósseis; C = aspecto interno com fragmentos de peixes (escala = 1cm).

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Embora as concreções sejam normalmente mais resistentes ao intemperismo do que a rocha hospedeira (Mabesoone, 1983), em alguns níveis das áreas escavadas foram encontradas cavidades no folhelho com restos de concreções, mostrando que essas sofreram desgaste antes do folhelho circundante (rocha matriz).

A forma mais comum de concreções encontradas na base dos folhelhos da Formação Romualdo é a oval-alongada, correspondendo à forma geral observada por Scoffin (1987) em sedimentos cuja permeabilidade é predominantemente horizontalizada, ainda que a forma do indivíduo contido na concreção também influa na forma geral desta (Martill, 1989). Outra variação da forma das concreções da Formação Romualdo na ocorre por fusão de concreções que resultam estruturas carbonáticas com formatos variados, ainda existe o caso de pequenas concreções de pirita que se encontram agregadas a essas concreções (Maisey, 1991).

A maioria dos macrofósseis preservados nas concreções da Formação Romualdo é fragmentada e/ou desarticulada, ainda que os que são ilustrados e depositados em coleções sejam completos (Fara *et al.*, 2005), o que favorece a falsa impressão de que a paleofauna da Bacia do Araripe é predominantemente formada por peças de excelente preservação (*e.g.* Lima, 1979; Martill, 1989; Viana, 1998) quando apenas cerca de 20% das concreções contendo peixes apresentaram espécimes completos.

Medeiros (2004) sugeriu que as concreções da Formação Romualdo tiveram origem singenética, contudo, no nível superior da camada de folhelhos à laminação das concreções não está em conformidade com a laminação do folhelho que as envolve. Essa curvatura da laminação do folhelho mostra um crescimento posterior da concreção depois de formada e encaixada na rocha matriz, sugerindo, portanto, origem epigenética. Essa observação é também apoiada pelo deslocamento do fóssil da parte central das concreções para a parte superior destas, tendo então, as concreções, crescido posteriormente para baixo.

Estes dados confirmam e ampliam as observações de Maisey (1991) sobre a distribuição dos diferentes tipos de concreção na Formação Romualdo na Bacia do Araripe e facilitam as interpretações advindas de trabalhos de escavações controladas com perfil em micro-escala.

## CONCLUSÃO

No estudo dos diversos tipos e da distribuição geográfica das concreções calcárias da Formação Romualdo na porção leste da Bacia do Araripe, é possível sugerir descrições e classificações que facilitem seu tratamento estatístico. As concreções com coprólitos são as mais numerosas, principalmente nos níveis intermediários da assembléia fossilífera e possuem forma sub-esférica, matriz abundante, fósseis na posição mediana e tridimensionais em todas as localidades pesquisadas. As concreções multifossilíferas e de forma irregular são mais freqüentes nos folhelhos basais na região de Santana do Cariri e Nova Olinda e as unifossilíferas e de matriz escassa nas localidades de Jardim. Em termos de estrutura e textura sedimentares observadas na matriz calcária, as concreções pouco laminadas e de textura muito fina são freqüentes nas áreas de Santana do Cariri e Nova Olinda e nas demais localidades as concreções apresentam laminação bem visível com textura fina. Para a disposição dos fósseis nas concreções, é possível encontrá-los em posição superior, mediana, inferior, transversal, dispersa ou em planos paralelos. As concreções multifossilíferas das áreas de Santana do Cariri e Nova Olinda apresentaram fósseis em planos paralelos com representantes do gênero *Tharrhias*. O percentual de matriz calcária em relação ao macrofóssil e a presença de cristais de calcita nas cavidades internas das concreções também foi bastante característico nas quatro áreas escavadas. Na localidade Serra do Mãozinha é notória a quantidade de concreções com matriz abundante e concreções septárias em todos os níveis da assembléia fossilífera (exceto o mais basal). Na localidade de Sobradinho e Romualdo, as concreções septárias só ocorrem no nível mais alto do perfil (última mortandade) e quando possuidoras de dimensões acima de 30cm de diâmetro. No Sítio Cana Brava todas as concreções do nível mais alto eram do tipo septária e não septárias para os outros níveis. Para os outros níveis e localidades, de acordo com suas características, as concreções da Formação Romualdo no leste da bacia podem indicar sua região de origem: concreções laminadas de textura muito fina, com matriz escassa, são comuns em Jardim e Porteiras; concreções pouco laminadas com textura fina são características de Santana do Cariri e Nova Olinda (se com matriz curta) ou do Crato e Barbalha (se com matriz regular).

Por todas as observações aqui relacionadas sobre os diversos tipos de concreções calcárias ocorrentes na Formação Romualdo, na porção leste da Bacia do Araripe e sua distribuição geográfica, é possível adotar uma sistematização terminológica em suas descrições. Isto poderá fomentar um melhor entendimento dos processos de fossilização

envolvidos, assim como facilitar estudos geoquímicos e estatísticos futuros que, se integrados, podem fornecer uma nova visão sobre o cenário de deposição dessa unidade estratigráfica.

### **Agradecimentos**

Nossos melhores agradecimentos ao apoio financeiro oferecido pelo Museu Nacional da UFRJ, na pessoa do Dr. Alexander Wilhelm Armin Kellner, e pela Fundação Araripe, na pessoa de seu presidente, Dr. Pierre Maurice Gervaiseau. Agradecemos também ao prestimoso auxílio na solução de diversas questões sedimentológicas, paleontológicas e geoquímicas aos professores da UFPE Dra. Lúcia Maria Mafrá Valença, Dr. Mário Barletta, Dr. Sílvio José de Macêdo e Dra. Sônia Maria Oliveira Agostinho.

### **Referências bibliográficas**

- Agassiz, J.L.R. 1841. On the fossil fishes found by Mr. Gardner in the province of Ceara, in the north of Brazil. *Edinburgh New Philosophical Journal*, Edinburgh, 30: 82-84.
- Amaral, S.E. 1971. Geologia e petrologia da Formação Irati (Permiano) no Estado de São Paulo. *Boletim de Geociências*, São Paulo, 2: 3-81.
- Antunes, M.T., Balbino, A.C. & Freitas, I. 2005. Early (18th century) discovery of Cretaceous fishes from the Chapada do Araripe, Ceará, Brazil: Specimens kept at the 'Academia das Ciências de Lisboa' Museum. *Comptes Rendus Palevol*, Amsterdam, 4(4): 375-384.
- Arai, M., Coimbra, J.C. & Telles Jr, A.C.S. 2001. Síntese bioestratigráfica da Bacia do Araripe (nordeste do Brasil). In: DNPM/URCA/SBP, *Simpósio sobre a Bacia do Araripe e Bacias Interiores do Nordeste*, 2 [1997], Crato, *Comunicações*: 109-117.
- Assine, M. L. 1992. Análise estratigráfica da Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, Curitiba, 22 (3) : 289 – 300.
- Baird, G.C., Sroka, S.D., Shabica, C.W. & Kuecher, G.J. 1986. Taphonomy of Middle Pennsylvanian Mazon Creek area fossil localities, northeast Illinois: Significance of exceptional fossil preservation in syngenetic concretions. *Palaios*, Oslo, 1(3): 271-285.
- Berner, R.A. 1968. Calcium carbonate concretions formed by the decomposition of organic matter. *Science*, New York, 159: 195-197.

- Beurlen, K. 1963. Geologia e estratigrafia da chapada do Araripe. *In: SBG, Congresso Nacional de Geologia, 17, Recife, Anais: 1-47.*
- Beurlen, K. 1964. As espécies dos Cassiopinae, nova subfamília dos Turriteliidae no Cretáceo do Brasil. *Arquivos de Geologia da UFPE, Recife, 5: 1-43.*
- Brito, P.M. & Séret, B. 1996. The new genus *Iansan* (Chondrichthyes, Rhinobatoidea) from the Early Cretaceous of Brazil and its phylogenetic relationships. *In: G. Arratia & G. Viohl (eds) Mesozoic Fishes: Systematics and Paleoecology. München, Friedrich Pfeil: 47-62.*
- Brito, P.M. & Martill, D.M. 1999. Discovery of a juvenile coelacanth in the Lower Cretaceous, Crato Formation, Northeastern Brazil. *Cybium, Paris, 23(3): 209-211.*
- Bruno, A.P.S. & Hessel, M.H. 2006. Registros paleontológicos do Cretáceo marinho na Bacia do Araripe. *Estudos Geológicos, Recife, 16: 15-34.*
- Camargo-Mendes, J. 1960. *Introdução à Paleontologia. 1ª ed., Rio de Janeiro, Instituto Nacional do Livro, 382p.*
- Campos, D.A. & Kellner, A.W.A. 1985. Panorama of the Flying Reptiles Study in Brazil and South America. *Anais da Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro, 57 : 453-466*
- D'éramo, G. 1938. Ittiliotti Cretacei del Brasile. *Atti de la Reale Accademia delle Scienze i Matematiche, Napoli, 1(3): 1-41.*
- Duarte, L. 1986. Vegetais fósseis da chapada do Araripe, CE. *Coletânea de Trabalhos Paleontológicos [Série Geologia, DNPM], Brasília, 27: 557-563.*
- Fara, E., Saraiva, A.A.F., Campos, D.A., Moreira, J.K.R., Siebra, D.C. & Kellner, A.W.A. 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, Amsterdam, 218(1-2): 145-160.*
- Gardner, G. 1841. Geological notes made during a journey from the coast into the interior of the Province of Ceara, in the North of Brazil, embracing an account of a deposit of fossil fishes. *Edinburgh New Philosophical Journal, Edinburgh, 30: 75-82.*
- Kellner, A.W.A. 1996. Fossilized theropod soft tissue. *Nature, London, 32: 379.*

- Lima, M.R. 1979. Paleontologia da Formação Santana (Cretáceo do nordeste do Brasil): estágio atual do conhecimento. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, 51(3): 545-546.
- Lopes, M.M. & Silva, C.P. 2003. Investigações em História Natural no Ceará: os estudos do naturalista João da Silva Feijó (1760-1824). *Revista de Ciências Humanas*, Taubaté, 9(1): 69-75.
- Mabesoone, J.M. 1983. *Sedimentologia*. 2ª ed., Editora Universitária [UFPE], Recife, 475p.
- Maisey, J.G. 1988. Diagenetic features and the origin of calcareous concretions from the Santana Formation (NE Brazil). *Journal of Vertebrate Paleontology*, Lawrence, 8: 21A.
- Maisey, J.G. (ed.) 1991. *Santana fossils, an illustrated atlas*. Neptune City, Tropical Fish Hobby's Publications, 459p.
- Martill, D.M. 1988. Preservation of fish in the Cretaceous Santana Formation of Brazil. *Palaeontology*, Menasha, 31(1): 1-18.
- Martill, D.M. 1989. The Medusa effect: Instantaneous fossilization. *Geology Today*, London, 5(6): 201-205.
- Martill, D.M. 1990. Macromolecular resolution of fossilized muscle tissue from an eopomorph fish. *Nature*, London, 346: 171-172.
- Martill, D.M. 1994. La fossilization instantanée. *La Recherche*, Paris, 269(25): 996-1002.
- Medeiros, M.A. 2004. Fossildiagênese. In: I.S. Carvalho (ed.) *Paleontologia 1*, 2ª ed., Rio de Janeiro, Interciência: 47-59.
- Menor, E.A., Cavalcanti, V.M.M. & Sena, R.B. 1993. Os eventos evaporíticos da Formação Santana, Bacia do Araripe, nordeste do Brasil. *Revista de Geologia*, São Paulo, 6: 93-103.
- Neumann, V.H.M.L. 1999. Estratigrafía, sedimentología, geoquímica y diagénesis de los sistemas lacustres aptiense-albienses de la Cuenca de Araripe (Noreste de Brasil). Tese de doutorado, Universidad de Barcelona, Barcelona, 250p.
- Nobre, G.S. 1978. *João da Silva Feijó: um naturalista no Ceará*. Gráfica Editorial Cearense, Fortaleza. 256p.
- Nobre, P.H. & Carvalho, I.S. 2004. Fósseis: coleta e métodos de estudo. In: I.S. Carvalho (ed.) *Paleontologia 2*, 2ª ed., Rio de Janeiro, Interciência: 27-42.
- Pettijohn, F.J. 1957. *Sedimentary rocks*. 2ª ed. Harper, New York, 234p.

- Pinheiro, R. & Lopes, M.M. 2002. João Silva Feijó (1760-1824) no Ceará: um elo entre a ilustração luso-brasileira e a construção local das ciências. *In: Universidade de Évora, Congresso Luso-brasileiro de História da Ciência e da Terra [2001], Évora, Actas: 160-172.*
- Price, L.I. 1959. Sobre um crocodilídeo notossuquio do Cretácico brasileiro. *Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia (DNPM), Rio de Janeiro, 188, 1- 55.*
- Price, L.I. 1973. Quelônio Amphichelydia no Cretáceo Inferior do Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências, 3: 84-96.*
- Rogers, R.R., Arcucci, A.B., Abdala, F., Sereno, P.C., Forster, C.A. & May, C.L. 2001. Paleoenvironment and taphonomy of the Chañares Formation tetrapod assemblage (Middle Triassic), Northwestern Argentina: Spectacular preservation in volcanogenic concretions. *Palaios, Oslo, 16: 461-681.*
- Saraiva, A.A.F., Rodrigues, S.R.G. & Kellner, A.W.A. 2003. Partes vegetativas de carófitas fossilizadas no Membro Romualdo (Albiano, Formação Santana), Bacia do Araripe, nordeste brasileiro. *Boletim do Museu Nacional, Rio de Janeiro, 70: 5-8.*
- Saraiva, A.A.F., Silva, P.E.M., Moreira, J.K.R., Fara, E., Guerra, N.C. & Kellner, A.W.A. 2005. Escavações paleontológicas do Membro Romualdo, Formação Santana (Bacia Sedimentar do Araripe), Nordeste do Brasil, na localidade tipo Romualdo, Crato, Ceará, Brasil. *In: UFRJ, Congresso Latino-americano de Paleontologia de Vertebrados, 2, Rio de Janeiro: 244-245.*
- Schieber, J. 2002. The role of an organic slime matrix in the formation of pyritized burrow trails and pyrite concretions. *Palaios, Oslo, 17: 104-109.*
- Scoffin, T.P. 1987. *An introduction to carbonate sediments and rocks.* Chapman & Hall, New York, 274p.
- Silva-Santos, R. 1950. *Anaedopogon, Chiromystus e Ennelichthys* como sinônimos de *Cladocyclus*, da família Chirocentridae. *Anais da Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro, 22(1): 123-138.*
- Suguio, K. 2003. *Geologia sedimentar.* Edgard Blücher, São Paulo, 400p.
- Viana, M.S.S. 1998. Diagenetic influence on the preservation of biomineralized tissues of fishes from the Brazilian Cretaceous. *In: IAS, International Sedimentological Congress, 15, Alicante, Expanded Abstracts: 797-799.*
- Von Spix, J.B. & von Martius, C.F.P. 1823-1831. *Reise in Brasilien.* 3 vol., München, 412p.
- Weeks, L.G. 1953. Environment and mode of origin and facies relationship of carbonate

concretions in shales. *Journal of Sediment Petrology*, New York, 23(3): 162-173.

Weeks, L.G. 1957. Origin of carbonate concretions in shales, Magdalena Valley, Colombia. *Bulletin of the Geological Society of America*, Washington D.C., 66: 95-102.

## **II CAPÍTULO**

### **CONCREÇÕES CALCÁRIAS DA FORMAÇÃO ROMUALDO, LESTE DA BACIA DO ARARIPE: UMA VISÃO PALEOAMBIENTAL**

## **CONCREÇÕES CALCÁRIAS DA FORMAÇÃO ROMUALDO, LESTE DA BACIA DO ARARIPE: UMA VISÃO PALEOAMBIENTAL**

Antônio Álamo Feitosa Saraiva<sup>1</sup>

Núbia Chaves Guerra<sup>2</sup>

Emmanuel Fara<sup>3</sup>

Alcides Nóbrega Sial<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Ciências Biológicas, URCA, Crato, bolsista da FUNCAP, alamocariri@yahoo.com.br

<sup>2</sup> Departamento de Oceanografia, UFPE, Recife, nschaves@ufpe.br

<sup>3</sup> Biogéosciences, Université de Bourgogne, Dijon, França, emmanuel.fara@u-bourgogne.fr

<sup>4</sup> Departamento de Geologia, NEG-LABISE, UFPE, Recife, sial@ufpe.br

## RESUMO

O presente trabalho trata de um estudo paleoecológico a partir da análise em amostras de concreções calcárias coletadas em quatro escavações controladas, efetuadas em pontos estratégicos da Bacia do Araripe, onde as camadas mais superiores da Formação Romualdo afloram na porção leste, mais precisamente nas localidades dos Sítios: Cana Brava (Santana do Cariri), Romualdo (Crato) e Sobradinho (Jardim) e Serra do Mãozinha (Missão Velha). A seqüência sedimentar é composta por níveis de folhelhos intercalados por calcários e calcarenitos contendo concreções calcárias, geralmente fossilíferas, mostrando-se mais espessos na área sul e leste da região estudada. Observou-se que as concreções sub-esféricas, ovóides e septárias, com abundância de envelope envoltório, são mais freqüentes nas camadas mais superiores da seqüência, enquanto as comprimidas, oval-alongadas ou irregulares, encontram-se nos estratos mais profundos. As concreções com cristais de calcita nas gretas septárias ou na cavidade de peixes fossilizados são dominantes no ponto mais meridional (Serra do Mãozinha), sendo raras ou incomuns nas demais áreas. As concreções com envoltório espesso e abundante geralmente preservam fósseis tridimensionais, e as com envoltório menos espesso mostram fósseis comprimidos. Nove diferentes gêneros de peixes Actinopterygii foram reconhecidos: *Araripichthys*, *Brannerion*, *Calamopleurus*, *Cladocyclus* (com maior distribuição espacial e temporal), *Neoproscinetis*, *Notelops*, *Rhacolepis* (comuns em toda a área), *Tharrhias* (comum em toda a área), *Vinctifer* (predominante por ocorrer em maior número quando relacionado à quantidade de exemplares coletados) e o Actinistia *Mawsonia* (apenas na Serra do Mãozinha). A paleoictiofauna encontrada mais a oeste, no Sítio Cana Brava, é bastante diferente das demais áreas, com predomínio de *Tharrhias* e maior número de fósseis nas camadas mais profundas. Nas áreas mais a leste da bacia, nos Sítios Romualdo e Sobradinho e na Serra do Mãozinha, encontram-se dois grupos dominantes de peixes: nos estratos mais profundos são observados os gêneros litorâneos costeiros *Calamopleurus* e *Cladocyclus*; e nos mais superficiais, os gêneros francamente marinhos *Rhacolepis* e *Vinctifer*, o que sugere uma variação ambiental com indício de transição entre os mesmos e épocas diferentes de ocorrência. As espessas camadas de folhelhos com matéria orgânica abundante, peixes de maior porte e concreções mais escuras ocorrentes na área meridional estudada, sugerem deposição em águas mais profundas, enquanto as de menor espessura contendo fósseis de peixes de menor porte, em geral fragmentados das áreas setentrionais (Sítios Cana Brava e Romualdo), indicam uma sedimentação em

águas mais rasas. Os possíveis eventos de mortandade de peixes ocorridos durante a deposição da Formação Romualdo podem ter sido resultantes da brusca variação de salinidade ou da desoxigenação em águas turvas e conseqüente “bloom” de microorganismos.

