



Universidade Federal do Pará



Instituto de Geociências



Faculdade de Geologia

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**DÉBORA BARROSO MONTEIRO**

**SISTEMÁTICA E PALEOBIOLOGIA DE MICROFÓSSEIS DE  
EQUINODERMAS DA FORMAÇÃO PIRABAS (MIOCENO INFERIOR),  
ESTADO DO PARÁ**

**GEOCIÊNCIAS**  
U F P A

BELÉM - PARÁ

AGOSTO DE 2013

**DÉBORA BARROSO MONTEIRO**

**SISTEMÁTICA E PALEOBIOLOGIA DE MICROFÓSSEIS DE  
EQUINODERMAS DA FORMAÇÃO PIRABAS (MIOCENO INFERIOR),  
ESTADO DO PARÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará – UFPA, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Orientador: Prof. Dr. Vladimir de Araújo Távora.

Belém

2013

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)  
Sistema de Bibliotecas da UFPA

---

M775s Monteiro, Débora Barroso  
Sistemática e paleobiologia de microfósseis de equinodermas da Formação Pirabas (Mioceno inferior), estado do Pará / Débora Barroso Monteiro; Orientador: Vladimir de Araújo Távora – 2013  
58 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação em geologia) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Geologia, Belém, 2013.

1. Formações (Geologia) - Pará. 2. Paleontologia - Mioceno. 3. Micropaleontologia - Pará. 4. Equinodermo – Pará. 5. Ofiuróide – Pará. 6. Crinoidea – Pará. I. Távora, Vladimir de Araújo, *orient.* II. Universidade Federal do Pará. III. Título.

CDD 22<sup>a</sup> ed.: 560.47098115

---

**DÉBORA BARROSO MONTEIRO**

**SISTEMÁTICA E PALEOBIOLOGIA DE MICROFÓSSEIS DE  
EQUINODERMAS DA FORMAÇÃO PIRABAS (MIOCENO INFERIOR),  
ESTADO DO PARÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Geologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará – UFPA, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Bacharel em Geologia.

Data de aprovação:

Conceito:

Banca examinadora:

---

Prof. Vladimir de Araújo Távora – Orientador  
Doutor em Geologia  
Universidade Federal do Pará

---

Prof. José Fernando Pina Assis – Membro  
Mestre em Ciências  
Universidade Federal do Pará

---

Profa. Dra. Maria Inês Feijó Ramos  
Doutora em Geociências  
Museu Paraense Emílio Goeldi

À Deus,  
meu criador e Pai celestial

Ao meu esposo Abiezer Monteiro

Aos meus filhos  
Ariel e Asafe Monteiro

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por ter me dado força e a paz de espírito necessárias para superar os obstáculos desta jornada.

À Universidade Federal do Pará, em especial a Faculdade de Geologia, pela infraestrutura disponibilizada e pelo suporte acadêmico para a formação de novos geólogos ao longo dos seus 50 anos de história.

Aos professores da Faculdade de Geologia, por serem mediadores do conhecimento e contribuírem para a formação de novos profissionais.

Ao Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura (IG-UFGPA) na pessoa do seu coordenador, Prof. Dr. Cláudio Nery Lamarão e da técnica Srta. Ana Paula P. Corrêa.

A professora Rosemery Silva Nascimento, diretora da Faculdade de Geologia pela dedicação e atenção que disponibiliza todos os dias à nós discentes.

Ao Professor Vladimir Távora, pela orientação disponibilizada, por ter sido mentor e incentivador no campo da pesquisa científica ao longo de todo este período.

Aos meus pais, por serem incansáveis em suas orientações ao longo de toda a minha vida.

Ao meu esposo Abiezer, pelo incentivo, amor, dedicação, companheirismo e por ser um grande exemplo de superação.

Aos meus filhos, por estarem sempre na arquibancada da vida torcendo por mim, não importa se perdendo ou ganhando são meus eternos companheiros.

A todos os amigos e amigas, que sempre trouxeram a mim palavras de incentivo e confiança.

“O começo de todas as ciências é o espanto de as coisas serem o que são.”

Aristóteles

## RESUMO

Este trabalho apresenta os dados obtidos a partir da análise de microfósseis calcários em amostras coletadas na Formação Pirabas Mina B-17 da Cimentos do Brasil S. A., município de Capanema e na praia do Atalaia município de Salinópolis, Estado do Pará, visando a caracterização sistemática e paleobiológica de novos elementos de equinodermas da Formação Pirabas, pertencentes aos grupos Crinoidea e Ophiuroidea, ainda não reconhecidos nesta unidade litoestratigráfica. O tratamento das amostras seguiu os métodos curatoriais usuais para separação de microfósseis calcários. A partir da triagem das amostras foram recuperados 27 fragmentos de crinoides e 18 fragmentos de ofiuroides. Foram reconhecidos dentre os ofiuroides a família GORGONOCEPHALIDAE e os gêneros *Ophiomusium* e *Ophiactis* (?) e dentre os fragmentos de crinoides a ordem COMATULIDA. A composição taxonômica, ambiente de vida e feições bioestratinômicas destes equinodermas e dos demais elementos faunísticos associados, considera-se que seja parautóctone a concentração fossilífera de ofiuroides e crinoides coletados nas litofácies tipicamente marinhas plataformais aflorantes na praia do Atalaia, e que os elementos recuperados nas litofácies da Mina B-17 caracterizam uma concentração fossilífera alóctone, onde as vértebras foram carregadas para a laguna pelos canais de maré durante as tempestades que assolaram o mar de Pirabas. Os ofiuroides e crinoides estudados guardam afinidade com as equinofaunas miocênicas da Província Biogeográfica Caribeaná, em especial com as registradas na Flórida, Porto Rico, Trinidad, Panamá, Cuba, Haiti e República Dominicana, sendo que os táxons identificados corroboram o intercâmbio faunístico entre as regiões Pacífico Leste Tropical (PLT) e Atlântico Oeste Tropical (AOT), já bem definido em outros grupos.

Palavras-chave: Formação Pirabas. Mioceno. Microfósseis. Equinodermas. Ofiuroides. Crinoides.

## ABSTRACT

This research deals the data obtained from the analysis of calcareous microfossils in samples collected in Pirabas Formation that occurs at Mina B-17 Cimentos do Brasil S. A., municipality of Capanema and Atalaia beach, Salinópolis municipality, Pará State, and aiming at the systematic and paleobiological characterization. The treatment of the samples reveals 27 fragments of crinoids and 18 fragments of ophiuroids. The ophiuroids are represented by the family Gorgonocephalidae and genus *Ophiomusium* and *Ophiactis* (?) and among the fragments of crinoids, were recognized the order Comatulida. The taxonomic composition, living environment and biostratigraphic features these echinoderms and other associated faunal elements studied in the lithofacies at Atalaia beach allowed to consider that the fossiliferous concentration is parautochthonous. The fragments of the echinoderms collected in samples of B-17 Mine characterize a fossiliferous concentration allochthonous where the vertebrae were transported to the lagoon by tidal channels during storms that ravaged the sea Pirabas. The echinofauna studied keep affinity with the miocenic associations of the Caribbean Biogeographic Province, especially with those recorded in Florida, Puerto Rico, Trinidad, Panama, Cuba, Haiti and the Dominican Republic, and the taxa identified corroborate the faunal exchange between regions Eastern Tropical Pacific (PLT) and Tropical Western Atlantic (AOT), already well established in other groups.

Keywords: Pirabas Formation. Miocene. Microfossils. Echinoderms. Ophiuroids. Crinoids.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1-Localização geográfica da Formação Pirabas nos municípios de Capanema e Salinópolis, Estado do Pará.....14
- Figura 2-Morfologia de um ofiuoide: A. Vista aboral, B. Corte transversal do braço, C. Vista oral.....17
- Figura 3-Morfologia de um crinoide.....19
- Figura 4-Cladograma dos equinodermas.....22
- Figura 5-Perfis geológicos das localidades Salinópolis e Mina B-17 .....28
- Figura 6–Ofiuroides:1-6 vértebras de GORGONOCEPHALIDAE (1,4,6 vista proximal e 2,5 vista distal); 7-11 vértebras de *Ophiomusium*; 12-16 disco central de *Ophiactis*(?); 17-18 vista aboral e oral de um escudo oral.....36
- Figura 7–Crinoides: 1-6 centrodorsal de comatulídeos; 7-8 braquiais com articulação sizigial; 9-16 braquiais de comatulídeos com articulações oblíqua e reta.....37
- Figura 8- Visualização esquemática mostrando os elementos da paleoequinofauna da Formação Pirabas até aqui registrada, incluindo os táxons anteriormente descritos e os aqui acrescentados: a. Crinoide comatulídeo, b. *Cidaris*, c. *Echinolampas*, d. *Histocidaris*, e. Gorgonocéfalo, f. *Karlaster*, g. *Clypeaster*, h. *Phillacanthus*, i. *Schizaster*, j. *Cassidulus*, k. *Agassizia*, l. *Plagiobrissus*, m. *Rhyncolampas*, n. *Ophiomusium*, o. *Abertella*, p. *Ophiactis*.....39
- Figura 9–Fragmentação e abrasão:1-2 vértebra de GORGONOCEPHALIDAE; 3-4 centrodorsal de um COMATULIDA.....46
- Figura 10–Estágio I de Dissolução:1.vértebra de *Ophiomusium* 2. Vértebra de GORGONOCEPHALIDAE 3. Centrodorsal de COMATULIDA 4. Vértebra de COMATULIDA com articulação sizigial.....48

Figura 11-Estágio II de Dissolução:1.disco central de *Ophiactis(?)* 2. Vértebra de *Ophiomusium* 3-4. Braquiais de COMATULIDA.....49

## SUMÁRIO

1	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	12
2	<b>OBJETIVOS</b> .....	13
3	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	14
3.1	ATIVIDADES DE CAMPO.....	14
3.2	ATIVIDADES DE LABORATÓRIO.....	14
4	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	15
4.1	OPHIUROIDEA E CRINOIDEA.....	15
4.2	EVOLUÇÃO DOS EQUINODERMAS.....	20
4.3	GEOLOGIA DA FORMAÇÃO PIRABAS.....	23
4.4	PERFIS GEOLÓGICOS.....	26
4.4	EQUINODERMAS DA FORMAÇÃO PIRABAS.....	29
5	<b>RESULTADOS</b> .....	32
5.1	SISTEMÁTICA PALEONTOLÓGICA.....	32
5.2	CONSIDERAÇÕES SOBRE A FAUNA ESTUDADA.....	38
5.3	CONSIDERAÇÕES PALEOBIOGEOGRÁFICAS E PALEOECOLÓGICAS....	40
5.4	CONSIDERAÇÕES TAFONÔMICAS.....	43
6	<b>CONCLUSÕES</b> .....	50
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	52

## 1 INTRODUÇÃO

O trabalho visa a investigação micropaleontológica de ossículos desarticulados de crinoides e ofiuroides encontrados na Formação Pirabas a partir da separação de fragmentos de colônias de microbriozoários. O registro destes grupos de equinodermas é inédito, ampliando a variedade de elementos do filo e reforçando a necessidade de investigações micropaleontológicas mais refinadas, hoje voltadas principalmente para foraminíferos e ostracodes.

O estudo permitiu a caracterização sistemática dos espécimens encontrados, através de estruturas morfológicas diagnósticas que associadas a feições bioestratinômicas e fossildiagnéticas levou ao estabelecimento de considerações paleobiogeográficas, paleoecológicas e tafonômicas. Este panorama constitui uma oportunidade para efetiva contribuição à Micropaleontologia da Formação Pirabas e expandir o conhecimento sobre os equinodermas fósseis do Brasil.

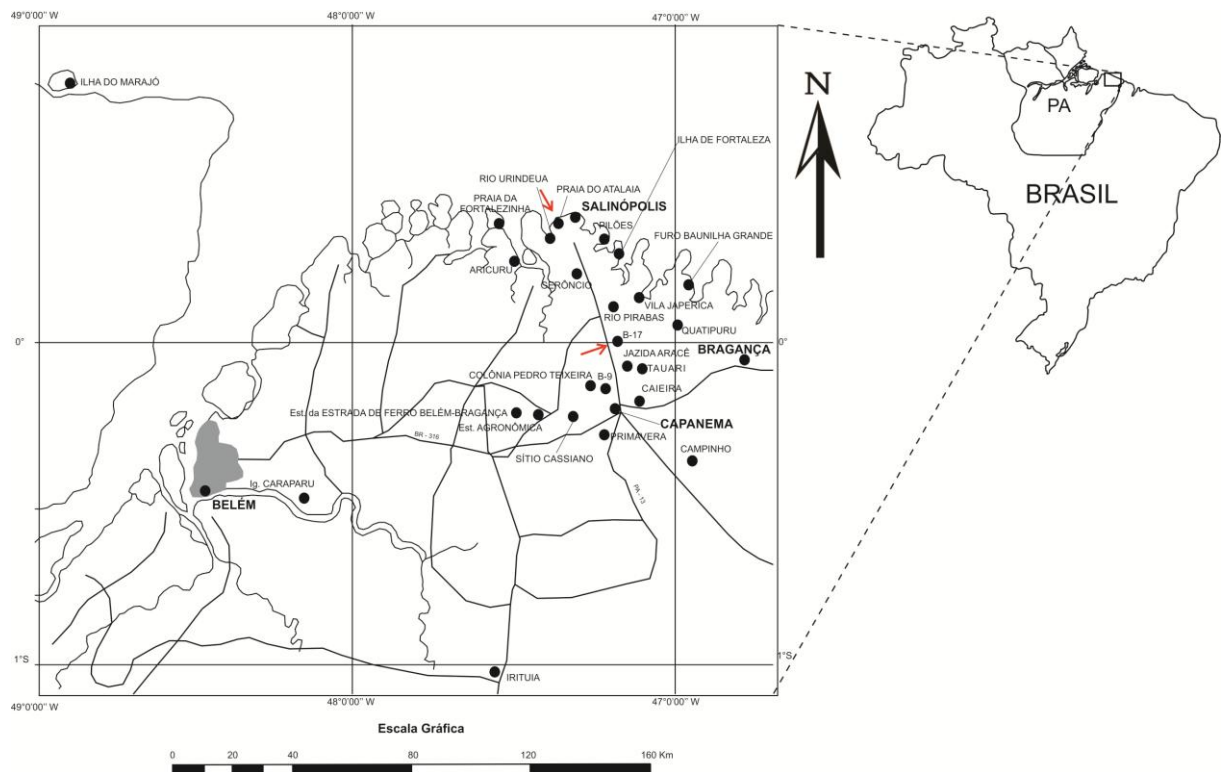
## 2 OBJETIVOS

O trabalho se propõe a caracterização sistemática e paleobiológica de novos elementos de equinodermas da Formação Pirabas, pertencentes aos grupos Ophiuroidea e Crinoidea, ainda não reconhecidos nesta unidade litoestratigráfica. As amostras foram coletadas em afloramentos da Praia do Atalaia (município de Salinópolis) e Mina B-17 da Cimentos do Brasil S.A. no município de Capanema. (Figura 1). O presente estudo visa ampliar o conhecimento sobre a fauna de equinodermas, desta vez preservados como restos microscópicos de formas macroscópicas.

Como objetivos específicos a presente pesquisa visa:

- a) Investigação e caracterização sistemática dos microfósseis de ofiuróides e crinoides da Formação Pirabas coletados nas referidas localidades;
- b) caracterização paleobiogeográfica, paleoambiental e tafonômica dos táxons identificados;
- c) Ilustração sob Microscópio Eletrônico de Varredura dos táxons mais representativos;

Figura 1- Mapa de Localização da Área da Formação Pirabas com destaque para as duas localidades estudadas.



Fonte: Távora et al 2010

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 ATIVIDADES DE CAMPO

O material estudado é proveniente de amostras dos afloramentos da Formação Pirabas, localizados na Praia do Atalaia e Mina B-17 da Cimentos do Brasil S.A.- CIBRASA, coletadas em outubro de 2012.

#### 3.2 ATIVIDADES DE LABORATÓRIO

A partir da triagem das amostras foram recuperados 27 fragmentos de crinoides e 18 fragmentos de ofiuroides, já tratados com os usuais métodos curatoriais e armazenados em células de Franke sob lupa binocular Stemi SV-6. Os microfósseis foram fotografados sob o Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), Zeiss, modelo LEO 1430 e concomitantemente separação por morfotipos e

classificação sistemática. A última etapa do trabalho consistiu na caracterização paleoecológica, paleobiogeográfica e tafonômica dos exemplares, com base na literatura científica específica.

