



**Sistemática e Paleobiologia de Microfósseis de  
Equinodermas da Formação Pirabas (Mioceno Inferior), Estado do Pará, Brasil**  
Systematic and Paleobiology of the Echinodermata  
Microfossils of the Pirabas Formation (Lower Miocene), Pará State, Brazil

Vladimir de Araújo Távora; Débora Barroso Monteiro & Salustriano Bosco Reis

*Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Geologia,  
Laboratório de Paleontologia, Caixa Postal 1611, 66075-110, Belém, Pará, Brasil*  
E-mails: *vladimir@ufpa.br; babybarroso@hotmail.com; petgeologia@ufpa.br*  
Recebido em: 05/09/2014 Aprovado em: 16/03/2015  
DOI: [http://dx.doi.org/10.11137/2015\\_1\\_116\\_127](http://dx.doi.org/10.11137/2015_1_116_127)

## Resumo

Este trabalho apresenta os dados obtidos a partir da análise de microfósseis calcários presentes em amostras coletadas na Formação Pirabas, Mina B-17 da Cimentos do Brasil S. A., município de Capanema e praia do Atalaia município de Salinópolis, estado do Pará, visando a caracterização sistemática e paleobiológica de novos elementos de equinodermos da Formação Pirabas, pertencentes aos grupos Crinoidea e Ophiuroidea, ainda não reconhecidos nesta unidade litoestratigráfica. Foram recuperados 27 fragmentos de crinoides e 18 fragmentos de ofiuroides, sendo reconhecidos entre os ofiuroides a família Gorgonocephalidae e os gêneros *Ophiomusium* e *Ophiactis* (?) e entre os crinoides a ordem Comatulida. A composição taxonômica, ambiente de vida e feições bioestratinômicas destes equinodermos e dos demais elementos faunísticos associados, define que é parautóctone a concentração fossilífera de ofiuroides e crinoides coletados nas litofácies tipicamente marinhas plataformais aflorantes na praia do Atalaia, e que os elementos recuperados na 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 Caribeana, corroborando o intercâmbio faunístico entre as regiões Pacífico Leste Tropical (PLT) e Atlântico Oeste Tropical (AOT).

**Palavras-chave:** Formação Pirabas; Ophiuroidea; Crinoidea; Mioceno inferior

## 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 study reveals 27 fragments of crinoids and 18 fragments of ophiuroids, represented by the family Gorgonocephalidae and genus *Ophiomusium* and *Ophiactis* (?) and among the crinoids, were recognized the order Comatulida. The taxonomic composition, living environment and biostratinomic 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, and the taxa identified corroborate the faunal exchange between regions Eastern Tropical Pacific (PLT) and Tropical Western Atlantic (AOT).

**Keywords:** Pirabas Formation; Ophiuroidea; Crinoidea; Lower Miocene

## 1 Introdução

A Formação Pirabas é uma das unidades litoestratigráficas que melhor representa o Cenozoico marinho brasileiro. O arranjo dos seus depósitos evidencia padrão geral prográdacional, revelado pela superposição de fácies de plataforma aberta por fácies progressivamente mais costeiras, associadas à sistema deposicional contendo ilhas-barreiras (Góes *et al.*, 1990). Também foram reconhecidos vales estuarinos incisos, através da abundância de depósitos formados sob influência de processos de marés em ambientes canalizados, típicos de estuários. Estes depósitos caracterizados por litologias típicas com gradações laterais e verticais, geneticamente relacionadas com uma variedade de outros depósitos comuns a sistemas estuarinos, destacando-se particularmente delta de maré, baía/laguna estuarina, planície de maré e mangue. O relacionamento destes depósitos com estratos atribuídos à plataforma rasa, e a associação icnológica, com representantes de ambientes marinhos estressados e com influência de água salobra, são importantes elementos na caracterização de fácies proximais, intermediárias e distais estuarina nesses estratos (Rosseti & Góes, 2004).

A primeira referência sobre equinodermas da Formação Pirabas foi realizada por Kraatz-Koschlaue & Huber (1900), que reconheceram restos destes invertebrados em calcários da ilha de Fortaleza. Em seguida, Santos (1958, 1967) realizou o primeiro estudo sobre os equinoides da Formação Pirabas, registrou os gêneros *Agassizia* e *Plagiobrissus*, e propôs o novo gênero *Karlaster* e as espécies novas *Anisopetalus oliveirai*, *Echinolampas paraensis*, *Clypeaster paulinoi*, *C. lamegoi* e *Karlaster pirabensis*, admitindo que esta paleofauna guarda grande afinidade com as registradas no Mioceno caribeano, em especial com a fauna das Antilhas.

Brito & Ramires (1974) confirmaram as espécies supracitadas, reposicionando *Echinolampas oliveirai* no gênero *Anisopetalus*. Além disso, reconheceram pela primeira vez *Plagiobrissus grandis* e *Clypeaster concavus* além dos gêneros *Prionocidaris*, *Schizaster*, *Histocidaris*, *Agassizia* e *Phyllacanthus* sendo propostas para estes dois últimos as novas espécies *A. eugeniae* e *P. priscus*.