**Palavras-chave:** Concreções Calcárias, Eocretáceo, Paleoecologia, Formação Romualdo , Araripe.

## ABSTRACT

This work presents a paleoenvironmental analysis based on sedimentary samples at four controlled excavations in strategic points of the Araripe Basin, on the upper Romualdo Formation collected in Cana Brava (Santana do Cariri), Romualdo (Crato), Sobradinho (Jardim) and Serra do Mãozinha (Missão Velha) farms. The sedimentary sequence is composed by shale intercalated by limestone and calcarenite with fossiliferous calcareous concretions, thickness in the south and east of the studied area. The sub-spherical, ovoid, and septarian concretions composed by large matrix are more frequent in upper sequence, while the compressed ones are in the deepest strata. Concretions with calcite crystals in the septarian or in the cavity of fossilized fish are dominated in the Serra do Mãozinha farm, being rare or uncommon in the other areas. The concretions with thick and abundant matrix usually preserve three-dimensional fossils, and with scarce matrix, they show compressed fossils. Nine genera of Actinopterygii fishes were recognized: *Araripichthys*, *Brannerion*, *Calamopleurus*, *Cladocyclus* (with larger spatial and temporal distribution), *Neoproscinetis*, *Notelops*, *Rhacolepis* (common), *Tharrhias* (common), *Vinctifer* (abundant in all sites) and *Actinistia Mawsonia* (only reported in the Serra do Mãozinha site). The paleofauna found more to west, in the Cana Brava farm, is more different from the other sites. *Tharrhias* is predominantly abundant in the oldest strata. In Romualdo, Sobradinho and Serra do Mãozinha sites occurs the predominance of two groups of fish. In the oldest strata, the coastal genera *Calamopleurus* and *Cladocyclus* are predominant; and in the top of the sequence, most recent strata, the marine genera, *Rhacolepis* and *Vinctifer* are the dominant genera. This fact suggests a variation in the environmental and transition of the climate conditions with deposition in different epochs. The thick shales with organic matter, larger fishes, and darker concretions that occur in the southern studied area, indicates a deposition in deeper waters, the strata of thickness shale and smaller fragmented fishes, situated at Cana Brava and Romualdo sites, suggest a deposition in the shallower waters. The fishes mortality will be associated to a modification of the water during deposition of the Romualdo formation that influenced on variation of abrupt salinity or by the deoxygenating of the cloudy waters associated to a microorganism bloom.

**Key words:** Carbonate Concretions, Late Cretaceous, Paleoecology, Romualdo Formation, Araripe, Ceará.

## INTRODUÇÃO

Durante o Cretáceo Médio (Aptiano-Albiano), a cerca de 105 Milhões de anos (Ma), a placa do continente africano e a da América do Sul encontravam-se em processo de separação pela tectônica, e o Atlântico Sul, estava em formação (Arai *et al.*, 2001). A costa leste da América do Sul encontrava-se, em boa parte, inundada, e a deriva continental em curso. Estas características provocaram alterações no relevo, nos processos de formação de rochas e na deposição sedimentar, bem como nas condições climáticas e ambientais e conseqüentemente, na biota (Maisey, 1991).

Contemporaneamente à deriva continental, desenvolviam-se pequenas bacias sedimentares, resultantes dos esforços tectônicos sobre o continente, nas quais se acumulavam águas marinhas e continentais, e onde se proliferava grande diversidade biológica, na qual, se destacavam os peixes. Muitos gêneros destes organismos natantes mostram estreita relação com formas jurássicas que viviam no Atlântico Norte (Maisey & Moody, 2001), sugerindo que esta fauna transitava naturalmente entre este oceano e as lagunas do continente. Dentre estas lagunas, podem ser citadas as que formam hoje em dia os depósitos sedimentares das bacias do Araripe (objeto deste estudo), de Grajaú e do São Francisco.

No Albiano, aparentemente estas conexões se estenderam até a Venezuela (Moody & Maisey, 1994) e na Bacia do Araripe em especial, verificou-se acentuado índice de macro-evolução entre as populações de peixes ósseos e cartilagosos, dinossauros, pterossauros, artrópodos e moluscos, além do surgimento de numerosos novos táxons (Carvalho & Santos, 2005).

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). Com cerca de 12.000km<sup>2</sup>, sendo considerada a maior bacia sedimentar do interior do nordeste brasileiro (Neumann, 1999).



estrutura espaço-temporal destas assembléias fossilíferas para o melhor entendimento de diversas questões paleoambientais.

Entretanto, o estudo paleontológico tem sido dificultado tanto pela ausência de dados geográficos e estratigráficos precisos das peças enviadas a especialistas que estão depositadas em museus ou coleções particulares que limitam a análise das amostras (*e.g.* Mabesoone & Tinoco, 1973; Wenz & Brito, 1990; Maisey, 1991 e Viana, 2001). Esta situação compromete possíveis inferências paleoecológicas e paleogeográficas relativas à quantificação e distribuição das espécies, assim como sua posição estratigráfica.

## **OBJETIVOS**

- Verificar as diferenças estratigráficas significativas entre as diversas áreas de ocorrência das concreções calcárias da Formação Romualdo, considerando a heterogeneidade na distribuição dos organismos e dos tipos de concreções.
- Descrever as diferenças tafonômicas existentes entre os vários níveis e as diversas localidades de ocorrência das concreções.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

Para a realização da presente investigação, foram realizadas quatro escavações em localidades (Fig.2) onde a Formação Romualdo aflora com reconhecida abundância de concreções fossilíferas:

- ponto P1: nas coordenadas 24M 0420675 UTM 9206178, Sítio Cana Brava, Município de Santana do Cariri;
- ponto P2: nas coordenadas 24M 0456887 UTM 9193903, Distrito Romualdo, Município de Crato (Fig.3);
- ponto P3: nas coordenadas 24M 0473654 UTM 9162393, Distrito de Sobradinho, Município de Jardim;
- ponto P4: nas coordenadas 24M 0489332 UTM 9186135, na Serra do Mãozinha, Município de Missão Velha.



Figura 3: Escavação no nível 2 do Sítio Romualdo, município do Crato, Ceará.

Em cada um destes pontos, foi elaborado um detalhado perfil estratigráfico. Foram também traçados quadrantes de  $1\text{m}^2$  para análise do posicionamento das concreções ao longo do perfil estratigráfico e análise da distribuição no espaço-tempo, através da medida das dimensões e do azimute das concreções.

Posteriormente, foi efetuada a abertura das concreções encontradas para identificação do material contido, do número de espécimes ocorrentes, de sua posição na concreção, do tipo de preservação, das características da matriz, da relação matriz/fóssil e da forma geral da concreção, acrescentando a observação se são septárias ou não.

Os parâmetros, aqui utilizados para fins estatísticos, estão de acordo com a classificação proposta por Saraiva *et al.* (2007).

A avaliação de semelhança das informações relativas às concreções e fósseis foi efetuada através do método de Análise de Componentes Principais (PCA), descrito por Silva *et al.* (2005). Neste método, os autovetores da matriz são denominados ‘pesos’ e indicam a contribuição na composição de novos eixos chamados Componentes Principais (PC) e os autovalores representam a variância dos autovetores. O primeiro autovetor, ou seja a primeira componente principal (PC1) representa um eixo onde os pontos existentes (ou objetos), representados por um sistema de coordenadas positivas e negativas, possuem máxima variância. A segunda componente principal (PC2), ortogonal a PC1, representa o eixo de maior variância não explicada pelo primeiro autovetor.

Para os testes dos dados estatísticos sobre a orientação das concreções foi utilizado o teste *Mardis-Watson-Wheeler* descrito por Mardia & Jupp (2000).

As amostras também foram analisadas em espectrômetro de massa SIRA II para determinação dos valores isotópicos ( $^{13}\text{C}$  e  $\delta\text{O}^{18}$ ) para interpretação paleoambiental, no laboratório NEG-LABISE da UFPE.

## **DESCRIÇÃO DA SEQÜÊNCIA ESTRATIGRÁFICA**

A Bacia do Araripe é formada por uma seqüência sedimento-estratigráfica delimitada ao norte pelo lineamento Patos e ao sul pela falha de Farias Brito, depositada ao longo de quase 50 Ma (Brito, 1990).

Calcários laminados (Formação Crato), estratos de gipsita e folhelhos pirobetuminosos (Formação Ipubi), folhelhos e arenitos finos (Formação Romualdo) compõem o Grupo Santana. A Formação Romualdo corresponde ao antigo Membro Romualdo da Formação Santana (Beurlen, 1971), tendo sido elevada à categoria de Formação e a unidade Santana a categoria de grupo por ser a unidade Romualdo mapeável na escala 1:25.000, um dos critérios para tal classificação (Neumann, 1999). É constituída predominantemente por camadas pelíticas, com folhelhos escuros e arenitos calcíferos esbranquiçados, estes mais freqüentes no topo e considerada como de idade albiana (Menor *et al.*, 1993). Com aproximadamente 60m de espessura, ocorrem os depósitos pertencentes à Formação Romualdo. Esta unidade sobrepõe-se aos arenitos e folhelhos escuros que recobrem os depósitos de gipsita e anidrita da Formação Ipubi, que por sua vez, é sobreposta por siltitos avermelhados da Formação Arajara (Fig. 4).

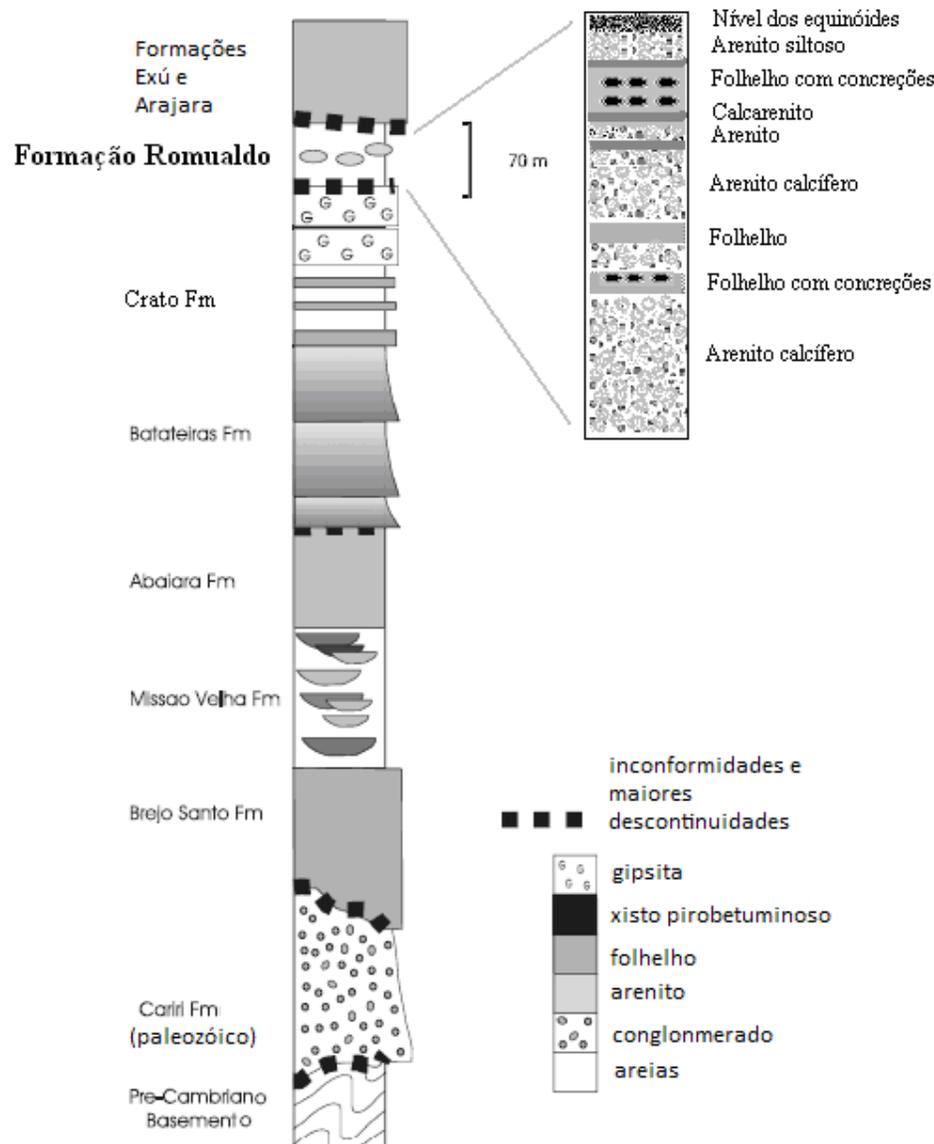


Figura 4: Coluna estratigráfica da Bacia Sedimentar do Araripe com destaque para a Formação Romualdo.

Os fósseis encontrados na Formação Romualdo são representados predominantemente por peixes Actinopterygii como os gêneros: *Araripelepidotes*, *Brannerion*, *Calamopleurus* e *Notelops* considerados peixes tolerantes a variações de salinidade (Maisey, 1991).

*Vinctifer*, *Tharrhias* e *Rhacolepis*, reconhecidos como marinhos litorâneos (Bruno & Hessel, 2006); e os Actinistia *Axelrodichthys* e *Mawsonia* como não marinhos (Brito & Martill, 1999).

Graças à excelente preservação, variedade e abundância dos fósseis, Maisey (1994), baseado em evidências diretas (conteúdo estomacal e estruturas branquiais) fez

inferências sobre a teia alimentar de alguns peixes da Formação Romualdo. Segundo este autor, de oito gêneros investigados, a maioria são carnívoros com exceção do *Vinctifer*, que é herbívoro filtrador.

Nas concreções que são encontradas nesta formação ocorrem peixes condrícties como os dos gêneros *Iansan* e *Tribodus* (Brito & Séret, 1996); vertebrados, cujos fragmentos são representados por dinossauros terópoda (Kellner, 1996), pterossauros (Kellner, 2006), crocodilomorfos e quelônios (Maisey, 1991); bem como restos de moluscos (Beurlen, 1963 e 1964), ostracodes e foraminíferos (Lima, 1979), vegetais superiores (Duarte, 1986) e algas (Saraiva *et al.*, 2003).

Inseridas em algumas camadas de folhelhos, próximo ao contato com a Formação Arajara, ocorrem concreções calcárias contendo microfósseis tridimensionais preservados, o que é bastante raro no registro geológico. Por esta situação, esta Formação é considerada, também, um excepcional sítio paleontológico tanto pelo excelente estado de preservação como pela diversidade de fósseis.

As concreções da Formação Romualdo aparentemente sofreram pouca influência do tectonismo e do intemperismo regional, apesar de se notar deformações nas rochas encaixantes.

O efeito da tectônica é observado nas frentes de lavras de gipsita em Santana do Cariri e nos afloramentos dos sedimentos da Formação Romualdo (Fig.5). A atividade tectônica causou abrupta variação no relevo que pode ter afetado a biota associada à bacia.

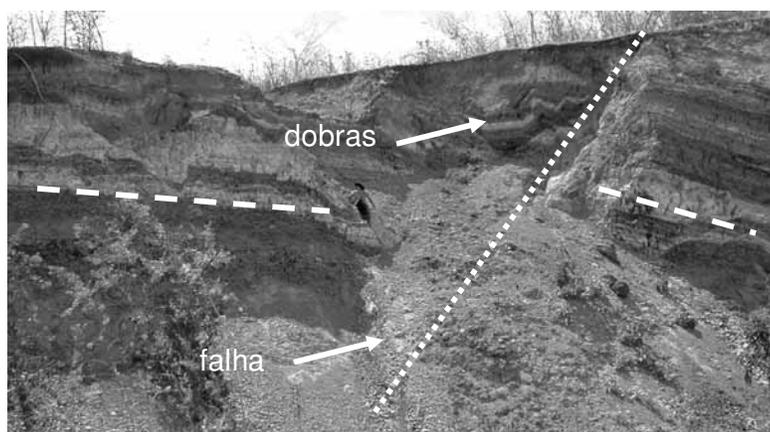


Figura 5: Afloramento da Fm. Romualdo mostrando folhelhos intercalados com arenitos com dobras (setas) e camadas inclinadas (linhas tracejadas) indicando tectonismo na bacia (foto Gelson Fambrini).

Weeks (1953), propôs um modelo para explicar a formação de concreções calcárias em folhelhos. Camargo-Mendes (1960), baseando-se neste modelo considerou que a origem dos ictiólitos da Formação Romualdo estava relacionado ao seguinte processo: “a amônia emanada por um cadáver de peixe no fundo de um corpo d’água causaria a precipitação de carbonato de cálcio ao redor do corpo semi-decomposto”.

