

CONCREÇÕES CALCÁRIAS DA FORMAÇÃO SANTANA, BACIA DO ARARIPE: UMA PROPOSTA DE CLASSIFICAÇÃO

Antônio Álamo Feitosa Saraiva¹

Maria Helena Hessel²

Núbia Chaves Guerra³

Emmanuel Fara⁴

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

² UFS, Aracaju, helenahessel@ufs.br

³ Departamento de Oceanografia, UFPE, Recife, nschaves@ufpe.br

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

RESUMO

As concreções calcárias da Formação Santana são conhecidas desde 1800 pelo relato de João da Silva Feijó e divulgadas internacionalmente por von Spix e von Martius entre 1823 e 1831, denominadas ictiólitos por Silva Santos em 1950. No presente trabalho é proposta uma classificação para os diversos tipos de concreções calcárias ocorrentes na Formação Santana (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, podem-se ter 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 calcárias singenéticas, ictiólitos, Eocretáceo, macrofósseis tridimensionais, Formação Santana

ABSTRACT

The calcareous concretions of the Santana Formation have been known since 1800 thanks to the work of João da Silva Feijó (1800). Their study was promoted internationally by the report of von Spix and von Martius (1823-1831), and their richness in fossil fishes led Silva Santos to name them “ichthyoliths” in 1950. Here we propose a classification for the various types of calcareous concretions that occurred in the Santana Formation (Late Cretaceous, Araripe Basin). We consider their geographic distribution and we propose a terminological uniformization for the descriptions of that material. This will serve future statistical, geographical, geochemical and taphonomical studies that, altogether, will improve our understanding of the Santana ‘Lagerstätten’. The classification criteria are: the number and position of the fossils in the concretions, the dimensionality of the macrofossils, the relationship matrix/fossil, the shape of the concretions, as well as their lithological structure and texture. The contents in fossils is classified as afossiliferous, unifossiliferous and multifossiliferous; the relative position of the fossils in the concretions can be described as superior, medium, inferior, traverse, dispersed or in parallel planes; the preservation type is characterized by adjectives such as “three-dimensional” and “compressed”; the percentage of matrix in relation to the macrofossil is expressed as abundant matrix, regular, scarce and short. The shape of the concretion can be sub-spherical, ellipsoidal, oval-elongated and irregular; the sedimentological structure of the matrix is classified as laminated and little laminated, while its texture is either a fine matrix or a very fine matrix.

Keywords: syngenetic carbonate concretions, ichthyolith, Late Cretaceous, macrofossils, Santana Formation

INTRODUÇÃO

A Bacia do Araripe encontra-se inserida na região do Cariri, situada ao sul do Ceará, noroeste de Pernambuco e leste do Piauí. Com cerca de 12.000km², é considerada a maior bacia sedimentar do interior do nordeste brasileiro. Sob a Chapada do Araripe pode ser encontrada a sequência completa das unidades geológicas que compõem a bacia. É delimitada ao norte pelo lineamento de Patos e ao sul pela falha de Farias Brito (Fig. 1). Sua sequência cretácea foi depositada ao longo de quase 50 milhões de anos, na qual se encontram calcários laminados, bancos de gipsita, folhelhos e arenitos finos.

vados, o que é bastante raro no registro geológico mundial.

Os fósseis ocorrentes nesta unidade são predominantemente peixes osteícties, como dos gêneros *Araripelepidotes*, *Brannerion*, *Calamopleurus* e *Notelops* citados como organismos 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 For-

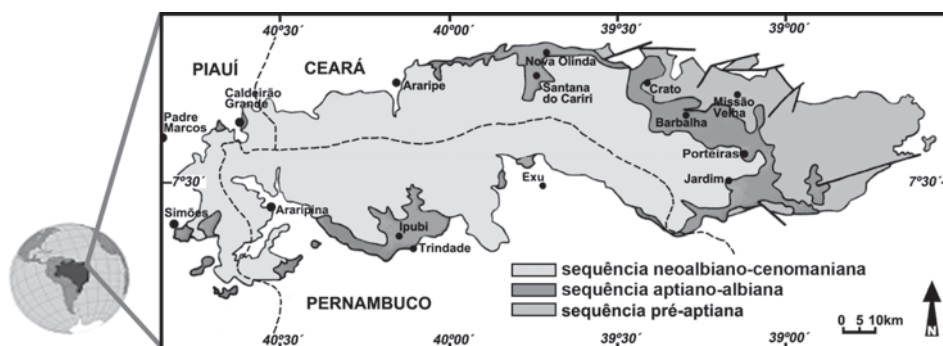


Figura 1: Localização da Bacia do Araripe com a área aflorante do Grupo Santana e localidades com maior ocorrência de concreções (modificado de BRUNO & HESSEL, 2006).