#### **4. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

##### **4.1. OPHIUROIDEA E CRINOIDEA**

O filo Echinodermata é um grupo zoológico diversificado, composto por elementos predominantemente marinhos e bentônicos, arranjados em dois subfilos e cinco classes que divergiram evolutivamente ainda no Pré-Cambriano. Tendo ocupado os nichos ecológicos marinhos desde os tempos cambrianos e considerado um dos grupos de invertebrados mais evoluídos, tem como representantes mais comuns as estrelas do mar, ouriços do mar, bolachas de praia, ofiuróides e lírios do mar (SOUZA-LIMA; MANSO, 2011).

As principais características morfo-anatômicas do filo incluem a simetria radial e bilateral, tubo digestivo completo, sistema vascular aquífero que corresponde a um sistema de canais que se expandem para o exterior através de seus poros, compreendendo respectivamente o sistema ambulacral e pés ambulacrais. Além disso, não possuem dimorfismo sexual, sua fecundação é externa e são dotados de um esqueleto interno composto por placas de calcita cristalina. Estas características aliadas à sua bioquímica permite posicioná-los filogeneticamente como bem mais próximos dos hemicordados e cordados, do que dos demais grupos de invertebrados. A larva planctônica favorece sua dispersão biogeográfica por quase todos os ambientes marinhos, onde se distribuem desde zonas intermarés até profundidades abissais (SOUZA-LIMA; MANSO, 2011).

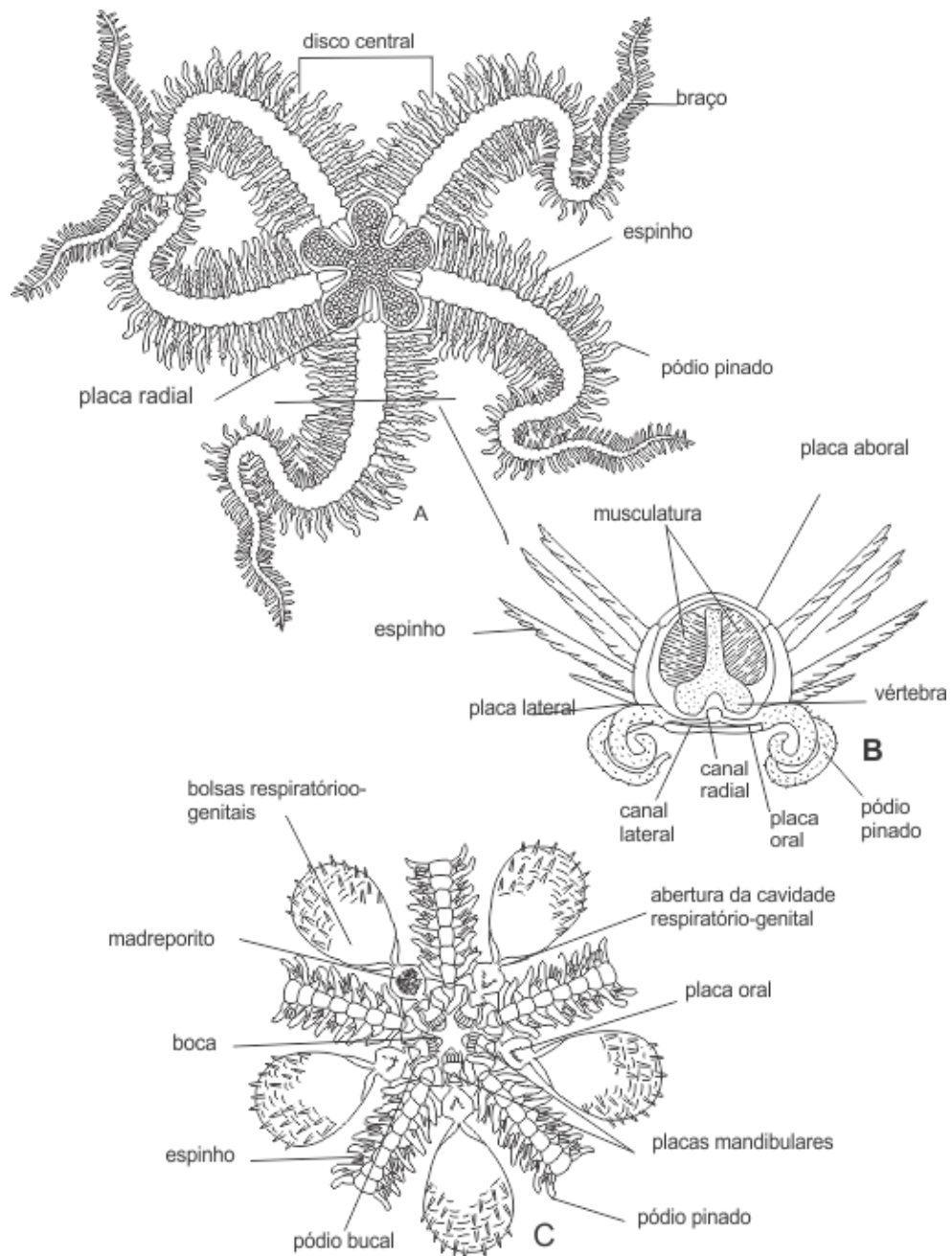
Os equinodermas compostos por placas esqueléticas mais resistentes são os equinóides e crinóides, que por esta razão podem ser frequentemente encontrados em rochas carbonáticas detríticas fanerozóicas, em especial do Devoniano, Cretáceo e Cenozóico. As preferências ambientais e a ampla distribuição temporal fazem destes invertebrados importantes indicadores paleoecológicos, biocronológicos e paleobiogeográficos (SOUZA-LIMA; MANSO, 2011).

A interpretação do modo de vida destes organismos deve levar em conta a forma da carapaça, estrutura, arranjo e número de poros ambulacrais, espinhos e tubérculos dos espinhos. É importante também considerar que os principais fatores ambientais que regem a sua distribuição são a salinidade, temperatura, tipo de substrato e turbidez da água. O ritmo evolutivo lento e o complexo arranjo de seu endoesqueleto impedem que os equinodermas tenham ampla aplicação em interpretações bioestratigráficas, com exceção para alguns táxons de crinóides paleozóicos e roveacrinídeos e espatangóides do intervalo Cenomaniano - Coniaciano (ZUCON; VIEIRA, 2011; SOUZA-LIMA; MANSO, 2011).

Devido ao escopo desta pesquisa serão enfatizados a seguir as classes Ophiuroidea e Crinoidea, pertencentes ao subfilo Eleutherozoa e Pelmatozoa.

Segundo Souza-Lima & Manso (2011) os ofiuróides, conhecidos como serpentes-do-mar, com cerca de 2000 espécies viventes, são equinodermas abundantes do bentos marinho, desde as zonas intermarés até as regiões abissais, com estratégias alimentares variando entre sedimentívoros, suspensívoros e necrófagos. A morfologia básica destes organismos inclui um disco com cinco ou mais braços articulados, simples ou ramificados, celoma muito reduzido, compostos por placas recobertas por tecido e madreporito localizados na superfície oral do disco central, podendo ser reduzida a dois poros diminutos. Nos braços são encontrados os pódios, pequenas estruturas que auxiliam na obtenção de alimento, locomoção e trocas gasosas. A boca localiza-se no centro da região ventral, comunicando-se com o estômago que não termina em ânus. Assim o estômago e as gônadas situam-se na cavidade celomática perivisceral, preenchida por fluídos (Figura 2). Estes animais usam seus braços articulados e flexíveis primariamente para rastejar ou agarrar-se. O arranjo do esqueleto dos braços permite um extenso movimento lateral em um plano perpendicular ao eixo do corpo, mas os braços quase não possuem flexibilidade paralelamente ao eixo do corpo (BRUSCA; BRUSCA, 2007).

Figura 2 – Morfologia de um ofiuroide: A. Vista aboral, B. Corte transversal do braço, C. Vista oral.



Fonte: Ribeiro-Costa; Rocha (2006)

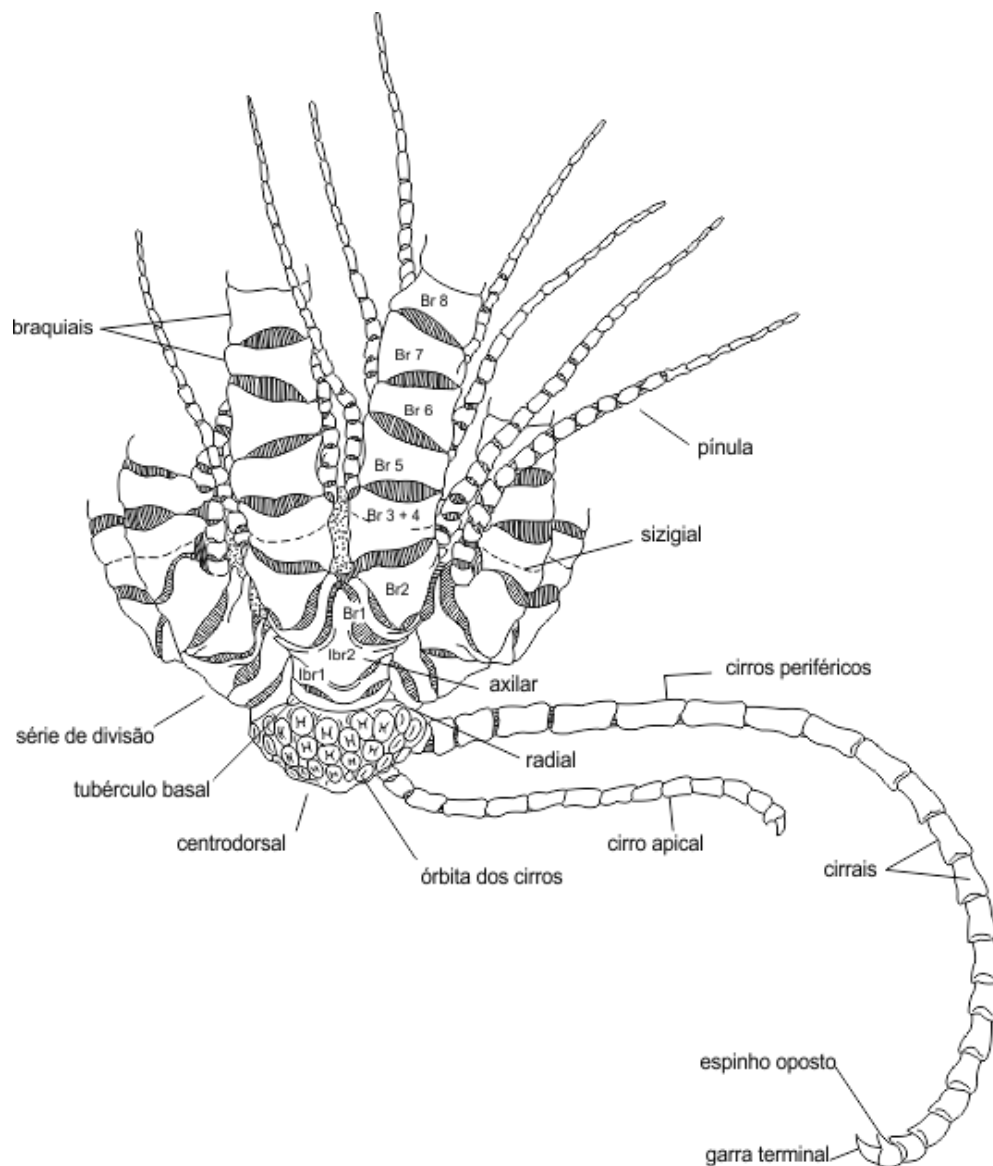
Seu arranjo sistemático em três ordens, duas subordens e cinco infraordens, está baseado nas formas fósseis, principalmente na morfologia e ornamentação dos escudos radiais, braços, placas laterais, espinhos braquiais e articulação vertebral (SOUZA-LIMA; MANSO, 2011; BRUSCA; BRUSCA, 2007).

A extensa amplitude temporal destes invertebrados, cujos primeiros fósseis reconhecidos datam do Ordoviciano, aliada às pequenas modificações dos seus aspectos morfoanatômicos ao longo de sua história geológica, permitem supor que evoluíram no ritmo braditélico e por isso podem ser considerados fósseis vivos. No entanto, até hoje apenas o gênero *Ophiocanops* foi formalmente proposto como fóssil vivo por Fell (1962, 1963 in SOUZA-LIMA; MANSO, 2011). O registro fóssil dos ofiuróides é esparso, devido a fragilidade do seu esqueleto, rapidamente decomposto ou destruído por necrofagia após a morte, desencadeando rápida desarticulação das suas placas.

A classe Crinoidea abrange cerca de 700 espécies de crinoides representadas por 100 espécies de lírios do mar e outras 600 de comatulídeos. Constituem a classe mais antiga e em certos aspectos, mais primitivas de equinodermos. A morfologia dos crinoides compreende um corpo central em forma de cálice ou taça, com superfície oral voltada para cima, pedúnculo aboral quando presente, origina-se do cálice, ambúlacros nos braços com pínulas que podem ramificar-se mais de uma vez, placas esqueléticas fundidas no cálice e articuladas em outras regiões, não possuem madreporito externo e na superfície oral localizam-se a boca e ânus (Figura 3) (SOUZA-LIMA; MANSO, 2011; BRUSCA; BRUSCA, 2007; HICKMAN; ROBERTS; LARSON, 2004; RUPPERT; FOX; BARNES, 2005).

Este grupo de equinodermas difere dos demais por permanecer fixo uma boa parte de sua vida. Os comatulídeos em especial durante sua metamorfose são sésseis e pedunculados, após alguns meses passam a mover-se livremente. Os crinoides são habitantes de águas profundas, mas podem como os comatulídeos habitar águas rasas e serem membros comuns de comunidades em ambientes recifais (HICKMAN; ROBERTS; LARSON, 2004; RUPPERT; FOX; BARNES, 2005).

Figura 3 – Morfologia de um crinoide: vista lateral de um comatulídeo (primibraquiais- IBr, braquiais-Br).



Fonte: Hess *et al.* (1999)

Com estratégia alimentar suspensívora contam com as correntes de água para suprimento de plâncton e detritos. Ao se alimentarem, braços e pínulas são mantidos estendidos em um plano perpendicular ao fluxo da corrente formando uma grande superfície de captura. As partículas de alimentos entram em contato com os pódios que flexionando-se repetidamente jogam o alimento para dentro dos sulcos indo até a boca onde é ingerido (BRUSCA; BRUSCA, 2007; RUPPERT; FOX; BARNES, 2005).

Os crinoides possuem o mais rico registro fóssil e são os únicos representantes que vivem fixos ao substrato encontrados até hoje, sendo também componentes importantes das comunidades paleozoicas formando depósitos sedimentares de detritos crinoidais que alcançam espessuras consideráveis (MOORE; TEICHERT, 1978).

## 4.2 EVOLUÇÃO DOS EQUINODERMAS

A evolução do filo Echinodermata incluiu basicamente um conjunto de modificações no esqueleto mesodérmico de ossículos estereômicos e aquisição da simetria pentarradial, sistema ambulacral e suas expansões externas.

O grupo tronco dos equinodermas originou-se provavelmente ainda no Pré-Cambriano, quando um deuterostômio ancestral escavador, colonizou os meios epibentônicos e diversificou no Cambriano Inferior, quando estabeleceram-se os seus planos corporais básicos. O filo diversificou rapidamente, alcançou apogeu no Paleozóico Médio e passou por um momento de declínio durante a maior crise biótica na Terra, ocorrida na passagem Permiano-Triássico. Os cinco grandes morfogrupos que persistem até hoje são considerados monofiléticos correspondendo às cinco classes que atualmente são mantidas na grande maioria dos arranjos sistemáticos e filogenéticos existentes (BRUSCA; BRUSCA, 2007).