Martill (1988) detalhou este processo de fossilização e elencou as condições ambientais necessárias para que os ictiólitos se formassem, ou seja, o ambiente teria que apresentar: salinidade e pH altos, disponibilidade de cálcio e gás carbônico, sedimento de fundo fino e com óxido de ferro, ausência de seres detritívoros e ambiente anóxico com baixa energia.

As concreções da Formação Romualdo são compostas basicamente por carbonato de cálcio e uma fração menor de fosfato de cálcio (hidroxi-apatita), esta mais presente no fóssil (Lima *et al.*, 2007).

Praticamente no entorno de toda a Chapada do Araripe, aproximadamente na cota de 680 m, é possível encontrar concreções calcárias da Formação Romualdo, tanto no sul do Estado do Ceará como no noroeste de Pernambuco e leste do Piauí. Entretanto, as concreções mais abundantes, mais estudadas e longamente conhecidas, são as que foram encontradas em escavações de cerca de 6 m de profundidade, nos Municípios de Santana do Cariri, Crato, Jardim, Porteiras e Missão Velha (Ceará).

## **OS PERFIS EM “FINA ESCALA”**

De modo geral, muitas camadas de arenitos, calcarenitos e folhelhos se repetem e se intercalam em toda a seqüência aflorante da Formação Romualdo, demonstrando que na época da deposição havia aporte sedimentar sazonal para a bacia. A presença de camadas de calcário com pequena largura implica que as condições ambientais para a precipitação química, processo sedimentar para a geração deste tipo de rocha, não foram dominantes nesta região. A mudança na espessura dos estratos sedimentares e a intercalação predominante de arenitos e folhelhos induz à interpretação de que a tectônica “controlou” a deposição gerando pulsos continentais que justificam a deposição de sedimentos arenosos seguido por períodos de não-atividade, quando os folhelhos se depositaram em ambiente aquoso. Quanto maior a energia e duração do evento tectônico maior a espessura das camadas litológicas clásticas (areias), ao contrário, quando da ausência de movimentos tectônicos, os pelitos (sedimentos finos, no caso o folhelho) são depositados em corpo aquoso. A distribuição estratigráfica dos

folhelhos da área leste da bacia, onde foram efetuadas as quatro escavações, está esquematizada no perfil da Fig.6.

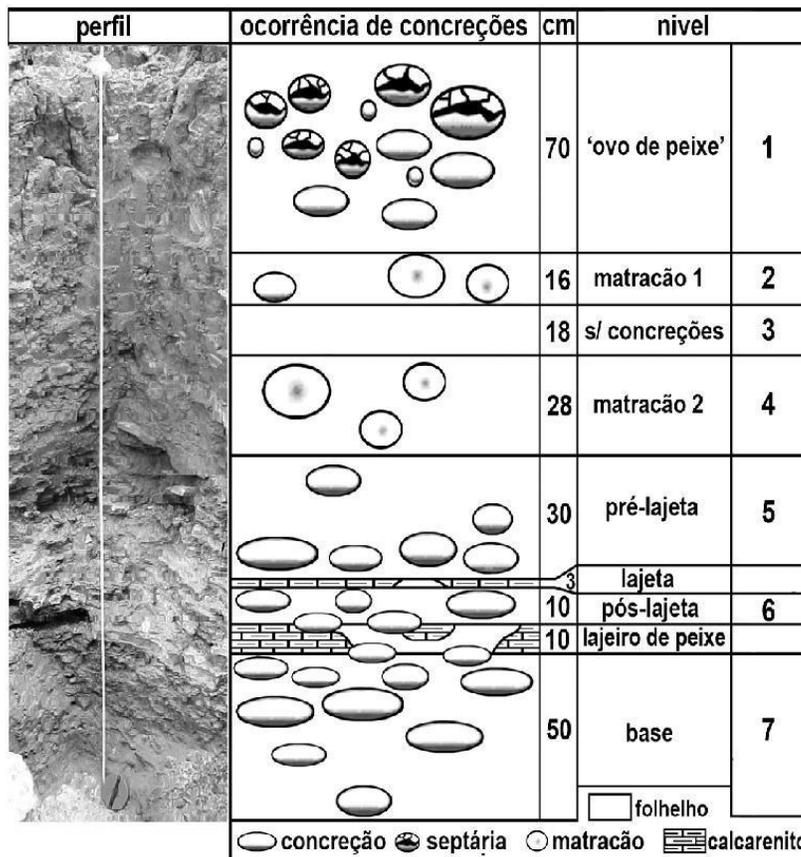


Figura 6: Perfil da seqüência estratigráfica e sedimentar das áreas escavadas no Sítio Romualdo (P2). Modificado de Saraiva et al. (2008).

Com base em feições litológicas e paleontológicas observadas, a seqüência estudada foi subdividida em sete níveis, numerados de 1 a 7, sendo o último, o mais profundo.

A seguir serão descritas as características de cada nível, tanto no sentido litológico quanto paleontológico. A terminologia entre parênteses corresponde às denominações utilizadas por Fara *et al.* (2005).

- nível 1 (ovo de peixe): 70cm (Sítios Cana Brava e Romualdo) a 200 cm (Sítio Sobradinho) ou 230 cm de espessura (Serra do Mãozinha) de folhelhos cinza-claros com conecções sub-esféricas e septárias (Fig.7);



*Figura 7: Nível 1 (ou ovo de peixe) com concreções sub-esféricas ou ovóides que caracterizam esse nível.*

- nível 2 (primeiro matracão): calcarenito e folhelho cinza de 15 a 20 cm (Sítios Cana Brava e Romualdo, P1 e P2), 50 cm (Sítio Sobradinho, P3) ou 85 cm (Serra do Mãozinha, P4), com concreções predominantemente ovóides, pouco laminadas, freqüentemente coalescentes (Fig.8); quanto mais espesso, maior é a quantidade de concreções por m<sup>3</sup> de sedimento;



*Figura 8: Nível 2 no Sítio Sobradinho com concreções coalescentes, típicas deste nível.*

- nível 3 (segundo matracão): calcarenito de alta diagênese, logo abaixo de um folhelho escuro de 20 cm de espessura, quase imperceptível na Serra do Mãozinha (P4); pode eventualmente apresentar concreções ovóides e oval-alongadas de matriz abundante, septárias com mais de 30 cm de espessura, ainda que no Sítio Romualdo (P2) sejam ausentes (nível sem concreções);

- nível 4 (pós-lajeta): é separado do nível 5 por uma lâmina de 3 a 5 cm de espessura de calcita cristalizada ('lajeta'), rica em ostracodes, contínua nos sítios Cana Brava e Romualdo (P1 e P2) e/ou não, no sítio Sobradinho e Serra do Mãozinha (P3 e P4); é composto por 10 cm folhelho cinza-claro no Sítio Sobradinho (P3) a 150 cm na Serra do Mãozinha (P4); mostra concreções ricas em ostracodes, coprólitos e macrofósseis desarticulados;
- nível 5 (pré-lajeta): camada de folhelho pouco laminado creme-claro ou escuro (este na Serra do Mãozinha, P4), que varia de 10 cm (Sítios Cana Brava e Romualdo, P1 e P2) a cerca de 60 cm de espessura (Sítio Sobradinho e Serra do Mãozinha, P3 e P4); contém concreções esparsas;
- nível 6 (lajeiro de peixe): calcário de alta diagênese, laminado, com 10 cm a 20 cm de espessura (Sítios Cana Brava e Romualdo, P1 e P2) e eventuais concreções fossilíferas muito aderidas, ou calcário interdigitado com folhelho cinza-esverdeado de 60 a 120 cm de espessura (Sítio Sobradinho e Serra do Mãozinha, P3 e P4), com concreções de fósseis fragmentados e comprimidos;
- nível 7 (base): camada de 10 a 50 cm de espessura de folhelho de cor creme, com concreções de baixa variedade taxonômica que se sobrepõe a arenitos finos (no Sítio Romualdo, P2), calcarenitos (Sítio Sobradinho e Serra do Mãozinha, P3 e P4) ou folhelhos variados (Sítio Cana Brava, P1); possuem concreções esporádicas com restos fósseis desarticulados;

### **OCORRÊNCIA DAS CONCREÇÕES NAS ESCAVAÇÕES**

As quatro escavações realizadas e a coleta e descrição de [151+208+501+1444] 2304 concreções permite uma visualização de sua distribuição sob várias óticas: quanto à sua forma geral, orientação, quanto à presença de cristais de calcita em seu interior, a preservação de fósseis tridimensionais ou inteiros, quanto aos resultados obtidos em análise isotópica de  $\delta O^{18}$ , e quanto ao conteúdo paleoictiológico.

A seguir, são comentados todos os dados obtidos e suas distribuições temporal (nos diversos níveis da seqüência sedimentar) e espacial (nas diversas áreas de escavação).

### Distribuição quanto à forma

As concreções carbonáticas encontradas na Formação Romualdo apresentam formatos variados, podendo ser classificadas em: sub-esféricas, ovóides, oval-alongadas e irregulares (Saraiva *et al.*, 2007).

As concreções do tipo sub-esférica são predominantes no nível 1 da sequência estudada, (Fig. 9), onde também são frequentes concreções do tipo ovóide, principalmente no sítio Romualdo (P2).

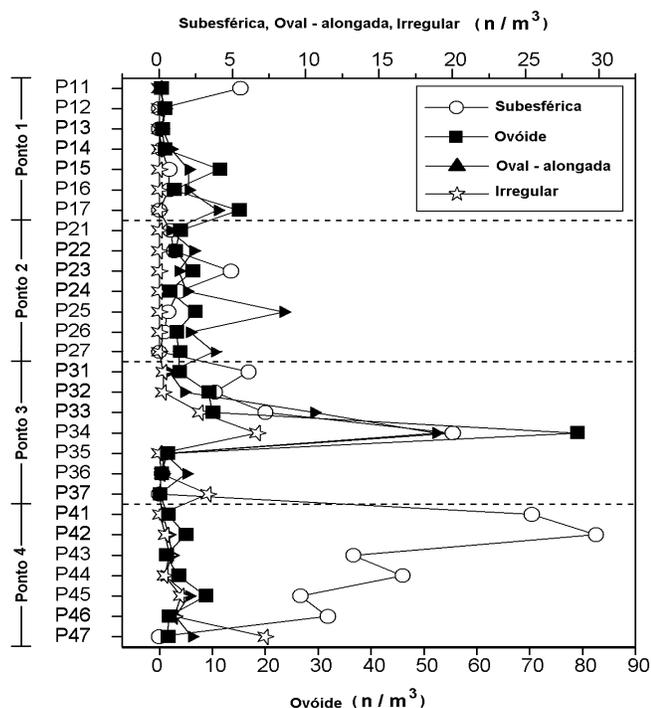


Figura 9: Gráfico da distribuição das concreções quanto à sua forma (sub-esférica, ovóide, oval-alongada e irregular) por m<sup>3</sup> de sedimento, nas quatro áreas escavadas.

Para o nível 1 e parte do nível 2 as concreções não possuem a forma do seu conteúdo fossilífero, o que muda substancialmente à medida que vai se aproximando do nível mais basal, quando essas apresentam geralmente forma irregular. Ainda que no nível 5 do sítio Sobradinho (P3), principalmente as que possuem diâmetro menor que 15 cm, refletem naturalmente seu conteúdo fossilífero, constituído por coprólitos arredondados e só excepcionalmente preservaram restos de peixes.. De qualquer forma, no Sítio Sobradinho (P3), mais ao sul, as concreções ovóides e sub-esféricas predominam largamente, o que não ocorre nos demais pontos escavados.

As formas ovóide e oval-alongada se alternam entre os níveis 2 e 5, sendo dependentes das dimensões do organismo fossilizado em seu interior. Nestes mesmos níveis, as concreções oval-alongadas mostram restos completos dos pequenos peixes *Rhacolepis* (Fig. 10A) e *Notelops*, e incompletos de *Vinctifer*, um peixe de porte maior (Fig. 10B).

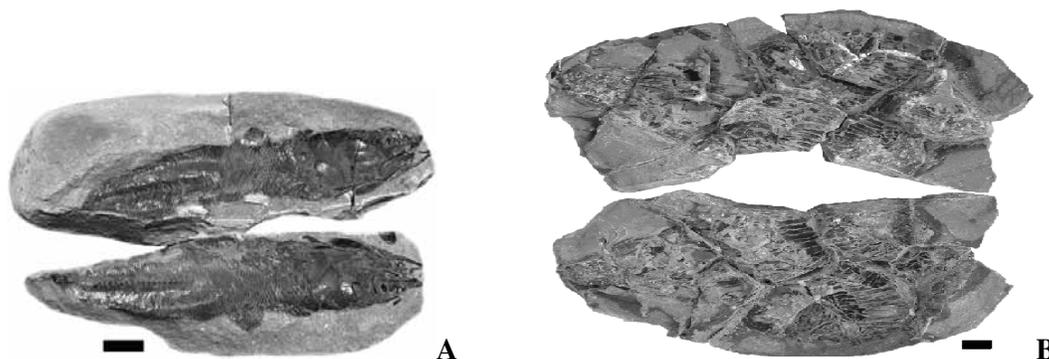


Figura 10: A) *Rhacolepis buccalis* Agassiz 1841 em concreção oval-alongada proveniente do nível 4 do Sítio Sobradinho (P3); B) Restos de *Vinctifer comptoni* (Agassiz 1841) em fragmento de concreção ovóide proveniente do nível 2 do Sítio Romualdo (P2); escala representa 1cm.

As concreções de forma irregular possuem matriz escassa em relação ao conteúdo fossilífero, em geral mostrando o formato do fóssil envolvido. Elas são mais frequentes no nível 7 do Sítio Sobradinho (P3) e Serra do Mãozinha (P4), que localizam-se mais a sul e a leste e possuem muitas características similares, sendo raras nas escavações dos sítios Cana Brava (P1) e Romualdo (P2). É o tipo de concreção menos comum em todos os pontos investigados.

### **Distribuição de concreções com cristais de calcita**

Um tipo peculiar de concreção calcária encontrada na Formação Romualdo é a concreção septária, caracterizada por gretas irregulares preenchidas por material secundário, sendo resultante do endurecimento externo e contração interna por desidratação durante a formação da concreção (Scoffin, 1987).

De modo geral, na Formação Romualdo, este tipo de concreção mostra cristais de calcita em seu interior (Fig. 11), ainda que frequentemente estes cristais se desenvolvam também na cavidade dos peixes fossilizados, sem que a concreção possua gretas. Para fins estatísticos, foram estas duas ocorrências de concreções consideradas

juntas, pois a consistência da matriz e seu aspecto geral são bem distintos das demais concreções (consideradas como não-septárias), como já observou Maisey (1991).

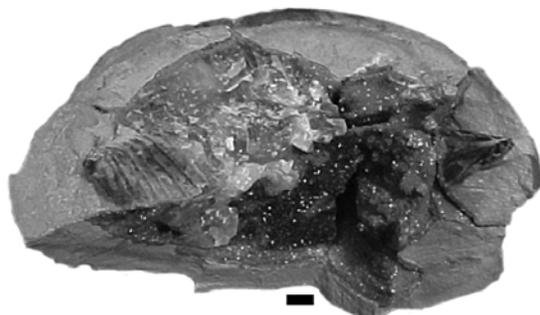


Figura 11: Concreção septária com cristais de calcita e restos de *Vinctifer comptoni* proveniente do nível 1 do Sítio Romualdo (escala representa 1cm).

O tipo de concreção com cristais macroscópicos de calcita (septária) é dominante na serra do Mãozinha (P4), onde foi ausente apenas no nível mais inferior (7). Nos sítios Cana Brava (P1) e Romualdo (P2) estas concreções são raras, ocorrendo nos níveis mais superiores (1 e 2). No sítio Sobradinho (P3), é um pouco mais comum, aparecendo também na porção superior do perfil geológico (Fig. 12).

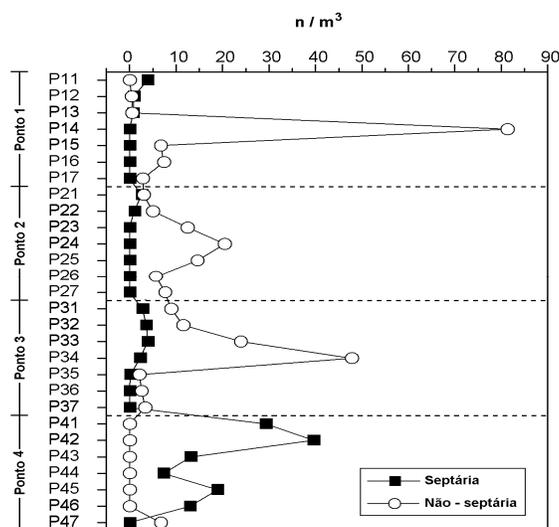


Figura 12: Gráfico de distribuição das concreções da Formação Romualdo com cristais de calcita (septária) e sem cristais visíveis a olho nu (não-septária) por  $m^3$  de sedimento, nas quatro áreas escavadas.

### Distribuição de concreções com fósseis tridimensionais

Na Formação Romualdo, de modo geral há uma relação bastante clara entre o tipo de preservação do organismo e a matriz calcária da concreção, especialmente nos sítios Romualdo (P2) e Sobradinho (P3): concreções com matriz espessa e abundante geralmente preservam fósseis tridimensionais, e com matriz escassa, mostram fósseis comprimidos. Assim, por exemplo, restos preservados de *Rhacolepis* nos níveis superiores estão em concreções de matriz abundante, sendo tridimensionais (Fig.13A), e nos níveis intermediários ou inferiores, estão em concreções de matriz escassa, sendo comprimidos (Fig. 13B). O mesmo ocorre com *Calamopleurus* sp., um peixe de corpo originalmente fusiforme.