Brito (1979, 1980, 1981a, 1981b, 1981c, 1986) em pesquisas sobre os equinoides fósseis brasileiros corroborou a ocorrência na Formação Pirabas dos

clipeasteroides, endocíclicos, espatangoides e do holoctipoide previamente individualizados. 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*.

Fernandes & Morais (1994) registraram em afloramento da Formação Pirabas na praia do Atalaia, litoral paraense, a primeira ocorrência de um cassiduloide do gênero *Rhyncholampas*, e propuseram a espécie nova *R. candidoi*. Também foi assinalado por Morais & Fernandes (1997) a presença de radiólos achatados em forma de leque e representantes da subclasse Euechinoidea no Brasil, além dos gêneros “*Cidaris*” e *Psammechinus*.

Mooi *et al.* (2000) apresentaram uma análise filogenética dos representantes dos equinodermas clipeasteroides da família Monophorasteridae da América do Sul, sendo o gênero *Karlaster* considerado inválido, reposicionando o holótipo da espécie, *K. pirabensis* na família Abertellidae, gênero *Abertella*.

O trabalho se propõe a caracterização sistemática e paleobiológica de novos elementos de equinodermos da Formação Pirabas, pertencentes aos grupos Ophiuroidea e Crinoidea, ainda não reconhecidos nesta unidade litoestratigráfica, ampliando o conhecimento sobre a fauna de equinodermos, desta vez preservados como restos microscópicos de formas macroscópicas.

## 2 Materiais e Métodos

As amostras foram recuperadas em margas dos afloramentos da Praia do Atalaia (município de Salinópolis- 0° 36' 5" S, 47° 18' 48" W) e em biocalcirruditos da sequência aflorante na Mina B-17 da Cimentos do Brasil S.A., município de Capanema (1° 2' 47" S, 47° 9' 26" W), em outubro de 2012 (Figura 1). A partir da triagem das amostras foram separados 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. Estes elementos estão depositados na coleção paleontológica do Museu de Geociências da Universidade Federal do Pará, sob a numeração MG-7154-I até MG-7162-I.

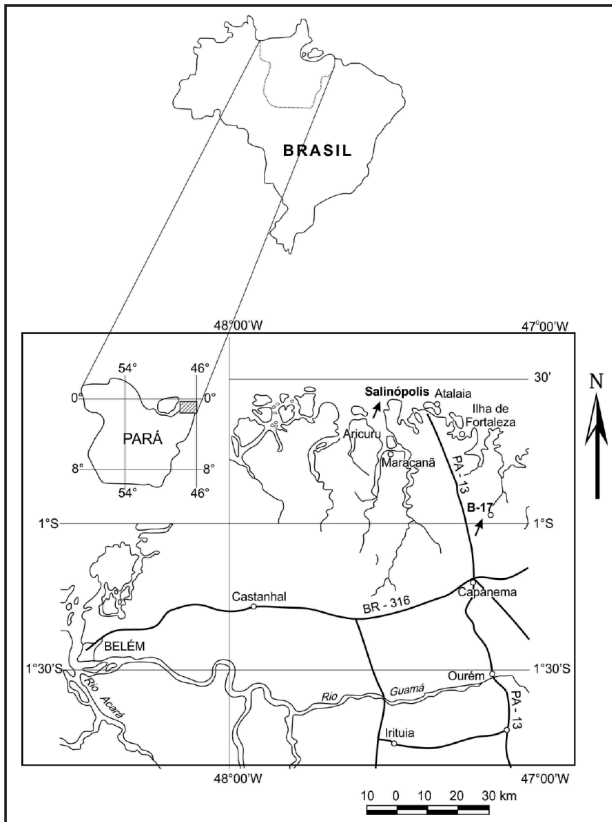


Figura 1 Mapa de localização (setas) das localidades praia do Atalaia- município de Salinópolis e Mina B-17 da Cimentos do Brasil S/A- CIBRASA, onde foram coletados os exemplares objeto deste estudo.

### 3 Sistemática Paleontológica

#### 3.1 Classificação

O presente estudo utilizou as classificações sistemáticas adotadas por Rasmussen (1950,1952, 1978), Moore (1966), Tommasi & Abreu (1974), Kroh (2003), Stohr & Segonzac (2005), Stohr *et al.* (2012), além de outras bibliografias complementares específicas. A nomenclatura morfológica e os termos aplicados nas descrições sistemáticas seguem a proposta de Moore (1966), Donovan *et al.* (1993), Leclair (1996), Kroh (2003), Stohr *et al.* (2012).