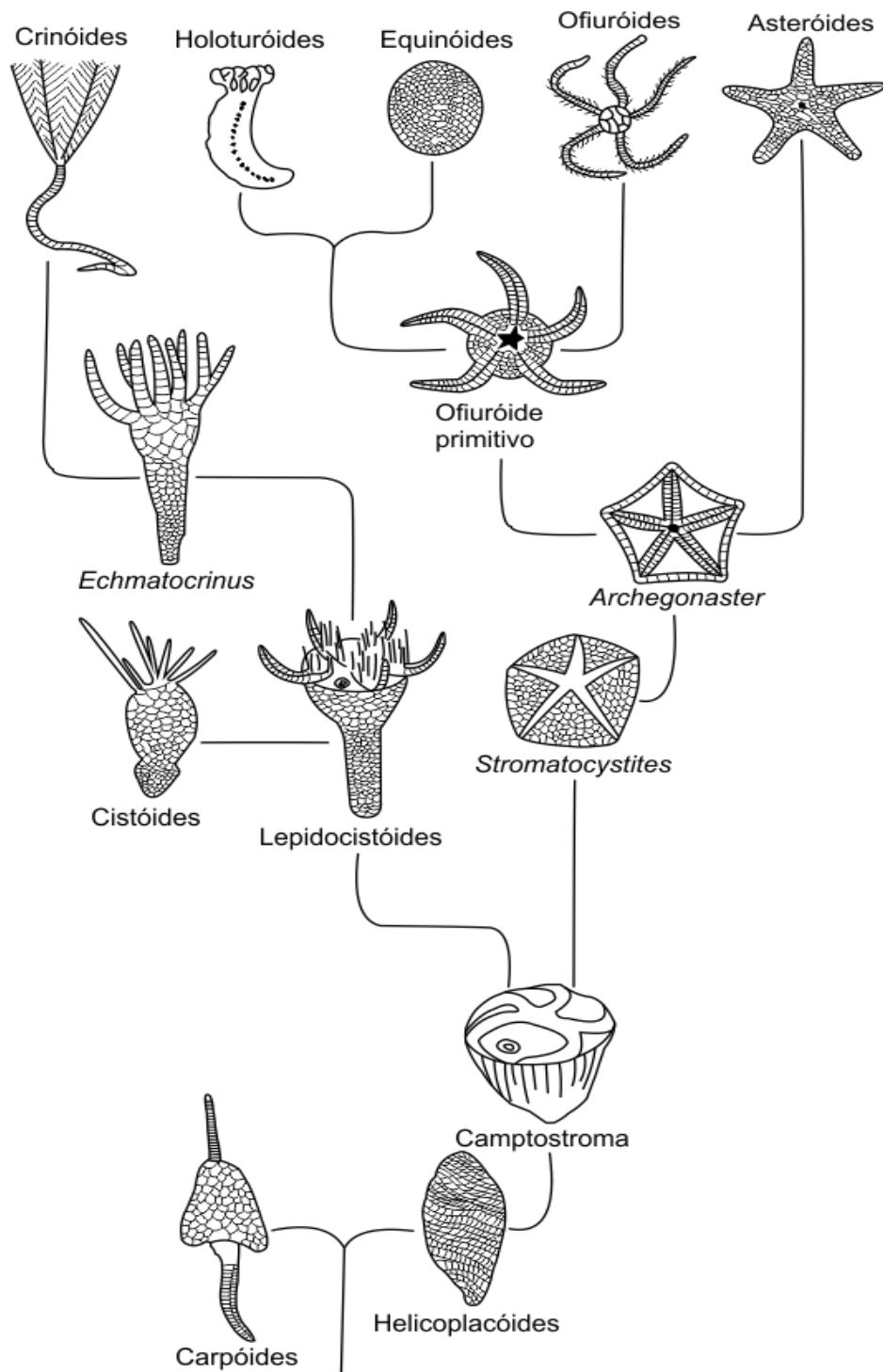
Os equinodermas basais pré-cambrianos foram os carpóides, indivíduos epibentônicos suspensívoros com um braço articulado, ossículos estereômicos e sistema vascular aquífero com natureza incerta. Os primeiros equinodermas verdadeiros foram os helicoplacóides, exclusivamente cambrianos, que tinham corpo fusiforme, três ambulacros e placas esqueléticas arranjadas em uma espiral. A posição lateral de sua abertura bucal pode ser considerada como um indício da série de transformações morfológicas que resultou em um primeiro momento, na mudança de simetria bilateral para radial, marcando o início da evolução do bauplan dos equinodermas (BRUSCA; BRUSCA, 2007).

A partir do gênero extinto *Camptostroma*, edrioasteróideo pentarradial com cinco ambulacros derivados do modelo trirradial dos helicoplacóides, ocorreu uma

dicotomia separando crinóides e cistóides (grupos-irmãos monofiléticos) dos demais equinodermas (Figura 4).

Uma outra linhagem importante surgida a partir de *Camptostroma* tem como elementos basais os gêneros *Stromatocystites* e *Archegonaster*, inclui formas que tiveram como inovações, o desenvolvimento dos pés ambulacrais que abriu caminho para o uso de outras estratégias alimentares. Esta nova linhagem inclui as formas que surgiram no Ordoviciano, os asteróides, ofiuróides e equinóides, cuja superfície oral é voltada para o substrato. Um outro ramo deste clado surgiu no Carbonífero Inferior, os holoturóides, cujo registro fóssil não permite a efetivação de inferências paleobiológicas detalhadas. As evidências sugerem relação filogenética direta entre equinóides e holoturóides e controversa entre ofiuróides e asteróides (BRUSCA; BRUSCA, 2007; PAUL; SMITH, 1988).

Figura 4 – Cladograma dos equinodermas



Fonte: Brusca & Brusca (2007)

### 4. 3 GEOLOGIA DA FORMAÇÃO PIRABAS

A Formação Pirabas (MAURY, 1925) ocorre descontinuamente nos estados do Pará, Maranhão e Piauí, tendo sido inicialmente referida por Ferreira Penna (1876), que registrou os calcários fossilíferos da ilha de Fortaleza, litoral paraense.

No Pará ocorre em superfície e subsuperfície na região nordeste do Estado, nas zonas fisiográficas do Salgado e Bragantina. Suas principais ocorrências situam-se na ilha de Fortaleza e nas jazidas da CIBRASA (Cimentos do Brasil S/A), nos municípios de São João de Pirabas e Capanema, respectivamente (COSTA *et al.*, 1993). A distribuição irregular dos registros da Formação Pirabas parece estar relacionada com a paleogeografia, evolução tectônica e como resultado de processos erosivos que assolaram a região provavelmente no Quaternário antigo (ALMARAZ; FORMOSO, 1971). Segundo Almaraz (1977), ocupa uma área de 12.000 km<sup>2</sup>, e têm como limites aproximados, desde o rio Guamá ao sul, até localidades correspondentes ao curso inferior do rio Gurupi (leste) e baía do Marajó (oeste). Ferreira e Francisco (1988) admitiram que esta área poderá ser ampliada, caso seja considerado o seu prolongamento ao longo da costa do Amapá, e mergulhando cerca de 200 km para dentro da plataforma do Pará e além do rio Guamá no km 48 da rodovia BR-010, município de Irituia. Litologicamente é constituída por calcários cinza de composição variável (coquinas, biohermitos, micritos, dolomicritos, margas e bioclastos) intercalados com calcarenitos e folhelhos negros, depositados em ambiente marinho de águas rasas e quentes (FERREIRA, 1982).

Desde sua formalização como unidade estratigráfica por Maury (1925), os depósitos da Formação Pirabas têm sido considerados como miocênicos. Entretanto, (Ferreira, *op. cit.*) estendeu sua deposição ao intervalo Neo-Oligoceno - Eomioceno, baseado na correlação com pacotes sedimentares da Bacia da Foz do Rio Amazonas (Membro Araguari da Formação Marajó e seqüências Tambaqui e Tamoatá da Formação Amapá), assim como pela presença do gastrópode *Orthaulax pugnax* e foraminífero planctônico *Globorotalia opima* na sondagem em Vila Mãe do Rio, município de Irituia (FERREIRA; VICALVI; MACEDO, 1981a), fósseis cuja distribuição estratigráfica estende-se do Neo-Oligoceno ao Eomioceno. Com base em foraminíferos planctônicos (espécies dos gêneros *Globorotalia* e principalmente

*Globigerinoides*), admitiu-se que a seqüência marinha mais antiga em território paraense data da base do Eomioceno (FERNANDES, 1988; FERNANDES; TÁVORA, 1990; TÁVORA; FERNANDES, 1999).

Sob o ponto de vista estratigráfico, é pouco conhecido tanto o seu limite inferior quanto a sua espessura. Supõe-se, todavia, que sua maior parte sobreponha-se diretamente sobre o embasamento cristalino (ALMARAZ, 1977). Os depósitos terciários (Mioceno - Pleistoceno) do Grupo Barreiras repousam discordantemente sobre a Formação Pirabas (FRANCISCO *et al.*, 1971) e, segundo Ferreira e Francisco (1988), não ocorre interdigitação entre estas unidades, como mencionado por outros autores. Góes *et al.* (1990) reportaram que o contato entre a Formação Pirabas e o Grupo Barreiras é interdigitado e gradual, baseados em estruturas sedimentares e palinomorfos.

O contato lateral da Formação Pirabas se dá de maneira gradual para depósitos carbonáticos da Formação Amapá e para os clásticos da Formação Marajó, em direção à plataforma continental e ilha do Marajó, respectivamente (SCHALLER; VASCONCELOS; CASTRO, 1971).

Devido ao abundante e variado conteúdo fossilífero, a Formação Pirabas está bem caracterizada sob o ponto de vista paleoambiental. Uma das primeiras referências ao ambiente deposicional desta formação foi realizada por Ferreira e Cunha (1957), como marinho de águas límpidas, rasas, nerítico, próximo ao litoral de mar aberto, onde o clima deveria ter sido quente e a costa baixa.

O registro das formas fósseis típicas de determinados subambientes marinhos, possibilitou maior detalhamento deste ambiente deposicional. Assim, diversos autores dividiram a Formação Pirabas em ecofácies. Além de proporem a divisão faciológica, estes autores também teceram considerações sobre a extensão e litologia das mesmas. Petri (1957) dividiu a Formação Pirabas nas fácies ecológicas Castelo, Canecos e Baunilha Grande, delimitando os afloramentos do litoral, Zona Bragantina e furo Baunilha Grande, respectivamente. Ackermann (1964, 1969 e 1976) dividiu, da base para o topo, em Olaria, Capanema e Fortaleza, enquanto Almaraz (1977) considerou a fácies Baunilha Grande sotoposta às fácies Capanema e Castelo. Ferreira (1966, 1980 e 1982), Ferreira e Cassab (1985) e Ferreira e Francisco (1988) reconheceram as fácies Castelo, Baunilha Grande e

Capanema, admitindo que esta última localiza-se espacialmente acima da fácies Castelo, enquanto a fácies Baunilha Grande é descontínua, estando em posição intermediária entre as outras duas.

A ecofácies Castelo representa um ambiente marinho de águas neríticas, quentes e rasas, com salinidade normal ou acima (PETRI, *op. cit.*; FERREIRA, *op. cit.*; FERREIRA; CASSAB, *op. cit.*; FERREIRA; FRANCISCO, *op. cit.*), sendo constituída litologicamente por coquinas, biohermitos, micritos e dolomicritos, mergulhando para a plataforma continental do Pará, e se afunilando em direção ao sul do estado (Ferreira, *op. cit.*). Para essa fácies foi definida a biozona *Orthaulax pugnax*, que compreende uma paleofauna típica de ambientes recifais (estenobiônica), tais como corais hermatípicos, algas coralíneas, briozoários e alguns moluscos, como o gastrópode *Orthaulax pugnax*, que deu nome à biozona. A fácies Fortaleza especifica calcários altamente fossilíferos e com elevado teor de MgO, aflorantes na ilha de Fortaleza (ACKERMANN, *op. cit.*), correspondendo também à ecofácies Castelo.

A ecofácies Capanema, mencionada como Canecos por Petri, *op. cit.*, foi depositada num ambiente lagunar, de borda de bacia, com salinidade abaixo da normal (ACKERMANN, *op. cit.*; ALMARAZ, 1977; FERREIRA, *op. cit.*; FERREIRA; CASSAB, *op. cit.*; FERREIRA; FRANCISCO, *op. cit.*). Litologicamente caracteriza-se por margas, micritos, bioclastos, folhelhos rítmicos e arenitos calcíferos. A fácies Olaria, corresponde à atual ecofácies Capanema, refere-se a um calcário muito fino, com baixo teor de MgO, observado na localidade Olaria (município de Capanema), que possui abundantes impressões de folhas (ACKERMANN, *op. cit.*; DUARTE, 1967, 2004).

A ecofácies Baunilha Grande (PETRI, 1957; FERREIRA, 1980, 1982; FERREIRA; CASSAB, 1985; FERREIRA; FRANCISCO, 1988) representa um ambiente redutor tipicamente de mangue, sendo constituída por calcários cinza escuros finamente estratificados e argilas negras com nódulos de calcário escuro contendo crustáceos braquiúres (carcinólitos) e vegetais piritizados.

Góes *et al.* (1990), com base em análise litofaciológica, identificaram sete fácies descritas: biocalcirruditos (com grande variedade faunística), calcarenitos não estratificados (ou com estratificação cruzada incipiente e fósseis esparsos),

calcarenito estratificado (fósseis fragmentados), margas (restos vegetais e peixes), folhelhos verdes (restos vegetais), biohermitos (corais) e calcilutitos (raros fósseis).

O modelo deposicional proposto por Góes *et al.* (1990), considerando o conteúdo e análise paleontológica, é similar aos propostos anteriormente, citando evidências de ondas de tempestade na plataforma continental, onde os subambientes de plataforma carbonática marinha rasa (ecofácies Castelo), laguna (ecofácies Capanema) e mangue (ecofácies Baunilha Grande) acham-se dispostos de forma interdigitada com sedimentação cíclica, sugerindo freqüentes oscilações do nível do mar, e litoral intensamente recortado. Subseqüente a este evento deposicional, predominantemente transgressivo e oscilatório, predominou a sedimentação de outra seqüência, regressiva e siliciclástica (Grupo Barreiras), cujas estruturas sedimentares e conteúdo palinológico típico do Mesomioceno indicam certa contemporaneidade e gradação entre a seqüência Pirabas e Barreiras.

Segundo Costa *et al.* (1993) os depósitos do Terciário Superior na região de Salinópolis, nordeste do Pará, são produtos de um ciclo transgressivo-regressivo, estando depositados em uma bacia assimétrica e alongada de direção NW-SE. O preenchimento desta bacia se processou pela instalação de depósitos marinhos carbonáticos de águas rasas e quentes (Formação Pirabas), os quais dão lugar gradativamente a depósitos regressivos de natureza siliciclástica (Grupo Barreiras), indicando forte soerguimento da borda da bacia e inibição de depósitos de carbonatos em subambientes de planície de maré, estuário e plataforma interna. As estruturas que controlam o desenvolvimento da Formação Pirabas e do Grupo Barreiras são falhas normais NW-SE e inclinadas para NE, e falhas transcorrentes NE-SW que funcionaram como zonas de transferência. Essa evolução é entendida como decorrente do último episódio de manifestação extensional na margem equatorial brasileira, relacionado ao evento de separação América do Sul - África.

#### **4.4 PERFIS GEOLOGICOS**

*Salinópolis* (0° 36' 5" S, 47° 18' 48" W)

Os afloramentos da Formação Pirabas neste município são considerados como uma das mais expressivas ocorrências naturais da unidade litoestratigráfica em questão, estes afloramentos estão distribuídos nas localidades Atalaia e Maçarico, dentro da zona urbana do município. O perfil geológico (Figura 5a)

comporta seis litofácies, biocalcarenitos estratificados, biocalcarenitos maciços, biocalcirruditos, calcilitos, folhelhos e biohermitos, todos fossilíferos, além de arenitos afossilíferos. Nestas rochas foram reconhecidos restos e vestígios de gastrópodes, bivalvíos, poríferos equinóides, cefalópodes, corais, micro e macroforaminíferos, micro e macrobriozoários, restos vegetais, peixes, répteis crocodilianos e, mamíferos sirenídeos.

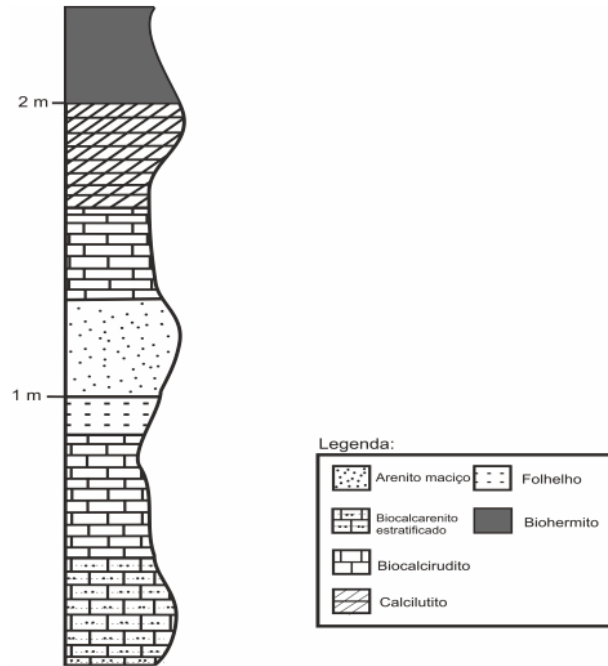
*Mina B-17 (1° 2' 47" S, 47° 9' 26" W)*

O perfil da Mina B-17, da Cimentos do Brasil S.A – CIBRASA (Figura 5b) localiza-se no município de Capanema, com acesso a partir da rodovia Capanema-Salinópolis. No afloramento foi possível a individualização de sete litofácies: calcários finos laminados, biocalcarenitos não estratificados, biocalcirruditos, margas, depósitos heterolíticos (*wavy* e *lenticular*), e arenitos. Quanto ao conteúdo paleontológico foi possível a análise de fragmentos vegetais, moluscos bivalvíos e gastrópodes (mais abundantes), equinóides, micro e macrobriozoários, crustáceos decápodes, poríferos, corais, micro e macroforaminíferos, ostracodes, quelônios e crocodilianos, além da fáunula de cirrípedes balonomorfos, peixes, répteis crocodilianos e quelônios e, mamíferos sirenídeos.