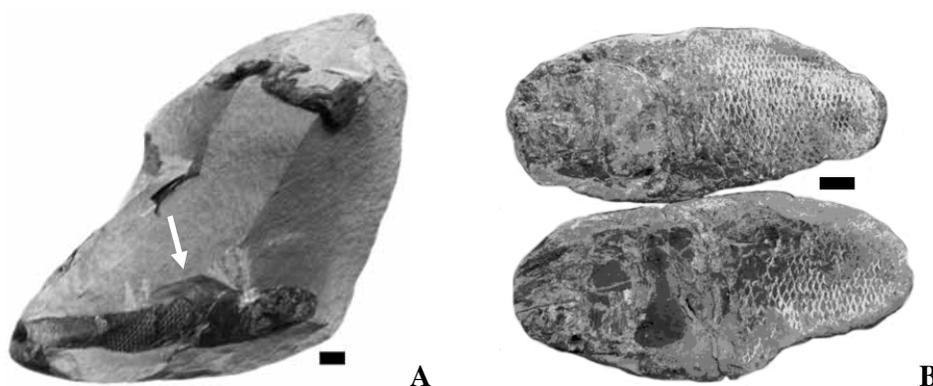


Figura 13: *Rhacolepis* sp. em concreções calcárias da Formação Romualdo: A) preservado em concreção de matriz abundante no nível 2 do Distrito de Sobradinho (P3); B) preservado em concreção de matriz escassa no nível 5 do sítio Romualdo (P2); (escala representa 1cm).

Os níveis mais superiores (1 e 2) de todos os pontos escavados apresentam fósseis do tipo tridimensional. Na Serra do Mãozinha (P4), restos fossilíferos tridimensionais ocorrem predominantemente em todos os níveis, com exceção do mais inferior (7), onde os fósseis comprimidos são exclusivos (Fig. 14). No Sítio Romualdo (P2), a partir do Nível 3, a forma predominante é a comprimida, sendo esta uma característica geral na localidade.

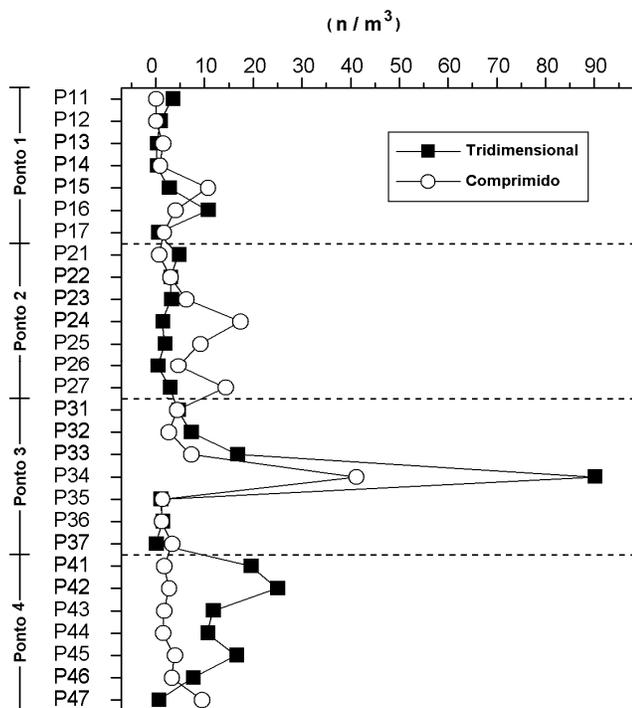


Figura 14: Distribuição das concreções da Formação Romualdo conforme a forma de preservação do fóssil (tridimensional/comprimido) por  $m^3$  de sedimento, nas quatro áreas escavadas.

### Distribuição de concreções com representantes fósseis completos

Nas concreções da Formação Romualdo, alguns fatores parecem influenciar de modo acentuado na preservação dos macro-organismos inteiros, como o grau de energia das águas locais, a presença de animais detritívoros, a disponibilidade de carbonato e de íons cálcio no ambiente e a diagênese sofrida (Martill, 1988). Aparentemente estes fatores foram atuantes em todos os pontos estudados, pois poucos são os pontos e níveis onde um tipo de preservação se destaca (P1 N5, P3 N4, P4 N2) não existindo uma associação de fatores que caracterize esses pontos e níveis (Fig. 15). De qualquer forma, fragmentos de organismos (ossos, escamas ou restos de tecido mole) formam a maioria dos fósseis encontrados. Com exceção da localidade Romualdo, onde o tipo incompleto teve visível maioria, geralmente os percentuais do parâmetro completo/incompleto estão muito próximos.

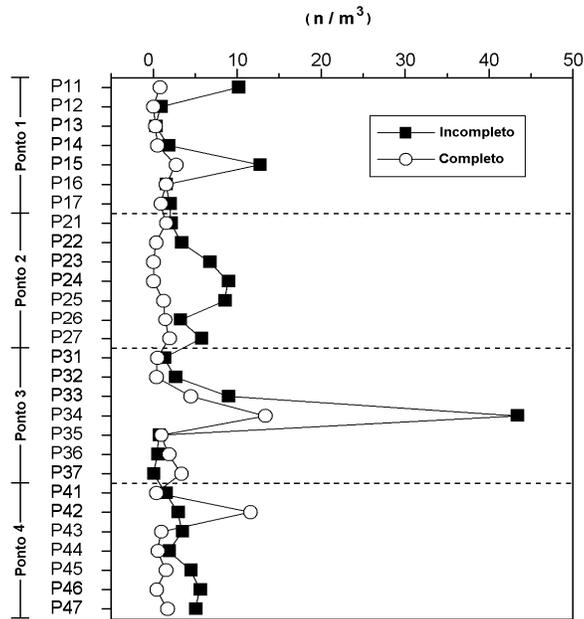


Figura 15: Distribuição dos fósseis quanto ao estado de preservação (incompleto/completo) por  $m^3$  de sedimento nas quatro áreas escavadas.

### Orientação das concreções

No Sítio Cana Brava (P1), 108 (71,5%) das 151 concreções coletadas mostraram uma clara orientação no sentido NW-SE e N-S (Fig.16).

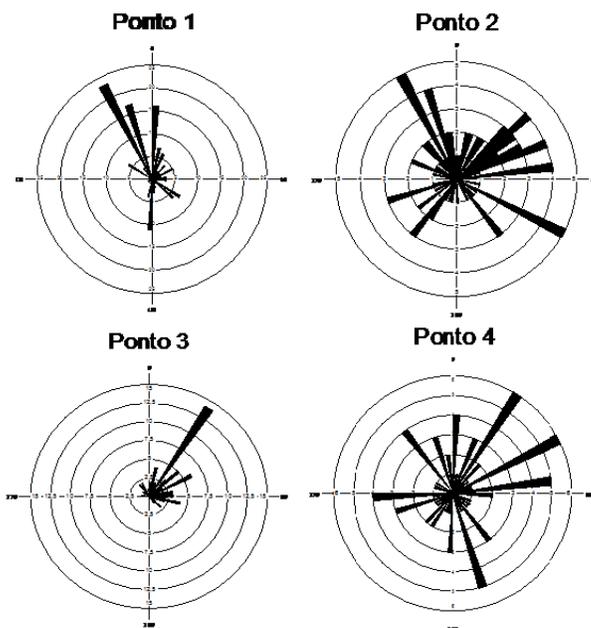


Figura 16: Gráficos representando as tendências de orientação das concreções nos quatro pontos escavados da Formação Romualdo.

No Sítio Romualdo (P2), 89 (42,8%) das 208 concreções retiradas mostraram uma fraca orientação NW–SE e um segundo grupo para NE-SW, contudo menos expressivo que no Sítio Cana Brava.

No Sítio Sobradinho (P3), 78 (15,7%) das 501 concreções retiradas da escavação, mostraram uma tendência NE-SW. Entretanto, pelo baixo percentual de concreções orientadas, não é válido considerar este dado. Esta baixa orientação das concreções deve-se à predominância de formas sub-esféricas e ovóides.

Na Serra do Mãozinha (P4), as 78 (5,4%) das 1444 concreções coletadas não mostraram uma orientação preferencial, como no Sítio Cana Brava (P1), encontrando-se dispersas em todas as direções. Entretanto, como no caso anterior (P3), o pequeno percentual de medidas não sustenta o resultado. Também aqui, a maioria das concreções é sub-esférica, ovóide ou coalescente.

### **Distribuição na ocorrência de peixes fósseis**

Nove diferentes gêneros de peixes Actinopterygii (dos 11 descritos na Formação Romualdo) tiveram seus restos reconhecidos nas concreções coletadas nos quatro pontos escavados: *Araripichthys*, *Brannerion*, *Calamopleurus*, *Cladocyclus*, *Neoprosclinetes*, *Notelops*, *Rhacolepis*, *Tharrhias*, *Vinctifer* e o *Actinistia Mawsonia* (Fig. 20).

A associação fossilífera encontrada na escavação do Sítio Cana Brava (P1), em Santana do Cariri, mais oeste na bacia, mostrou-se bastante diferenciada dos demais pontos, com o predomínio de *Tharrhias*, especialmente no nível 5, e maior quantidade de fósseis nos níveis mais profundos.

As seqüências dos Sítios Romualdo (P2) e Sobradinho (P3) e da Serra do Mãozinha (P4) mostram certa similaridade na distribuição temporal dos peixes: nas camadas mais inferiores há o predomínio de *Calamopleurus* e *Cladocyclus* (especialmente no nível 7), e nos estratos mais superiores, o predomínio de *Rhacolepis* e *Vinctifer*, ausentes no nível 7. Representantes do gênero *Mawsonia* foram encontrados predominantemente na Serra do Mãozinha (P4) e ausente nos pontos 1 e 2, embora Maisey (1991) tenha considerado esse gênero como ausente para essa área.

*Brannerion* ocorreu de maneira pouco expressiva em todos os pontos escavados nos níveis mais inferiores da assembléia fossilífera com exceção do Ponto 3 onde ocorreu nos níveis mais superiores. Esses dados estão de acordo com Maisey (1991)

para as localidades de Santana do Cariri, Jardim e Missão Velha e Fara *et al*, 2005 para Santana do Cariri.

*Notelops* teve predomínio nos níveis mais superiores. Ocorreu nos pontos 1, 3 e 4, onde só não ocorreu no Nível 7. Fara *et al* (2005) também cita esse gênero para os níveis mais superiores nas escavações do Parque dos Pterossauros e Maisey (1991) cita como comum para Jardim e raro para Santana do Cariri.

*Neoprosclinetes* foi encontrado no Ponto 3 apenas no nível 6 e em todo o ponto 4 com exceção do nível 7 como citado por Maisey (1991) como incomum e comum, respectivamente para as localidades de Jardim e Missão Velha. Como o aparato dentário desse peixe era adaptado para alimentos duros, a grande quantidade de conchas encontradas no Ponto 4 e eventuais no Ponto 3, talvez justifique a frequência desse gênero nessas áreas tida como mais profundas.

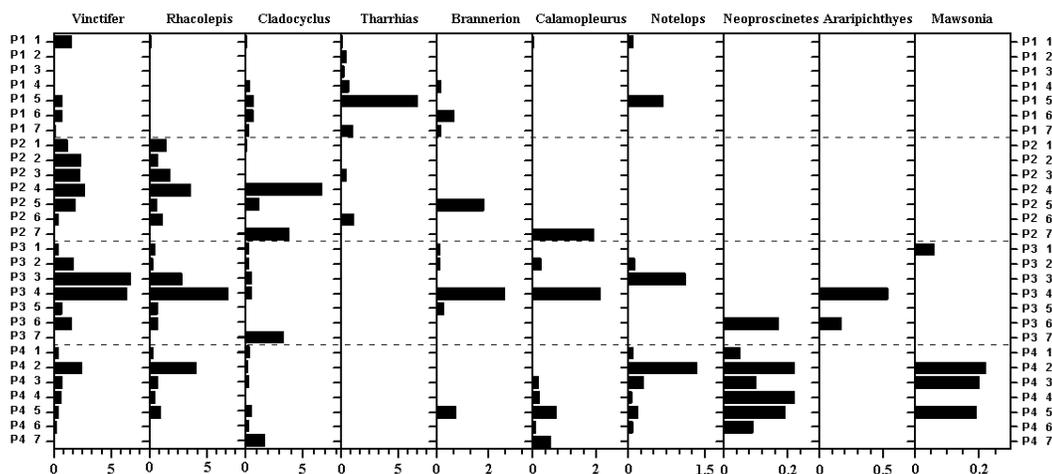


Figura 20: Distribuição da densidade dos gêneros de peixes em cada nível dos quatro perfis estudados.

### Distribuição dos resultados de $\delta O^{18}$

Os resultados obtidos na análise de  $\delta O^{18}_{SMOW\%o}$ , para estimar a salinidade e temperatura da água, deram os seguintes valores:

- no Sítio Cana Brava (P1): de 22,90 a 25,50, com média de 24,58, indicando temperatura de cerca de 21-22°C;
- no Sítio Romualdo (P2): de 23,45 a 30,84, com média de 25,28, indicando temperatura de cerca de 22-23°C;
- no Sítio Sobradinho (P3): 23,95 a 26,38, com média de 24,83, indicando temperatura em torno de 22°C;

- na Serra do Mãozinha (P4): 23,89 a 24,94, com média 24,52, indicando temperatura de cerca de 21 a 22°C.

Estes dados, com temperaturas oscilando entre 21 e 25 °C sugerem a presença de águas doces em ambiente de deposição subtropical (em torno de 23°C nas águas), na Formação Romualdo nos quatro pontos examinados. Esses dados não estão de acordo com as temperaturas citadas para o período Cretáceo, reconhecido por temperaturas altas e clima seco (Hallan, 1973). Entretanto, ao se plotar a curva isotópica em relação ao perfil estratigráfico (Figuras 21, 22, 23 e 24) é perceptível que o  $O^{18}$  marca variações paleoambientais. Apesar das interferências que podem alterar o resultado, nota-se que houve realmente alteração no corpo aquoso já que há aumento e redução nos dados isotópicos.

Esta variação pode estar associada ao aumento da salinidade pela evaporação ou “input” de água marinha, ou pelo aumento no aporte de água doce seja fluvial, seja meteórica (chuva).

Assim, apesar das discussões ainda existirem sobre as questões das mortandades, estas podem estar associadas a esta variação ambiental, que pode ser insignificante no sentido geoquímico, mas fatal para alguns organismos devido a sua sensibilidade a estas modificações.

## ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os dados utilizados para as análises estatísticas contemplaram 23 parâmetros para caracterização das concreções estudadas nos sete níveis das quatro áreas escavadas (Tabela 1). Os resultados obtidos por cálculo estatístico e PCA são comentados a seguir.

Os resultados dos cálculos estatísticos rotineiramente realizados mostram que, de todos os níveis investigados, o que mais se diferencia dos outros níveis e áreas é o nível 4 no Sítio Sobradinho (P3), com 47,78 concreções por  $m^3$ , cerca de três vezes mais do que a média geral dos outros níveis e localidades, que é de 13,84 concreções por  $m^3$ . As concreções aí encontradas são geralmente ovóides, sem macrofósseis ou com fósseis tridimensionais fragmentados, cujo gênero mais frequente é *Rhacolepis*. Outro nível bastante distinto dos demais é o nível 2 da escavação na Serra do Mãozinha (P4), caracterizado por concreções sub-esféricas com fósseis tridimensionais geralmente completos, septárias e ausência de concreções sem macrofósseis. *Notelops*, *Mawsonia* e *Neoproscinetes* são os gêneros mais comuns.

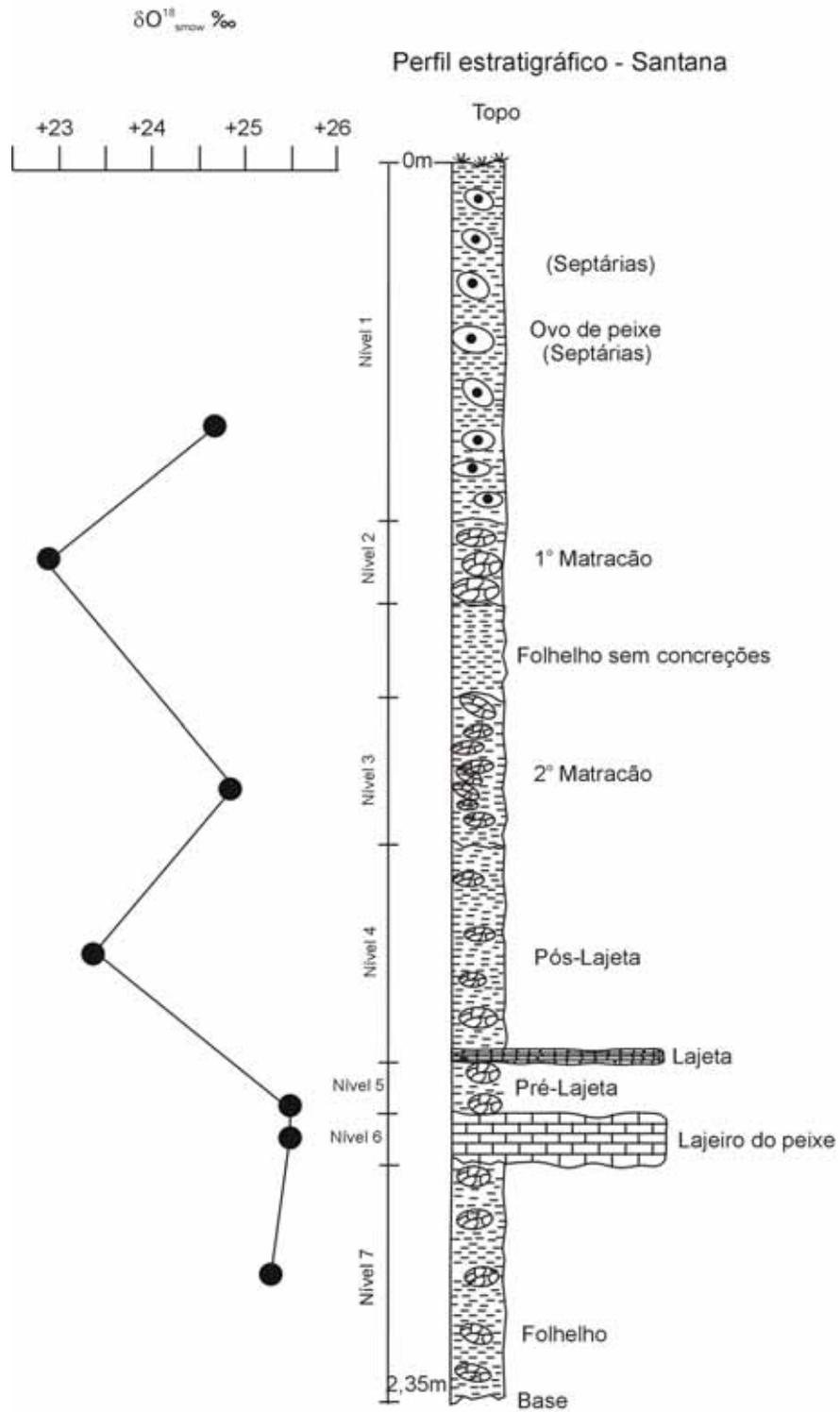


Figura 24. Perfil estratigráfico e curva de variação isotópica em Santana do Cariri (P1)