Classe OPHIUROIDEA Gray, 1840  
Subclasse OPHIURIDEA Gray, 1840  
Ordem EURYALINA Lamarck, 1816  
Família GORGONOCEPHALIDAE

Ljungman, 1867  
Gorgonocephalidae indet.  
Figuras 2.1 – 2.6

**Material:** sete vértebras, sendo três na praia do Atalaia (MG-7156-I-a-c) e quatro vértebras na mina B-17 da CIBRASA (MG-7160-I-a-d).

**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:** 0,1 a 0,5 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  
*Ophiomusium* sp.  
Figuras 2.7 – 2.11

**Material:** sete vértebras, da praia do Atalaia (MG-7156-I-d-f; MG-7158-I-a-d).

**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

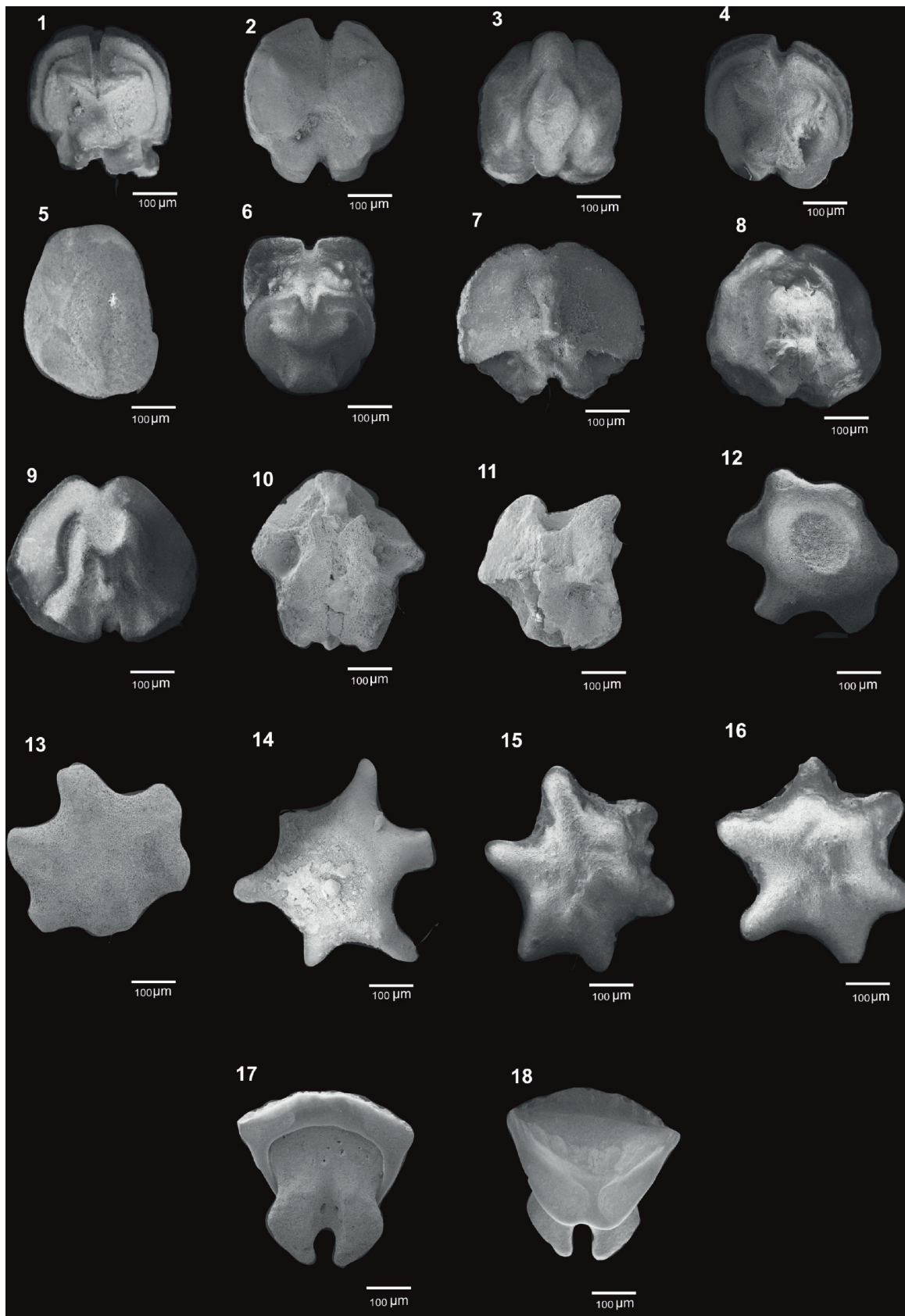


Figura 2 Ofiuroides: 1-6 vértebras de Gorgonocephalidae indet. (1,4,6 vista proximal e 2,5 vista distal); 7-11 vértebras de *Ophiomusium* sp.; 12-16 disco central de *Ophiactis* ? sp.; 17-18 Ophiuroidea indet. vista aboral e oral de um escudo oral.