Em ambas as localidades os microfósseis de equinodermas foram recuperados na litofácies biocalcirrudito.

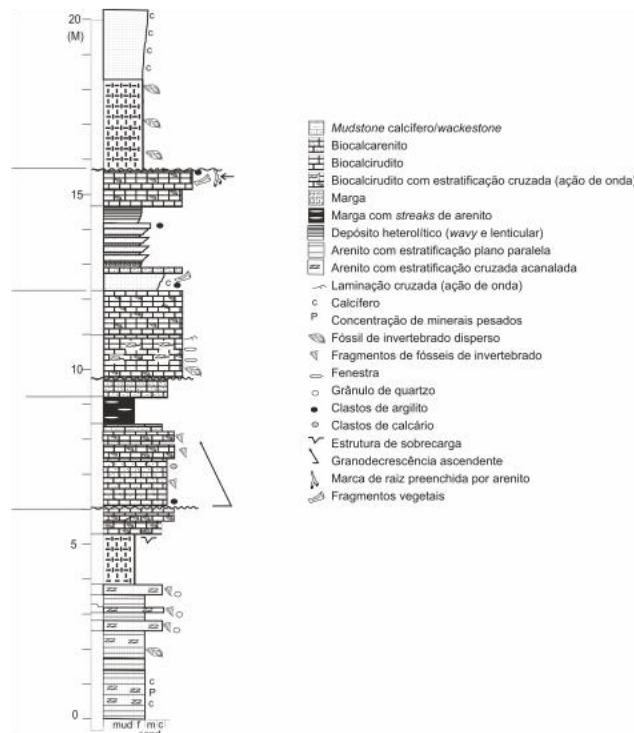
Figura 5- Perfis geológicos das localidades Salinópolis (TÁVORA *et al*, 2013) e Mina B-17 (COSTA, 2011).

**Perfil A**  
Salinópolis



**Perfil B**

Mina B-17



#### 4.5 EQUINODERMAS DA FORMAÇÃO PIRABAS

As primeiras referências sobre equinodermas da Formação Pirabas foram realizadas por Kraatz–Koschlau e Huber (1900), que reconheceram restos destes invertebrados em calcários da ilha de Fortaleza.

Utilizando os fósseis de equinóides irregulares depositados na coleção paleontológica do Departamento Nacional da Produção Mineral (DNPM), Santos (1958) realizou o primeiro estudo sobre os equinóides da Formação Pirabas. A autora propôs o novo gênero *Karlaster*, e as espécies novas *Anisopetalus oliveirai*, *Echinolampas paraensis*, *Clypeaster paulinoi* e *Karlaster pirabensis*. Além disso, admitiu que esta paleofauna guarda grande afinidade com as registradas no Mioceno caribeano.

Em Santos (1967) foi ampliado o conhecimento sobre os equinóides da Formação Pirabas, através do exame de novos exemplares coletados e melhor preservados. Com isso, foi possível maior detalhamento morfológico de *Clypeaster lamegoi* e *Anisopetalus oliveirai*, bem como o registro dos gêneros *Agassizia*, importante indicador zoogeográfico do Oligoceno e Mioceno das Antilhas e *Plagiobrissus*, elemento de importância paleoecológica. Além disso, foram individualizadas duas outras formas de equinóides, não classificados devido sua má preservação. Os dados coligidos possibilitaram confirmar as estreitas relações sistemáticas e biogeográficas entre a Formação Pirabas e as unidades litoestratigráficas sincrônicas da região caribeano.

Ramires (1973) e Brito e Ramires (1974) realizaram pesquisas sobre os equinóides do Mioceno marinho do Estado do Pará a partir de amostras coletadas na ilha de Fortaleza, por Cândido Simões Ferreira e colaboradores. Nestes trabalhos foram confirmadas as espécies *Karlaster pirabensis*, *Clypeaster lamegoi*, *C. paulinoi*, *Echinolampas paraensis* e *E. oliveirai*, esta última anteriormente posicionada no gênero *Anisopetalus*. Além disso, são reconhecidos pela primeira vez os gêneros *Prionocidaris*, *Schizaster*, *Histocidaris*, *Agassizia* e *Phyllacanthus* sendo propostas para estes dois últimos as novas espécies *A. eugeniae* e *P. priscus*. Estas pesquisas ainda registraram na Formação Pirabas, as espécies *Plagiobrissus grandis*, vivente hoje na região caribeano e *Clypeaster concavus*, reconhecida no Mioceno da Flórida, Antilhas e Zona do Canal do Panamá.

Brito (1979, 1980, 1981a, 1981b, 1981c, 1983, 1986, 1987) em pesquisas sobre os equinóides fósseis brasileiros corroborou a ocorrência na Formação Pirabas dos clipeasteróides *Karlaster pirabensis*, *Clypeaster concavus*, *C. lamegoi* e *C. paulinoi*, dos endocíclicos *Histocidaris* sp., *Prionocidaris* sp. e *Phyllacanthus priscus*, do holoctipóide *Echinolampas paraensis* e dos espatangóides *Schizaster* sp., *Agassizia eugeniae* e *Plagiobrissus grandis*. Além disso, o autor considerou *Anisopetalus oliveirai* como sinônima de *Echinolampas lycopersica*, reconheceu pela primeira vez o gênero *Cassidulus*, típico do Mioceno caribeano e propôs as espécies novas *Clypeaster paraensis* e *Abertella complanata*. Nestes trabalhos, o autor ressaltou ainda a necessidade de mais estudos comparativos para melhor conhecimento da paleofauna de endocíclicos do Brasil, bem como do filo como um todo.

Brito (1991) destaca que a fauna de equinóides da Formação Pirabas conta com quatro cidaróides (*Phyllacanthus priscus*, *Prionocidaris* aff. *P. cookei*, *Cidaris antarctica* e *Histocidaris* sp.), seis clipeasteróides (*Clypeaster concavus*, *C. lamegoi*, *C. paraensis*, *C. paulinoi*, *Abertella complanata* e *Karlaster pirabensis*), três cassidulóides (*Cassidulus* sp., *Echinolampas lycopersica* e *E. paraensis*) e três espatangóides (*Agassizia eugeniae*, *Schizaster* e *Plagiobrissus grandis*). O autor comparou esses táxons com os que ocorrem em estratos oligocênicos e miocênicos do sudeste dos Estados Unidos e do Caribe, com os quais apresentam indiscutível identidade, assim, típicos da província Caribeano. No entanto, não são considerados indicadores precisos de idade dentro do Terciário.

Morais (1991) baseado nos exemplares do acervo paleontológico do Museu de Geociências da Universidade Federal do Pará realizou um estudo sistemático preliminar do gênero *Clypeaster*, equinóide irregular, presente na Formação Pirabas no Estado do Pará sendo confirmadas as espécies *Clypeaster lamegoi*, *C. paulinoi* e *C. paraensis*. O autor ainda registrou a presença de outros sete táxons distintos não enquadráveis nas espécies já descritas para o gênero na Formação Pirabas, na ocasião classificados em nomenclatura aberta.

Fernandes e Morais (1994) registraram em afloramento da Formação Pirabas na praia do Atalaia, litoral paraense, a primeira ocorrência do gênero *Rhyncholampas*. Este raro cassidulóide está representado por dois espécimens, um adulto e um juvenil, que segundo os autores constituem uma espécie nova denominada *Rhyncholampas candidoi*.

Maia (1996) em pesquisa com representantes do gênero *Agassizia*, equinóide irregular registrado na Formação Pirabas, no Estado do Pará, depositados na coleção paleontológica do Museu de Geociências da Universidade Federal do Pará, confirmou espécie *Agassizia eugeniae*, propôs as subespécies *A. eugeniae eugeniae* e *A. eugeniae* sp. A, individualizando também outras quatro espécies provavelmente novas denominadas preliminarmente como *Agassizia* sp. A, *A.* sp. B, *A.* sp. C e *A.* sp. D.

Martinez e Mooi (1997) consideram que os exemplares identificados como *Karlaster pirabensis* são representantes do gênero *Abertella*, não sendo, portanto monoforasterídeos.

Utilizando o acervo paleontológico do Museu de Geociências da Universidade Federal do Pará, Morais e Fernandes (1997) assinalaram pela primeira vez no Eomioceno da Província Caribeana a presença de radiólos achatados em forma de leque e representantes da subclasse Euechinoidea no Brasil.

Em Morais (1998) é realizada uma revisão sistemática dos equinóides regulares da Formação Pirabas no Estado do Pará. O autor redescreveu as espécies *Phyllacanthus priscus* e *Histocidaritis* sp. e assinala pela primeira vez no Cenozóico brasileiro os gêneros “*Cidaris*” e *Psammechinus*. O gênero “*Cidaris*” é representado por radiólos em forma de leque, ainda não reconhecido no Cenozóico das Américas. De posse das análises tafonômicas e paleoecológicas, o autor inferiu que a deposição dos sedimentitos da Formação Pirabas se deu em mar de águas quentes e tranquilas, sujeito a ação de tempestades. Ainda nesta pesquisa corroborou a estreita relação entre os equinóides regulares da Formação Pirabas e formas similares da Província faunística Caribeana em tempos cenozóicos.

Morais (1999) reconheceu ataques predatórios sofridos por espécimens de equinóides irregulares dos gêneros *Clypeaster* e *Abertella*, procedentes da Formação Pirabas, bem como sobre as reconstruções posteriores de suas tecas.

Mooi; Martinez e Parma (2000) apresentaram uma análise filogenética dos representantes dos equinodermas clipeasteróides da família Monophorasteridae da América do Sul, sendo o gênero *Karlaster* Santos 1958, considerado inválido, pois as feições morfológicas dessa família não foram reconhecidas nos exemplares brasileiros. Os autores reposicionam o holótipo da espécie, *Karlaster pirabensis* Santos, na família Abertellidae, gênero *Abertella*.

## 5 RESULTADOS

### 5.1 SISTEMÁTICA PALEONTOLÓGICA

O presente estudo utilizou as classificações sistemáticas adotadas por Muller e Troschel (1842), Rasmussen (1950,1952), Moore (1966), Moore e Jeffords (1968), Tommasi e Abreu (1974), Kroh (2003), Stohr e Segonzac (2005), Stohr; O'Hara e Thuy (2012), além de outras bibliografias complementares específicas. A nomenclatura morfológica e os termos aplicados nas descrições sistemáticas seguem a proposta de Moore (1966), Moore e Jeffords (1968), Donovan e Gordon (1993), Leclair (1996), Kroh (2003), Stohr; O'Hara e Thuy (2012).

Classe OPHIUROIDEA Gray, 1840

Subclasse OPHIURIDEA Gray, 1840

Ordem EURYALINA Lamarck, 1816

Família GORGONOCEPHALIDAE Ljungman, 1867

Figuras 6.1 – 6.6

Material: sete vértebras, sendo três na praia do Atalaia (amostra AT-3) e quatro vértebras na mina B-17 da CIBRASA (amostra B17-2).

Descrição: As vértebras apresentam forma discoidal a subdiscoidal com leve alongação vertical, uma projeção mais espessa em forma de ampulheta (*hourglass-shaped*) no centro, definindo a articulação estreptospondilosa, com superfície proximal projetada verticalmente e na superfície distal, transversalmente. Em vista lateral apresenta um sulco bastante estreito entre as áreas de inserção proximal e distal, sua ranhura aboral está em forma de “V” enquanto que a oral em forma de “U”.

Medidas: 1 a 5 mm de diâmetro.

Discussão: A articulação estreptospondilosa (Kroh, 2003) nas vértebras examinadas consiste na feição morfológica mais diagnóstica dos gorgonocefalídeos, permitindo o reconhecimento deste grupo entre o material estudado. Entretanto, a qualidade da preservação impede de enquadrar os espécimens entre os 31 gêneros atribuídos a esta família.

Ocorrência: Formação Hartl (Mioceno Médio) - Áustria; Formação Pirabas (Mioceno Inferior) - Brasil. Atualmente é encontrado no sudoeste do Oceano Atlântico desde o Rio de La Plata até a ilha de Juan Fernández no Oceano Pacífico e Golfo do México.

Ordem OPHIURIDA Muller & Troschel, 1840

Sub ordem CHILOPHIURINA Matsumoto, 1915

Família OPHIURIDAE Lyman, 1865

Subfamília OPHIOLEPIDINAE Ljungman, 1867

Gênero *Ophiomusium* Lyman, 1869

Figuras 6.7 – 6.11

Material: 7 vértebras, da Praia do Atalaia (amostras AT-3 e AT-5).

Descrição: Os ossículos vertebrais apresentam forma subdiscoidal, mais espessas no centro e mais delicadas nas extremidades. Cada vértebra apresentando em suas faces articuladas um conjunto de depressões e elevações que caracterizam a articulação zigospondilosa. Em vista lateral tem aparência em forma de sela (*saddle-shaped*). As articulações apresentam canal aboral em forma de “V” e o oral em forma de “U”, que representa o local de inserção do nervo radial ao longo das vértebras no braço, tanto na superfície distal quanto na proximal, a área muscular aboral é bem desenvolvida em relação a área muscular oral. Na superfície distal é possível observar o mediano em forma de sela, pois o processo oral, aboral e mediano estão distantes.

Discussão: As vértebras observadas guardam as características morfológicas citadas na chave de Rasmussen (1950) para *Ophiomusium* e aos ofiuróides fósseis identificados no Mioceno Inferior da Jamaica por Donovan; Portell e Veltkamp (2005).

Ocorrência: Bacia Boêmia (Cretáceo) - República Checa; Formação Montpelier (Mioceno Inferior) - Jamaica; Formação Pirabas (Mioceno Inferior) - Brasil.

Observações: Dentre o material estudado, cinco ossículos vertebrais apresentam-se parcialmente dissolvidos, mascarando parte da articulação zigospondilosa.

Subordem GNATHOPHIURINA Matsumoto, 1915

Família OPHIACTIDAE Matsumoto, 1915

Gênero *Ophiactis*(?) Lutken, 1856

Figuras 6.12 – 6.16

Material: três discos centrais (amostra AT-1).

Descrição: Os ossículos de disco central possuem forma subcircular exibindo a base de seis braços. Escudos orais e aborais, placas orais e aborais não visíveis.

Medidas: 1 a 4 mm de diâmetro.

Discussão: as amostras aqui estudadas não apresentam características morfológicas diagnósticas, por comparação com a quantidade de braços citada por Tommasi (1966), Madsen (1970) e Lima *et al.* (2011) ser do gênero acima determinado, no entanto seria necessário estar com os discos mais preservados para uma perfeita determinação sistemática através da morfologia.

Ocorrência: Formação Pirabas (Mioceno Inferior) - Brasil; atualmente sul da América do Sul, desde Chiloé (Oceano Pacífico) até o Uruguai (Oceano Atlântico); Complexo Estuarino Lagunar de Cananéia, São Paulo e nordeste da costa brasileira em Alagoas.

Entre o material estudado procedente da Mina B-17 foi reconhecido um possível escudo oral do disco central, forma triangular com bordas arredondadas, medindo 4mm na porção mais larga e 2mm na porção mais estreita e com duas saliências (Figuras 6.17 – 6.18). Este elemento morfológico, segundo a bibliografia de apoio, é comum a todos os táxons de ofiuroides sendo que varia nas dimensões da forma triangular, caracterizando determinada espécie.

Discussão: A comparação entre este escudo oral e os escudos de espécies atuais (STORC; ZITT, 2008), não permitiu posicionamento sistemático bem definido em nível genérico.

Classe CRINOIDEA Miller, 1821

Subclasse ARTICULATA Miller, 1821

Ordem COMATULIDA A. H. Clark, 1908

Figuras 7.1 – 7.16

Material: quatro ossículos centrodorsais do cálice e 23 placas braquiais desarticuladas (Praia do Atalaia, amostras AT-2, AT-4 e Mina B-17, amostras B17-1, B17-3, B17-4).