A Formação Santana está sobreposta aos arenitos e folhelhos escuros da Formação Barbalha e é recoberta pelos arenitos avermelhados da Formação Exu (Assine 1994). É tida como de idade albiana (Arai *et al.* 2001), sendo constituída predominantemente, da base para o topo, por camadas de calcários laminados, gipsita, folhelhos escuros, arenitos calcíferos, argilitos e arenitos argilosos. Encaixadas nos folhelhos mais superiores, ocorrem concreções calcárias, geralmente com macrofósseis tridimensionalmente preser-

vação Santana, 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 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).

HISTÓRICO DO ESTUDO DAS CONCREÇÕES DA FORMAÇÃO SANTANA

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, 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, descreveu sua provável formação, baseando-se no trabalho de Weeks: "elas parecem ter-se formado durante a marcha da decomposi-

ção da matéria orgânica, tendo o carbonato de cálcio se concentrado na imediata vizinhança do fóssil, devido à alcalinidade gerada pela amônia desprendida. Por isso esses ictiólitos têm a forma aproximadamente concordante com a do peixe que encerram”. Amaral (1971) acrescentou que os ictiólitos da Bacia do Araripe são de origem singenética.

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. Martill (1989) 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 Santana. 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 achatá-los 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 (cuja extremidade falta), 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 Santana, 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 Santana nas regiões de Santana do Cariri e Crato, constatando feições características na distribuição, direção, forma e conteúdo das concreções encontradas em diferentes níveis da sequência sedimentar estudada. De modo geral, observou-se 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 sequência, os peixes mais frequentes pertencem aos gêneros *Tharrhias* e *Cladocyclus*, ocorrendo em concreções de orientação norte-sul.

OBJETIVOS

As concreções calcárias da Bacia do Araripe são conhecidas mundialmente pela diversidade, abundância e excelência dos fósseis neles contidos. Estas estruturas sedimentares ocorrem nos estratos mais superiores da Formação Santana (Grupo Santana). Dezenas de trabalhos têm sido publicados em diversos países sobre estas ocorrências, analisando seu conteúdo, interpretando o paleoambiente de deposição, ou 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 objetivo maior deste trabalho é apresentar classificações sobre os diversos tipos de concreções calcárias ocorrentes na Formação Santana e sua distribuição geográfica, sugerindo uma uniformização terminológica para as descrições deste material. 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 atuantes. Ao se adotar uma padronização na descrição das concreções, possibilita-se futuros estudos estatísticos, geoquímicos, biogeográficos e tafonômicos que, integrados, podem fornecer novas visões sobre o cenário de deposição desta formação e fornecer dados para interpretações paleoambientais a respeito da influência marinha atuante nesta bacia.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho de sistematização foi realizado com base na observação direta da ocorrência de cerca de 700 concreções calcárias coletadas 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), incluiu a realização de cinco escavações (Fig. 2), onde foi anotado na ficha de campo um número sequencial 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.