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 alojamento do nervo radial ao longo das vértebras, 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.

Medidas: 0,1 mm a 0,5 mm de diâmetro.

Discussão: as vértebras observadas guardam as características morfológicas citadas na chave de Rasmussen (1950) para *Ophiomusium* e aos reconhecidos no Mioceno inferior da Jamaica por Donovan *et al.* (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  
*Ophiactis* ? sp.  
Figuras 2.12 – 2.16

Material: três discos centrais (MG-7154-I-a-c), procedentes da praia do Atalaia.

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: 0,1 mm a 0,4 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) pode pertencer ao gênero acima determinado, no entanto seria necessário estar com os discos mais preservados para uma perfeita identificação sistemática.

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 Cananeia, São Paulo e nordeste da costa brasileira em Alagoas.

Ophiuroidea indet.  
Figuras 2.17- 2.18

Material: um escudo oral do disco central (MG-7160-I-e), procedente da Mina B-17.

Descrição: um escudo oral do disco central com forma triangular e bordas arredondadas, com duas saliências arredondadas.

Medidas: 0,4 mm na porção mais larga e 0,2 mm na porção mais estreita.

Discussão: 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. 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 Clark, 1908  
Comatulida indet.  
Figuras 3.1 – 3.16

Material: quatro ossículos centrodorsais do cálice e 23 placas braquiais desarticuladas (MG-7155-I-a, b; MG-7157-I-a-i; MG-7159-I-a-b; MG-7161-I-a-c; MG-7162-I-a-k).

Descrição: um ossículo pentâmero com superfície oral exibindo cinco suturas da impressão da articulação entre as radiais e as basais, que constituem o pentágono radial. O outro ossículo centrodorsal é de contorno arredondado sem apresentar as marcas de articulação das radiais e dois centrodorsais subcônicos a cônicos com contorno arredondado e sem apresentar sutura das radiais. Em todos observa-se a cavidade oral da centrodorsal. Nas laterais da placa centrodorsal estão presentes as cicatrizes cirrais. As placas braquiais são maciças, de forma arredondada, podem apresentar ranhuras