Descrição: um ossículo pentâmero com superfície oral exibindo cinco raios basais constituindo o pentágono radial onde está a superfície oral do centrodorsal. O outro ossículo centrodorsal é de contorno arredondado sem apresentar radiais e dois centrodorsais subcônico a cônico com contorno arredondado e sem apresentar radiais. Em todos observa-se a cavidade oral do centrodorsal. Nas laterais do centrodorsal as cavidades de inserção das facetas dos cirros. As placas braquiais são maciças, de forma arredondada podem apresentar ranhuras laterais, fossas de fixação dos músculos flexores, e nas faces orais exibem a reentrância por onde passa a linha onde ficam os tubos dos pés. Um dos ossículos exibe um padrão superficial radial definido por 23 crenulas radiais aureolares, típico da articulação sizigial onde um par de braquiais é unido por microfibras radiais em sua superfície.

Na superfície de alguns ossículos braquiais as articulações musculares podem ser retas ou oblíquas, estando preservado o orifício que aloja o nervo que os interliga.

Medidas: os centrodorsais medem cerca de 4mm de diâmetro com cavidade oral de aproximadamente 1mm. As placas braquiais desarticuladas medem entre 1 e 3 mm.

Discussão: as feições diagnósticas aqui descritas foram comparadas com Peck e Watkins (1972), Strimple e Mapes (1984) e Hess (1999). Observou-se que boa parte das amostras guarda com certa clareza as características morfológicas dos comatulídeos.

Ocorrência: Calcário Glen Rose, Cretáceo Inferior do Texas - EUA; Formação Moodys Branch Marl, Eoceno de Louisiana - EUA; Bacia Neogênica do Tejo-Sado, Península de Setúbal - Portugal; Formação Pirabas (Mioceno Inferior) – Brasil.

Figura 6 – Ofiuroides: 1-6 vértebras de GORGONOCEPHALIDAE (1,4,6 vista proximal e 2,5 vista distal); 7-11 vértebras de *Ophiomusium*; 12-16 disco central de *Ophiactis*(?); 17-18 vista aboral e oral de um escudo oral.

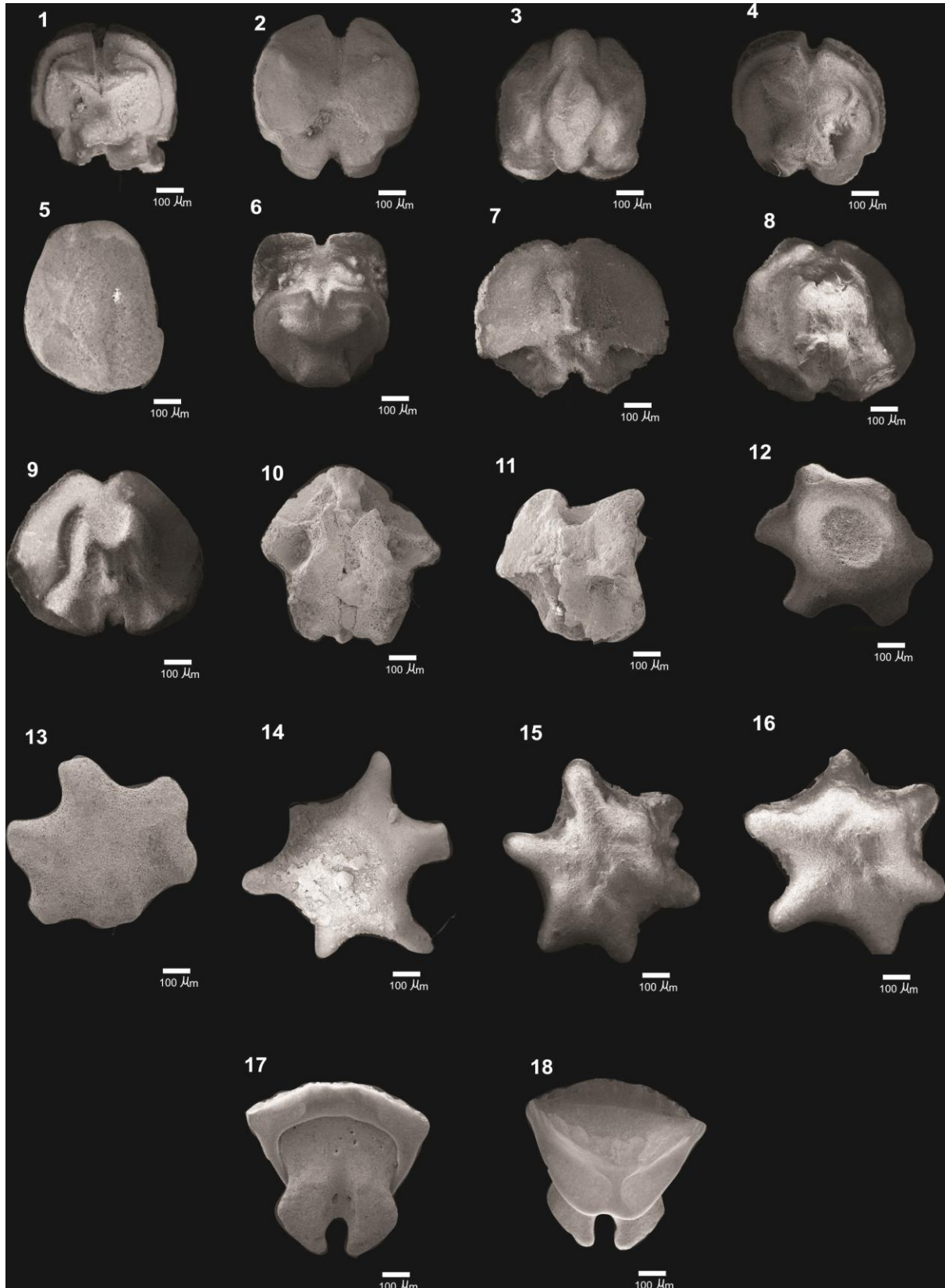
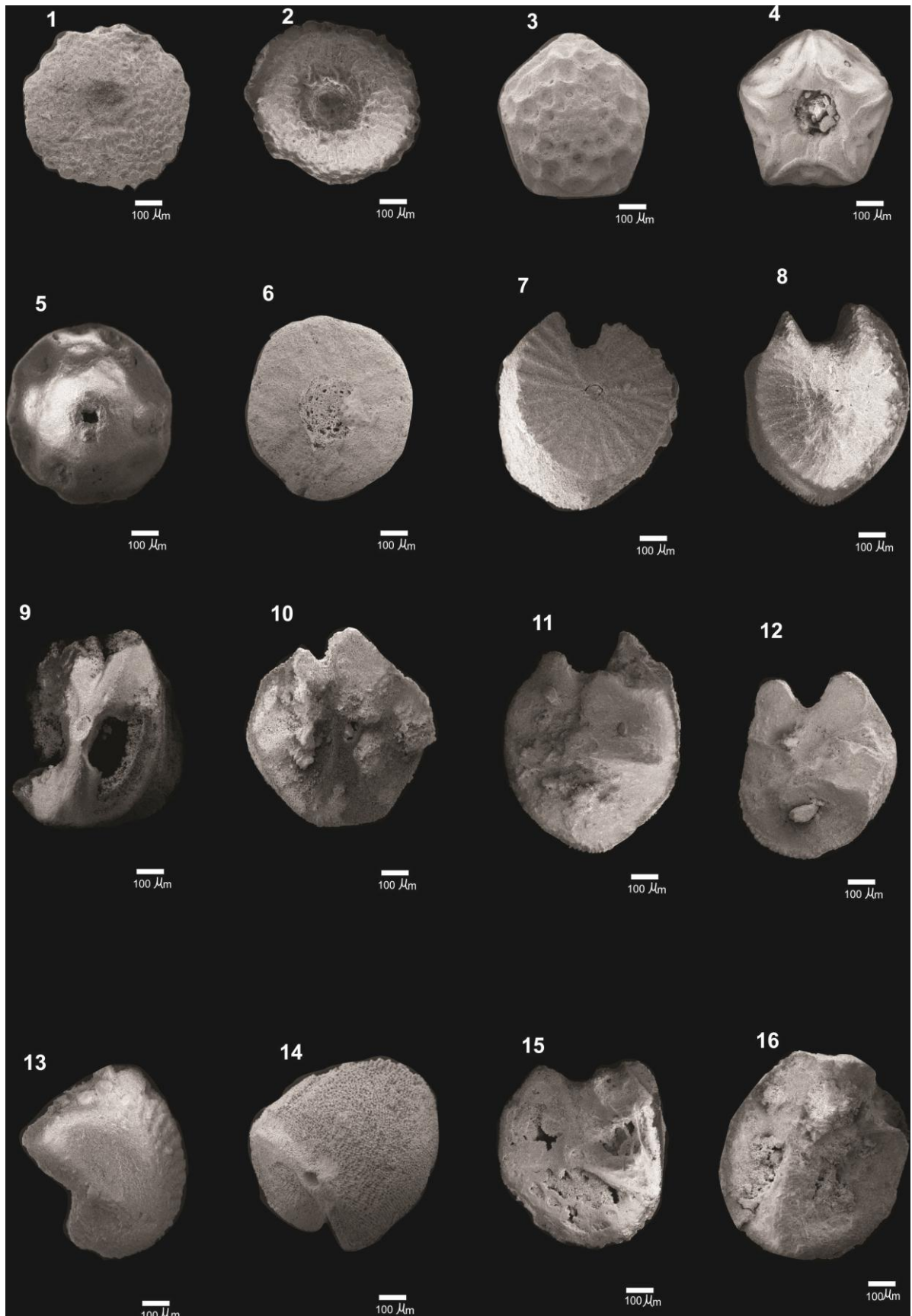


Figura 7 – Crinoides: 1-6 centrodorsal de comatulídeos; 7-8 braquiais com articulação sizigial; 9-16 braquiais de comatulídeos com articulações oblíqua e reta.



## 5.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE A FAUNA ESTUDADA

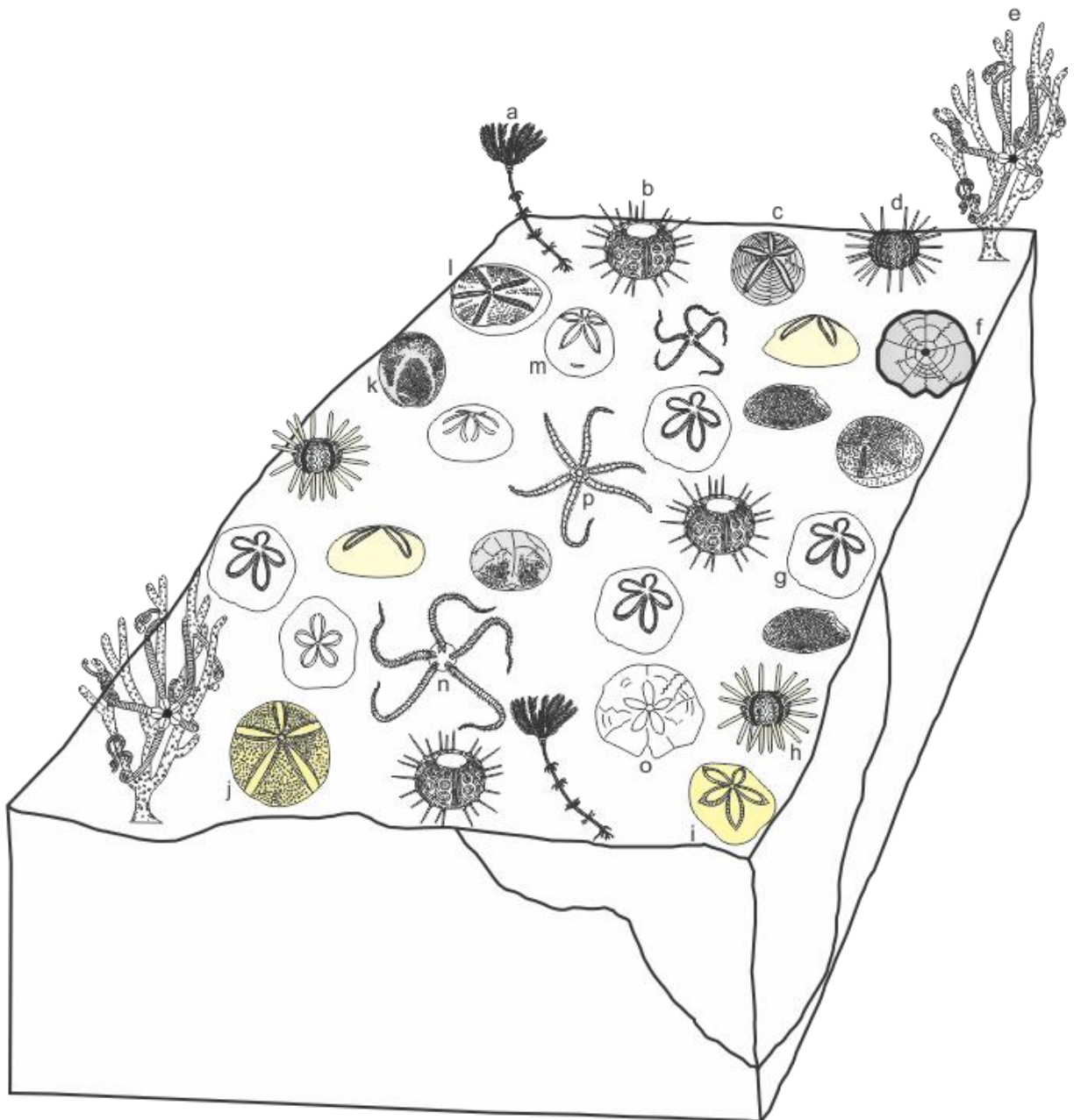
Esta pesquisa registra a ocorrência inédita de uma associação de Ophiuroidea e Crinoidea na Formação Pirabas. Os táxons aqui estudados foram reconhecidos por Hendler (1995) e Alvarado (2011) como elementos das biocenoses atuais na Província Caribeana e costa brasileira (BORGES; MONTEIRO; AMARAL, 2002; LIMA *et al.* 2011), corroborando o aspecto moderno da paleofauna da Formação Pirabas.

Foram descritos e identificados diversos ossículos desarticulados de ofiuroides, incluindo vértebras de tamanhos variados oriundas de posições diferentes no braço de um mesmo espécimen ou espécimens de tamanhos diferentes, discos centrais sem placas e escudo oral isolado. A comparação de características morfológicas permitiu identificar a presença de três morfotipos diferentes. Entre os ossículos vertebrais dois morfotipos foram registrados com base na forma das articulações, por caracterizar famílias e gêneros diagnósticos. No morfotipo I, atribuído a família GORGONOCEPHALIDAE é evidente a articulação estreptospondilosa (*hourglass-shaped*) marcada pela projeção em forma de ampulheta característica dos ofiuroides eurialosos, que permite movimentação vertical dos braços. O morfotipo II situado na família OPHIURIDA no gênero *Ophiomusium* apresenta como diagnóstico a articulação zigospondilosa que proporciona movimentações laterais em um plano horizontal e em vista lateral a aparência “*sadlle-shaped*”. Os discos centrais robustos e com base de seis braços foram comparados com a descrição de indivíduos atuais da família OPHIACTIDAE gênero *Ophiactis* (?) caracterizando o morfotipo III.

Os estudos de comparações morfométricas que segundo LeClair (1996) permitem caracterizações sistemáticas mais precisas não foram realizados, pois as vértebras dos ofiuroides aqui estudadas apresentam articulações com morfologias distintas.

Foram identificados também ossículos de crinoides desarticulados, dentre eles elementos braquiais e centrodorsais que definem um único morfotipo posicionado na ordem Comatulida. A articulação dos braquiais não está visível em alguns exemplares, impedindo enquadramento sistemático nas categorias inferiores a ordem.

Figura 8 - Visualização esquemática mostrando os elementos da paleoequinofauna da Formação Pirabas até aqui registrada, incluindo os táxons anteriormente descritos e os aqui acrescentados: a. Crinoide comatulídeo, b. *Cidaris*, c. *Echinolampas*, d. *Histocidaris*, e. Gorgonocéfalo, f. *Karlaster*, g. *Clypeaster*, h. *Phillacanthus*, i. *Schizaster*, j. *Cassidulus*, k. *Agassizia*, l. *Plagiobrissus*, m. *Rhyncolampas*, n. *Ophiomusium*, o. *Abertella*, p. *Ophiactis*.



### 5.3 CONSIDERAÇÕES PALEOBIOGEOGRÁFICAS E PALEOECOLÓGICAS

Os ofiuroides e crinoides são elementos presentes em todas as comunidades marinhas desde o Paleozóico Inferior, desde regiões de plataforma interna até batiais, tendo grupos específicos melhor adaptados aos ecossistemas recifais. Os ofiuroides vivem enterrados ou parcialmente enterrados entre as descontinuidades dos substratos rochosos ou plantas marinhas, são comuns em recifes de corais, sendo os únicos equinodermas simbiontes, alguns dos quais comensais internos de esponjas ou externos de corais, crinoides e equinoides irregulares (BRUSCA; BRUSCA, 2007).