Perfil estratigráfico - Crato/Sítio Romualdo

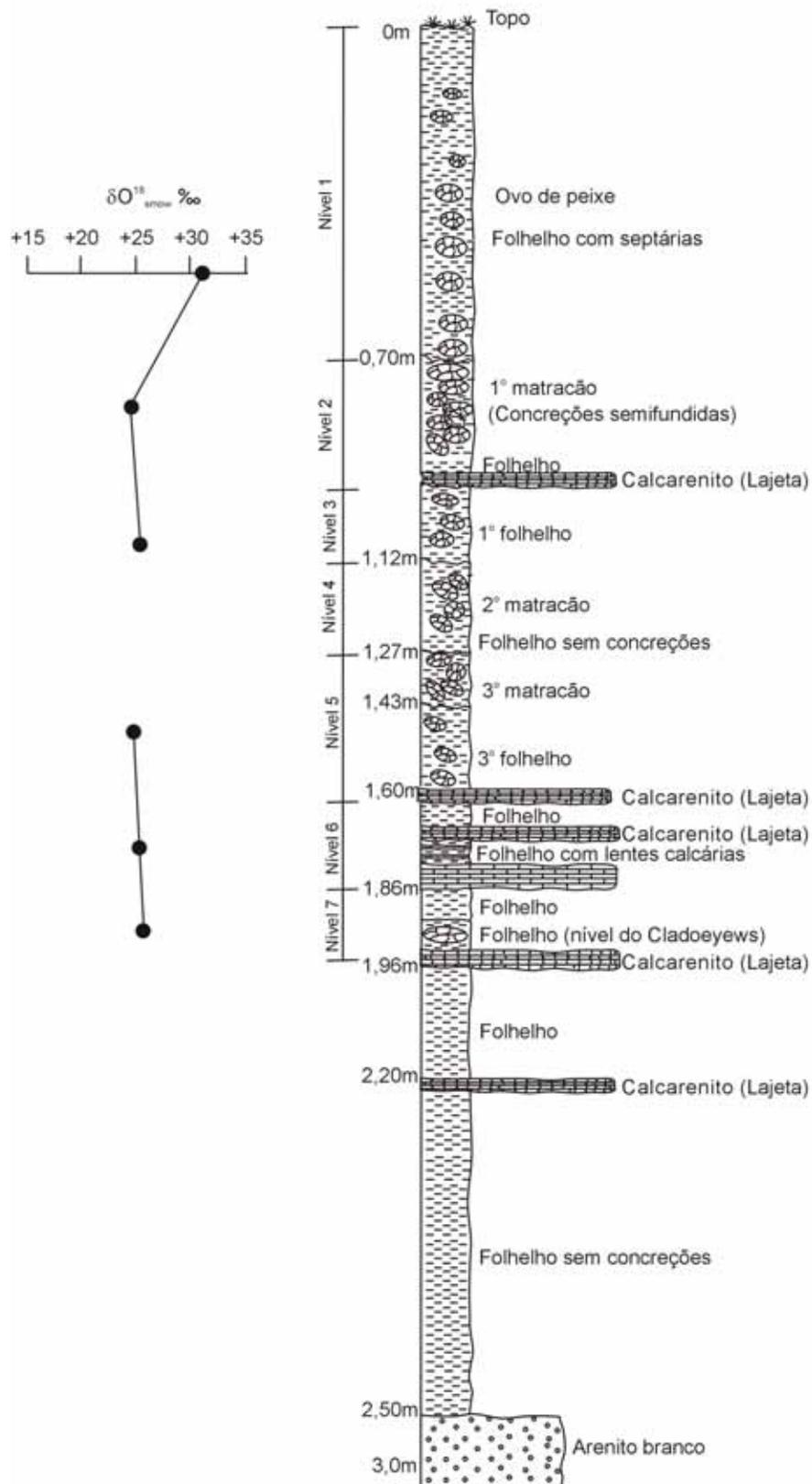


Figura 22. Perfil estratigráfico e curva de variação isotópica no Crato (P2)

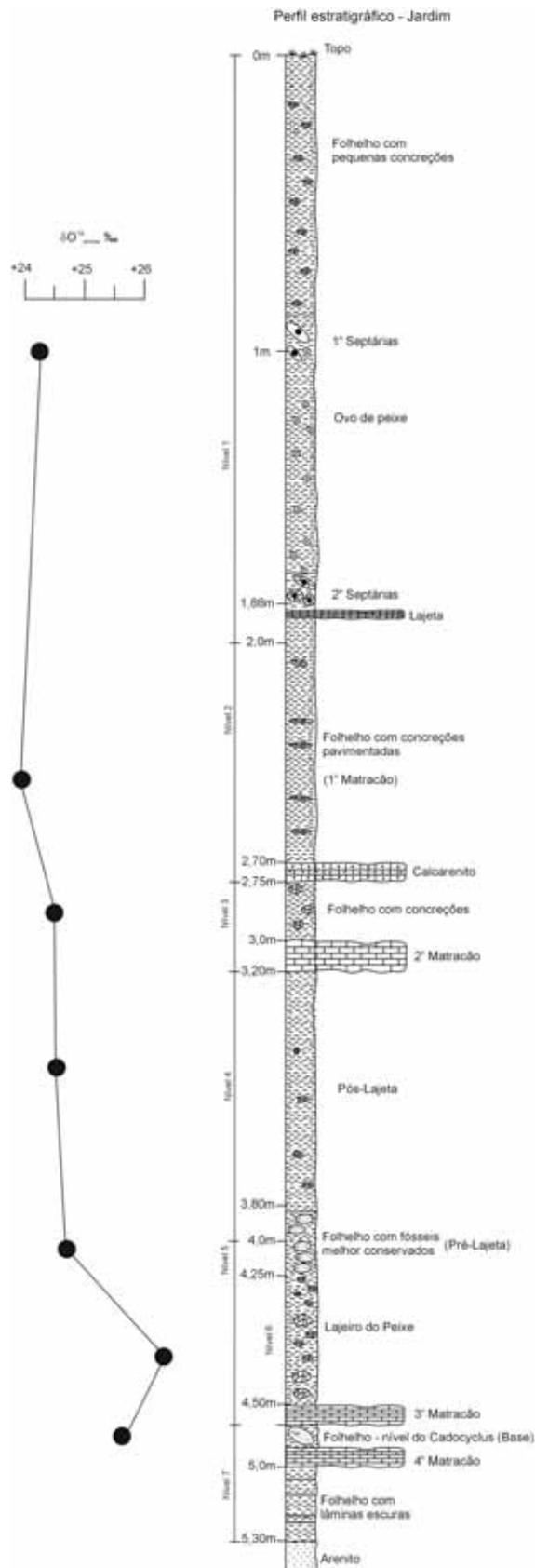


Figura 23. Perfil estratigráfico e curva de variação isotópica em Jardim (P3)



Os Sítios Cana Brava, Romualdo e Sobradinho (P1, P2 e P3) se assemelham quanto aos parâmetros *Cladocyclus*, *Tharrhias* e vegetais, ainda que este tipo de fóssil tenha sido pouco encontrado. *Cladocyclus* é um peixe com representantes encontrados em todas as escavações efetuadas, com um número bastante representativo e crescente a partir do quarto nível. A Serra da Mãozinha (P4) é um ponto de escavação que se distingue dos demais por ter maior número de concreções sub-esféricas e septárias, e fósseis dos gêneros *Mawsonia* e *Neoproscinetes*.

### **Análise de Componentes Principais**

Utilizado o método estatístico denominado Análise de Componentes Principais (PCA), os dados foram representados por uma matriz composta por 19 parâmetros de caracterização das concreções e 28 níveis de profundidade, sendo 7 em cada ponto estudado.

Nessa matriz, os autovetores são denominados “pesos” e indicam a contribuição na composição de novos eixos chamados Componentes Principais (PC), e os autovalores representam uma quantidade de variância designada pelos respectivos autovetores (Silva, *et al* 2005).

Desta forma, a primeira componente principal (PC1), ou primeiro autovetor, representa um eixo onde os pontos existentes, ou objetos, representados por um sistema de coordenadas positivas e negativas. Possuem máxima variância, ou seja, eles estão espalhados de forma máxima.

A segunda componente principal (PC2), que é ortogonal a PC1, representa o segundo eixo de maior variância, ou seja, o eixo com máxima quantidade de variância não explicada pelo primeiro autovetor. Neste trabalho os dois primeiros autovetores foram suficientes para explicarem uma quantidade significativa da variância total.

Assim, o gráfico dos parâmetros de caracterização das concreções obtido por PCA (Fig.20e 21), onde se verifica que as componentes PC1 e PC2 representam 67% da variância total, estão evidenciados quatro grupos distintos.

De acordo com os gráficos obtidos por análise dos componentes principais, verifica-se que é possível correlacionar alguns gêneros de peixes com as características típicas das concreções, como a forma da concreção, forma espacial do fóssil e a qualidade da fossilização. Desta forma, conclui-se que, os gêneros *Araripichthyes*, *Brannerion* e *Calamopleurus* encontram-se melhor correlacionados com as formas de concreção dos tipos ovóide, oval-alongada e irregular, bem como, com a forma espacial comprimida, e com preservação do fóssil do tipo incompleta. Os gêneros *Vinctifer* e *Rhacolepis* encontram-se bem correlacionados com a forma espacial do fóssil tridimensional, apresentando preservação do tipo completa.

Grupos de concreções sem macrofósseis podem ser relacionados próximos a esses dois gêneros que se encontram melhor representados no nível 4 do Ponto 3. Para os gêneros *Neoprocinetes*, *Mawsonia* e *Notelops*, existe boa correlação com concreções de forma da subesférica, sendo melhor representado no Ponto 4. O último grupo correlacionado no gráfico é formado pelos gêneros *Cladocyclus* e *Tharrhias*, e não

apresentam correlação significativa com as características das concreções, uma vez que, encontram-se difundidas em praticamente todos os níveis dos perfis estudados.

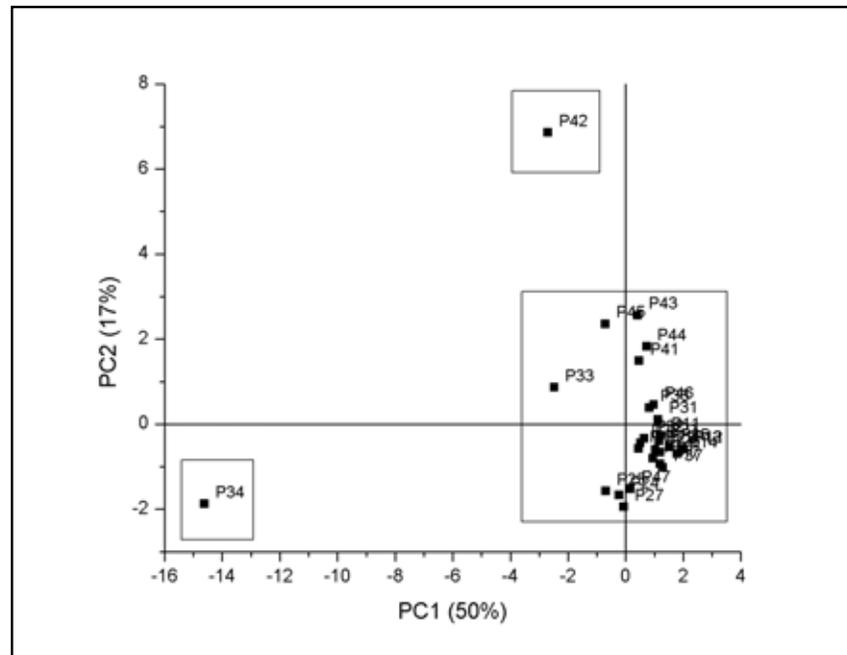


Figura 20 - Gráfico dos objetos obtidos por PCA

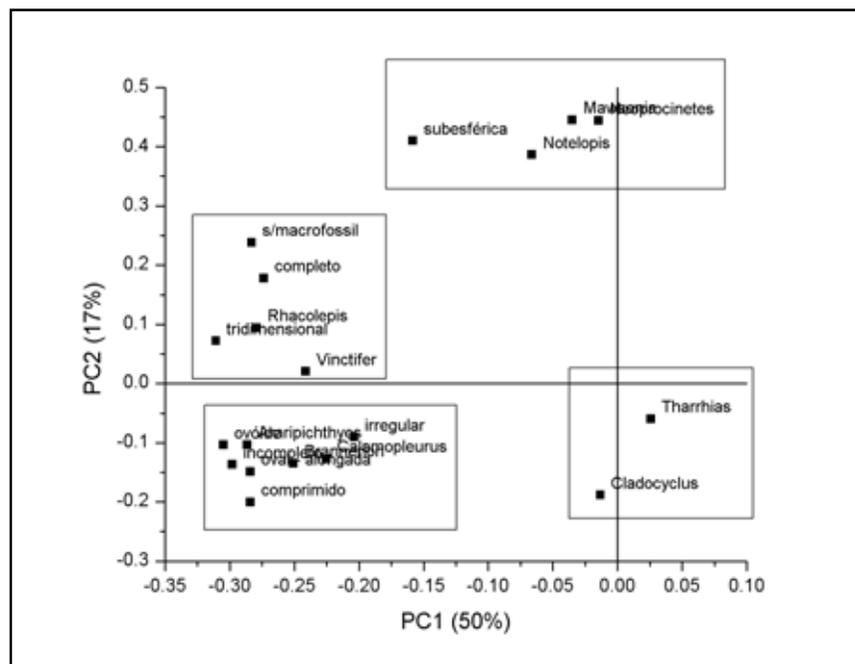


Figura 21 - Gráfico dos pesos obtidos por PCA

## CONSIDERAÇÕES PALEONTOLÓGICAS E PALEOAMBIENTAIS

Os diversos níveis estratigráficos identificados na elaboração do perfil da seqüência sedimentar observada nas quatro escavações mostram características distintas que podem auxiliar a elucidar várias questões de cunho paleoecológico na Formação Romualdo.

Assim, o nível 7, mais profundo, apresenta os melhores fósseis preservados, embora comprimidos, principalmente de *Cladocyclus* sp. e *Calamopleurus* sp. O nível 6, sobreposto, mostra-se mais espesso ao sul e a leste da bacia, com uma ictiofauna bastante variada na qual *Vinctifer* domina.

O nível 5, mais recente mas ainda com camadas de maior espessura na parte sul (Ponto 3) e leste da bacia (Ponto 4, onde também há maior concentração de concreções fossilíferas) mostra a mais alta diversidade paleoictiofaunal.

O nível 4, acima de uma lajeta de calcita cristalizada que o separa dos níveis inferiores, é mais espesso ao norte (pontos 1 e 4), e mostra alto número de concreções por m<sup>3</sup> de sedimento, em geral com ostracodes, coprólitos e fragmentos de peixes.

O nível 3, acima, é pouco espesso a noroeste e possui concreções de matriz abundante onde predomina *Vinctifer*.

O nível 2, bastante superior, novamente se espessa para sul e leste da bacia (onde há maior quantidade de concreções por m<sup>3</sup> de sedimento), apresenta geralmente concreções maciças, ovóides e coalescentes, com fragmentos de *Vinctifer* e *Rhacolepis*.

E o nível 1, o mais recente, é também mais espesso para sul e leste, onde mostra fósseis tridimensionais e concreções septárias predominantes.

Na área estudada foram registradas concreções comprimidas (oval-alongadas ou irregulares) predominantes nos estratos mais antigos, e septárias nas camadas mais recentes, sugerindo sua que formação ocorreu concomitantemente com a deposição sedimentar (concreções singenéticas).

As concreções sub-esféricas e ovóides com abundância de matriz ocorrem com maior frequência em camadas mais jovens dos sítios Romualdo (P2) e Sobradinho (P3), sugerindo então um desenvolvimento posterior à deposição sedimentar (concreções epigenéticas).

De modo geral, as concreções ocorrentes na Formação Romualdo encontram-se concordantes com estratificação do folhelho, sem perturbar sua deposição (Maisey, 1991), confirmando sua formação diagenética. Entretanto, as concreções encontradas nos níveis mais superficiais (1, 2 e 3) da serra do Mãozinha (P4) e no nível mais

superior (1) dos demais sítios (P1, P2 e P3) comprimem o acamadamento do folhelho ao seu redor, sugerindo novamente uma formação epigenética, sem que o sedimento hospedeiro influenciasse na sua compactação e do fóssil nela contido.

Na atualidade, é freqüente a ocorrência de mortandade de peixes em áreas estuarinas e em rios. Muitos são os fatores que podem causar este evento sem a interferência humana, como por exemplo, a diminuição repentina do oxigênio dissolvido na água ocasionada pela grande quantidade de partículas em suspensão, o que pode acontecer pela ocorrência de chuvas torrenciais ou de fortes períodos de estiagem. Nestes casos, a menor oxigenação da água promove a proliferação de certos microorganismos que utilizam a fermentação para obter o oxigênio de que necessitam para viver, produzindo, no processo, toxinas que causam a morte de peixes.