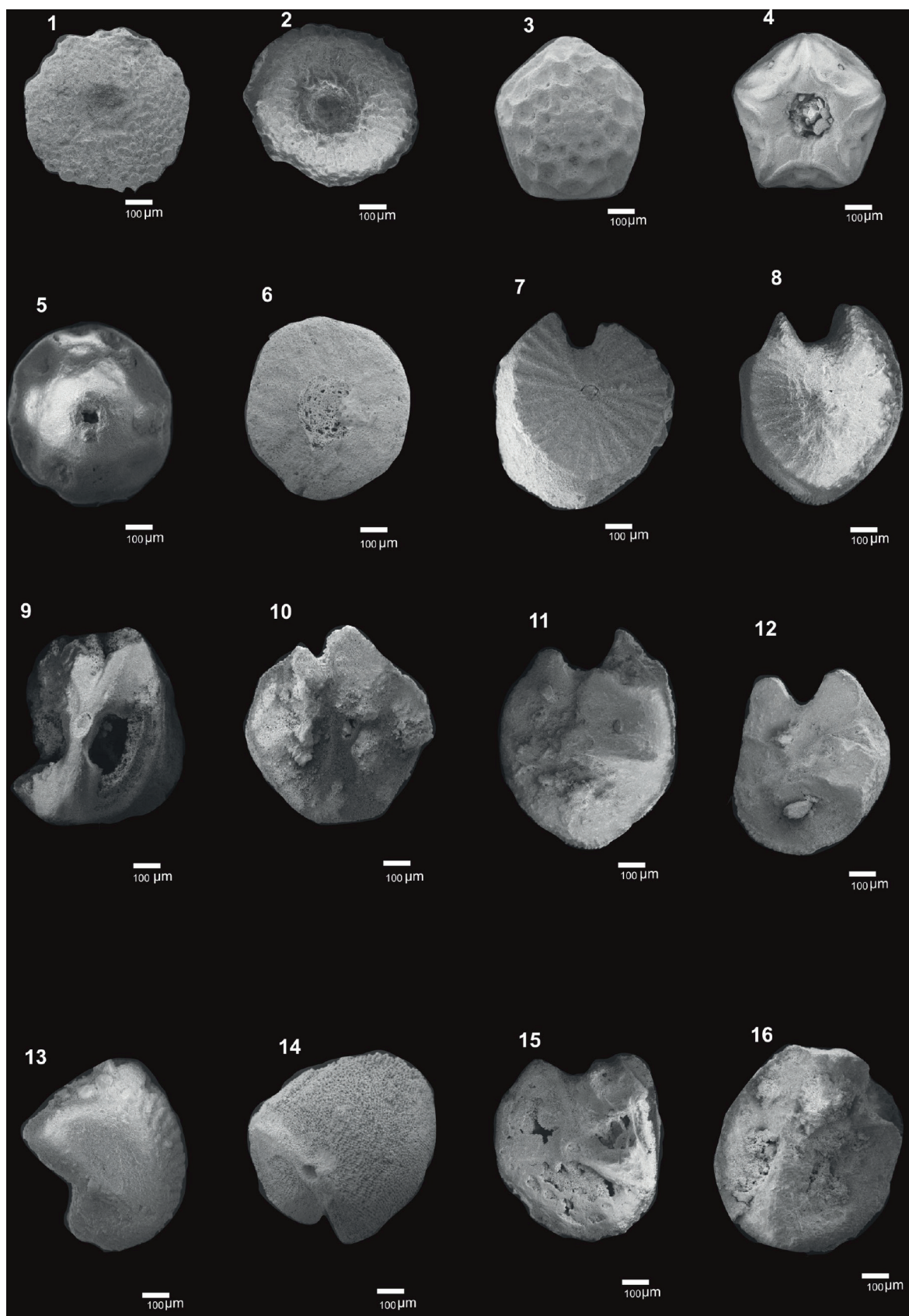


Figura 3 Crinoides, Comatulida indet.: 1-6 centrodorsal; 7-8 braquiais com articulação sizigial; 9-16 braquiais com articulações oblíqua e reta.

laterais, fossas de fixação dos músculos flexores, e nas faces orais exibem os sulcos adorais. Um dos ossículos exibe na superfície articular um padrão radial definido por 23 crênulas radiais, típico da articulação sizigial onde um par de braquiais é unido por microfibras de colágeno.

Na superfície de alguns ossículos braquiais as superfícies articulares podem ser retas ou oblíquas, estando preservado o orifício que aloja o nervo aboral.

Medidas: os centrodorsais medem cerca de 0,4 mm de diâmetro com cavidade oral de aproximadamente 0,1 mm. As placas braquiais desarticuladas medem entre 0,1 mm e 0,3 mm.

Discussão: as feições diagnósticas aqui descritas foram comparadas com Peck & Watkins (1972), Strimple & Mapes (1984) e Hess *et al.* (1999). Observou-se que boa parte das amostras guarda com certa clareza as características morfológicas diagnósticas dos comatulídeos. A forma bem distinta das centro-dorsais indica que possivelmente correspondem a três espécies diferentes.

Ocorrência: cosmopolita, com ocorrência desde o Jurássico; Formação Pirabas (Mioceno inferior) – Brasil.

### 3.2 Considerações Sistemáticas

Esta pesquisa registra a ocorrência inédita de uma associação de Ophiuroidea e Crinoidea na Formação Pirabas. Os táxons aqui estudados foram reconhecidos por Hendler *et al.* (1995) e Alvarado (2011) como elementos das biocenoses atuais na Província Caribeana e costa brasileira (Borges *et al.*, 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 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 “*saddle-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.

### 4 Paleocologia e Paleobiogeografia

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 simbiossiontes, 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 *hardgrounds*, 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 *et al.*, 2005).

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.

Os elementos faunísticos da Província Biogeográfica Caribéana (PBC) possuem ancestrais cretáceos típicos do mar de Tethys, principal ponto de origem das faunas marinhas cenozoicas. 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, do 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), apa-

rentemente 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).

O padrão de distribuição paleobiogeográfica dos ofiuroides e crinoides, agora reconhecidos na Formação Pirabas, segue o descrito para os elementos da PBC, incluindo os membros do filo Echinodermata. Estes novos elementos 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 ofiuoide *Ophiomusium* na Jamaica, corrobora o intercâmbio de táxons e a comunicação entre as regiões PLT e AOT da PBC, já reconhecido entre os equinoides e moluscos.

## 5 Tafonomia

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).

Os equinodermos 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 se decompõem. 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.

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).

A associação estudada é composta por formas inteiras a pouco fragmentadas, com espessura variável entre delicada a robusta, em proporções equilibradas (Figura 4). 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 & 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.

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, impressão das radiais da superfície oral, cavidade oral, local de inserção dos cirros) e espessura robusta (Figura 4); 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 4). Os estágios supradescritos ocorrem uniformemente tanto nos exemplares da praia do Atalaia quanto da Mina B-17.

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.