Os gorgonocefalídeos são suspensívoros e capturam elementos do zooplâncton com até 3 cm de comprimento, tais como crustáceos, anelídeos poliquetas preferencialmente em substratos rochosos das regiões nerítica e batial. Tanto a família GORGONOCEPHALIDAE quanto a família OPHIURIDAE gênero *Ophiomusium* e a família OPHIACTIDAE gênero *Ophiactis* ocorrem em edificações coralíneas, sendo que este último também vive em lagunas (BRUSCA; BRUSCA, 2007; HENDLER *et al.* 1995; PAWSON *et al.* 2009; BENAVIDES-SERRATO *et al.* 2013).

Entre os crinoides, os indivíduos da ordem Comatulida adaptaram-se a fixação em substratos com diferentes graus de firmeza e estabilidade, desde softgrounds até handgrounds, sendo porém típicos de águas rasas e, assim como os grupos de ofiuroides supracitados, também são membros de comunidades coralíneas. De estratégia alimentar suspensívora, coletam alimento com os pés ambulacrais localizados em seus braços longos e ramificados, em posição perpendicular ao fluxo da corrente, formando uma grande superfície de captura (BRUSCA; BRUSCA, 2007; RUPPERT; FOX; BARNES, 2005).

A comunidade circuntropical do mar de Pirabas foi composta predominantemente por moluscos bivalvíos e gastrópodes, crustáceos decápodes e equinoides, epibentônicos vágeis em sua maioria. Além destes, também são comuns nos mares tropicais cenozoicos, representantes de anelídeos poliquetas, crustáceos carídeos e copépodes, cuja ausência até o momento como fósseis nos sedimentitos Pirabas deve-se provavelmente a fatores preservacionais. A baixa representatividade de nanofósseis calcários, o raro registro de diatomáceas cêntricas e a ausência de

radiolários pode ser atribuída à batimetria deste paleomar, que não ultrapassava possivelmente a cota de 80 metros. A principal característica ecológica desta comunidade é a extensão com que os organismos eram mutuamente dependentes. A sua complexidade reside no fato de que as interações ocorrem simultaneamente e seus efeitos individuais na estrutura como um todo, frequentemente, não podem ser isolados. Entre os táxons da rica e variada composição biótica do mar de Pirabas, ocorreram interações bióticas tanto homotípicas ou intraespecíficas (entre os organismos de uma mesma espécie) quanto heterotípicas ou interespecíficas (entre organismos de espécies diferentes), sejam de natureza harmônica ou desarmônica (TÁVORA *et al.* 2013).

No mar de Pirabas todos os macro e microinvertebrados utilizavam o carbonato de cálcio disponível na forma de íon na água do mar, como matéria prima para construir suas carapaças. Ainda que não haja contato direto entre estes táxons, este mecanismo é considerado uma relação ecológica denominada competição por exploração, onde os ofiuroides e crinoides também estavam envolvidos. Além disso, também pode ser sugerida através de relações atualísticas, uma relação ecológica de simbiose entre os gorgonocéfalos e os corais gorgonáceos, bastante comum nos ecossistemas recifais modernos.

Considerando em conjunto ou separadamente, a similaridade morfológica, o modo de vida e estratégia alimentar, sem necessariamente definição das relações filogenéticas, os constituintes da comunidade do mar de Pirabas podem estar agrupados em unidades chamadas guildas. De acordo com estes critérios os crinoides fariam parte de uma guilda que agrupava poríferos, cirrípedes balanomorfos, briozoários incrustantes, urocordados ascidiáceos, gastrópodes serpulídeos, bem como bivalvíos ostreídeos, plicatulídeos, espondilídeos e chamídeos, elementos epibentônicos sésseis por cimentação com estratégia alimentar suspensívora. Enquanto isso, os ofiuroides compunham juntamente com os equinoides irregulares e bivalvíos uma outra guilda que agrupava formas endobentônicas rasas e suspensívoras.

O registro geológico e paleontológico permite caracterizar nos estratos terciários (Paleoceno e Mioceno) das américas, uma fauna rica, variada, comum e peculiar, que define uma importante unidade biogeográfica, a Província

Biogeográfica Caribeana-PBC, compartimentada em duas regiões, Atlântico Oeste Tropical- AOT, que englobava desde a região do norte do Brasil (Formação Pirabas), até o Estado da Flórida (formações Tampa, Chipola e Shoal River), passando pela Venezuela (formações Pozón, Cubáguá e Falcón), República Dominicana (formações Baitoa, Cercado, Yaqui e Gurabo), Cuba (formações Paso Real e Pinar del Rio), Haiti (Formação Thomonde) e México (formações Tamaulipas e Tuxpán), e Pacífico Leste Tropical-PLT, que incluía o Peru, Colômbia (Formação Tubará), Panamá (formações Gatun, Culebra e La Boca), Trinidad (formações Manzanilla, Matura e Brasso), Jamaica (Formação Bowden) e Costa Rica (formações Los Puertos, Ponce e Quebradillas) (FERREIRA 1966, WOODRING 1974, 1978).

Os elementos faunísticos da Província Biogeográfica Caribeana possuem ancestrais cretáceos típicos do Mar de Tethys, principal ponto de origem das faunas marinhas cenozóicas. A sua dispersão para oeste por correntes oceânicas superficiais, aliada à sua tolerância ecológica que favoreceu sua diversificação e adaptação a diversos substratos e batimetrias neríticas, possibilitou a ocupação bem sucedida, inicialmente da atual região da América Central e México, o corredor marinho centro americano. A partir dessa área ocorreram migrações para o Atlântico Norte e Sul, atingindo também o Pacífico Norte e Central via estreito do Panamá. Na região Pacífico Leste Tropical (PLT) a paleofauna parece ser um produto de múltiplas derivações dos elementos da região Atlântico Oeste Tropical (AOT), aparentemente mais antiga. O soerguimento do Istmo do Panamá ocasionou bioeventos regionais de extinção, afetando principalmente moluscos, corais e briozoários. A diversidade específica da região PLT ficou mais alta, devido a natureza dos substratos não ter sido grandemente afetada (BEU, 2001; MARKO; JACKSON 2001).

A associação de equinóides reconhecida na Formação Pirabas é composta por 17 representantes das ordens Cassiduloidea, Cidaroida, Clypeasteroidea e Spatangoidea, que guardam afinidades com os elementos da Província Biogeográfica Caribeana, em especial com as equinofaunas miocênicas da Flórida, Porto Rico, Trinidad, Panamá, Cuba, Haiti e República Dominicana (BRITO, 1981). Os aspectos biogeográficos e filogenéticos do grupo mostram padrão similar ao dos demais elementos da PBC, ou seja, tiveram ancestrais cretáceos do Mar de Tethys, e na região do Caribe, um importante centro de radiação e expansão biogeográfica.

Assim o rico conteúdo fossilífero de equinóides da Formação Pirabas permite reconhecer aqui estes bioeventos regionais, bem caracterizados em todo o Mioceno marinho registrado entre o sudeste dos Estados Unidos e o norte da América do Sul.

O padrão de distribuição paleobiogeográfica dos ofiuroides e crinoides, agora reconhecidos na Formação Pirabas, segue o descrito acima para os elementos da PBC, incluindo os membros do filo Echinodermata. Os novos elementos da equinofauna abordados nesta pesquisa, foram reconhecidos em estratos cretáceos, eocênicos e miocênicos da Europa e Estados Unidos, bem como perduram até hoje na PBC reliquiar atual e costa brasileira. O registro do ofiuroides *Ophiomusium* e da ordem Comatulida de crinoides na Jamaica, corrobora o intercâmbio de táxons e a comunicação entre as regiões PLT e AOT da PBC, já reconhecido entre os equinóides e moluscos.

#### 5.4 CONSIDERAÇÕES TAFONÔMICAS

Os equinodermas são os únicos invertebrados marinhos com esqueletos compostos por placas porosas unitárias de composição carbonática – ossículos ou vértebras, que desarticulam-se rapidamente após sua morte. Embora sejam elementos comuns nas concentrações fossilíferas de origem marinha, a variedade entre as formas de preservação, que inclui esqueletos articulados ou parcialmente articulados e placas dissociadas, impede determinar com precisão a sequência de eventos que influenciam o modo de preservação (DONOVAN, 1991).

A taxonomia do filo está baseada em feições morfológicas do esqueleto completo ou parcialmente completo, o que inviabiliza caracterizações sistemáticas em nível genérico e específico para os membros de algumas famílias e ordens. Esta peculiaridade pressupõe que a Paleontologia dos equinodermas é norteada pelas raridades preservacionais que são os esqueletos completos, associados a eventos de mortandade em massa e/ou morte catastrófica. Os equinóides irregulares possuem registro fossilífero mais contínuo, devido ao seu hábito endobentônico e maior potencial preservacional devido a maior robustez de seus exoesqueletos. Os demais grupos de equinodermas estão representados como fósseis sob a forma de partes isoladas ou placas esqueléticas dissociadas, inibindo a determinação precisa da composição taxonômica, filogenia e diversificação adaptativa do filo ao longo do tempo geológico.

Um exemplo disso é a fauna de crinoides devonianos da Formação Maecuru, Bacia do Amazonas, representados por pluricolunais, colunais isolados e fragmentos de pedúnculos. Este conjunto tem 13 padrões morfológicos já agrupados em espécies, gêneros e famílias, além de outros 11 morfotipos, ainda não tratados taxonomicamente (SCHEFFLER, 2011).

Os equinodermas desarticulam-se completamente em dias ou poucas semanas após sua morte, quando os tecidos moles e endoesqueletos sujeitam-se à ação de organismos necrófagos ou bioturbadores, bem como distúrbios causados pelos fatores abióticos. Somente as tecas dos equinóides irregulares suportam ambientes mais agitados por mais tempo, devido serem mais robustas e espessas (DONOVAN, 1991).

Observações diretas e experimentais laboratoriais com ofiuroides recentes permitiram inferir que os processos de decomposição e desarticulação destes indivíduos podem ser agrupados em três estágios sucessivos e sincrônicos. De acordo com Lewis (1987), este modelo pode ser extrapolado tanto para ofiuroides quanto para crinoides fósseis, considerando a similaridade entre modos e ambientes de vida e arquiteturas endoesqueletais.

Assim, o estágio I se caracteriza por perda gradual da coloração original, fluidos corporais dos sistemas vascular e digestivo, liberação dos gases advindos da adipocere e enrijecimento dos braços proximais. No estágio II ocorre a desarticulação parcial dos braços flexíveis e a separação do integumento dorsal do disco. Por fim, no estágio III acontece a gradual decomposição das carcaças, até sua total destruição. Cabe ressaltar, que nos estágios I e II não ocorre transporte destrutivo (LEWIS, 1987).

Durante a decomposição dos tecidos moles, os espaços entre os poros dos ossículos vertebrais são preenchidos por gases, o que possibilitaria seu transporte a longas distâncias por flutuação. Entretanto, a solubilidade destes gases em meio aquoso impede que isso aconteça. Os comatulídeos são equinodermas que desarticulam-se totalmente em dois dias e seus fragmentos normalmente sofrem transporte a curta distância sob condições ambientais estáveis (DONOVAN, 1991).

As feições bioestratinômicas dos fósseis de equinodermas podem ser consideradas como indicadores eficazes para inferências sobre os processos deposicionais pós-morte, pois existe uma correlação direta entre o tempo de exposição e o grau de transporte dos restos, até seu soterramento.

O estudo dos processos tafonômicos atuais permite extrapolar para os fósseis a intensidade dos processos físicos e biológicos contemporâneos, que deixam registrados nos restos esqueléticos as suas respectivas assinaturas tafonômicas. Os processos atuantes na formação da concentração fossilífera podem ser subdivididos em duas categorias. A primeira compreende os processos que causam modificações no esqueleto e incluem incrustação, fragmentação, abrasão, dissolução e bioerosão/corrosão. Na segunda, estão os processos que afetam as relações entre os bioclastos, tais como orientação e articulação (PARSONS; BRETT, 1991). Os ossículos dos ofiuroides e crinoides distinguem-se dos grãos sedimentares em forma, tamanho, composição da parede e microestrutura, e por isso fornecem assinaturas tafonômicas indicativas das consequências preservacionais dos processos geológicos atuantes durante a formação da concentração fossilífera, e por consequência da hidrodinâmica deposicional reinante neste momento. Os padrões preservacionais constituem um reflexo direto da paleoquímica da água do mar, padrões de circulação, sedimentação e ação bioerosiva (WETMORE, 1987).

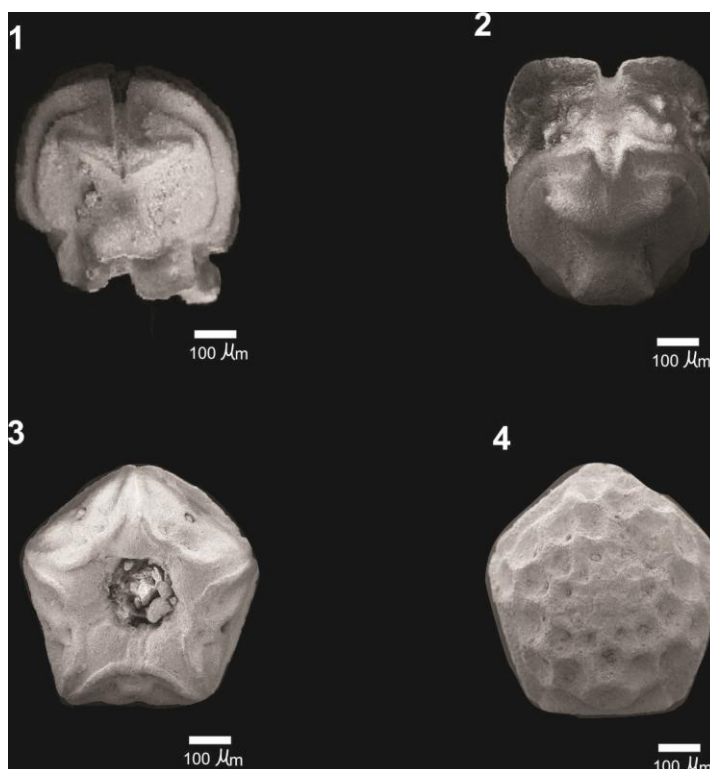
Ainda não estão registrados na literatura especializada estudos de tafonomia comparativa em associações de microfósseis de ofiuroides e crinoides. Por esta razão, os dados e interpretações aqui apresentados foram baseados em estudos comparativos que versam sobre tafonomia de outros grupos de microfósseis.

### Fragmentação e Abrasão

A associação estudada é composta por formas inteiras a pouco fragmentadas, com espessura variável entre delicada a robusta, em proporções equilibradas (Figura 9). O grau moderado de fragmentação reflete a alta energia ambiental durante o evento de soterramento, pois apenas um meio altamente energético pode quebrar bioclastos de tamanho tão reduzido. Da mesma forma, o grau baixo a moderado de abrasão é pertinente com o afirmado por Martin e Lidell (1991), que em ambientes deposicionais carbonáticos a intensidade da abrasão é

incipiente, pois os bioclastos não chegam a ser destruídos pelo simples atrito com os sedimentos do substrato, mesmo nos ambientes de alta energia.

Figura 9 – Fragmentação e abrasão: 1-2 vértebra de GORGONOCEPHALIDAE; 3-4 centrodorsal de um COMATULIDA.



### Dissolução

Em condições normais, os restos esqueléticos mantêm-se em equilíbrio com a química da água onde vivem. Quando ocorre dissolução de carapaças calcárias, significa que este equilíbrio foi quebrado por flutuações na temperatura, pH ou pCO<sub>2</sub>. Esta desarmonia ocorre provavelmente no micro-habitat circundante dos restos. Na zona tafonomicamente ativa (ZTA), as águas intersticiais tornam-se supersaturadas em CaCO<sub>3</sub> e ocorre produção de ácido sulfúrico a partir da degradação do carbono orgânico e oxidação do sulfeto de hidrogênio na interface óxica-anóxica. Os elementos bioturbadores misturam o ácido com o sedimento de fundo, induzindo a rápida produção de sulfato, misturando-o com as águas superficiais, assim resultando na dissolução de restos esqueléticos de composição carbonática (PARSONS; BRETT, 1991).

Embora as espécies calcárias apresentem dissolução diferencial, variável de acordo com seu ambiente de vida, a resistência à dissolução está diretamente ligada à espessura da parede e a fatores ligados aos demais elementos faunísticos associados, tais como a degradação do cimento orgânico por ação de bactérias e fluidos do trato digestivo das formas sedimentívoras com pH baixo, principalmente em substratos ricos em matéria orgânica (PARSONS; BRETT, 1991).