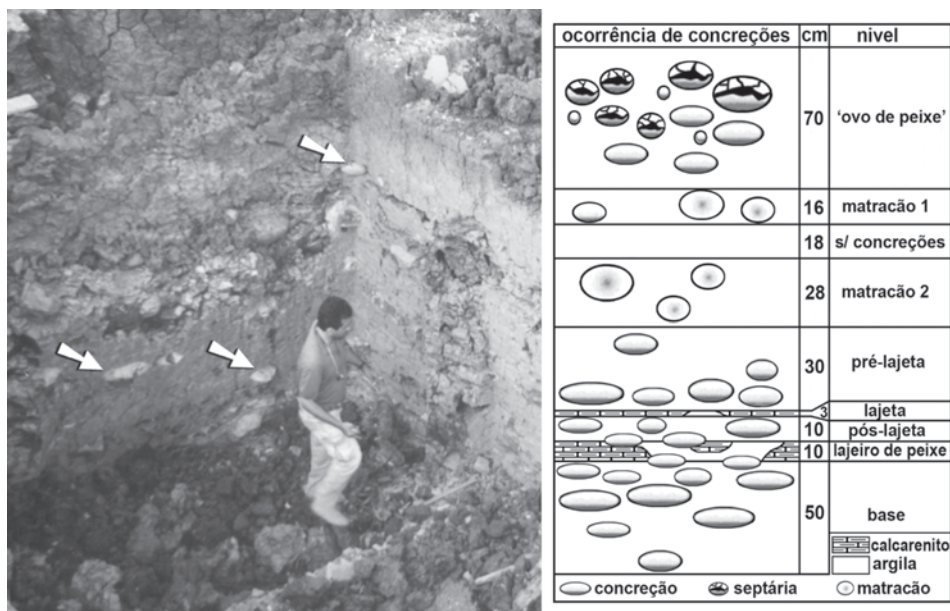


Figura 2: Escavação na Assembléia fossilífera da Formação Romualdo no município de Santana do Cariri, Ceará, com concreções calcárias sobressaindo ao corte (algumas delas indicadas por setas) e perfil esquemático da assembléia fossilífera ao lado.

CLASSIFICAÇÕES DAS CONCREÇÕES CALCÁRIAS

Embora tenham sido observados na Formação Santana 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).

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 fossilífero. Entretanto, de modo geral, os fósseis encontrados nas concreções de Santana do Cariri são os menores, os de Crato e Jardim são de porte intermediário, e os ocorrentes em Missão Velha (Ceará) e Canto Escuro (entre os municípios Jardim e Serrita, este em Pernambuco) são os maiores observados até o momento em toda a Bacia do Araripe.

Em relação ao conteúdo fóssil encontrado nas concreções da Formação Santana, é preciso também considerar que na

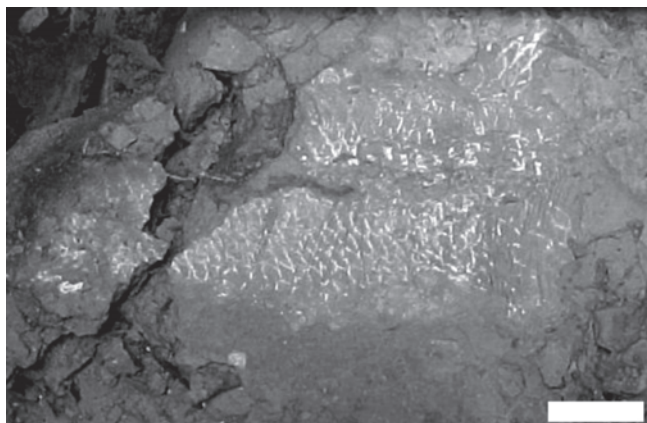


Figura 3: Restos de *Tharrhias* sp. preservados nos folhelhos da Formação Romualdo em Jardim (escala = 1cm).

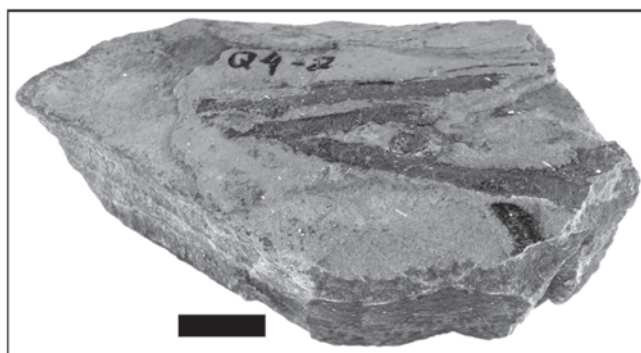


Figura 4: Restos de *Brachiphyllum* sp. preservados em “matracão” da Formação Romualdo provenientes da região do Crato (escala = 1cm).

matriz que as compõem se encontram frequentemente 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, pode-se classificá-las em três tipos (Fig. 5): afos-

silíferas, que não mostram macrofósseis em seu interior; unifossilíferas, com um espécime de macrofóssil em cada concreção (tipo mais comum); e multifossilíferas, com dois ou mais espécimes de macrofóssil em cada concreção, sendo mais frequente em Santana do Cariri e Nova Olinda. Nas escavações de Santana do Cariri foram retiradas 228 concreções, das quais 31 são multifossilíferas, comumente com representantes do gênero *Tharrhias*. Na escavação de Jardim, de 408 concreções encontradas, apenas duas são multifossilíferas, com *Rhacolepis* sp.