De acordo com as observações de Martin & Lidell (1991) e as feições preservacionais semelhantes reconhecidas nas associações de foraminíferos da Formação Pirabas (Távora & Coelho, 2006), é possível admitir que os graus de fragmentação e abrasão indicam que os restos dos equinodermos foram submetidos a transporte de longa distância, que segundo Donovan (1991) não ocorre 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

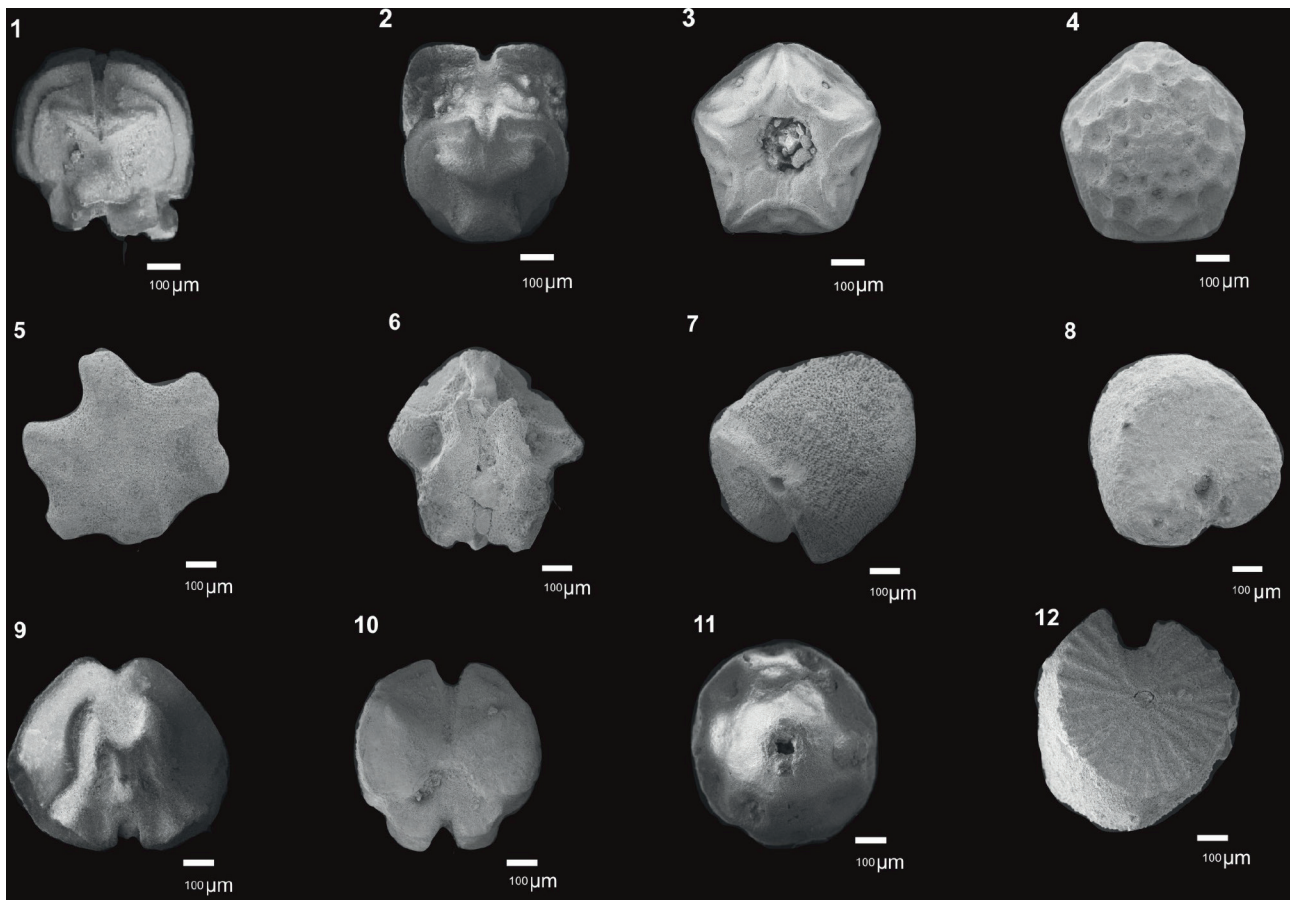


Figura 4 Fragmentação e abrasão: 1-2 vértebra de Gorgonocephalidae indet.; 3-4 centrodorsal de um Comatulida indet.; Estágio I de dissolução: 5 vértebra de *Ophiomusium* sp.; 6 vértebra de Gorgonocephalidae indet.; 7 centrodorsal de Comatulida indet.; 8 vértebra de Comatulida indet. com articulação sizigial; Estágio II de dissolução: 9 disco central de *Ophiactis* ? sp.; 10 vértebra de *Ophiomusium* sp.; 11-12 braquiaais de Comatulida indet.

vida e feições bioestratinômicas dos microfósseis de ambiente plataformal e, foraminíferos e briozoários tipicamente recifais associados com os ofiuroides e crinoides nos biocalcirruditos, permite supor que a concentração fossilífera destes equinodermas na Mina B-17 seja alóctone, tendo sido carreados até a laguna 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

Com base no tipo de articulação foram identificados entre os ossículos de ofiuroides Gorgonocephalidae indet. e a família Ophiuridae, *Ophiomusium* sp., e por comparação com as descrições de indivíduos atuais a família Ophiactidae, *Ophiactis* ? sp., enquanto os ossículos de crinoides foram

posicionados na ordem Comatulida. Estes elementos ou seus aparentados são comuns nas biocenoses atuais na Província Caribeana 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 Caribeana, 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). 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. 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.