Segundo Brandão & Domingos (2006), explosões de cianobactérias podem ocorrer devido ao alto pH e alta temperatura das águas, somados à baixa razão entre nitrogênio e fósforo. A proliferação destes microorganismos, formando uma fina lâmina verde na superfície da água, diminui a transparência desta e desencadeia sua desoxigenação.

Martill (1988) identificou grande quantidade de seres procariontes preservados em concreções com fósseis de peixes na Formação Romualdo, que poderiam pertencer a um grupo similar ao das cianofíceas. Neste caso, poderiam ter sido estes os organismos que causaram algumas, se não todas, as mortandades de peixes, posteriormente preservados em grande número na Bacia do Araripe. Como em muitas concreções há tecidos moles preservados, parece que estes microorganismos não eram decompositores.

Períodos de estiagem em regiões estuarinas, lagunas e golfos estreitos, reduzem o volume de água dos rios, possibilitando a entrada de águas marinhas por muitos quilômetros e vários meses. Neste ambiente salobro quase salino, podem viver diversos representantes da biota marinha que, com a repentina vinda da estação chuvosa, são surpreendidos por águas mais doces, morrendo em grande quantidade. Este fenômeno, observado em várias partes do globo na atualidade (Barletta & Saint-Paul, no prelo), poderia também ter ocorrido durante o período e área de deposição da Formação Romualdo, causando a mortandade de peixes acostumados a ambientes marinhos, como é o caso dos gêneros *Vinctifer*, *Tharrhias* e *Rhacolepis*, todos comuns nas concreções calcárias estudadas.

O tom mais escuro observado nos folhelhos do nível 5 na serra do Mãozinha (P4) e a cor mais escura de suas concreções deve refletir a maior quantidade de matéria

orgânica que contém, talvez reflexo da deposição em uma lâmina de água mais profunda, como já observou Neumann (1999).

A presença de pirita ( $\text{FeS}_2$ ) em concreções provenientes da área de Sobradinho (P3) e Missão Velha (P4) mencionada por Maisey (1991), indica que essas áreas eram mais ricas em sulfatos provenientes de matéria orgânica decomposta, talvez concentrada nesta área mais profunda da bacia. O odor de material em putrefação que é sentido ao abrir as concreções destas áreas meridionais, corrobora com essa hipótese.

As áreas localizadas mais ao norte, como nos Sítios Cana Brava e Romualdo (P1 e P2), deveriam ter sido mais rasas e com águas mais agitadas, marginais e próximas à desembocadura de rios, pois mostram camadas de folhelhos de bem menor espessura, e peixes de menor porte, em geral fragmentados.

No presente estudo, não foi possível concluir inequivocamente sobre a orientação das concreções, ou porque a maioria delas tem forma sub-esférica, ovóide ou coalescente, como é o caso do sítio Sobradinho (P3) e Serra do Mãozinha (P4), ou porque as concreções aparentemente tomam todas as sentidas, caso do Sítio Romualdo (P2). Entretanto, no Sítio Cana Brava (P1), a maioria de 71,5% das concreções coletadas e medidas mostrou uma orientação em sentido NW-SE e N-S. Mais estudos se fazem necessários para ser possível alguma consideração de cunho paleoecológico.

Em relação à ocorrência dos diferentes gêneros de peixes nas áreas estudadas, é digno de nota o predomínio do pequeno *Tharrias* no sítio Cana Brava (P1), e a ocorrência única do Actinistia de grande porte *Mawsonia* na Serra do Mãozinha (P4), confirmando a possibilidade da seqüência sedimentar destas áreas mais ao sul ter sido depositada sob águas mais profundas.

Nos Sítios Romualdo (P2), Sobradinho (P3) e Serra do Mãozinha (P4), áreas mais a leste da bacia, encontram-se dois grupos de peixes dominantes: nos estratos mais antigos, os gêneros *Calamopleurus* e *Cladocyclus*; e nos estratos mais recentes, *Rhacolepis* e *Vinctifer*. Isto parece indicar uma variação nas condições ambientais da época, pois os dois últimos táxons são tidos como marinhos.

*Vinctifer* foi o gênero de peixe que mostrou maior distribuição espacial e temporal, aparecendo em praticamente todos os níveis de todas as áreas escavadas, seguido de *Cladocyclus*. O maior número de exemplares encontrado também pertence ao gênero *Vinctifer*, tido por Maisey (1991), como raro em Santana do Cariri, o que não pode ser comprovado no presente estudo. Entretanto, Maisey (1994), salientou que *Vinctifer* é um peixe herbívoro filtrador, sendo provavelmente a massa alimentar basal

da teia ecológica formada basicamente por carnívoros e, portanto, tão abundante. Outras formas bastante comuns, encontradas nas concreções mais superiores da Formação Romualdo, são os gêneros *Rhacolepis* e *Tharrias*, peixes que se alimentavam de pequenos crustáceos (Maisey, 1991; 1994). Os gêneros *Neoproscinetes* e *Araripichthys* são comuns nas áreas mais ao sul e leste da bacia (Sítio Sobradinho, P3; Serra do Mãozinha, P4), não podendo ser confirmada a suspeita de Maisey (1991) de serem formas incomuns em Jardim (P3).

Por fim, é preciso salientar que os resultados obtidos nas escavações no Sítio Cana Brava (P1), situado no município de Santana do Cariri, e na Serra do Mãozinha (P4), localizado no município de Missão Velha, confirmam as proposições de Maisey (1991), para as concreções do tipo Santana e Missão Velha, diferindo a descrição das concreções de Jardim, onde ocorrem com certa abundância concreções de matriz espessa e fósseis tridimensionais.

## CONCLUSÃO

Com a realização de quatro escavações controladas em quatro pontos estratégicos da Formação Romualdo, Bacia do Araripe (Sítios Cana Brava, Romualdo, Sobradinho e Serra do Mãozinha), foi possível concluir diversas observações de cunho paleoecológico para o tempo em que ocorreu a deposição destas camadas na área leste da bacia ou sub-bacia leste do Araripe.

Foi possível reconhecer uma seqüência sedimentar composta por sete níveis, em geral, mais espessos nas áreas sul e leste estudadas. Os folhelhos com muita matéria orgânica, peixes de maior porte e concreções mais escuras ocorrentes na área meridional estudada (P4), talvez reflitam uma deposição em águas mais profundas, ambiente propício para o celacantídeo *Mawsonia*, família relacionada a altas profundidades, que tiveram seus restos encontrados apenas nesses pacotes de maior espessura. Os folhelhos de menor espessura e peixes de menor porte, em geral fragmentados, das áreas setentrionais (P1 e P2), revelam uma sedimentação sob águas mais rasas e possivelmente com maior energia que as áreas mais a leste. Essa proposição é amparada pela orientação com tendência para NW-SE e N-S das concreções no Sítio Cana Brava e Sítio Romualdo. Provavelmente a orientação das concreções indique a posição que os cadáveres tomaram no fundo da laguna, orientados pela fraca corrente atuante.

Concreções sub-esféricas e ovóides predominantes nos níveis mais superiores da seqüência estudada (maioria septárias), transgridem as camadas de folhelho, indicando

que esse grupo de concreções sofreu aumento de volume (concreções epigenéticas) o que facilitou a manutenção da forma tridimensional dos fósseis. As concreções comprimidas e irregulares, mais freqüentes nos níveis mais inferiores, encerram fósseis comprimidos e sugerem que houve aporte mais rápido de sedimento sobre elas antes da total consolidação de suas matrizes.

Os resultados obtidos na análise de  $\delta O^{18}$  SMOW‰, foram bastante homogêneos, embora não sejam compatíveis com as médias para temperatura e salinidade da água esperadas para o Cretáceo e a fauna encontrada na Formação Romualdo, mostram existirem variações para esses parâmetros físico-químicos da água, importantes para qualquer biota aquática. Essas variações podem ser relacionadas aos diferentes tipos de rochas do perfil em “escala fina” e variações sazonais do aporte de sedimentos, bem como variação da salinidade da água. Contudo, para esse material a técnica não é apropriada. Possivelmente pelo fato da matéria orgânica estar provocando fracionamento isotópico (Craig, 1961). Ressalta-se ainda que essa técnica baseia-se no fato que as temperaturas calculadas tem por base as taxas de  $\delta O^{18}$  não correspondem as existentes na literatura. Os finos níveis de calcarenito do perfil podem estar relacionados a um maior aporte de água salgada ou aumento de temperatura do ambiente, fatores que induzem a precipitação do carbonato de cálcio. O tectonismo atuante na área pode também está relacionado com essas variações ambientais.

*Vinctifer* sp. e *Rhacolepis* sp. relacionados como marinhos, predominantes nos níveis superiores e *Cladocylus* sp. e *Calamopleurus* sp. como estuarinos, nos níveis mais inferiores, sugerem um aumento gradativo da salinidade da área, no Albiano. Isso é corroborado pelo maior tamanho das concreções nos níveis superiores, pois maior salinidade e temperatura estão relacionadas à precipitação de carbonatos, e ainda, os restos de equinóides encontrados no topo da Formação Romualdo, acima do nível de folhelhos. Provavelmente as espécies de peixes que tiveram os restos fossilizados na Formação Romualdo eram eurialinas. Isso pode ser embasado no fato da grande variedade de espécies e espécimes encontrados nos níveis intermediários da assembléia. Contudo, mesmo as espécies eurialinas não suportam variações abruptas de salinidade, principalmente se acompanhada de aumento de temperatura e queda nos níveis de oxigênio dissolvido na água, podendo ser a causa das várias mortandades que ocorreram no ambiente em questão.

### **Agradecimentos**

Nossos agradecimentos irrestritos à Dra. Maria Helena Hessel (UFS) pela acurada correção do texto, auxílio na interpretação dos dados, edição de fotos e montagem de figuras.

Agradecemos também o prestimoso auxílio na solução de diversas questões paleontológicas e sedimentológicas, aos professores da UFPE Dra. Lúcia Maria Mafra Valença, Dr. Sílvio José de Macêdo e Dra. Sônia Maria Oliveira Agostinho.

Ao NEG-LABISE, na pessoa do Prof. A.N. Sial (coordenador) pela realização das análises isotópicas.

Nossos melhores agradecimentos ao apoio financeiro oferecido pelo Museu Nacional da UFRJ, na pessoa do Dr. Alexander Wilhelm Armin Kellner e a Fundação Araripe, na pessoa de Dr. Pierre Gervaiseau e Violeta Arraes Gervaiseau.

### **REFERÊNCIAS**

- Arai, M., Coimbra, J.C. & Telles Jr, A.C.S. 2001. Síntese bioestratigráfica da Bacia do Araripe (nordeste do Brasil). In: DNPM/URCA/SBP, *Simpósio sobre a Bacia do Araripe e Bacias Interiores do Nordeste*, 2 [1997], Crato, *Comunicações*: 109-117.
- Barletta, M. & Saint-Paul, U. (*in press*). Community structure and autoecology of main species. In: U. Saint-Paul (ed.) *Ecology and fishery of finfishes*. Elsevier, Amsterdam.
- Barletta, M., Bergan, A.B., Saint-Paul, U. & Hubold, G. 2005. The role of salinity in structuring the fish assemblages in a tropical estuary. *Journal of Fish Biology*, British Isles, 66: 45-72.
- Beurlen, K. 1963. Geologia e estratigrafia da chapada do Araripe. *Congresso Nacional de Geologia*, 17, Recife, *Anais*, SBG: 1-47.
- Beurlen, K. 1964. As espécies dos Cassiopinae, nova subfamília dos Turriteliidae, no Cretáceo do Brasil. *Arquivos de Geologia* [UFPE], Recife, 5: 1-43.
- Beurlen, K. 1966. Novos equinóides no Cretáceo do Nordeste do Brasil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, 38(3/4): 455-464.
- Beurlen, K. 1971. As condições ecológicas e faciológicas da Formação Santana na chapada do Araripe (nordeste do Brasil). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, 43(Suplemento): 411-415.

- Brito, I.M. 1990. Breve histórico sobre a estratigrafia da Bacia do Araripe, nordeste do Brasil. *Simpósio sobre a Bacia do Araripe e Bacias Interiores do Nordeste, 1*, Crato, Atas, URCA: 21-33.
- Brito, P.M. & Séret, B. 1996. The new genus *Iansan* (Chondrichthyes, Rhinobatoidea) from the Lower Cretaceous of Brazil and its phylogenetic relationships. In: G. Arratia & G. Viohl (eds). *Mesozoic fishes, 1: Systematics and paleoecology*. München, Friedrich Pfeil: 47-62.
- Brito, P.M. & Martill, D.M. 1999. Discovery of a juvenile coelacanth in the Lower Cretaceous, Crato Formation, northeastern Brazil. *Cybium*, Paris, 23(3): 311-314.
- Bruno, A.P.S. & Hessel, M.H. 2006. Registros paleontológicos do Cretáceo marinho na Bacia do Araripe. *Estudos Geológicos [UFPE]*, Recife, 16(1): 15-34.
- Carvalho, M.S.S. & Santos, M.E.C.M. 2005. Histórico das pesquisas paleontológicas na Bacia do Araripe, Nordeste do Brasil. *Anuário do Instituto de Geociências [UFRJ]*, Rio de Janeiro, 28(1): 15-34.
- Craig, H., The measurements of oxygen isotope paleotemperatures. *Tongiorgi, E., Stable isotopes in oceanographic studies and paleotemperatures: Pisa, CNR, p. 1-24.*
- Duarte, L., 1986. Vegetais fósseis da chapada do Araripe, CE. *Coletânea de Trabalhos Paleontológicos do DNPM [série Geologia]*, Brasília, 27: 557-563.
- Fara, E., Saraiva, A.A.F., Campos, D.A., Moreira, J.K.R., Siebra, D.C. & Kellner, A.W.A. 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*, Amsterdam, 218(1-2): 145-160.
- Hallan, A. 1973. Provinciality, diversity and extinction of Mesozoic marine invertebrates in relation to plate movements. In Tarling. D.H. & Runcorn, S. K. eds. *Implications of Continental Drift to the Earth Sciences*, Academic Press, London, 1: 287-94.
- Kellner, A.W.A. 1996. Fossilized theropod soft tissue. *Nature*, Londres, 32: 379.
- Kellner, A.W.A. 2006. *Pterossauros, os senhores do céu do Brasil*. Vieira & Lent, Rio de Janeiro, 175p.
- Lima, M.R. 1979. Paleontologia da Formação Santana (Cretáceo do nordeste do Brasil): estágio atual do conhecimento. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, 51(3): 545-556.

- Lima, R.J.C., Saraiva, A.A.F., Lanfredi, S. & Nobre, M.A.L. 2007. Caracterização espectroscópica de peixe do período Cretáceo (Bacia do Araripe). *Química Nova*, Fortaleza, 30(1): 22-24.
- Mabesoone, J.M. & Tinoco, I.M. 1973. Palaeoecology of the Aptian Santana Formation (northeastern Brazil). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, Amsterdam, 14(2): 97-118.
- Maisey, J.G. (ed.) 1991. *Santana fossils: An illustrated atlas*. New Jersey, Tropical Fish Hobbyist Publications, 459p.
- Maisey, J.G. 1994. Predator-prey relationships and trophic level reconstruction in a fossil fish community. *Environmental Biology of Fish*, New York, 40: 1-22.
- Maisey, J.G. & Moody, J.M. 2001. A review of the problematic extinct teleost fish *Araripichthys* with a description of a new species from the Lower Cretaceous of Venezuela. *American Museum Novitates*, New York, 3324: 1-27.
- Mardia, K.V. & Jupp, P.E. 2000. *Statistics of directional data*. 2<sup>a</sup> ed., John Wiley, Chicester, 287p.
- Martill, D.M. 1988. Preservation of fish in the Cretaceous Santana Formation of Brazil. *Palaeontology*, Menasha, 31(1): 1-18.
- Mendes, J.C. 1960. *Introdução à Paleontologia*. 1<sup>a</sup> ed., Rio de Janeiro, Instituto Nacional do Livro, 382p.
- Menor, E.A., Cavalcanti, V.M.M. & Sena, R.B. 1993. Os eventos evaporíticos da Formação Santana, Bacia do Araripe, nordeste do Brasil. *Revista de Geologia*, São Paulo, 6: 93-103.
- Moody, J.M. & Maisey, J.G. 1994. New Cretaceous vertebrate assemblages from north-western Venezuela and their significance. *Journal of Vertebrate Paleontology*, Lawrence, 37(4): 923-930.
- Neumann, V.H.M.L. 1999. Estratigrafía, sedimentología, geoquímica y diagénesis de los sistemas lacustres aptiense-albienses de la Cuenca de Araripe (Nordeste de Brasil). Tese de doutorado, Universidad de Barcelona, Barcelona, 250p.
- Rand, H.M. & Manso, V. A. V. 1984. Levantamento gravimétrico e magnetométrico da Bacia do Araripe, XXXII Congresso Brasileiro de Geologia, Anais, Rio de Janeiro, 4: 2011-2016
- Saraiva, A.A.F., Rodrigues, S.R.G. & Kellner, A.W.A. 2003. Partes vegetativas de carófitas fossilizadas no Membro Romualdo (Albiano, Formação Santana), Bacia do Araripe, nordeste brasileiro. *Boletim do Museu Nacional*, Rio de Janeiro, 70: 5-8.