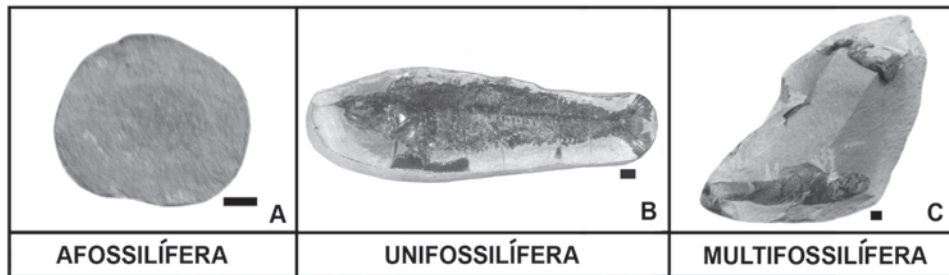


Figura 5: Tipos de concreções da Bacia da Formação Romualdo quanto ao número de espécimes nelas encontrados: A = concreção afossilífera; B = concreção unifossilífera com *Rhacolepis* sp.; C = concreção multifossilífera com *Rhacolepis* sp. (escala = 1cm).

Posição do macrofóssil na matriz

Quanto à disposição dos exemplares fósseis nas concreções, é possível encontrá-los em um ou em diversos planos de sua laminação interna e também em relação à estratificação da rocha hospedeira. Assim, observam-se macrofósseis nas seguintes posições (Fig. 6): superiores, cujos espécimes ocorrem na porção superior da concreção, respeitada a posição desta na rocha hospedeira; medianos, com macrofósseis ocorrendo na região mediana da concreção; inferiores, nas quais os espécimes se encontram na

parte inferior da concreção, de acordo com a posição desta na rocha hospedeira; transversais, quando os espécimes ocorrem em posição transversal à laminação interna da concreção; paralelos, cujos exemplares (sempre mais de um) ocorrem na concreção em diferentes planos paralelos entre si; e dispersos, onde 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.

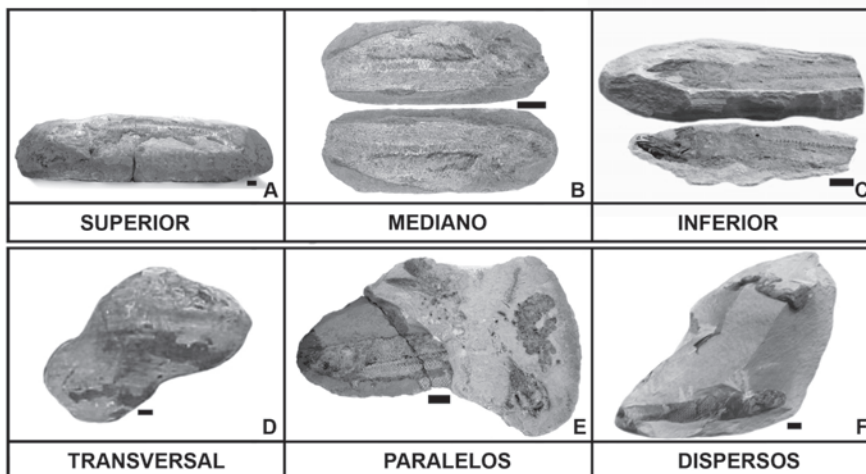


Figura 6: Tipos de concreções calcárias da Formação Romualdo quanto à posição dos fósseis na concreção (escala = 1cm).