## 7 Referências

- Alvarado, J.J. 2011. Echinoderm diversity from the Caribbean Province. *Marine Biodiversity*, 41: 261- 285.
- Benavides-Serrato, M.; Borrero-Pérez, G.H.; Cantera, J.R.; Cohen-Rengifo, M. & Neira, R. 2013. Echinoderms of Colombia. In: ALVARADO, J. J. & SOLÍS-MARIN, F.A. (eds.). *Echinoderm Research and Diversity in Latin America*, Springer, 145 – 182.
- Beu, A.G. 2001. Gradual Miocene to Pleistocene uplift of the Central American tonnoidean gastropods. *Journal of Paleontology*, 75(3): 706-720.
- Borges, M.; Monteiro, A.M.G. & Amaral, A.C.Z. 2002. Taxonomy of Ophiuroidea (Echinodermata) from the continental shelf and slope of the southern and southeastern Brazilian coast. São Paulo, Brasil. *Biota Neotrópica*, 2(2): 1- 18.
- Brito, I.M. 1979. Clipeasteróides cenozóicos do Brasil (Echinodermata- Echinoidea). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 51(4): 730- 740.
- Brito, I.M. 1980. Os equinóides fósseis do Brasil. I- Os endocíclicos. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 52(3): 569- 590.
- Brito, I.M. 1981a. 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, 23: 1- 8.
- Brito, I.M. 1981b. Os equinóides fósseis do Brasil. II- holactipóides e cassidulóides. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 53 (3): 513- 527.
- Brito, I.M. 1981c. Os equinóides fósseis do Brasil. III- espatangóides, exceto Hemisteridae. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 53(3): 569- 578.
- Brito, I.M. 1986. *Abertella complanata* Brito (Echinoidea – Clypeasteroidea) da Formação Pirabas (Pará, Brasil). *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, nova série Geologia, 28: 1- 4.
- Brito, I.M.; Ramires, L.V.O. 1974. Equinóides do Mioceno Inferior do Norte do Brasil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 46(2): 263 – 277.
- Brusca, R. C. & Brusca, G. J. 2007. *Invertebrados*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1098p.
- Donovan, S. K. 1991. 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, p. 241 – 269.
- Donovan, S.K.; Portell, R.W.; Veltkamp, C.J. 2005. Lower Miocene echinoderms of Jamaica, West Indies. *Scripta Geologica*, 129: 91- 135.
- Donovan, S. K.; Gordon, C. M.; Veltkamp, C. J. & Scott, A. D. 1993. Crinoids, asteroids and ophiuroids in the Jamaican fossil record. In: WRIGHT, R.M. & ROBINSON, E. (eds.). *Biostratigraphy of Jamaica*. Geological Society of America, p. 125- 130.
- Fernandes, J.M.G. & Morais, M.H.C. 1994. 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, 6: 53 – 58.
- Góes, A.M.; Rossetti D.F.; Nogueira, A.C.R. & Toledo, P.M. 1990. Modelo deposicional preliminar da Formação Pirabas no nordeste do Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, Série Ciências da Terra, 2: 3-15.
- Hendler, R.G.; Miller, J.E.; Pawson, D.L. & Kier, P. M. 1995. *Sea stars sea urchins and allies: echinoderms of Florida and the Caribbean*. Washington, Smithsonian Institution Press, 390p.
- Hess, H.; Ausich, W.I.; Brett, C.E. & Simms, M.J. 1999. Fossil crinoids. United States of America, Cambridge University Press, 275p.
- Kraatz-Koschlau, K.; Huber, J. 1900. Zwischen Ocean und Guamá. Beitrag zur Kenntnis des Staates Pará. *Museu Paraense de História Natural e Etnografia*, 2: 1 – 34. (Memórias do Museu Paraense).
- Kroh, A. 2003. First Record of Gorgonocephalid ophiuroids (Echinodermata) from the Middle Miocene of the Central Paratethys Austria. *Cainozoic Research*, 2: 143- 155.
- Leclair, E.E. 1996. Arm joint articulations in the ophiuran brittle stars (Echinodermata: Ophiuroidea): a morphometric analysis of ontogenetic, serial, and interespecific variation. *Journal of Zoology*, 240: 245- 275.
- Lewis, R.D. 1987. Post-mortem decomposition of ophiuroids from the Mississippi Sound. *Geological Society of America Abstracts with Programs*, 19(2):94-95.
- Lima, M.L.F.; Correia, M.D.; Sovierzoski, H.H. & Manso, C.L.C. 2011. New records of Ophiuroidea (Echinodermata) from shallow waters off Maceió, State of Alagoas, Brazil. *Marine Biodiversity Records*, 4: 1-10.
- Madsen, F.J. 1970. West African Ophiuroids. *Atlantide Report*, 11: 151- 243.
- Marko, P.B. & Jackson, J.B.C. 2001. Patterns of morphological diversity among and within arcid bivalve species pairs separated by the Isthmus of Panamá. *Journal of Paleontology*, 75(3): 590-606.
- Martin, R.E.; Lidell, W.D. 1991. 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, p. 170 – 193.
- Mooi, R.; Martinez, S. & Parma, S.G. 2000. Phylogenetic systematics of Tertiary monophorasterid sand dollars (Clypeasteroidea: Echinoidea) from South America. *Journal of Paleontology*, 74(2): 263- 281.
- Moore, R.C. 1966. *Treatise on Invertebrate Paleontology*. Part U. Echinodermata 3. The Geological Society of America and The University of Kansas, 673 p.
- Morais, M.H.C. & Fernandes, J.M.G. 1997. 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, p. 60.
- Pawson, D.L.; Vance, D.J.; Messing, C.G.; Solís-Marin, F.A. & Mah, C.L. 2009. Echinodermata of the Gulf of Mexico. In: FELDER, D.L.; CAMP, D.K. (eds.). *Gulf of Mexico:*