Grande parte dos microfósseis examinados neste trabalho, apresenta sinais de dissolução, desencadeada a partir da super-saturação das águas em carbonato de cálcio, seja nas que contactam o fundo (interface água-sedimento) ou nos interstícios dos grãos sedimentares. A dissolução também pode ser consequência da oxidação da matéria orgânica nos sedimentos superficiais de granulação fina.

Foram observados dois estágios de dissolução, a saber: estágio I – vértebras completas onde estão preservados sua forma geral, detalhes morfológicos (bifurcação, centro dorsal, radiais da superfície oral, cavidade oral, local de inserção dos cirros) e espessura robusta (Figura 10); estágio II – ossículos do disco central e vértebras com moderado a alto grau de dissolução nas bordas, áreas musculares, canais e processos orais e aborais. Nos exemplares de disco central as placas orais e aborais foram totalmente destruídas. Além disso, todos os indivíduos aqui incluídos tiveram a sua espessura bastante diminuída, caracterizando um maior efeito destrutivo (Figura 11). Os estágios supradescritos ocorrem uniformemente tanto nos exemplares da Praia do Atalaia quanto da Mina B-17.

Figura 10 – Estágio I de dissolução. 1.vértebra de *Ophiomusium* 2. Vértebra de GORGONOCEPHALIDAE 3. Centrodorsal de COMATULIDA 4. Vértebra de COMATULIDA com articulação sizigial..

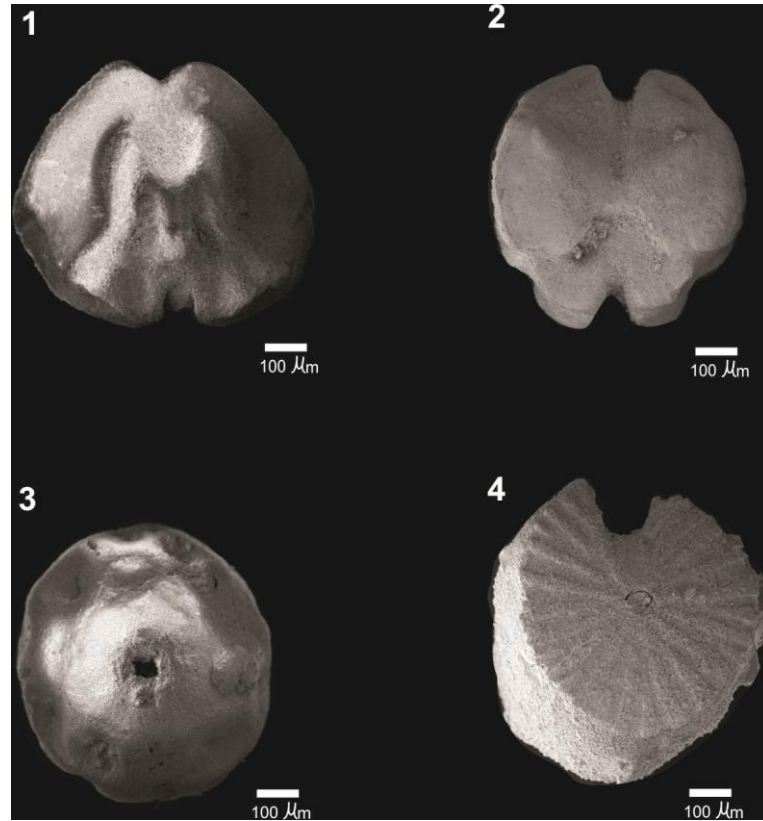
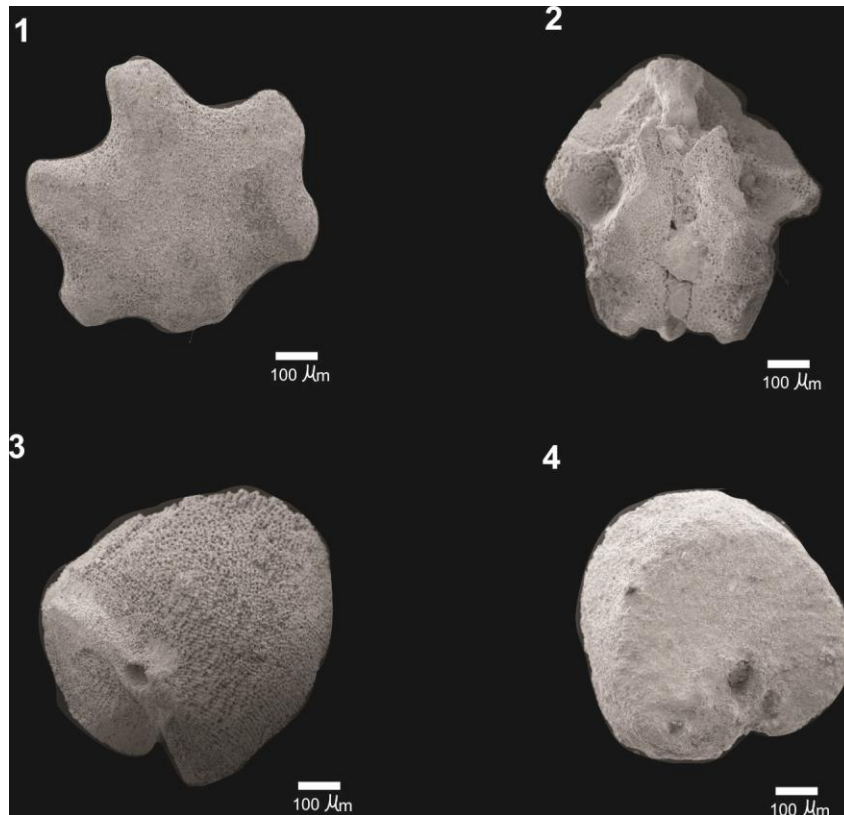


Figura 11 – Estágio II de dissolução: 1. disco central de *Ophiactis*(?) 2. Vértebra de *Ophiomusium* 3-4. Braquiais de COMATULIDA.



### Desarticulação, Bioerosão e Incrustação

A desarticulação é um processo que ocorre naturalmente após a morte dos ofiuroides e crinoides, e por isso a preservação unicamente sob a forma de ossículos dissociados situam a concentração fossilífera no estágio III de decomposição e desarticulação de Lewis (1987). Não foram encontradas no material feições de bioerosão e incrustação.

### Interpretação

Os graus de fragmentação e abrasão indicam que os restos foram submetidos a transporte de longa distância, que não ocorre segundo Donovan (1991) sob condições ambientais estáveis. Ao mesmo tempo, a desarticulação atesta que os equinodermas de onde procedem as vértebras estudadas tenham sido elementos da tanatocenose, sugerindo que não sofreram morte catastrófica, muito embora a

ausência de bioerosão e incrustação evidenciem que o tempo de exposição na interface água-sedimento tenha sido pequeno.

As preferências ambientais dos ofiuroides e crinoides, enquadram a sua ocorrência nas unidades paleoecológicas I e II de Távora et al. (2013), correspondentes a ambientes de plataforma interna e recifal respectivamente. Na Mina B-17 as associações bióticas predominantemente se relacionam com a unidade paleoecológica III, que tipifica ambiente de laguna estuarina (Távora et al. 2013). Entretanto, a composição taxonômica, ambiente de vida e feições bioestratinômicas dos microfósseis de ambiente plataformal e, foraminíferos e briozoários tipicamente recifais associados com os fósseis corpóreos de ofiuroides e crinoides, nos biocalcirruditos, permite supor que a concentração fossilífera destes equinodermas na Mina B-17 seja alóctone, tendo sido carregados pelos canais de maré durante as tempestades que assolaram o mar de Pirabas. Pelos mesmos fatores, por sua vez, a concentração fossilífera das formas recuperadas nas margas da Praia do Atalaia, parece ser parautóctone.

## 6 CONCLUSÕES

O estudo dos microfósseis da Formação Pirabas procedentes da Mina B-17 e Praia do Atalaia, Estado do Pará, registrou a ocorrência inédita de uma associação de Ophiuroidea e Crinoidea que permitiu as seguintes conclusões:

1. Com base no tipo de articulação foram identificados entre os ossículos de ofiuroides a família GORGONOCEPHALIDAE e a família OPHIURIDAE, gênero *Ophiomusium* e por comparação com as descrições de indivíduos atuais a família OPHIACTIDAE, gênero *Ophiactis(?)*. Os ossículos de crinoides foram posicionados na ordem COMATULIDA.
2. Os elementos da equinofauna identificados nesta pesquisa ou seus aparentados são comuns nas biocenoses atuais na Província Caribean e costa brasileira, corroborando o aspecto moderno da paleofauna do mar de Pirabas. O gênero *Ophiomusium* e os elementos da ordem COMATULIDA guardam afinidades com as equinofaunas miocênicas da Província Biogeográfica Caribean, em especial com a registrada em unidades sincrônicas da Jamaica corroborando o intercâmbio

faunístico entre as regiões Pacífico Leste Tropical (PLT) e Atlântico Oeste Tropical (AOT).

3. Os crinoides foram agrupados com os poríferos, cirrípedes balanomorfos, briozoários incrustantes, urocordados ascidiáceos, gastrópodes serpulídeos, bivalvíos ostreídeos, plicatulídeos, espondilídeos e chamídeos em uma guilda ecológica, pois todos estes elementos são suspensívoros e epibentônicos sésseis por cimentação. Os ofiuroides compunham outra guilda, juntamente com os equinoides irregulares e bivalvíos, todos endobentônicos rasos e suspensívoros. Em termos de relações ecológicas os ofiuroides e crinoides devem ter tido competição por exploração, e os gorgonocéfalos, simbiose com os corais gorgonáceos.

4. As preferências ambientais de ofiuroides e crinoides permitem enquadrar os táxons como membros das unidades paleoecológicas I e II (Távora *et al.* 2013), que correspondem a ambientes de plataforma interna e recifal, respectivamente.

5. A composição taxonômica, características paleoecológicas (associações típicas da unidade paleoecológica III de Távora *et al.* 2013) e assinaturas tafonômicas sugerem que na Mina B-17 a concentração fossilífera é alóctone, onde os elementos foram provavelmente carregados pelos canais de maré durante as tempestades que assolaram o mar de Pirabas. Por sua vez, a concentração fossilífera recuperada nos biocalcirruditos da Praia do Atalaia, parece ser parautóctone.

## REFERÊNCIAS

- ACKERMANN, F. L. *Geologia e fisiologia da região Bragantina (Estado do Pará)*. (Cadernos da Amazônia), Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, 1964. 2 v, p. 1-90. (Cadernos da Amazônia)
- \_\_\_\_\_. *Esboço para a Geologia entre a cidade de Belém - rio Gurupi e Atlântico - rio Guamá*. Belém: Universidade Federal do Pará. Imprensa Universitária, 1969. 79p.
- \_\_\_\_\_. *A Formação Pirabas, sua evolução e interpretação*. Belém: Universidade Federal do Pará. Imprensa Universitária, 1976. 83p.
- ALMARAZ, J. S. U. *Aspectos geoquímicos e ambientais dos calcários da Formação Pirabas, Estado do Pará. Porto Alegre*. 1977. 198f. Tese. (Doutorado em Geociências) - Curso de pós-graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 1977.
- ALMARAZ, J. S. U.; FORMOSO, M. L. F. Contribuição ao ambiente da Formação Pirabas - mineralogia das argilas. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 25, 1971, São Paulo. *Anais...* São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 2 v, p. 247-265.
- ALVARADO, J. J. Echinoderm diversity from the Caribbean Province. *Marine Biodiversity*. 2011. v.41, p. 261 – 285.
- BEU, A. G. Gradual Miocene to Pleistocene uplift of the Central American tonnoidean gastropods. *Journal of Paleontology*, v. 75, n. 3, p. 706-720, 2001.
- BENAVIDES-SERRATO, M.; BORRERO-PÉREZ, G. H.; CANTERA, J. R.; COHEN-RENGIFO, M.; NEIRA, R. Echinoderms of Colombia. *In: ALVARADO, J. J.; SOLÍS-MARIN, F. A. (Ed.). Echinoderm Research and Diversity in Latin America*. 2013, p. 145 – 182.
- BORGES, M.; MONTEIRO, A. M. G.; AMARAL, A. C. Z. Taxonomy of ophiuroidea (Echinodermata) from the continental shelf and slope of the southern and southeastern Brazilian coast. São Paulo, Brasil. *Biota Neotrópica*, v. 2, n.2, p. 1 – 18. 2002. Disponível em <<http://www.biotaneotropica.org.br>>. Acesso em: 24 mai. 2013.

BRITO, I. M. Clipeasteróides cenozóicos do Brasil (Echinodermata – Echinoidea). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, v. 51, n. 4, p. 730 – 740, 1979.

\_\_\_\_\_. Os equinóides fósseis do Brasil. I – Os endocíclicos. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, v. 52, n. 3, p. 569 – 590, 1980.

\_\_\_\_\_. Contribuição à Paleontologia do Estado do Pará. A ocorrência de *Abertella* (Echinoidea Clypeasteroidea) na Formação Pirabas. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, Nova série, Geologia, Belém, v. 23, n.1 – 8, 1981a.

\_\_\_\_\_. Os equinóides fósseis do Brasil. II – holectipóides e cassidulóides. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, v. 53, n. 3, p. 513 – 527, 1981b.

\_\_\_\_\_. Os equinóides fósseis do Brasil. III – espatangóides, exceto Hemiasteridae. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, v. 53, n. 3, p. 569 – 578, 1981c.

\_\_\_\_\_. O estado atual do conhecimento dos equinóides fósseis do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 8, 1983. Rio de Janeiro. *Resumo das Comunicações*. Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Paleontologia, 1983. p.42.

\_\_\_\_\_. *Abertella complanata* Brito (Equinoidea – Clypeasteroidea) da Formação Pirabas (Pará, Brasil). *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, Nova Série, Geologia, Rio de Janeiro, v. 28, n. 1 – 4. 1986.

\_\_\_\_\_. *Abertella complanata* Brito um equinóide da Formação Pirabas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 10, 1987, Rio de Janeiro. *Anais...* Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geologia, 1987. v. 2, p. 611 – 613.

\_\_\_\_\_. Distribuição e afinidades dos equinóides da Formação Pirabas, Oligoceno –Mioceno do estado do Pará. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 12, 1991, São Paulo. *Boletim de Resumos*. São Paulo: Sociedade Brasileira de Paleontologia, 1991. p. 69.

BRITO, I. M.; RAMIRES, L. V. O. Equinóides do Mioceno Inferior do Norte do Brasil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*; Rio de Janeiro, v. 46, n. 2, p. 263 – 277. 1974.

BRUSCA, R. C.; BRUSCA, G. J. *Invertebrados*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2007. p. 863-872.

COSTA, J. B. S.; BORGES, M. S.; BERMEGUY, R. L.; FERNANDES, J. M. G.; COSTA JR., P. S. *A evolução cenozóica da região de Salinópolis, nordeste do Estado do Pará*. São Paulo: Universidade Estadual de São Paulo, Instituto de Geociências, 1993. 12 v, p. 373-396.

COSTA, S.A.R.F. *Ictiólitos da Formação Pirabas, Mioceno do Pará, Brasil e suas implicações paleoecológicas*. 2011. 113 f. Tese (Doutorado em Geologia) – Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará. Belém, 2011.

DONOVAN, S. K. The taphonomy of echinoderms: calcareous multi-element skeletons in the marine environment. In: Donovan, S. K. (Ed.). *The processes of fossilization*. New York: Columbia University Press, 1991. p. 241 – 269.

DONOVAN, S. K.; GORDON, C. M.; VELTKAMP, C. J.; SCOTT, A. D. Crinoids, asteroids and ophiuroids in the Jamaican fossil record. In: WRIGHT, R.M.; ROBINSON, E. (Ed.). *Biostratigraphy of Jamaica*. Boulder, Colorado: Geological Society of America. 1993. p.125 – 130.

DONOVAN, S. K.; PORTELL, R.W.; VELTKAMP, C. J. Lower Mioceno echinoderms of Jamaica, West Indies. *Scripta Geological*, 2005. v.129, p. 91 – 135.

DUARTE, L. Contribuição à Paleontologia do Estado do Pará. A flórua fóssil da Formação Pirabas. In: SIMPÓSIO SOBRE A BIOTA AMAZÔNICA, 1, 1967. *Atas...* [S.l.]: CNPq, 1967.1 v, p. 145-149.

\_\_\_\_\_. Paleoflórua. In: ROSSETTI, D. F.; GÓES, A. M. (Ed.). *O Neógeno da Amazônia Oriental*. Belém: Editora do Museu Paraense Emílio Goeldi, 2004. p. 169-196. (Coleção Friederich Katzer).