Dimensionalidade do macrofóssil

Independente de sua possível fragmentação, quanto à preservação da dimensão espacial do fóssil encontrado dentro das concreções calcárias da Formação Santana, pode-se ter macrofósseis (Fig. 7): tridimensionais, quando preservados em forma bas-

da matriz equivalente à largura do espécime contido, envolvendo similarmente o fóssil em todas as direções (é frequente na região de Missão Velha); 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); escas-

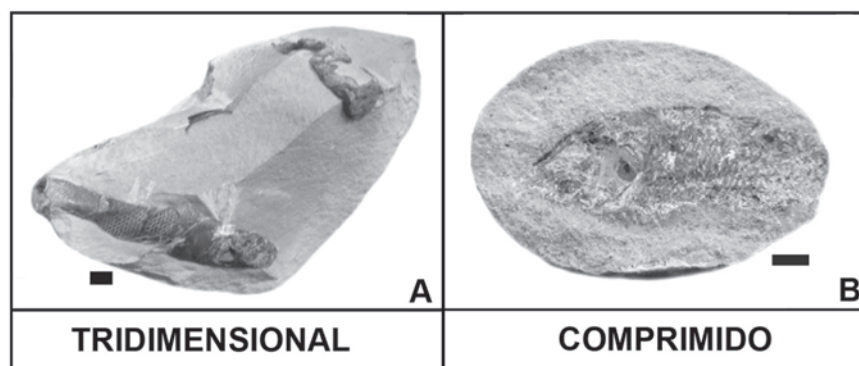


Figura 7: Concreções quanto à dimensionalidade espacial dos fósseis que estas contém: A = fragmentos tridimensionais de *Rhacolepis* sp.; B = exemplar de *Brannerion* sp. comprimido (escala = 1cm).

tante similar ao corpo do indivíduo durante sua vida; ou comprimidos, com espécimes achatados por pressão de depósitos sedimentares superiores e formação mais lenta da concreção. De modo geral, os níveis mais superiores das escavações apresentam fósseis tridimensionais e os níveis mais inferiores, fósseis comprimidos. A espécie e o tipo da parte preservada também é fator determinante na preservação da dimensionalidade do fóssil.

Relação matriz/macrofóssil

As concreções calcárias da Formação Santana mostram variações significativas no percentual de matriz calcária em relação ao macrofóssil que contém, de modo que se pode classificá-las como possuidoras de matriz (Fig. 8): abundante, com a espessura

sa, quando a espessura da matriz é igual à largura do espécime, acompanhando a silhueta deste (é característica na região de Jardim); e 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).

Forma

De modo geral, concreções calcárias em folhelhos e margas são sub-esféricas ou achatadas 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.

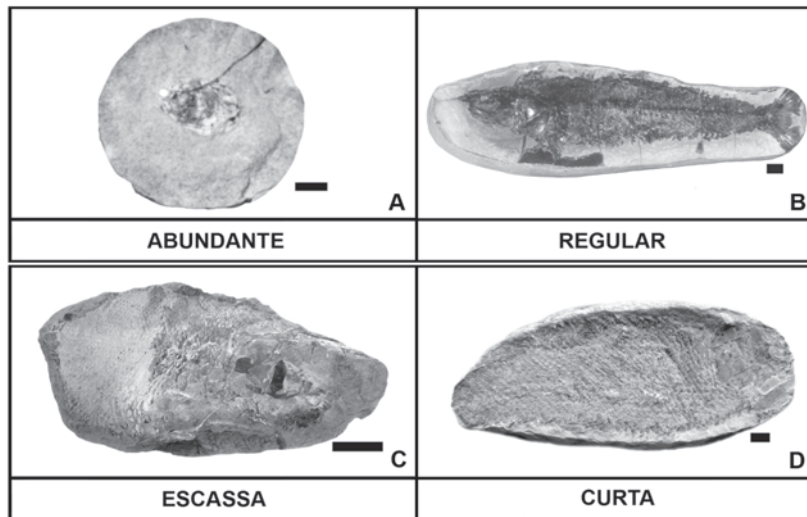


Figura 8: Tipos de concreções quanto à quantidade de matriz: A = concreção com matriz abundante ao redor de um coprólito; B = concreção com matriz regular; C = concreção com matriz escassa em torno de um fragmento de peixe; D = concreção com matriz curta (escala = 1cm).

des. Quanto à forma geral das concreções encontradas na Formação Santana, é possível classificá-las em quatro tipos (Fig. 9): sub-esféricas, quando apresentam uma relação comprimento x largura x altura bastante simi-

lar; ovóides, com o comprimento maior do que a largura e a altura; 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 concre-