- Saraiva, A.A.F., Hessel, M.H., Guerra, N.C. & Fara, E. 2007. Concreções calcárias da Formação Santana, Bacia do Araripe: uma proposta de classificação. *Estudos Geológicos* [UFPE], Recife, 17(1): 40-57.
- Scoffin, T.P. 1987. *An introduction to carbonate sediments and rocks*. Chapman & Hall, New York, 274p.
- Silva, J.B.P., Malvestiti, I. & Hallwass, F. 2005. Principal component analysis for verifying <sup>1</sup>HNMR spectral assignments: The case of 3-aryl (1,2,4)-oxadiazol-5-carbohidrazide benzylidenes. *Química Nova*, Fortaleza, 28(3): 492-496.
- Viana, M.S.S. 2001. 164 anos de pesquisas paleontológicas na chapada do Araripe: Formação Santana (Cretáceo Inferior). *Simpósio sobre a Bacia do Araripe e Bacias Interiores do Nordeste*, 1[1990] e 2[1997], Crato, *Comunicações*, SBP/DNPM/URCA: 195-211.
- Viana, M.S.S. & Sial, A.N. 1999. Oxygen isotopic variation on phosphate of Albian fish scales as an indicator of environmental cyclicity. *South American Symposium on Isotope Geology*, 2, Córdoba, *Actas*, Segemar: 445-448.
- Weeks, L.G. 1953. Environment and mode of origin and facies relationship of carbonate concretions in shales. *Journal of Sediment Petrology*, New York, 23(3):162-173.
- Wenz, S. & Brito, P.M. 1990. L'ichthyofaune des nodules fossilifères de la Chapada do Araripe (NE) du Brésil. *Simpósio sobre a Bacia do Araripe e Bacias Interiores do Nordeste*, 1, Crato, *Atas*, URCA: 76-107.

### **III CAPÍTULO**

**ANÁLISE POR DIFRATOMETRIA DE RAIOS – X EM COPRÓLITOS  
DE PEIXE DA FORMAÇÃO SANTANA (BACIA DO ARARIPE) E SUAS  
POSSÍVEIS RELAÇÕES TRÓFICAS**

**ANÁLISE POR DIFRATOMETRIA DE RAIOS – X EM COPRÓLITOS  
DE PEIXE DA FORMAÇÃO SANTANA (BACIA DO ARARIPE) E SUAS  
POSSÍVEIS RELAÇÕES TRÓFICAS**

ANTÔNIO ÁLAMO FEITOSA SARAIVA <sup>(1)</sup>

RICARDO JORGE CRUZ LIMA <sup>(2)</sup>

NÚBIA CHAVES GUERRA <sup>(3)</sup>

JOSÉ MARCOS SASAKI <sup>(4)</sup>

WALTÉCIO DE OLIVEIRA ALMEIDA <sup>(2)</sup>

JOSÉ ZANON DE OLIVEIRA PASSAVANTE <sup>(3)</sup>

<sup>1</sup> Universidade Regional do Cariri - URCA, Rua Cel. Programa de Pós-graduação em Oceanografia – Departamento de Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco - UFPE.

<sup>2</sup> Universidade Regional do Cariri - URCA

<sup>3</sup> Universidade Federal de Pernambuco - UFPE.

<sup>4</sup> Departamento de Física, Universidade Federal do Ceará –UFPE.

**RESUMO:** Comportamentos congelados, associações de proximidade, interpretação funcional da morfologia são categorias de fósseis interpretadas como evidências diretas de hábitos e comportamentos. Outras evidências chamadas indiretas podem ser obtidas na análise dos vestígios de fezes fossilizadas (coprólitos). Normalmente a análise do conteúdo dos coprólitos é feita para detecção ossos e partes vegetais e com isso, fazer inferências sobre as relações tróficas ou hábitos alimentares. No intuito de obter novos dados sobre a ecologia de um grupo de animais fósseis, entre julho e agosto de 2005 foram realizadas escavações controladas no ponto (S07°17'; W39°23') no nível de folhelhos da Formação Santana, – Bacia Sedimentar do Araripe no município de Crato, Estado Ceará, nordeste do Brasil. Foi coletada uma concreção dois coprólitos no seu interior que foram mensurados e depois foram analisados por difração com Raios-X. Essas categorizações e a relação do diâmetro médio dos coprólitos com a fauna de vertebrados encontrada na escavação sugerem que a origem dos coprólitos foi de um peixe carnívoro de grande porte corporal. Isso constitui uma nova fonte indireta de dados para acessar inter-relações ecológicas entre uma fauna pretérita difícil de reconstruir apenas por observação direta.

**Palavras-chave:** Coprólitos, Bacia do Araripe, Difração por raios-X.

**ABSTRACT:** Frozen behaviour, close association, and functional interpretation of morphology, are some categories of fossil interpreted as direct evidence of animals' habits and behaviour. Others evidences named indirect may also be obtained when analyzing traces of fossilized faeces, or coprolites. Their contents are usually analyzed in search of remains, like bones, plant parts, and other organisms' parts from which might be inferred the animals' trophic relations or their feeding habits. This way, it was aimed in the present work in order to obtain new data on feeding habits of a group of fossil animals, in controlled excavations performed during July and August 2005 at the fossil site of Romualdo Formation, Santana Formation – Sedimentary Araripe Basin (geographic coordinates: S07°17' and W39°23') (Early Cretaceous), located in the municipality of Crato, state of Ceará, Northeast Brazil. The two mineralized coprolites collected were weighed, measured, and examined by X-ray diffraction. These characteristics and the relation of mean diameter of coprolites to the vertebrate fauna found in the excavation site, suggest that these coprolites result likely from large-bodied fish that lived during the Cretaceous period. This would make up a new indirect source of data through which the ecological interrelationships between pre-existent fauna members would be easier to assess than through the direct observation process.

**Key words:** Coprolites, Araripe Basin, X-ray powder diffraction.

## INTRODUÇÃO

Fósseis são vestígios ou restos de seres vivos de outrora que comumente são preservados em rochas. Ossos, conchas, dentes, folhas, lenho, esporos, etc. foram citados amplamente no estudo de seres pretéritos. No entanto, vestígios de hábitos animal e suas relações ecológicas são raras (Maisey, 1991; Martill, 1993).

O Membro Romualdo, camada superior da Formação Santana definida por Assine (1990), é um dos mais importantes depósitos fossilíferos do Cretáceo (albiano) mundial por conta da excepcional preservação tridimensional de seus fósseis, diversidade de espécies e grande quantidade de espécimes. A história sedimentar dessa área lacustre com influência marinha está relacionada com a separação da América do Sul da África e formação do Atlântico Sul (Maisey, 1991; Martill, 1993; Kellner, 2002).

Fara *et al* (2005) realizaram uma escavação controlada no nível de folhelhos da Formação Santana no município de Santana do Cariri de onde retiraram 233 concreções que na maioria apresentaram em seu interior peixes e coprólitos.

Boucot (1990) categorizou as evidências de hábitos e comportamento animal como (1) comportamentos congelados com observação direta (1) *e.g.* ossos de peixe fossilizados que sofreram predação por outras espécies (2) interpretação da morfologia funcional, *e.g.* fósseis de dentes caninos de animais predadores; (3) arranhões de dentes e unhas em fósseis de presas; (4) trilhas fossilizadas de animais; e (5) folhas danificadas. Outra proposta baseada nas cinco categorias sugeridas por Boucot foi formulada por Viohl (1990), que investigou as relações tróficas da fauna aquática fóssil dos calcários de Solnhofen na Alemanha (Jurássico Superior). Uma proposta similar foi formulada por Maisey (1991), que sugeriu relações entre predadores e presas e níveis tróficos entre uma comunidade de peixes da Formação Santana (Bacia Sedimentar do Araripe – Cretáceo Inferior) quando algumas espécies de peixes e camarões fósseis foram investigados. Maisey (1994), comparou esses dois cenários paleontológicos analisando dados concernentes às evidências diretas de ação predatória para estabelecer níveis tróficos. Com respeito a predadores com dentes, peixes edentados, filtradores, durófagos (alimentam-se de corais e conchas, sementes, etc.) e organismos-presa, esse autor propôs novas categorias de evidências indiretas para mostrar níveis tróficos e relação de predação a serem acrescentadas as cinco categorias de Boucot: (6) bolas de ossos (partes de animais encontrados nas concreções que podem ser formadas por

regurgitação de restos de carcaça) e (7) presença ou ausência de fósseis bentônicos necrófagos. Cavin (2006), estudando uma comunidade de peixes do Turoniano Superior de Goulmima, Marrocos, utilizou evidências diretas (conteúdo estomacal) e evidências indiretas (interpretação funcional ou morfologia).

Análises físicas da composição de material arqueológico e paleontológico de cães fósseis tem sido utilizado para inferir sobre a atividade carnívora desses animais (Allen *et al.*, 2002) e seus paleoambientes (Trevisani *et al.*, 2005). Martill (1989, a, b) estudou a preservação de tecidos moles de peixes, mostrando que esses foram fosfatizados e sugerindo um modelo para o processo de fossilização rápida para os cadáveres, vítimas de mortalidade em massa. Lima *et al.* (2007) através de espectroscopia (raio-X e infravermelho) caracterizou quimicamente as escamas de *Rhacolepis bucalis*, peixe ósseo comum na Formação Santana, mostraram-se totalmente formadas por carbonato de cálcio na forma cristalina (calcita) e fosfato de cálcio hidróxido (hidroxiapatita). Esse autor observou ser maior a quantidade de apatita quanto mais próximo do fóssil e desprezível na parte mais externa da concreção.

Contudo, poucos são os trabalhos que foram desenvolvidos a respeito das relações tróficas e predação da fauna dessa comunidade de fósseis do albiano do nordeste do Brasil, com aproximadamente 100 milhões de anos.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

Em 2005 foram realizadas escavações controladas na Formação Santana (Bacia Sedimentar do Araripe) na localidade de Romualdo, distrito de Crato, Estado do Ceará, no ponto 24M 0456887 UTM 9193903 no Sítio Romualdo. Na ocasião foram retiradas 208 concreções. A concreção com coprólito identificada com o número N7Q1 – 2, foi depositada no laboratório de paleontologia da URCA – Universidade Regional do Cariri. A concreção foi pesada com uma balança de precisão e mensurada com um calibre próximo a 0,1mg (Fig. 1).

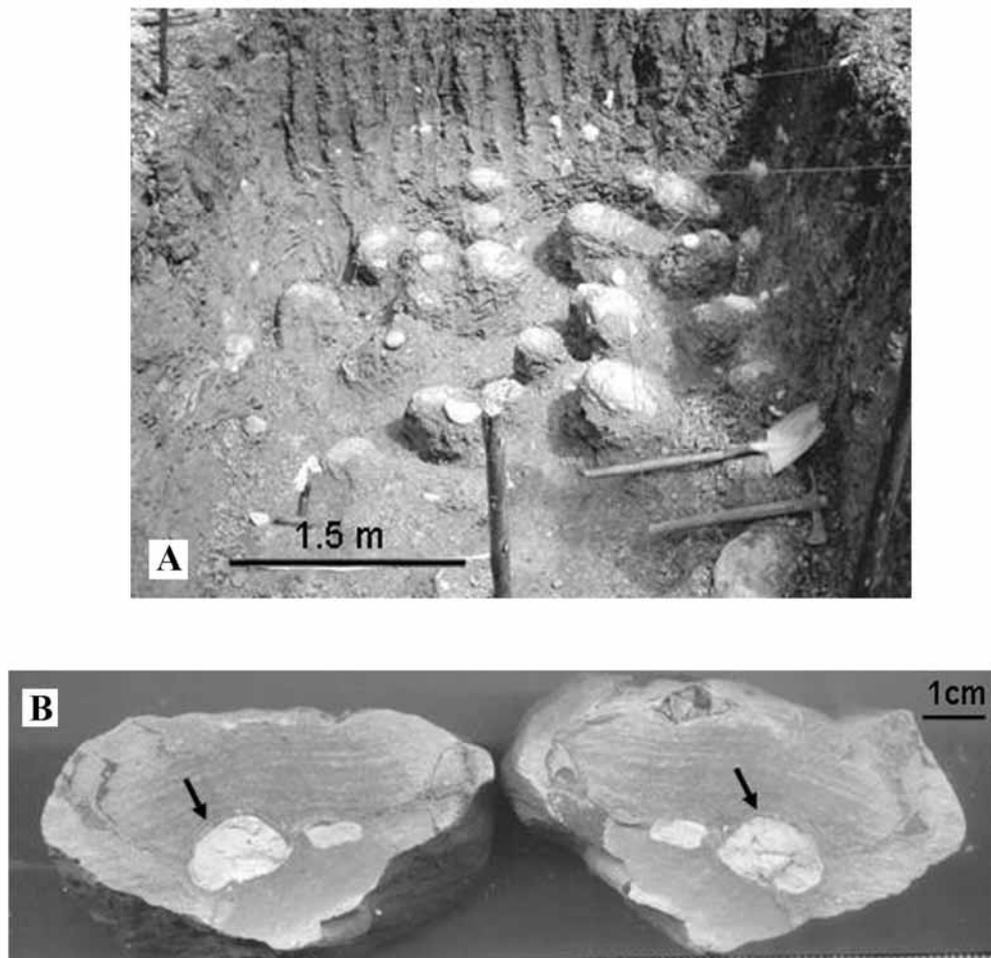


Figura 1. (A) Escavação paleontológica na Formação Santana no Sítio Romualdo. (B) concreção calcária aberta mostrando o coprólito estudado.

As medidas de difração de raio-X de policristais foram realizadas no Departamento de Física da Universidade Federal do Ceará (UFC). Foi empregado para tais mensuramentos um aparato modelo Rigaku DMAXB que utiliza uma geometria de focalização Bragg-bretano. A interpretação do difratograma foi feita qualitativamente por um processo de identificação. Nesse estágio, foi empregado o programa *Philips X'Pert high score 2001* para identificar possíveis fases cristalinas que constituem as amostras. As fases identificadas foram catalogadas e depositadas no banco de dados do Centro Internacional de Dados de Difração – ICCD. O processo de refinamento estrutural foi feito através do programa DBWS (Young, 1995).

## ANÁLISES

A figura 1A mostra as concreções *in loco* circundadas por folhelho antes de serem retiradas para serem abertas. A figura 1B mostra a concreção aberta com o coprólito (de cor branca). A concreção de forma sub-esférica com dimensão de 9X9X7cm apresentou dois blocos de massa fecal fóssil com aproximadamente 1,65 e 0,78cm de diâmetro localizados próximo ao centro da concreção. Os padrões de difração do material analisado são mostrados na Figura 2, onde pode ser observado que o coprólito, a concreção calcária e o material sedimentar que envolve a concreção (folhelho) são diferentes quanto à composição, desde que o respectivo padrão de difração presente seja notadamente diferente.

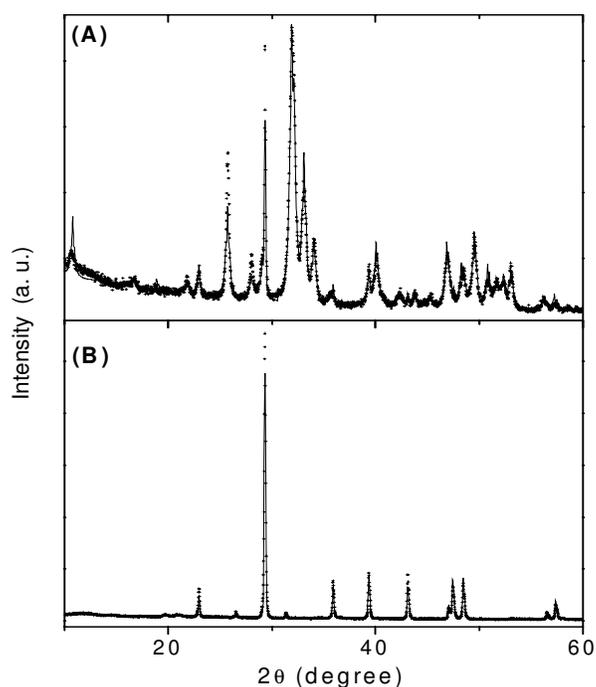


Figura 2. Padrão de difração do refinamento Rietveld do coprólito (A) e da concreção (B), em cuja análise foi usado o programa DBWS-9411.

O refinamento de Rietveld para o padrão de difração dos coprólitos e da concreção, onde o programa DBWS-9411 foi empregado, evidenciam nos coprólitos uma fase de Hidroxiapatita,  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH})$ , com uma massa de 89.78 (+ / -) 0.71% e uma fase de Calcita,  $\text{CaCO}_3$ , com uma massa de 10.22 (+ / -) 2.96%. Os fatores R encontrados foram: R-P = 9.80%, R-WP = 12.84%, e R-ESPERADO = 5.78%. Quanto

ao material da concreção, os resultados foram os seguintes: fase de Calcita,  $\text{CaCO}_3$ , com uma massa de 98.54 (+ / -) 0.54% e fase de quartzo,  $\text{SiO}_2$ , com uma massa de 9.89%. Os fatores de R encontrados foram: R-P = 11.18%, R-WP = 13.92%, e R-ESPERADO = 5.05%.

O padrão de difração do sedimento e da concreção foram executados com a ajuda do *International Centre for Diffraction Data* - ICDD. A análise qualitativa de raios-X do pó padrão do sedimento, onde as fases cristalinas de Gesso,  $\text{Ca}(\text{SO}_4)(\text{H}_2\text{O})_2$  (Referência código 70-0984) e Baixo Quartzo  $\text{SiO}_2$  (Referência código 85-0335), mostram que esses minerais estavam presentes (Figura 3). A fase de hidroxiapatita não foi identificada nesta análise qualitativa.

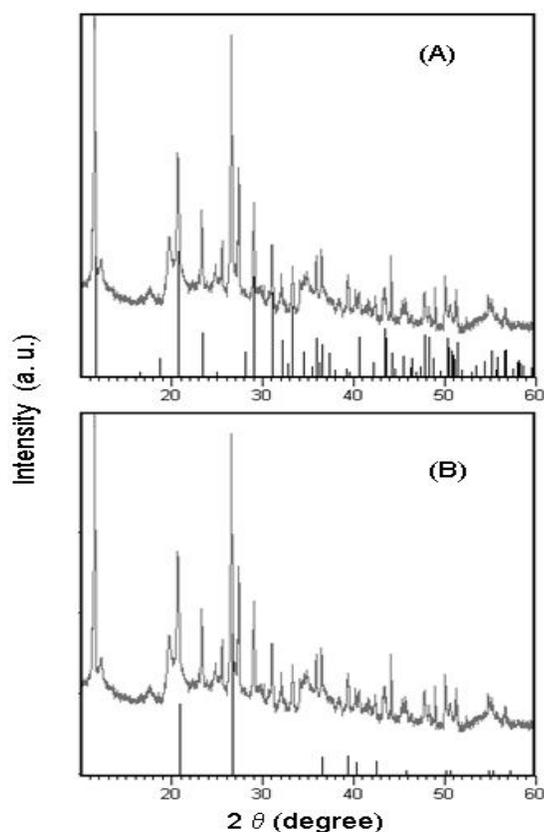


Figura 3. Análise quantitativa de raio-X powder com padrão da concreção calcária da Formação Santana. (A) camada externa com gesso,  $\text{Ca}(\text{SO}_4)(\text{H}_2\text{O})_2$ , com código de referência 70-0984 no ICDD – International Centre for Diffraction Data; (B) camada próxima ao coprólito, com o quartzo sob código de referência 85-0335 no ICDD.