FERNANDES, J. M. G. Bioestratigrafia da Formação Pirabas, Estado do Pará. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 35, 1988. Rio de Janeiro, *Anais...* Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Geologia, 1988. 6 v, p. 2376-2382.

FERNANDES, J. M. G. & MORAIS, M. H. C. Uma nova espécie de Cassidulóide (Echinodermata – Echinoidea) da Formação Pirabas (Mioceno Inferior), Pará, Brasil: *Rhycholampas candidoi* n. sp. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi; série Ciências da Terra*, Belém, v. 6, p. 53 – 58, 1994.

FERNANDES, J. M. G & TÁVORA, V. A. Estudo dos foraminíferos da Formação Pirabas procedentes do furo CB-UFGA-P1 (85), município de Capanema, Estado do Pará. *In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA*, 33, 1990. Natal. *Anais...* Natal: Sociedade Brasileira de Geologia, 1990. 1 v, p. 470-475.

FERREIRA, C. S. Características litopaleontológicas da Formação Pirabas, Estado do Pará. *In: CONFERÊNCIA GEOLÓGICA DAS GUIANAS*, 6, 1966. Belém. *Anais...*, Rio de Janeiro: [s.n.], 1966. 41 v, p. 101-111. (Avulsos da Divisão de Geologia e Mineralogia do Departamento Nacional de Produção Mineral).

\_\_\_\_\_. Correlação da Formação Pirabas (Mioceno Inferior), N e NE do Brasil, com as formações Chipola e Tampa da península da Flórida, USA. *In: CONGRESSO LATINOAMERICANO DE PALEONTOLOGIA*, 1. 1980. Buenos Aires, *Atas...* Buenos Aires: Asociación Paleontologica Argentina, 1980. 3 v, p. 49-55.

\_\_\_\_\_. Notas estratigráficas sobre o Cenozóico marinho do Estado do Pará. *In: SIMPÓSIO DE GEOLOGIA DA AMAZÔNIA*, 1., 1982, Belém. *Anais...* Belém: Sociedade Brasileira de Geologia, 1982. 1 v, p. 84-88.

FERREIRA, C. S.; CASSAB, R. C. T. *Implicações faciológicas da família Pectinidae (Mollusca-Bivalvia) da Formação Pirabas, Oligo-Mioceno do norte e nordeste do Brasil*. Rio de Janeiro: Ministério de Minas e Energia - DNPM, 1985. p. 205-209. (Série Geologia, Seção Paleontologia e Estratigrafia) (Coletânea de Trabalhos Paleontológicos, v. 27).

FERREIRA, C. S.; CUNHA, O. R. Contribuição à Paleontologia do Estado do Pará. Notas sobre a Formação Pirabas, com descrição de novos invertebrados fósseis.

*Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, Nova Série, Geologia, Belém, v. 2, p. 1-60, 1957.

FERREIRA, C. S.; FRANCISCO, B. H. R. As relações da Formação Pirabas (Oligoceno-Mioceno) com as formações continentais terciárias no NE do Pará. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 35., 1988, Belém. *Anais...* Belém: Sociedade Brasileira de Geologia, 1988. 2 v, p. 761-764.

FERREIRA, C. S.; VICALVI, M. A.; MACEDO, A. C. M. Nota sobre a sequência sedimentar ao sul do rio Guamá, Estado do Pará. Evidências do Oligo-Mioceno marinho, através dos resultados preliminares da sondagem feita em Vila Mãe do Rio ("48"), BR-010, Município de Irituia. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, Rio de Janeiro, v. 53, n. 1, p. 208-209, 1981.

FRANCISCO, B. H.; LOEWENSTEIN, P.; SILVA, A. I.; SILVA, G. G. Contribuição à Geologia da Folha de São Luís (SA-23), no Estado do Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, Nova Série, Geologia, Belém, v. 17, p. 1-40, 1971.

GÓES, A. M.; ROSSETTI D. F.; NOGUEIRA, A. C. R.; TOLEDO, P. M. Modelo deposicional preliminar da Formação Pirabas no nordeste do Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, Série Ciências da Terra, Belém, v. 2, p. 3-15, 1990.

HENDLER, R. G.; MILLER, J. E.; PAWSON, D. L.; KIER, P. M. Sea stars sea urchins and allies: echinoderms of Florida and the Caribbean. Washington, D.C.: Smithsonian Institution Press. 390 p.

HESS, H.; AUSICH, W.I.; BRETT, C.E.; SIMMS, M.J. (Ed.). Fossil crinoids. United States of América: Cambridge University Press, 1999.

HICKMAN, C. P. J.; ROBERTS, L. S.; LARSON, A. *Princípios Integrados de Zoologia*. 11 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Kogan, 2004.

KRAATZ-KOSCHLAU, K.; HUBER, J. Zwischen Ocean und Guamá. Beitrag zur Kenntnis des Staates Pará. *Museu Paraense de História Natural e Etnografia*, v. 2, p. 1 – 34, 1900. (Memórias do Museu Paraense).

KROH, A. First Record of Gorgonocephalid ophiuroids (Echinodermata) from the Middle Miocene of the Central Paratethys. Áustria. *Cainozoic Research*, v. 2, p. 143 – 155, out. 2003.

LECLAIR, E.E. Arm joint articulations in the ophiuran brittle stars (Echinodermata: Ophiuroidea): a morphometric analysis of ontogenetic, serial, and inter-specific variation. *Journal of Zoology*, London, v.240, p. 245 – 275, 1996.

LEWIS, R. D. Post-mortem decomposition of ophiuroids from the Mississippi Sound. *Geological Society of America Abstracts with Programs*, v. 19, n. 2, p. 94 – 95, 1987.

LIMA; M. L. F.; CORREIA, M. D.; SOVIERZOSKI, H. H.; MANSO, C. L. C. New records of Ophiuroidea (Echinodermata) from shallow waters off Maceió, State of Alagoas, Brazil. *Marine Biodiversity Records*, United Kingdom, v. 4, p. 1-10, 2011.

MADSEN, F. J. West African Ophiuroids. *Atlantide Report*. v.11, p. 151 – 243. 1970.

MAIA, A. S. P. Contribuição à Paleontologia do estado do Pará – estudo taxonômico sobre os espatangóides (filo Echinodermata) da Formação Pirabas (Mioceno Inferior) do acervo do Museu de Geociências – UFPA. 1996. 36f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia) – Departamento de Geologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 1996.

MARKO, P. B.; JACKSON, J. B. C. Patterns of morphological diversity among and within arcid bivalve species pairs separated by the Isthmus of Panamá. *Journal of Paleontology*, v. 75, n. 3, p. 590-606, 2001.

MARTIN, R. E.; LIDELL, W. D. The Taphonomy of Foraminifera in modern carbonate environments: implications for the formation of foraminiferal assemblages. In: DONOVAN, S. K. (Ed.). *The processes of fossilization*. New York: Columbia University Press, 1991. p. 170 – 193.

MARTINEZ, S.; MOOI, R. “*Karlaster*” *pirabensis* from de brazilian Miocene is a species of *Abertella* (Scutellina, Echinoidea), not a monophorasterid. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 15., 1997, São Pedro. *Boletim de Resumos*. São Paulo: Sociedade Brasileira de Paleontologia, 1997. p.61.

MAURY, C. J. *Fósseis terciários do Brasil com descrição de novas formas cretáceas*. Rio de Janeiro: [s.n.], 1925. 4 v., 665 p. (Monografia do Serviço Geológico e Mineralógico do Brasil).

MEYER, D. L.; AUSICH, W. I.; TERRY, R. E. Comparative taphonomy of echinoderms in carbonate facies: Fort Payne Formation (Lower Mississippian) of Kentucky and Tennessee. *Palaios*, v. 4, n. 6, p. 533 – 552, 1990.

MOOI, R.; MARTINEZ, S.; PARMA, S. G. Phylogenetic systematics of Tertiary monophorasterid sand dollars (Clypeasteroidea: Echinoidea) from South America. *Journal of Paleontology*, Lawrence, v. 74, n. 2, p. 263 – 281, 2000.

MOORE, R. C. *Treatise on Invertebrate Paleontology*. Part U. Echinodermata 3. The Geological Society of America and The University of Kansas, 1966. 673 p.

MOORE, R. C.; JEFFORDS, R. M. *Echinodermata: Classification and nomenclature of fossil crinoids based on studies of dissociated parts of their columns*. Kansas: The University of Kansas Publications, 1968, p. 1 – 68.

MOORE, R. C.; TEICHERT, C. (Ed.). *Treatise on Invertebrate Paleontology*. Part T. Echinodermata 2. The Geological Society of America and The University of Kansas, 1978. 1027 p.

MORAIS, M. H. C. Contribuição à Paleontologia do Estado do Pará – revisão sistemática do gênero *Clypeaster* Lamarck, 1801 da Formação Pirabas (Mioceno Inferior) do acervo do Museu de Geociências – UFPA. 1991. 34f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia) – Departamento de Geologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 1991.

MORAIS, M. H. C. *Os equinóides regulares da Formação Pirabas (Oligo-Mioceno), Pará, Brasil – sistemática, tafonomia e paleoecologia*. 1998. 69 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Programa de Pós-Graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1998.

MORAIS, M. H. C.; FERNANDES, J. M. G. Equinóides regulares da Formação Pirabas (Eomioceno), Pará, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 15., 1997, São Pedro. *Boletim de Resumos*. São Paulo: Sociedade Brasileira de Paleontologia, 1997. p.60.

MORAIS, M. H. C.; FERNANDES, J. M. G. Predation and repairing phenomena in echinoids from Pirabas formation (Oligo-Mioceno), Pará, Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PALEONTOLOGIA, 16., 1999, Crato. *Boletim de Resumos*. Crato: Sociedade Brasileira de Paleontologia, 1999. p. 75.

PARSONS, K. M.; BRETT, C. E. Taphonomic processes and biases in modern marine environments: an actualistic perspective on fossil assemblage preservation. In: DONOVAN, S. K. (Ed.). *The process of fossilization*. New York: Columbia University Press, 1991. p. 22 – 65.

PAUL, C. R. C., SMITH, A. B. (Ed.). *Echinoderm Ontogeny and Evolutionary Biology*. Oxford: Clarendon Press, 1988.

PAWSON, D. L.; VANCE, D. J.; MESSING, C. G.; SOLÍS-MARIN, F. A.; MAH, C. L. Echinodermata of the Gulf of Mexico. In: FELDER, D. L.; CAMP, D. K. (Ed.). *Gulf of Mexico: origin, waters, and biota*. Texas: A & M University Press, College Station. 2009. v. 1 Biodiversity, p. 1177 – 1204.

PECK, R. E.; WATKINS, W. T. Comatulid crinoids from the Jacksonian (Eocene) of Louisiana. *Journal of Paleontology*, v. 46, n. 3, p. 410 – 414, 1972.

PETRI, S. Foraminíferos miocênicos da Formação Pirabas. *Boletim da Faculdade de Filosofia, Ciências e Letras da Universidade de São Paulo, Geologia*, São Paulo, v. 216, n. 16, p. 1-79, 1957.

RAMIRES, L. V. O. *Equinóides do Mioceno Inferior do norte do Brasil*. 1973. 28 f. Dissertação (Mestrado em Geologia) – Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1973.

RASMUSSEN, H. W. Cretaceous Asteroidea and Ophiuroidea with special reference to the species found in Dinmark. *Danmarks Geologiske Undersgelse*, v. 2 n. 77, p. 1 – 134, 1950.

RASMUSSEN, H. W. Cretaceous Ophiuroidea from Germany, Sweden, Spain and New Jersey. *Meddelelser fra Dansk Geologisk Forening*, v. 12, p. 47 – 57, 1952.

RIBEIRO-COSTA, C. S.; ROCHA, R. M. Invertebrados: Manual de aulas práticas. 2 ed. Ribeirão Preto: Holos, 2006. p. 202.

RUPPERT, E. E.; FOX, R. S.; BARNES, R. D. (Ed.). *Zoologia dos invertebrados. Uma abordagem funcional-evolutiva*. 7. ed. São Paulo: Roca, 2005.

SANTOS, M. E. C. M. Equinóides miocênicos da Formação Pirabas. *Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia do Departamento Nacional da Produção Mineral*, Rio de Janeiro, v. 179, p. 1 – 24, 1958.

SANTOS, M. E. C. M. Equinóides miocênicos da Formação Pirabas. In: SIMPÓSIO SOBRE A BIOTA AMAZÔNICA, 1., 1967, Belém. *Atas...* Belém: [s.n.], 1967. v.1, p. 407 – 410.

SCHALLER, H.; VASCONCELOS, D. N.; CASTRO, J. Estratigrafia preliminar da bacia sedimentar da foz do rio Amazonas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25., 1971, São Paulo. *Anais...* São Paulo: Sociedade Brasileira de Geologia, 1971. 3 v., p. 189-202.

SCHEFFLER, S. M. Equinodermas do Paleozóico Brasileiro. In: CARVALHO, I. S.; SRIVASTAVA, N. K.; STROHACHOEN, D.; LANA, C.C. (Ed.). *Paleontologia: cenários da vida*. [S.l.]: Editora Interciência, 2011. v. 4, p. 191 – 210.

SOUZA-LIMA, W.; MANSO, C. L. Equinodermas. In: CARVALHO, I. S. (Ed.). *Paleontologia: microfósseis, paleoinvertebrados*. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. 2 v, p. 449-478.

STOHR, S.; O'HARA, T. D.; THUY, B. Global diversity of Brittle Stars (Echinodermata: Ophiuroidea), Estocolmo, Suécia. *PLOS ONE* v. 7, 2012. Disponível em: <<http://www.plosone.org>>. Acesso em 24 mai. 2013.

STOHR, S.; SEGONZAC, M. Deep-sea ophiuroids (Echinodermata) from reducing and non-reducing environments in the North Atlantic ocean. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, v. 85, n. 2, p. 383 – 402.

STORC, R.; ZITT, J. Late Turonian ophiuroids (Echinodermata) from the Bohemian Cretaceous Basin, Czech Republic. *Bulletin of Geosciences, Czech Republic*, v. 83, n. 2, p. 123 – 140, 2008.

STRIMPLE, H. L.; MAPES, R. H. Comatulid crinoids from the Jacksonian (Eocene) of Louisiana. *Journal of Paleontology*, v. 58, n. 3, p. 789 – 792, 1984.

TÁVORA, V. A.; FERNANDES, J. M. G. Estudo de los foraminíferos de la Formación Pirabas (Mioceno Inferior), Estado do Pará, Brasil y su correlación com faunas del Caribe. *Revista Geológica de América Central*, São José, v. 22, p. 59-70, 1999.

TÁVORA, V.A.; NUNES, S.S.; SOUZA, K.S. *Paleoecologia da Formação Pirabas (Mioceno Inferior), Estado do Pará*. [S.l.]: Sociedade Brasileira de Geologia Núcleo Norte, 2013. (Contribuições à Geologia da Amazônia, v. 8) (no prelo).

TÁVORA, V. A.; SANTOS, A. A. R.; NETO, I. L. A. Eventos biológicos da Formação Pirabas (Mioceno Inferior) – Estado do Pará. *Revista Brasileira de Geociências*, v. 40, n. 2, p. 256-264, 2010.

TOMMASI, L. R. Lista dos Equinoides recentes do Brasil. Contribuições Avulsas do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo. São Paulo, Brasil. 1966. v. 11, p. 1 – 50. (Série Oceanográfica Biológica).

TOMMASI, L. R.; ABREU, J. de. Equinodermes do Brasil IV. Sobre seis espécies novas de ophiuroidea da região ao Largo da Ilha Grande (RJ). *Boletim do Instituto Oceanográfico*, São Paulo, v. 23, p. 17 – 32, 1974.

WETMORE, K. L. Correlations between test strength, morphology and habitat in some benthic foraminifera from the coast of Washington. *Journal of Foraminiferal Research*, v. 17, n. 1, p. 1 – 13, 1987.

WOODRING, W. P. Affinities of Miocene marine molluscan faunas on Pacific side of Central America. *Publicaciones Geológicas del Instituto Centroamericano de Investigación y Tecnología Industrial*, v. 4, p. 179-188, 1974.

\_\_\_\_\_. Distribution of Tertiary marine molluscan faunas in Southern Central America and Northern South America. *Instituto Geológico Universidad Autónoma*, v. 101, p. 153-166, 1978.

ZUCON, M. H.; VIEIRA, F. S. Paleoecologia dos invertebrados. In: CARVALHO, I. S. (Ed.). *Paleontologia: microfósseis, paleoinvertebrados*. 3. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. 2 v, p. 479-488.