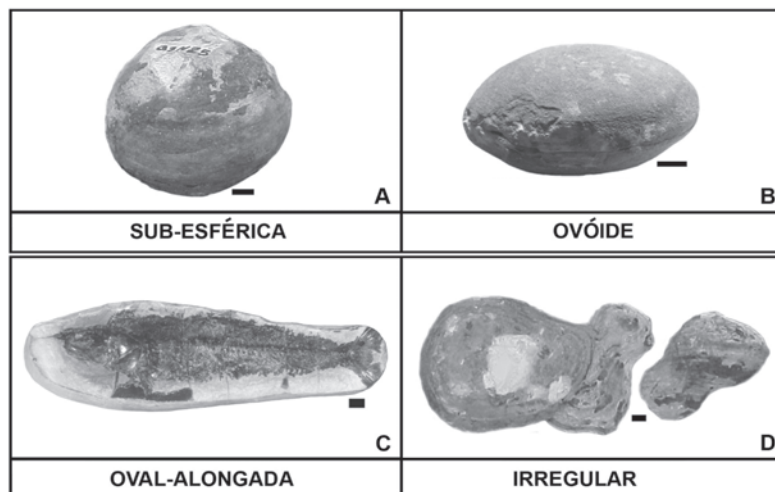


Figura 9: Tipos de concreções quanto a sua forma geral: A = sub-esférica; B = ovóide; C = oval-alongada com *Rhacolepis* sp.; D = irregulares (escala = 1cm).

ção bastante achatada (é tipo mais comum nos níveis inferiores dos folhelhos da Formação Santana); e irregulares, com forma variada conforme o seu conteúdo fossilífero.

Estrutura e textura sedimentares

Segundo as estruturas de caráter sedimentar observadas na matriz calcária formadora das concreções da Formação Santana, estas podem ser classificadas em dois tipos (Fig. 10): laminadas, mostrando uma laminação bem definida em toda a extensão da matriz da concreção, até junto ao macrofóssil; e pouco lamina-

nadas 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.

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 (frequentemente 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

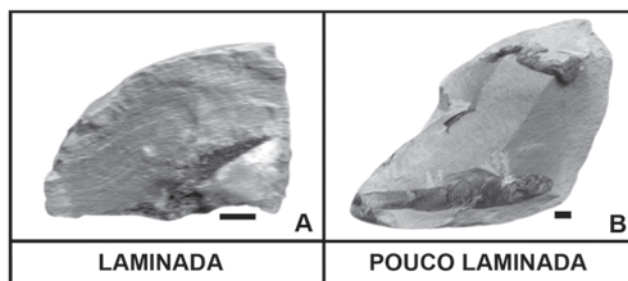


Figura 10: Tipos de concreções quanto à laminação e textura internas da matriz: A = fragmento de concreção laminada; B = fragmento de concreção pouco laminada (escala = 1cm).

das, 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 lami-

geral uma cor cinzento-esverdeada (frequente em Missão Velha e Jardim).

Também se encontram nos folhelhos da Formação Santana da Bacia do Araripe um tipo peculiar de concreções, chamadas septárias, com gretas irregulares preenchidas por material secundário. São em geral sub-esféricas ou ovóides (Figs. 11A e 11B),

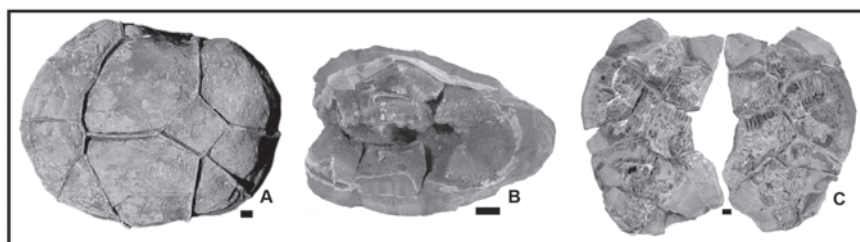


Figura 11: Concreções septárias da Bacia do Araripe da região do Crato, Ceará: A = aspecto externo; B = aspecto interno sem macrofósseis; C = aspecto interno com fragmentos de peixes (escala = 1cm).

ocorrendo na área de Jardim, onde trazem fósseis incompletos ou coprólitos (Maisey, 1991), e na região do Crato, Barbalha e Santana do Cariri, sendo estas frequentemente multifossilíferas (Fig. 11C).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

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). Ambas 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, formando-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) (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 frequentes 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. Algumas concreções irregulares podem resultar da coalescência de nódulos durante sua formação. Os nódulos podem ser de diferentes composições mineralógicas, como, por exemplo, sílex (calcedônia microcristalina), fosfato e manganês, estes formados em regiões abissais (Suguio 2003).