- origin, waters, and biota. Texas: A & M University Press, College Station, 1 Biodiversity, p.1177- 1204.
- Peck, R.E. & Watkins, W.T. 1972. Comatulid crinoids from the Jacksonian (Eocene) of Louisiana. *Journal of Paleontology*, 46(3): 410- 414.
- Rasmussen, H.W. 1950. Cretaceous Asteroidea and Ophiuroidea with special reference to the species found in Denmark. *Danmarks Geologiske Undersøgelse*, 2(77): 1- 134.
- Rasmussen, H.W. 1952. Cretaceous Ophiuroidea from Germany, Sweden, Spain and New Jersey. *Meddelelser fra Dansk Geologisk Forening*, 12: 47- 57.
- Rasmussen, H.W. 1978. Crinoidea. In: MOORE, R.C. & TEICHERT, C. (eds.). *Treatise on Invertebrate Paleontology, Echinodermata 2*, Part T Lawrence, The University of Kansas Press, v.1, p. T813-T1027.
- Rossetti, D.F. & A.M. Góes, 2004. Geologia. In: ROSSETTI, D.F. & A.M. GÓES (eds.). *O Neógeno da Amazônia Oriental*. Coleção Friederich Katzer, Editora do Museu Paraense Emílio Goeldi, p.13-52.
- Ruppert, E.E.; Fox, R.S. & Barnes, R.D. 2005. *Zoologia dos invertebrados. Uma abordagem funcional-evolutiva*. Editora Roca, São Paulo, 7. ed., 226p.
- Santos, M.E.C.M. 1958. Equinóides miocênicos da Formação Pirabas. *Boletim da Divisão de Geologia e Mineralogia do Departamento Nacional da Produção Mineral*, 179: 1- 24.
- Santos, M.E.C.M. 1967. Equinóides miocênicos da Formação Pirabas. In: SIMPÓSIO SOBRE A BIOTA AMAZÔNICA, 1., 1967, Belém. *Atas*. Belém, v.1, p. 407- 410.
- Stohr, S. & Segonzac, M. 2005. 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*, 85(2): 383- 402.
- Stohr, S.; O'hara, T. D. & Thuy, B. 2012. Global diversity of Brittle Stars (Echinodermata: Ophiuroidea), Stokolm, Suécia. PLOS ONE v. 7, 012. Disponível em: <<http://www.plosone.org>>. Acesso em 24 mai. 2013.
- Storc, R. & Zitt, J. 2008. Late Turonian ophiuroids (Echinodermata) from the Bohemian Cretaceous Basin, Czech Republic. *Bulletin of Geosciences*, 83 (2): 123- 140.
- Strimple, H.L. & Mapes, R.H. 1984. Comatulid crinoids from the Jacksonian (Eocene) of Louisiana. *Journal of Paleontology*, 58 (3): 789- 792.
- Távora, V.A. & Coelho, J.R. 2006. Tafonomia de foraminíferos da Formação Pirabas (Mioceno Inferior), Estado do Pará. *Geociências*, 25(2): 197-204.
- Távora, V.A.; Nunes, S.S. & Souza, K.S. 2013. *Paleoecologia da Formação Pirabas (Mioceno Inferior), Estado do Pará*. Contribuições à Geologia da Amazônia, Sociedade Brasileira de Geologia Núcleo Norte, v.8, p.235-251.
- Tommasi, L.R. 1966. Lista dos Equinoides recentes do Brasil. *Contribuições Avulsas do Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo*, Série Oceanográfica Biológica, 11: 1- 50.
- Tommasi, L.R. & Abreu, J. 1974. Equinodermes do Brasil IV. Sobre seis espécies novas de ophiuroidea da região ao Largo da Ilha Grande (RJ). *Boletim do Instituto Oceanográfico*, 23: 17- 32.