## CONSIDERAÇÕES

A hidroxiapatita presente nos coprólitos não foi proveniente da rocha circundante da concreção (folhelho), pois amostras dessa rocha foram analisadas e deram negativas para a presença deste mineral. Essa situação reforça a interpretação de que o coprólito estudado teve origem a partir de peixes carnívoros da fauna cretácea do paleolago Araripe. Já foi observado que a mineralização simples por hidroxiapatita, especialmente em regiões onde os níveis desse mineral nas rochas ao redor não são particularmente altos indicam uma evidência considerável de que a amostra pode ser um coprólito (Green, 1979; Souto, 2000). Isto está de acordo com o alto nível de hidroxiapatita que é esperado ocorrer em ossos e escamas de peixes (Lager *et al.*, 1962; Souto, 2000), que indicaria claramente que essas partes compunham a dieta de uma carnívoro. Em contraposição, a concentração do mineral, que é tipicamente alta, pode ser observada em algumas camadas entre os folhelhos da assembléia fossilífera, provavelmente após diagênese das rochas de níveis superiores que compõe essa camada fossilífera.

Os fósseis ocorrentes nesta unidade são predominantemente peixes osteícties, como dos gêneros *Araripelepidotes*, *Brannerion*, *Calamopleurus* e *Notelops* citados como peixes eurialinos; *Vinctifer*, *Tharrhias* e *Rhacolepis* como marinhos litorâneos (Bruno & Hessel, 2006) e celacantídeos dos gêneros *Axelrodichthys* e *Mawsonia* (Brito & Martill, 1999), citados por Maisey (1991) como não marinhos. Nas concreções também ocorrem peixes condrícties dos gêneros *Iansan* e *Tribodus* (Brito & Séret, 1996). Outros vertebrados, cujos fragmentos são encontrados nos estratos da Formação Romualdo, são os dinossauros (Kellner, 1996), pterossauros (Kellner, 2006), crocodilomorfos e quelônios (Maisey, 1991). Restos de invertebrados, como ostracodes, foraminíferos (Lima, 1979), gastrópodos e bivalvíos (Beurlen, 1963, 1964), assim como de vegetais superiores (Duarte, 1986) e carófitas (Saraiva *et al.*, 2003) também ocorrem nesta unidade.

Em 208 concreções retiradas na escavação, os peixes predadores (Maisey, 1991, 1994; Martill, 1993; Carvalho, 2004) foram maioria entre os vertebrados encontrados na escavação realizada (131 espécimes), constituídos principalmente por ossos desarticulados (71 espécimes) e alguns completos (25 espécimes) com uma média de 5,7 concreções por m<sup>3</sup> de sedimento. Em contrapartida, 34 espécimes de *Vinctifer*

*comptoni* listados como zoofitoplanctófagos foram encontrados nesses estratos. Foi considerada remota a possibilidade das fezes fósseis analisadas serem provindas de um crocodilo ou tartaruga. Nas relações tróficas propostas por Maisey (1991, 1994), seis gêneros de fósseis são piscívoros: *Calamopleurus* Agassiz, 1841; *Cladocyclus* Agassiz, 1841; *Tharrhias* Bordas, 1942; *Notelops* Woodward, 1901; *Rhacolepis* Agassiz, 1841; e *Santanaclupea* Maisey, 1993. Foram comparados os diâmetros dos coprólitos com a média dos tamanhos dos vertebrados existentes no paleolago durante o albio e o tamanho compatível para essas fezes aponta para peixes predadores acima de um metro de comprimento. Espécimes de *Calamopleurus cylindricus* foram encontrados na região com tamanho em torno de 1,4m e restos desses grandes carnívoros foram encontrados na área escavada (Fig. 4).

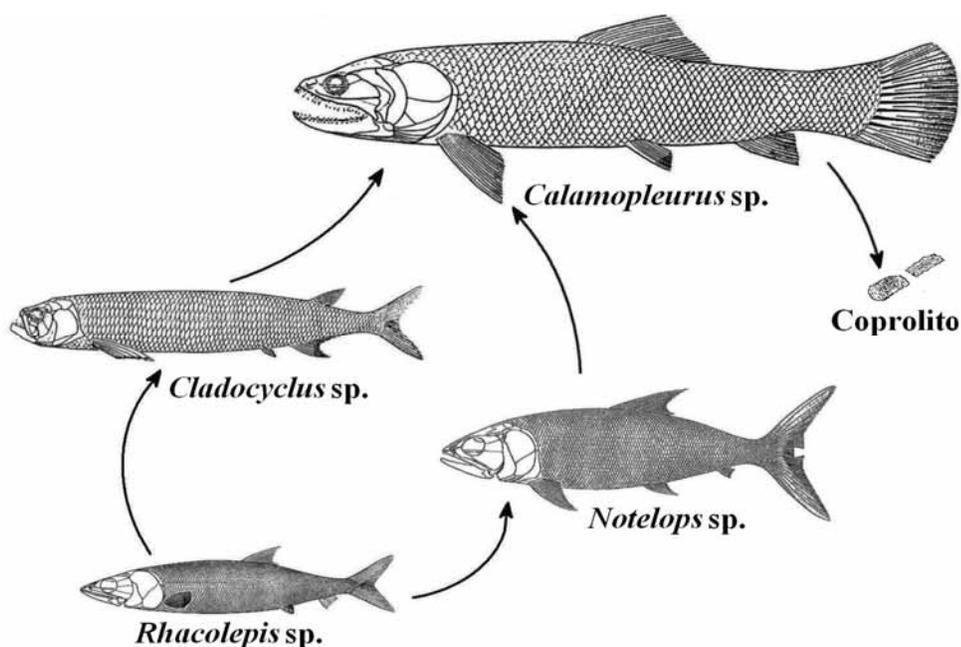


Figura 4. Representação diagramática das relações tróficas entre peixes piscívoros encontrados na Formação Santana (modificado de MAISEY, 1994).

Dados sobre ecologia e comportamento de animais fósseis são raros e bastante valiosos para aqueles que investigam eventos de um passado longínquo de aproximadamente 100 milhões de anos. Detalhes investigados nas relações ecológicas dos peixes tornam-se mais interessantes e elucidativos à medida que detalhes da cadeia alimentar são conhecidos.

## CONCLUSÃO

A difração de raio-X utilizada para exame de estrutura paleoecológica de suposto peixe, extinto do período Cretáceo (albiano) evidenciou ser heterogênia a distribuição dos minerais nas concreções do Membro Romualdo, onde a concentração de hidroxiapatita é crescente de fora para dentro e a concentração de calcita é crescente de dentro para fora. A hidroxiapatita existente no material fecal de peixe teve origem biológica a partir de ossos de outros peixes que faziam parte da dieta do peixe predador. A teia alimentar dos peixes que compunham a assembléia fossilífera do Membro Romualdo era formada basicamente por peixes carnívoros, sendo a massa fossilizada de fezes mais compatível com *Calamopleurus cylindricus*, responsável pela sua produção.

## AGRADECIMENTOS

A FUNCAP – Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico, ao CNPq – Conselho Brasileiro de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico, ao Museu Nacional do Rio de Janeiro – UFRJ e a Fundação Araripe, pelo apoio financeiro e ao químico Alex Moraes por sugestões prestimosas.

## BIBLIOGRAFIA

- Allen, S.D.M.; Almond, M.J.; Bell, M.G.; Hollins, P.; Marks, S. & Mortimore, J.L., 2002 – Infrared spectroscopy of the mineralogy of coprolites from Brean Down: evidence of past human activities and animal husbandry. **Spectrochimica Acta Part A**, **58**: 959–965.
- Brito, P.M. & Séret, B. 1996. *The new genus Iansan (Chondrichthyes, Rhinobatoidea) from the Early Cretaceous of Brazil and its phylogenetic relationships*. In: G. Arratia & G. Viohl (eds) *Mesozoic Fishes: Systematics and Paleocology*. München, Friedrich Pfeil: 47-62.
- Brito, P.M. & Martill, D.M. 1999. *Discovery of a juvenile coelacanth in the Lower Cretaceous, Crato Formation, Northeastern Brazil*. *Cybium*, Paris, 23(3): 209-

211.

- Bruno, A.P.S. & Hessel, M.H. 2006. *Registros paleontológicos do Cretáceo marinho na Bacia do Araripe*. Estudos Geológicos, Recife, (16) 15-34.
- Boucot, A.J., 1990 – **Evolutionary paleobiology of behavior and coevolution**. London: Elsevier. 750p.
- Carvalho, I.S., 2004 – **Paleontologia**. Vol. 1. Rio de Janeiro: Interciencia. 861p.
- Cavin, L., 2006 – *Supposed and direct evidence of trophic relationships within the marine fish community from the Lower Turonian of Goulmima, Morocco*. **DGF On Line Series 1**, [http://L\\_Cavin-DGFOnlineSeries.htm](http://L_Cavin-DGFOnlineSeries.htm).
- Duarte, L. 1986. *Vegetais fósseis da chapada do Araripe*, CE. Coletânea de Trabalhos Paleontológicos [Série Geologia, DNPM], Brasília, (27) 557-563.
- Fara, E.; Saraiva, A.A.F.; Campos, D.A.; Moreira, J.K.R.; Siebra, D.C. & Kellner, A.W.A., 2004 – Controlled excavations in the Romualdo Member of the Santana Formation (Early Cretaceous, Araripe Basin, northeastern Brazil): stratigraphic, paleoenvironmental and palaeoecological implications. **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, **218**: 145-160.
- Green, F.J., 1979 – Phosphatic mineralization of seeds from archaeological sites. **Journal of Archaeological**, **6**: 279-284.
- Kellner, A.W.A. 1996. *Fossilized theropod soft tissue*. Nature. Londres, (32) 379.
- Kellner, A.W.A., 2002 – Membro Romualdo da Formação Santana, Chapada do Araripe. In: Schobbenhaus, C.; Campos, D.A.C.; Queiroz, E.T.; Winge, M. & Berbert-Bron, M. (eds.) **Sítios geológicos e paleontológicos do Brasil**. Brasília: Departamento Nacional da Produção Mineral: 121-130.
- Kellner, A.W.A. 2006. *Pterossauros os senhores do céu do Brasil*. Vieira & Lent, Rio De Janeiro, 175p.
- Lagler, K.F.; Bardach, J.E. & Miller, R.R., 1962 – **Ichthyology**. New York: Wiley Sons. 171–172p.

- Lima, M.R. 1979. *Paleontologia da Formação Santana (Cretáceo do nordeste do Brasil): estágio atual do conhecimento*. Anais da Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro, 51(3) 545-546.
- Lima, R.J.C.; Saraiva, A.A.F.; Lanfredi, S.; Nobre, M.A.L.; Freire, P.T.C. & Sasaki, J.M., in press – Caracterização espectroscópica de um peixe Cretáceo da Bacia do Araripe. **Química Nova**, 29(6), 10p.
- Maisey, J.G., 1991 – **Santana fossils: An illustrated atlas**. New Jersey: Tropical Fish Hobbyist Publications. 459p.
- Maisey, J.G., 1994 – Predator-prey relationships and trophic level reconstruction in a fossil fish community. **Environmental Biology of Fish**, 40: 1-22.
- Martins-Neto, R.G. & Mezzalira, S., 1991 – Descrição de novos crustáceos (Caridea) da Formação Santana, Cretáceo Inferior do Nordeste do Brasil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, 63(2): 155-160.
- Martill, D.M., 1989a. Fast fosfatization. QUGS Journal, Milton Keynes, 10 (1): 4-1.
- Martill, D.M., 1989b. The Medusa effect: Instantaneous fossilization. *Geology Today*, London, 5(6): 201-205.
- Martill, D.M., 1993 – **Fossils of the Santana and Crato Formations, Brazil**. The Paleontological Association, London. 158p.
- Saraiva, A.A.F., Rodrigues, S.R.G. & Kellner, A.W.A. 2003. *Partes vegetativas de carófitas fossilizadas no Membro Romualdo (Albiano, Formação Santana), Bacia do Araripe, nordeste brasileiro*. Boletim do Museu Nacional, Rio de Janeiro, (70) 5-8.
- Souto, P.R.F. 2000 – Tetrapodes Coprolites from The Middle Triassic of Southern Brazil. **Gaia Geosciences Journal**, 16: 51-57.
- Trevisani, E.; Papazonib, C.A.; Ragazzic, E. & Roghid, G., 2005 – Early Eocene amber from the “Pesciara di Bolca” (Lessini Mountains, Northern Italy). **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**, 223: 260– 274.

Viohl, G., 1990 – Piscivorous fishes of the Solnhofen lithographic limestone. In: A.J. Boucot (ed.) **Evolutionary paleobiology of behavior and coevolution**. London: Elsevier: 287-303.

Young, R.A.; Sakthivel, A.; Moss, T.S. & Paiva Santos, C.O., 1995 – *DBWS-9411* - An upgrade of the *DBWS\*.\** programs for Rietveld refinement with PC and mainframe computers. **Journal of Applied Crystallography**, **28**: 366.

## CONCLUSÃO

A mais de dois séculos a Formação Romualdo foi descrita com os seus fósseis tridimensionais. Muitos trabalhos científicos foram desenvolvidos nessa área, considerada o maior e mais importante registro paleontológico do Cretáceo mundial. Contudo, à medida que novos trabalhos vão sendo realizados, mais crescem as expectativas de aparecerem novas respostas sobre a Era Mesozóica.

A elaboração de critérios para análises estatísticas será uma ferramenta bastante útil para trabalhos de escavações futuras, devido à grande quantidade de resultados obtidos a partir destas. Isto se deve a abundância de estruturas litológicas e suas variações morfológicas apresentadas. Assim sendo, análises estatísticas constituem um bom parâmetro para separar em grupos os milhares ou milhões de concreções.

A realização aqui de uma primeira estatística com esses parâmetros mostra existirem peculiaridades como a heterogeneidade vertical e horizontal dentro da assembléia fossilífera da Formação Romualdo. A possibilidade da identificação da área e nível de alguns fósseis-guia que encontram-se em coleções, abre a possibilidade de novas respostas para questões ainda em aberto sobre a situação do continente sul-americano no final de sua última separação. A utilização de estatística permitiu a descoberta de dois grupos distintos de peixes, ocorrendo separadamente na parte basal e superior da assembléia fossilífera. Este resultado confirma a hipótese de que o aumento de salinidade no paleoambiente foi gradativo e com pulsos intermitente, responsáveis pelas mortandades. Porém nunca é demais lembrar que novas escavações darão refinamento melhor às estas afirmações.

Os coprólitos, tão abundantes e tão pouco estudados na Bacia Sedimentar do Araripe, tiveram destaque como uma nova frente de pesquisa no campo da paleoecologia. Através da metodologia empregada nesta tese (raio-X e infra-vermelho) foi possível estabelecer a composição detalhada de evidências indiretas para a recomposição de um nível da trófico. Sendo assim, esses fósseis podem fornecer importantes respostas quanto ao estudo da cadeia alimentar dos peixes que deixaram seus restos preservados nas bacias sedimentares da América do Sul no cretáceo médio.

As novas ferramentas disponíveis como programas estatísticos e métodos de análise no campo da física, associado ao conhecimento paleontológico facilitará esses estudos na busca das tão desejadas respostas sobre o Cretáceo Inferior.

## EPÍLOGO

Após o término dessa jornada fica a sensação de agradecimento e saudade. Como esquecer o espírito de corpo criado entre professores, funcionários e a nossa turma. Não é possível esquecer o charme que o Departamento de Oceanografia tem. Ver a vontade de cada um que faz parte dessa casa dar o melhor de si para que o sentido de unidade não se desfaça, é animador. O dia a dia dessa casa é muito fácil e para que você se adapte ao grupo existe uma regra muito simples de cumprir: sinta-se em casa. Não será possível esquecer as aulas práticas, no catamarã que fez quase todos que participaram da viagem enjoar (menos eu). São inesquecíveis as aulas de anatomia de peixe que no final terminava em peixe frito e os momentos antes das provas onde todos se ajudavam e uma irmandade se formava a cada final de semestre.

Esse curto espaço de tempo que tive a honra de fazer parte do Departamento de Oceanografia da UFPE como aluno, trouxeram-me a bagagem que eu necessitava para atuar como pesquisador na área de oceanografia abiótica. Nessa área espero atuar até o fim da minha vida profissional. Principalmente na Bacia Sedimentar do Araripe, espaço que digo sempre em tom de brincadeira, porém é a mais pura verdade: é bom trabalhar fazendo viagens no quintal de casa. Pois desde criança, as encostas da Chapada do Araripe foram o meu parque de diversão.

Os trabalhos de escavação nas localidades mais difíceis do entorno da Chapada do Araripe, foram bastante enriquecedores. Aprendi coisas com a gente simples que luta a cada hora pela sobrevivência. Foi grande a vontade de encontrar alguma espécie nova ou alguma “novidade” como denominam os escavadores locais. Agora entendo como se sente um garimpeiro, ao início de cada dia, uma vontade sem controle de escavar e ao final do dia que você não encontrou a peça de desejo, vem à certeza que no dia seguinte ela vai está lá, na sua frente, é só escavar um pouco mais. Terminada essa etapa, não vejo à hora de voltar para encontrar a “novidade” talvez não a espécie nova, mas dados mais esclarecedores sobre a estratigrafia e a paleoecologia das áreas que sofreram influência marinha e deixaram registros nos sedimentos do paleolago Araripe.