Quanto à Formação Santana, observa-se que, pela quantidade e variedade das concreções calcárias ocorrentes na porção leste da Bacia do Araripe, é possível classificá-las segundo diversos critérios, como os aqui apresentados: número de espécimes, posição do fóssil contido, dimensionalidade do macrofóssil, relação matriz/fóssil, forma, e estrutura e textura sedimentares.

O número de espécimes por concreção pode auxiliar na identificação da localidade e nível sedimentar de sua procedência. Por exemplo, concreções irregulares multifossilíferas são típicas dos folhelhos basais da Formação Santana na região de

Santana do Cariri e Nova Olinda. Uma estatística preliminar, realizada nestas áreas, mostra que apenas 11% das cerca das 500 concreções com peixes estudadas são multifossilíferas. Em concreções unifossilíferas, os macrofósseis podem ocorrer em posição superior, mediana ou inferior, assim como transversalmente dispostos. Já nas concreções multifossilíferas, eles ocorrem em planos paralelos ou não, podendo estar também transversalmente dispostos.

A forma mais comum de concreções encontradas na base dos folhelhos da Formação Santana 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. Por exemplo, representantes de gêneros fusiformes como *Rhacolepis* (quando tridimensionais) ocorrem em posição mediana ou superior em concreções oval-alongadas. Outros peixes de corpo lateralmente achatado, como *Neoproscinetes*, *Cladocyclus* e *Axelrodichthys*, ocorrem em concreções irregulares de matriz escassa, sendo observados em camadas inferiores e medianas desta unidade.

Em termos litológicos, as estruturas e texturas de caráter sedimentar observadas na matriz calcária formadora das concreções da Formação Santana no leste da bacia, assim como o percentual de matriz calcária em relação ao macrofóssil, podem também indicar a sua região de origem. Assim, por exemplo, as concreções laminadas de textura muito fina, com matriz escassa, são comuns em Jardim e Porteirás; as concreções pouco laminadas com textura fina são características na região de Santana do Cariri e Nova Olinda (se com matriz curta) ou do Crato e Barbalha (se com matriz regular); e as concreções com matriz abundante, indiferente-

mente do tipo de laminação e textura, são frequentes na região de Missão Velha. As concreções septárias ocorrem na área de Jardim, onde trazem fósseis incompletos ou coprólitos, e na região do Crato, Barbalha e Santana do Cariri, sendo estas frequentemente multifossilíferas.

Estes dados confirmam e ampliam as observações de Maissey (1991) sobre a distribuição dos diferentes tipos de concreção na Formação Santana na Bacia do Araripe e facilitam as interpretações advindas de trabalhos de escavações controladas com perfil em micro-escala. As observações de Maissey sobre a distribuição de concreções por tamanho (maiores em Jardim e Missão Velha do que em Santana do Cariri) não pode ser confirmada. Entretanto, observações inéditas sobre a distribuição de concreções calcárias em Nova Olinda, Crato e Barbalha são aqui apresentadas, assim como é registrada a ocorrência diferenciada de concreções septárias em Barbalha, Crato, Nova Olinda e Santana do Cariri (multifossilíferas), e em Jardim (com fósseis incompletos ou coprólitos).

Embora as concentrações de concreções variem em função do perfil estratigráfico e a distribuição geográfica, de uma maneira geral, 62% das concreções não apresenta macrofósseis ou possui apenas coprólitos. A maioria dos macrofósseis preservados nas concreções da Formação Santana 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, quando apenas cerca de 20% das concreções contendo peixes apresenta espécimes completos. A dimensão espacial do fóssil preservado nestas concreções pode indicar o nível dos folhelhos da Formação Santana de onde

provém a concreção como, por exemplo, ocorre com *Rhacolepis* sp.: se tridimensional e em concreção oval-alongada provém das camadas superiores; se comprimido e de posição mediana, é proveniente de estratos mais inferiores.

É possível, portanto, caracterizar as concreções advindas da parte leste da Bacia do Araripe por áreas de ocorrência, tomando por base os níveis estratigráficos nos quais aparecem concreções cujo conteúdo encontra-se melhor preservado (geralmente encontrados em museus e coleções). Assim, por exemplo, em Missão Velha, as concreções são geralmente sub-esféricas ou ovóides, de abundante matriz de textura muito fina, com macrofósseis tridimensionais em posição mediana. No Crato e em Barbalha, as concreções são predominantemente oval-alongadas, de matriz regular, textura fina, pouco laminadas e unifossilíferas, com fósseis geralmente comprimidos e desarticulados. Em Santana do Cariri e Nova Olinda, a maioria das concreções é oval-alongada, de matriz curta, pouco laminada e textura fina, por vezes multifossilífera. E em Jardim e Porteirias, as concreções são geralmente oval-alongadas ou irregulares, de matriz escassa e laminada, muito fina, com espécimes de disposição mediana ou transversal, sendo em quase sua totalidade unifossilíferas.

Por todas as observações aqui relacionadas sobre os diversos tipos de concreções calcárias ocorrentes na Formação Santana na porção leste da Bacia do Araripe e sua distribuição geográfica, é possível adotar uma sistematização terminológica em suas descrições que 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.

CONCLUSÕES

No estudo dos diversos tipos e da distribuição geográfica das concreções calcárias da Formação Santana na porção leste da Bacia do Araripe, é possível sugerir classificações que facilitam sua descrição e seu tratamento estatístico. Assim sendo, para o número de exemplares presentes nas concreções, pode-se classificá-las em afossilíferas, unifossilíferas e multifossilíferas, sendo estas, típicas dos folhelhos basais na região de Santana do Cariri e Nova Olinda. Quanto à forma das concreções, é possível classificá-las em sub-esféricas, ovóides, oval-alongadas (estas comuns na base dos folhelhos) e irregulares. Em termos de estruturas sedimentares observadas na matriz calcária, as concreções podem ser classificadas em laminadas e pouco laminadas, e, quanto à textura sedimentar da porção mais interna da matriz calcária das concreções, elas podem ser classificadas em fina e muito fina. Para a disposição dos fósseis nas concreções, é possível encontrá-los em posição superior, mediana, inferior, transversal, dispersa ou em planos paralelos. Quanto ao percentual de matriz calcária em relação ao macrofóssil, pode-se classificá-las como possuidoras de matriz abundante, regular, escassa e curta. E sobre a dimensão espacial como fóssil foi preservado, pode-se ter concreções com espécimes tridimensionais ou comprimidos.

De acordo com suas características, as concreções da Formação Santana no leste da bacia podem indicar sua região de origem: concreções laminadas de textura muito fina, com matriz escassa, são comuns em Jardim e Porteirias; 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); concreções com matriz abundante, indiferentemente do tipo de lamina-

ção e textura, são frequentes na região de Missão Velha; e concreções septárias ocorrem na área de Jardim, Crato, Barbalha e Santana do Cariri.

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

REFERÊNCIAS

- 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. 1994. Paleocorrentes e paleogeografia na Bacia do Araripe, nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo, 24(4): 223-232.
- 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. *Palaos*, 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 Cassiopinæ, 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 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.
- Camargo-Mendes, J. 1960. *Introdução à Paleontologia*. 1ª ed., Rio de Janeiro, Instituto Nacional do Livro, 382p.

- D'Erasmus, G. 1938. Ittiloti Cretacei del Brasile. *Atti de la Reale Accademia delle Scienza 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.
- 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): 545-546.
- 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 elopomorph fish. *Nature*, London, 346: 171-172.
- Martill, D.M. 1994. La fossilization instantanée. *La Recherche*, Paris, 269(25): 996-1002.
- Martill, D.M. 2007. The age of the Cretaceous Santana Formation fossil Konservat Lagerstätte of north-east Brazil: A historical review and an appraisal of the biochronostratigraphic utility of its palaeobiota. *Cretaceous Research*, Amsterdam, 29: 1-26.
- Medeiros, M.A. 2004. Fossildiagênese. In: I.S. Carvalho (ed.) *Paleontologia 1*, 2ª ed., Rio de Janeiro, Interciência: 47-59.
- 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.
- 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. *Palaos*, 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. *Palaos*, 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.